



anadolum
e K a m p ü s
ve

anadolu mobil

dilediğin yerden,
dilediğin zaman,
öğrenme fırsatı!



(ekampus.anadolu.edu.tr)



(mobil.anadolu.edu.tr)

ekampus.anadolu.edu.tr



Takvim



Duyurular



Ders
Kitabı (PDF)



Epub



Html5



Video



Canlı Ders



Sesli Kitap



Ünite
Özeti



Sesli Özet



Sorularla
Öğrenelim



Alıştırma



Deneme
Sınavı



Infografik



Etkileşimli
İçerik



Bilgilendirme
Panosu



Çıkmış Sınav
Soruları



Sınav Giriş
Bilgisi



Sınav
Sonuçları



Öğrenci
Toplulukları



AOSDESTEK
AÇIKÖĞRETİM DESTEK SİSTEMİ

Açıköğretim Sistemi ile ilgili
merak ettiğiniz her şey AOS Destek Sisteminde...

- Kolay Soru Sorma ve Soru-Yanıt Takibi
- Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları
- Canlı Destek (Hafta İçi Her Gün)
- Telefonla Destek

aosdestek.anadolu.edu.tr

AOS DESTEK Sistemi İletişim ve Çözüm Masası

0850 200 46 10

www.anadolu.edu.tr



/AOFAnadolum



/Anadolu_Univ



instagram.com/anadoluuniv

Bölüm 1

Temel Kavramlar

öğrenme çıktıları	1	Önemli Kavramlar	2	Bilgi İşleme Modeli ve Bilgi İşleme Süreçleri
	1	Bilgi, enformasyon ve veri kavramlarını ayırt edebilme	2	Bilgi işleme süreci ve aşamalarını örneklerle tanımlama
	3	Bilgisayarların Bileşenleri	4	Bilgi İşleme ve Teknoloji
	3	Bilgisayarları oluşturan bileşenleri sıralayabilme	4	Bilgi işleme sürecinde teknolojinin oynadığı rolü açıklayabilme
	5	Sosyal Hayatta Teknoloji		
	5	Teknolojinin sosyal yaşam üzerindeki etkilerini tanımlayabilme		

Öğrenme çıktıları

Bölüm içinde hangi bilgi, beceri ve yeterlikleri kazanacağınızı ifade eder.

Bölüm Özeti

Bölümün kısa özetini gösterir.

Sözlük

Bölüm içinde geçen önemli kavramlardan oluşan sözlük ünite sonunda paylaşılır.

Karekod

Bölüm içinde verilen karekodlar, mobil cihazlarınız aracılığıyla sizi ek kaynaklara, videolara veya web adreslerine ulaştırır.

Tanım

Bölüm içinde geçen önemli kavramların tanımları verilir.

Dikkat

Konuya ilişkin önemli uyarıları gösterir.

Neler Öğrendik ve Yanıt Anahtarı
Bölüm içeriğine ilişkin 10 adet çoktan seçmeli soru ve cevapları paylaşılır.

Öğrenme Çıktısı Tablosu

Araştır/İlişkilendir/Anlat-Paylaş

İlgili konuların altında cevaplayacağınız soruları, okuyabileceğiniz ek kaynakları ve konuyla ilgili yapabileceğiniz ekstra etkinlikleri gösterir.

Yaşamlı İlişkilendir

Bölümün içeriğine uygun paylaşılan yaşama dair gerçek kesitler veya örnekleri gösterir.

Araştırmalarla İlişkilendir

Bölüm içeriği ile ilişkili araştırmaların ve bilimsel çalışmaları gösterir.

Devre Analizi

Editör

Prof.Dr. Engin TIRAŞ

Yazarlar

BÖLÜM 1 Öğr.Gör. Tülay TIRAŞ

BÖLÜM 2, 3 Dr.Öğr.Üyesi Şükrü ARDALI

BÖLÜM 4 Arş.Gör. Hakkı AKSOY

BÖLÜM 5, 6 Doç.Dr. Emre KIYAK

BÖLÜM 7, 8 Dr. Aziz KABA

T.C. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ YAYINI NO: 4201

AÇIKÖĞRETİM FAKÜLTESİ YAYINI NO: 2978

Bu kitabın basım, yayım ve satış hakları Anadolu Üniversitesine aittir.
“Uzaktan Öğretim” tekniğine uygun olarak hazırlanan bu kitabın bütün hakları saklıdır.
İlgili kuruluştan izin almadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kayıt
veya başka şekillerde çoğaltılamaz, basılamaz ve dağıtılamaz.

Copyright © 2021 by Anadolu University

All rights reserved

No part of this book may be reproduced or stored in a retrieval system, or transmitted
in any form or by any means mechanical, electronic, photocopy, magnetic tape or otherwise, without
permission in writing from the University.

Öğretim Tasarımcısı

Arş.Gör. Bilal Saraç

Grafik Tasarım ve Kapak Düzeni

Prof.Dr. Halit Turgay Ünal

Dil ve Yazım Danışmanı

Hatice Köken

Ölçme Değerlendirme Sorumlusu

Hüseyin Şahin

Grafiker

Gülşah Karabulut

Ayşegül Dibek

Dizgi ve Yayına Hazırlama

Burak Arslan

Gül Kaya

Gizem Dalmış

Nihal Sürücü

Halil Kaya

Arzu Ercanlar

Dilek Özbek

Yasin Narin

DEVRE ANALİZİ

E-ISBN

978-975-06-4163-3

Bu kitabın tüm hakları ANADOLU ÜNİVERSİTESİ'ne aittir.

ESKİŞEHİR, Mayıs 2021

2854-0-0-0-2309-V01

İçindekiler

BÖLÜM 1 Temel Kavramlar



Giriş	3
Birim Sistemleri	3
SI Birim Sistemi	3
As ve Üst Katlar	4
Madde Yapısı ile İlgili Kavramlar	5
Atom	5
Elemanter Yük (e.y)	6
İletkenlik, Yalıtkanlık ve Yarı İletkenlik ..	6
Elektriksel Kavramlar	8
Elektrik Akımı	8
Bir İletkenin Direnci	9
Potansiyel Fark	11
Frekans	13
Periyot	13
Elektrik Devre Elemanları	13
Güç Kaynakları (Üreteçler)	13
Ölçüm Aletleri	15
Dirençler	17

BÖLÜM 2 Temel Ağ Topolojisi ve Kirchhoff Yasaları



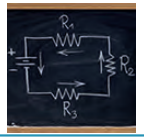
Giriş	33
Temel Ağ Topolojisi	33
Ağ Topolojisinin Temel Teoremi	34
Kirchhoff Yasaları	37
Kirchhoff'un Akım Yasası (KAY)	38
Kirchhoff'un Gerilim Yasası (KGY)	40

BÖLÜM 3 Düşüm Noktası Gerilim ve Çevre Akımları Yöntemleri



Giriş	55
Düşüm Noktası Gerilimleri Yöntemi	55
Süper Düşüm	62
Çevre Akımları Yöntemi	64
Süper Çevre	67

BÖLÜM 4 Devre Teoremleri



Giriş	75
Süperpozisyon Teoremi	75
Kaynak Dönüşümü	80
Thevenin Teoremi	86
Norton Teoremi	91

BÖLÜM 5

Kondansatör ve Bobin



Giriş	105
Kondansatör	105
Kondansatörün Şarj Olması	106
Kondansatörün Sığasına Etki Eden Faktörler	107
Kapasitif Reaktans	108
Kondansatör Enerjisinin Hesaplanması ..	108
Kondansatörlerin Devreye Bağlanması ..	109
Değişken Değerli Kondansatörler	112
Bobin	113
Bobinin Çalışma Prensibi	113
İndüktansı Etkileyen Faktörler	114
İndüktif Reaktans	114
Bobin Enerjisinin Hesaplanması	115
Bobinlerin Devreye Bağlanması	115
Bobin Çeşitleri	117
Ayarlı Bobinler	118

BÖLÜM 6

RL ve RC Devreleri



Giriş	127
RL Devrelerinin Doğal Tepkisi	127
RC Devrelerinin Doğal Tepkisi	131
RL Devrelerinin Basamak Tepkisi	135
RC Devrelerinin Basamak Tepkisi	137

BÖLÜM 7

Alternatif Akım



Giriş	149
Alternatif Akımda Temel Kavramlar	150
Devir	150
Periyot	151
Frekans	152
Alternans	153
Değer	154
Faz	157
AA Kaynaklarının Matematiksel Gösterimi	161
Empedans	162
Direnc, Bobin ve Kondansatör Empedansları	163
Empedans – Akım – Gerilim İlişkisi	165
Seri Empedans	166
Paralel Empedans	168
Admitans	170

BÖLÜM 8

Alternatif Akım Devrelerinin Analizi ve Güç



Giriş	177
Alternatif Akım Devrelerinin Analizi	177
Fazör Gösterimi	177
Direnc, Bobin ve Kondansatörün Frekans Alanı Dönüşümü	178
Alternatif Akım Devresinin Frekans Alanı Dönüşümü	179
Kirchhoff Yasalarının Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması	180
Düğüm Noktası Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması	182
Süperpozisyon Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması	182
Kaynak Dönüşümü Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması	184
Thevenin Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması	185
Alternatif Akım Devrelerinde Güç	187
Anlık Güç	187
Ortalama Güç	189
Reaktif Güç	191
Kompleks Güç	192
Görünür Güç	193
Güç Katsayısı	195

■ Önsöz

Sevgili öğrenciler,

XVII. yüzyıldan günümüze kullandığımız hemen hemen her aygıtın içerisinde birbirine bağımlı veya bağımsız olarak farklı görevleri üstlenen temel elektrik ve elektronik devre elemanları kullanılmaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle bu temel elektrik ve elektronik devre elemanlarının, içerik ve işlevleri de hızla gelişmektedir. Elbette ki hızla gelişen bilimsel çalışmalarla yeni teknolojik devre elemanları bulunması muhtemeldir. Fakat üretilecek bu yeni teknolojik devre elemanları da kitap içinde tanıtılan devre elemanlarından farklı olmayacak, belki sadece birkaç devre elemanının işlevini tek başına üstlenebilecek nitelikte olacaktır.

Sunulan bu kitapta temel bir elektrik ve elektronik devresinde kullanılan devre elemanla-

rının işlevleriyle ilgili bilgi verilmekle birlikte uygulanan bir dış etkiyle sahip olduğu özelliklerinin değişimleri tartışılmıştır.

Kitabımız toplam sekiz üniteden oluşmaktadır. Her bir ünite bir önceki üniteye verilen bilginin kullanması ve yeni devre elemanının eklenmesi üzerine tasarlanmıştır. Dolayısıyla ilk üniteden itibaren verilen kavramların doğru anlaşıldığından emin olunduktan sonra bir sonraki üniteye geçiş sağlanması konuların anlaşılması açısından önemlidir.

Kitabın içeriği, daha önce bu konuda bilgi birikimi olmayan okuyucular için temel düzeyde hazırlanmıştır. Elde edilen bu bilgiler, daha karmaşık olarak tasarlanan devre elemanlarının analizi için sadece ön bilgi olabilir.

Editör

Prof.Dr. Engin TIRAŞ

Bölüm 1

Temel Kavramlar

öğrenme çıktıları

Birim Sistemleri

- 1 Elektrik devrelerinde kullanılan fiziksel büyüklüklerin SI birim sistemindeki sembollerini ve birimlerini listeleyebilme
- 2 Elektrik devrelerinde kullanılan fiziksel büyüklükleri SI birim sistemindeki alt-üst katlarıyla ilişkilendirebilme

Elektriksel Kavramlar

- 4 Elektrik akımı, direnç ve potansiyel farkı kavramlarını tanımlayabilme
- 5 İletken bir telin direncinin bağlı olduğu nicelikler ile elektrik akımı ve potansiyel farkı ile olan ilişkisini (Ohm yasasını) açıklayabilme

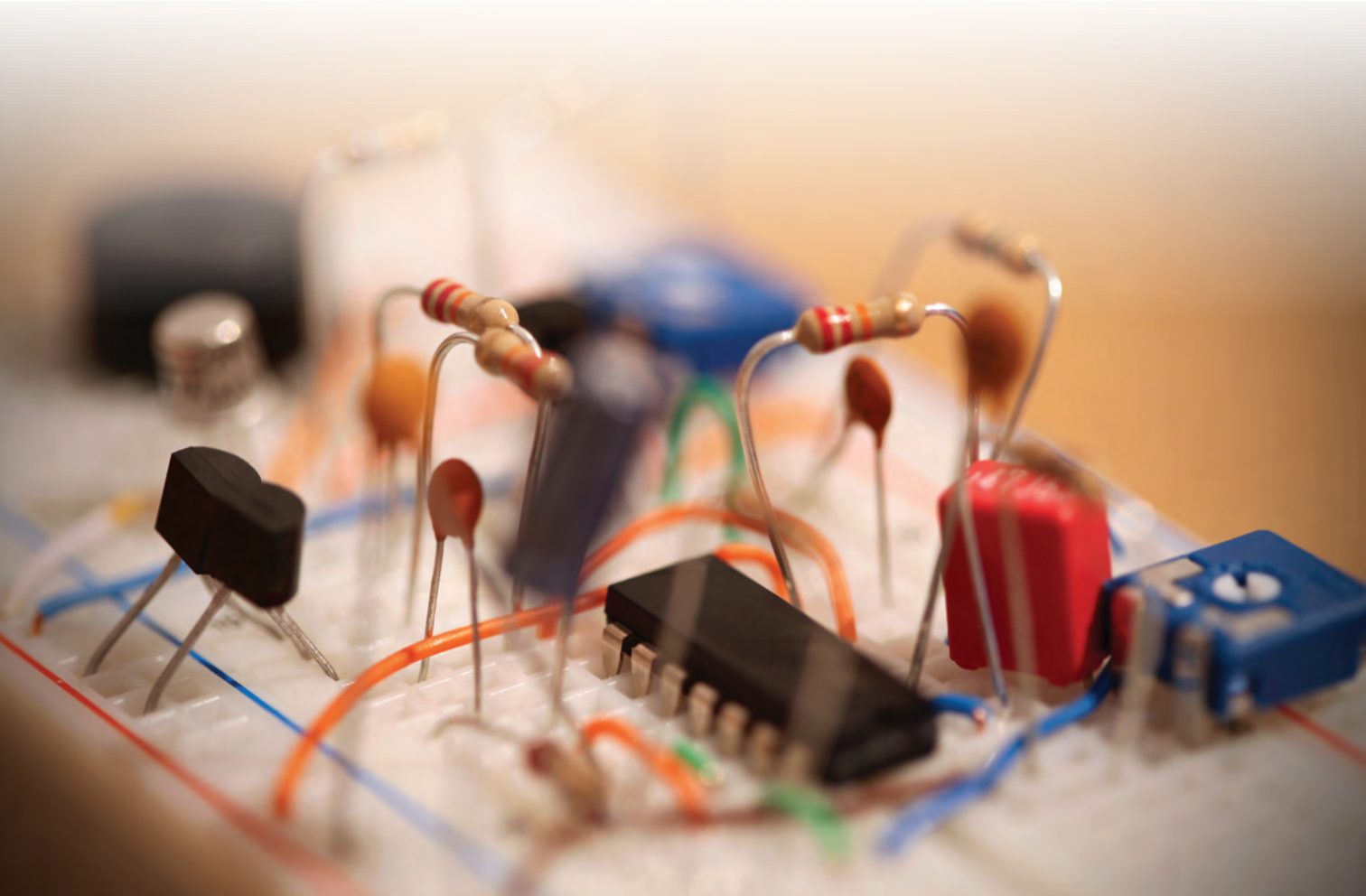
Madde Yapısı ile İlgili Kavramlar

- 3 Yük, elektrik alan, iletken, yalıtkan ile yarı-iletken kavramlarını tanımlayabilme ve örnekleyebilme

Elektrik Devre Elemanları

- 6 Üreteç, direnç ve çeşitleriyle akım ve gerilim ölçüm cihazlarını ayırt edebilme
- 7 Seri, paralel ve karışık bağlı direnç devrelerini çözümleyebilme

Anahtar Sözcükler: • İletkenlik • Akım • Potansiyel Farkı • Direnç • Dirençlerin Bağlanması • Ohm Yasası



GİRİŞ

Devre Analizi kitabının ilk ünitesi olan bu bölümde, ders kapsamında yer alan fiziksel terimlerin nicel büyüklüklerinin isimlerini, sembollerini göreceğiz ve *SI Birim Sistemi*ndeki temel ve türetilmiş birimleri öğreneceksiniz.

İlerleyen ünitelerde sıkça rastlayacağınız elektrik devre elemanlarının sayısal değerlerinin çoğunun büyüklüğü, günlük hayatta sıkça kullanılan ölçü ve birimlerden oldukça büyük veya oldukça küçük değerler olarak karşımıza çıkar. Örneğin; kondansatör, direnç ve bobin büyüklüklerini belirtirken sırasıyla; piko-Farad (pF), kilo-Ohm (k Ω) ve mikro-Henry (μ H) gibi ön ekler ihtiyacı duyulur. Bu büyüklüklerle işlem yapılırken ast ve üst katlar ile ön ekler kullanılarak sayısal ifadeler daha kullanışlı hâle getirilir.

Ayrıca ders kapsamında iletken, yalıtkan, yarı-iletken, akım, potansiyel farkı gibi temel nicelikler hakkında bilgi edineceksiniz.

Basit bir elektrik devresini oluşturan devre elemanlarını tanıyacak, bunların karakteristik özelliklerini öğreneceksiniz.

Devre elemanlarının sayısal değerlerinin nasıl belirleneceğini akım ve potansiyel farkını ölçen ampermetre ve voltmetrenin devreye nasıl bağlandığını öğrenerek ölçüm alabilecek seviyeye geleceksiniz.

Sonuçta bu ünite de öğrendiğiniz temel kavram ve devre elemanları ile daha sonraki ünitelerde yer alan konuları daha rahat kavrayabilecek ve verilen problemleri çözebilecek temele sahip olacaksınız.

✓ **SI birim sistemi**, “The International System of Units” olarak bilinen kişiye göre değişmeyen uluslararası birim sistemidir.

BİRİM SİSTEMLERİ

Fiziksel bir büyüklüğün nicel özelliği belirtilirken sayısal bir değer ile boyutsal bir değer çarpılır. Bu boyutsal değer *birim* olarak ifade edilir. Uluslararası kullanılan birim sistemlerinin başlangıcı 1790'lara dayanır. Fransız İhtilali'nin ilk yıllarına rastlayan o dönemde, uzunluk, ağırlık gibi bazı büyüklükleri, belli standart büyüklüklerle ilişkilendirmiş ve tanımlamışlardır. Daha sonra daha içerikli çeşitli birim sistemleri ortaya çıkmıştır.

Bilinen belli başlı birim sistemlerine kısaca değinecek olursak;

CGS Birim Sistemi (centimeter, gram, second); uzunluk birimini santimetre (cm), kütle birimini gram (g), zaman birimini ise saniye (s) olarak kabul eder.

MKS Birim Sistemi (meter, kilogram, second); uzunluk birimini metre (m), kütle birimini kilogram (kg), zaman birimini ise saniye (s) olarak kabul eder.

FPS Birim Sistemi (foot, pound, second); uzunluk birimini foot (ft), kütle birimini pound ya da libre (lb), zaman birimini ise saniye (s) olarak kabul eder.

Bu birim sistemleri, zamanla yeni büyüklükler ve birimler eklenerek genişletilmiştir. Son olarak “The International System of Units” olarak bilinen kişiye göre değişmeyen *SI birim sistemi*, çoğu dünya ülkelerince standart olarak kabul edilmiştir.

SI Birim Sistemi

SI Birimler Sistemi'nde yedi temel büyüklüğün birimleri yer alır. Tablo 1.1'de bu temel büyüklükleri ve Tablo 1.2'de bu temel büyüklüklerden türetilmiş ve bu kitabımız kapsamında kullanılacak birimler gösterilmiştir. Tablo 1.2'de aynı zamanda yaygın olarak kullanılan türetilmiş simgeleri de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 SI Birimler Sisteminde yer alan temel büyüklükler birimler ve simgeleri

Fiziksel Büyüklük	Birim	Simge
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akım şiddeti	amper	A
Termodinamik sıcaklık	kelvin	K
Madde miktarı	mol	mol
Işık şiddeti	kandela	Cd

Tablo 1.2 SI Birimler Sisteminde kullanılan terimler, birimleri ve simgeleri

Devre Analiz Terimleri	Birim	Simge	Türetilmiş simgesi
Kuvvet	Newton	N	(kg · m/s ²)
Enerji	Joule	J	(N · m)
Güç	Watt	W	(J/s)
Elektrik Yüğü	Coulomb	C	(A · s)
Akım	Amper	A	(C/s)
Elektrik Potansiyeli	Volt	V	(J/C)
Periyot	Saniye	s	s
Frekans	Hertz	Hz	s ⁻¹
Direnç	Ohm	Ω	(V/A)
Elektriksel Sığa	Farad	F	(C/V)
İndüktans	Henry	H	(Wb/A)

As ve Üst Katlar

Hem günlük hayatımızda hem de çalıştığımız bilimsel alanda, çok büyük veya çok küçük sayıları yazarken basamak uzunluklarını, sayısal değerini değiştirmeden as ve üst katları ön ekler kullanarak isimlendirme yoluna gideriz.

Tablo 1.3'te devre analizi dersimizde sayısal değerlerde veya problemlerde en çok rastlanabilecek üs ve askatlar verilmiştir. Bu ön ekler kullanıldığı durumda verilen niceliğin büyüklüğü bu ön ekler ile çarpılır. Örneğin 2 ms değeri yazımındaki “m” ön ek olarak karşılığı mili'dir ve 2 ile çarpılır. Böylelikle 2 ms, 2×10^{-3} s veya 0,002 s olarak dönüştürülür.

Tablo 1.3 En çok kullanılan birimlerin üs ve askat değerleri, ön-ek ve sembolleri

Askat	Ön-ek	Sembol	Üskat	Ön-Ek	Sembol
10 ⁻¹	Desi	d	10 ¹⁸	Eksa	E
10 ⁻²	Santi	c	10 ¹⁵	Peta	P
10 ⁻³	Mili	m	10 ¹²	Tera	T
10 ⁻⁶	Mikro	μ	10 ⁹	Giga	G
10 ⁻⁹	Nano	n	10 ⁶	Mega	M
10 ⁻¹²	Piko	p	10 ³	Kilo	k
10 ⁻¹⁵	Femto	F	10 ²	Hekto	h
10 ⁻¹⁸	Atto	A	10 ¹	Deka	da

Örnek 1.1: Bir elektrik devresinde kullanılan kondansatörün büyüklüğü $2 \times 10^{-5} F$ olarak verilen bu kondansatörün büyüklüğü kaç μF 'dır?

Çözüm: $1 \mu F = 1 \times 10^{-6} F$ ise doğru orantı denklemi kurarsak

$$2 \times 10^{-5} F = \frac{2 \times 10^{-5}}{10^{-6}} = 20 \mu F \text{ olur.}$$

Örnek 1.2: Aşağıda devre elemanlarının sayısal büyüklükleri ast veya üst katları olarak verilmiştir. Bu büyüklükleri ön ekli biçimde (Not: Kondansatör, Direnç, Zaman ve Potansiyel Farkı kavramları devre elemanları ve terimleri olup ilerleyen bölümlerde daha kapsamlı ele alınacaktır.) düzenleyiniz.

Kondansatör için : $C = 2 \times 10^{-9} F$

Direnç için : $R = 33 \times 10^6 \Omega$

Zaman için : $t = 5 \times 10^{-6} s$

Potansiyel Farkı için : $V = 10 \times 10^{-3} V$

Çözüm: Tablo 1.3'te verilen değerler doğrultusunda ön ekler aşağıdaki biçimde düzenlenir.

- $C = 2 \text{ nF}$ (okunuşu nano-Farad)
- $R = 33 \text{ M}\Omega$ (okunuşu Mega-Ohm)
- $t = 5 \text{ }\mu s$ (okunuşu mikro-saniye)
- $V = 10 \text{ mV}$ (okunuşu mili-Volt)



dikkat

Size verilen herhangi bir problemi çözerken veya deney sırasında ölçüm alırken hangi birimde ve hangi mertebede çalıştığınıza dikkat edin! Gerekli dönüşümleri yapmayı unutmayın!

Öğrenme Çıktısı



- 1 Elektrik devrelerinde kullanılan fiziksel büyüklüklerin SI birim sistemindeki sembollerini ve birimlerini listeleyebilme
- 2 Elektrik devrelerinde kullanılan fiziksel büyüklükleri SI birim sistemindeki alt-üst katlarıyla ilişkilendirebilme

Araştır 1

Işık yılı nedir? SI birim sistemindeki değeri nedir?

İlişkilendir

Son zamanlarda nano kelimesine sıklıkla rastlanmaktadır. Nano kelimesini hangi teknoloji alanında daha sık duyuyorsunuz?

Anlat/Paylaş

Saç telimizin kalınlığını cetvelle hassas ölçebilir miyiz? Tartışın.

MADDE YAPISI İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

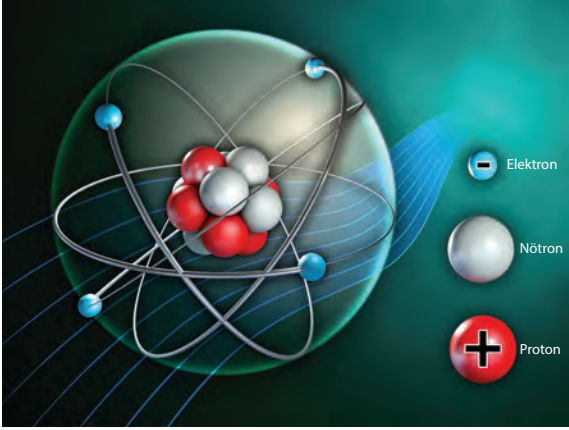
Devre Analizi dersimizde akım ve potansiyel farkı kavramlarına sık sık rastlayacaksınız. Bu kavramları anlayabilmek için öncelikle “akımı oluşturan faktörler neler?” ve “potansiyel fark nasıl oluşur?” sorularına yanıt aramamız gerekmektedir. Sırayla atomu, atomu oluşturan parçacıkları ve yüklerin birbirlerine karşı uyguladıkları kuvveti inceleyerek sorularımıza yanıt arayalım.

Atom

Bir maddenin özelliklerini taşıyan ve kimyasal yollarla parçalanamayan en küçük yapı taşına atom denir.

En basit şekliyle atomu, merkezinde *proton* ve *nötron* parçacıklarını bulunduran bir çekirdek ve bu çekirdek etrafında bir yörünge üzerinde dönen *elektronlardan* oluşan sistem olarak tanımlanabilir (Şekil 1.1). Proton pozitif, elektron negatif yüklü ve nötron da yüksüz parçacıklardır. Yüklü bir cisim üzerindeki yük

genel olarak Q veya q sembolleri ile gösterilir. Birimi Coulomb (C)'dur. Coulomb kavramına daha sonra geniş bir biçimde yer verilecektir.



Şekil 1.1 Atom Modeli

Bir atomda proton sayısı elektron sayısına eşit olduğunda bu atoma yüksüzdür denir. Başka bir ifadeyle atom nötrdür. Atomun yüklenmesi için elektron vermesi veya alması gerekir. Eğer atom elektron kazanırsa üzerindeki negatif yük fazla olduğundan negatif (-), tersi biçimde eğer elektron kaybederse üzerindeki proton sayısı fazla olacağı için pozitif (+) yükle yüklenir. Proton ve elektronun yükü birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Tablo 1.4'te atomu oluşturan parçacıkların, yükleri ve kütleleri verilmiştir.

Tablo 1.4 Atom parçacıklarının yükleri ve kütleleri

Parçacık	Ön-ek	Sembol
Elektron (-)	$1,602 \times 10^{-19}$	$9,11 \times 10^{-31}$
Nötron (yüksüz)	0	$1,675 \times 10^{-27}$
Proton (+)	$1,602 \times 10^{-19}$	$1,672 \times 10^{-27}$

Elemanter Yük (e.y)

Bir elektronun yükü en küçük elektrik yükü olarak kabul edilmiştir.

✓ Bir elemanter yükün büyüklüğü elektronun yüküne eşittir.

Yüklü bir cismin yük büyüklüğü elemanter yükün tam katı değerler alır.

$$q = \pm n \times e \quad (1.1)$$

Bu bağıntıda q yük, e elektron yükü, n birim hacimdeki elektron sayısı olup tam sayı değerler alır. Doğadaki bir elemanter yük ne yaratılabilir ne de yoktan var edilebilir.

İletkenlik, Yalıtkanlık ve Yarı İletkenlik

Yeryüzünde bulunan tüm maddeler elektrik yükünü iletebilme yeteneklerine göre iletken, yalıtkan ve yarı iletken olarak isimlendirilirler. Burada temel koşul elektriksel iletimin sağlanmasıdır. Elektriksel iletim, genel olarak bir malzeme içinde serbestçe hareket eden taşıyıcılar ile olur. Metallerde bu taşıyıcılar elektronlar olmakla birlikte yarı iletkenlerde hem elektronlar hem de boşluk denilen pozitif yüklü taşıyıcılarla olur. Serbest elektriksel yük, bulundukları ortamda serbestçe hareket edebilmesini simgelemektedir.

✓ Bir atomun en dış yörüngesine elektronlar üzerine uygulanan az bir enerjiyle serbest elektron hâline gelebilir.

Atomu oluşturan çekirdeğin etrafında elektronlar belirli yörüngeler üzerinde dolanırlar. Bir yörüngeyi sadece iki elektron paylaşabilir. Eğer yörüngelerin tamamı dolu ise bu yapılar yalıtkan malzeme, eğer tam dolmamış ise iletken malzemeler olarak tarif edilebilir. Yalıtkan malzemeler elektriksel iletime karşı direnç gösterirler fakat oldukça yüksek bir elektrik alan altında elektronlar bulundukları yörüngelerden koparak iletime katkıda bulunabilirler. Örneğin hava molekülleri yalıtandır ve yörüngeleri tamamen dolu olan atomlardan oluşmuştur. Bulutların oluşturduğu yüksek bir elektrik alan sonucunda yörüngelerdeki elektronlar serbest hâle gelir ve iletim sağlar. Bu olaya yıldırım diyoruz.

✓ Bir yalıtkanın iletken hâle geçmesine malzemenin dielektrik dayanıklılığı denir.

İletken malzemelerde yörüngede tek başına bulunan bir elektron oldukça zayıf bir enerji ile atomdan uzaklaşarak hareket edebilir. Bu serbest elektronlar yardımıyla elektriksel iletim gerçekleşir.

Elektrik alan bir malzemenin üzerinde uygulandığı durumda elektrik alan etkisi ile çekirdeğin etrafında bulunan elektron bulutu ile çekirdek üzerine elektrik alan doğrusuna göre yönelir. Bu durumda malzemenin içinde dışarıdan uygulanan elektrik alana ters yönde ikincil bir elektrik alan oluşur. İki farklı elektrik alan oluştuğunu ifade etmek için Latince'den iki sayıyı kullanarak bu malzemelere dielektrik diyoruz.

✓ Yalıtkan malzemeler aynı zamanda dielektrik malzemeler olarak da tanımlanabilir.

Yalıtkan malzemeler, içerisinde serbest yük olmayan malzemeler olarak tanımlanmıştır. Eğer yalıtkan bir malzemenin değişken bir elektrik alan (ileriki konularda alternatif potansiyel olarak tanımlayacağız) altına konulduğunu düşünelim. Bu durumda atomların etrafındaki elektron bulutu uygulanan elektrik

alanın anlık değişimine bağlı olarak belirli bir yere doğru yönelme yapar. Bu yönelme etkisiyle yalıtkan içinde de bir iletim söz konusu olabilir. Bu akıma deplasman akımı da denir. Bir kondansatörün (sığanın) alternatif potansiyel farkı altında devrede akım geçirmesi bu şekilde açıklanır.

Bunların dışında yarı-metal ve süper iletken malzemelerde günümüzde oldukça fazla karşımıza çıkmaktadır. Yarı-metaller genel olarak metallere (iletkenlere) benzese de bu yapı içinde elektronlar bir yörüngeyi doldurmadan diğer yörüngeleri doldurmaya başladığı yapılardır. İletkenlikleri iletken malzemelere göre kötü olduğundan yarı-metal olarak tanımlanır. Süper iletken malzemeler ise belirli bir kritik sıcaklığın altında dirençleri sıfıra yakın olan malzemelerdir. Bu durumda süper-iletken malzeme içindeki elektronlar herhangi bir engele rastlamaksızın hareket edebilirler.

Malzemeler elektrik alana karşı gösterdikleri tepkilere karşı bu şekilde sınıflandırılırken aynı zamanda manyetik alana karşı verdikleri tepkilere göre de sınıflandırılırlar. Süper-iletken malzemeler aynı zamanda kritik sıcaklığın altında mükemmel diamagnet özelliği gösterirler. Bu özellikleriyle üzerine uygulanan manyetik alana karşı tepki gösterirler.



Yaşamla İlişkilendir

Japonya'da ulaşımda kullanılan maglev trenin çalışma prensibi ile ilgili bir yazıya göre, maglev trenin raylı sisteminde manyetik kaldırma teknolojisi kullanılmaktadır.

(Manyetik Levitasyon (Maglev) Türkçeye manyetik olarak havada tutma şeklinde çevrilebilir. Jesse Powell ve Gordon Danby adındaki iki bilim adamı bir treni havaya kaldırmak için süper iletken mıknatıslar kullanmayı düşündüler (Süper iletken mıknatıslar, manyetik alanın gücünü önemli ölçüde artıran kullanım sırasında aşırı derecede soğutulan elektromıknatıslardır). Bu düşüncelerini 1960 yılında gerçekleştirdiler ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarında yaptıkları çalışmalar sonucunda Maglev trenlerinin ilk adımını attılar. Aradan uzun bir süre sonra ilk ticari olarak işletilen yüksek hızlı süper-iletken Maglev tren 2004 yılında Şanghay'da hizmete girdi, bunu Japonya ve Güney Kore takip etti. Ayrıca yakın bir dönemde Amerika'da da faaliyete geçmesi bekleniyor. Maglev'de süper iletken mıknatıslar, U

şeklindeki bir beton geçidinin üzerinden trene etki eder. Sıradan mıknatıslar gibi, bu mıknatıslar da kutupları birbirine baktığında birbirlerini iterler. Maglev'in mucitlerinden Powell bu sistemi "dört köşeden mıknatıslı bir kutu" olarak tanımlıyor ancak iş biraz daha karmaşık tabii ki. Kullanılan mıknatıslar süper iletken, yani -268 Celsius derece sıcaklığa soğutulduklarında elektromıknatısların trenin askıya alınması ve itilmesi için yeterince güçlü manyetik alanlar oluşturabilecekleri anlamına gelir. Bu manyetik alanlar, Maglev rayının beton duvarlarına yerleştirilen basit metalik halkalarla etkileşime girer. Döngüler, alüminyum gibi iletken malzemelerden yapılır ve bir manyetik alan taşındığında, başka bir manyetik alan oluşturan bir elektrik akımı meydana gelir.

Kaynak: <https://www.anadoluraylisistemler.org/content/upload/document-files/maglev-20180427095022.pdf>, 15.04.2021 de alıntı yapılmıştır.

Öğrenme Çıktısı

3 Yük, elektrik alan, iletken, yalıtkan ile yarı-iletken kavramlarını tanımlayabilme ve örnekleyebilme



Araştır 2

Süper-iletkenlik nedir? Doğada süper iletken malzeme var mıdır?

İlişkilendir

Sizce Japonya'daki hızlı trenlerin çalışma prensibi süper-iletken malzeme yapısı ile açıklanabilir mi?

Anlat/Paylaş

n-tipi ve p-tipi yarı iletken nasıl oluşturulur?

ELEKTRİKSEL KAVRAMLAR

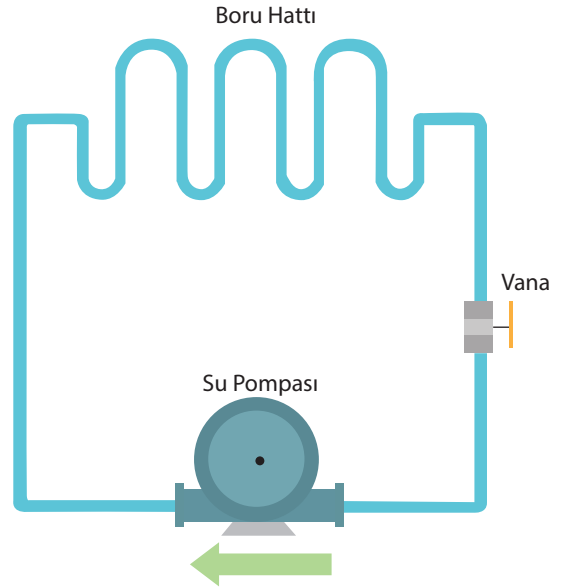
Bu bölümde elektrik devrelerinde karşılaştığınız elektrik akımı, akım çeşitleri, direnç kavramı, bir iletkenin direncini etkileyen faktörler ve potansiyel farkı gibi fiziksel kavramlar kısaca anlatılacaktır.

Elektrik Akımı

Daha önce de bahsedildiği gibi iletken bir malzeme içindeki elektronlar dışardan bir uyarılma ile serbest hâle gelerek hem komşu atomlarla etkileşime girerler hem de enerjinin bir konumdan diğer konuma taşınmasında yardımcı olurlar. Elektronların bir yerden başka bir yere hareket ettiklerinde bir yük akışı meydana gelir. Bu yük akışına *elektriksel akım* veya doğrudan *akım* denir.

✓ Birim zamanda gerçekleşen yük akışına *akım* denir.

İletken malzemelerle yapılan devrelerde akım oluşması için de bir yük akışı olması gerekmektedir. Yani elektrik akımını oluşturan temel etken, yüklü parçacıkların yapmış olduğu harekettir. Elektriksel akımını daha iyi kavrayabilmek için, evlerimizde kullandığımız su tesisatında dolanan suyu örnek verebiliriz.



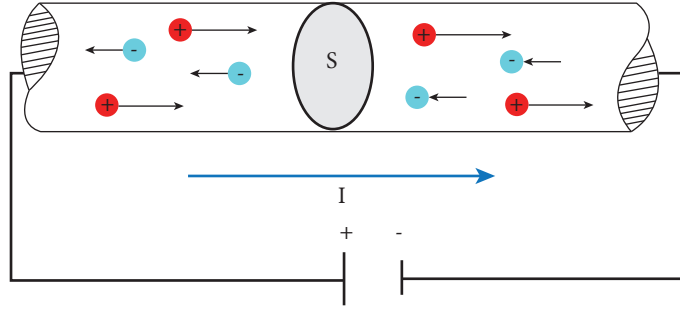
Şekil 1.2 Kapalı su borusu tesisatı

Şekil 1.2'de gösterilen su borusu tesisatında, su pompası aracılığı ile borunun bir ucuna basınç uygulanır. Basınç etkisi ile su, hat içinde sıkışır ve boru içinde hareket etmek ister. Vana açıldığında su serbest hâle gelerek basıncın da etkisiyle, su hattı boyunca boru içinden akmaya başlar. Suyun akış miktarı, uygulanan basınçla doğru orantılıdır.

Elektrik devresinde de benzer akış söz konusudur. İletken telin iki ucuna potansiyel farkı uygulandığında elektronlar, potansiyel farkının büyük-

lüğüyle doğru orantılı olarak tel içinde hareket ederek yük akışına neden olur. Yük akışı da elektrik akımını oluşturur. Elektrik alan etkisinde hareket eden elektronların tel boyunca baştan sona uzun mesafe kat etmesine gerek yoktur. Uygulanan potansiyel farkı, iletken telin atomlarının değerlik bandındaki serbest elektronlarını hareket ettirerek bir yük akışına neden olur. Bu yük akışı da akımı oluşturacaktır.

Yarı iletken malzemelerde elektronlar eksi yükleri, boşluklar (*hole*) ise artı yükleri temsil eder. Şekil 1.3'te uçları arasına potansiyel farkı uygulanan yarı iletken bir telde yüklerin hareketi gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Üzerinden I akımı geçen yarı iletken telin içindeki yüklerin hareketi



dikkat

Elektronların hareket yönü akım yönünün tersi yöndedir.



Maddelerin elektrik akımına karşı gösterdiği zorluğa *direnç* denir.

Bir iletkenin belli bir kesitinden, birim zamanda geçen yük miktarına *elektrik akımı* denir ve

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada I , devredeki elektrik akımıdır ve birimi Amper'dir (A). Eşitlikteki dQ , belirlenen kesit alanından geçen yük değişimini gösterir ve birimi Coulomb (C)'tur. Son olarak eşitlikteki dt ise zaman değişimidir ve birimi saniye (s)'dir.

Elektrik akımı, yönünün zamana bağlı değişimine göre "Doğru Akım ve Alternatif Akım" olarak ikiye ayrılır. *Doğru akımda* zaman içinde belirli bir kesit alanından geçen yük sayısı sabit iken *alternatif akımda* yük zamana bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu iki akım türünden ileriki konularda daha geniş kapsamlı söz edilecektir.

Bir İletkenin Direnci

İletken bir malzemenin atom veya moleküllerinin malzeme üzerinden geçen hareketli yüklere karşı gösterdikleri zorluğa o iletkenin *direnci* olarak ifade edilir.

Ünlü fizikçi Georg Simon Ohm (1789-1854) yaptığı deneylerde direnç ile akım arasındaki ilişkiyi incelemiş, direncin büyüklüğünün geçen akımın şiddetini belirlediğini fark etmiştir. *Direnç büyük olduğunda geçen akım miktarının az, direnç küçük olduğunda ise geçen akım miktarının fazla olduğunu gözlemlemiştir.* Ayrıca akımın, geçtiği telin kesit alanıyla doğru ve uzunluğu ile ters orantılı olduğunu belirlemiştir. Maddenin cinsinin de direncin büyüklüğüne etkisi olduğunu fark etmiştir. Sonuçta tüm bu deneysel gözlemleri bir araya getirerek Ohm Kanunu olarak bildiğimiz aşağıdaki eşitliklerini oluşturmuştur. Bunlardan ilki,

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.3)$$

eşitliğidir. Eşitlikte gösterilen R direncini, V potansiyel farkını I da akımı göstermektedir. Bu eşitlikte, uygulanan potansiyel farkının, devreden geçen akıma oranının, iletkenin R direncine eşit sabit bir değer olduğu görülmektedir. Diğer eşitliğimiz ise

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.4)$$

eşitliği olup malzemenin sahip olduğu fiziksel niceliklere bağlı ifadesidir. Burada iletkenin direnci R , birimi Ohm (Ω), iletkenin yapıldığı malzemeye bağlı öz direnci ρ , birimi Ohm metre ($\Omega \times m$), iletkenin kesit alanı S birimi m^2 ve iletkenin uzunluğu L birimi metre (m) ile gösterilmiştir.

Örnek 1.3: Öz direnci $5,6 \times 10^{-8} \Omega.m$ olan Tungsten telin kesit alanı 10 mm^2 dir. Direncin $0,056 \Omega$ olması için kaç metre tele ihtiyaç vardır?

Çözüm:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Kesit alan SI birim sistemine göre m^2 olarak alınmalıdır.

$$1 \text{ m}^2 = 1.10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \text{ mm}^2 = 10.10^{-6} \text{ m}^2 \text{ olur.}$$

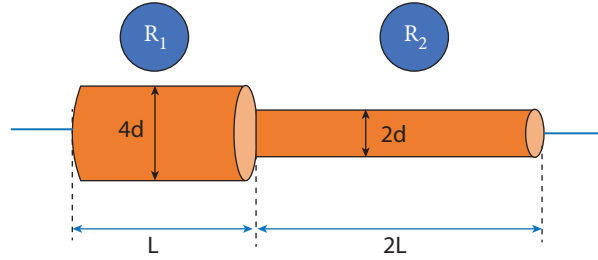
Değerler yerine koyulursa L tel uzunluğu;

$$L(m) = \frac{R(\Omega) \times S(m^2)}{\rho(\Omega.m)}$$

$$L = \frac{0,056(\Omega) \times 10.10^{-6}(m^2)}{5,6.10^{-8}(\Omega.m)} = 10m$$

olarak hesaplanır.

Örnek 1.4:



Şekil 1.4 Farklı çaplarda iki telin birleştirilmesi

Şekil 1.4'te verilen özdeş maddeden yapılmış R_1 ve R_2 dirençleri sırasıyla $4d$ ve $2d$ çapında, L ve $2L$ boyunda olduklarına göre dirençlerin büyüklükleri oranı nedir?

Çözüm: Soruda geçen özdeş kelimesi aynı maddeden yapılmış anlamına gelmektedir. O nedenle her iki direncin de öz dirençleri eşit demektir ($\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$). Kesit alanı bulmak için yarıçapları hesaplayalım. Çapları $4d$ ve $2d$ olarak verilen bu dirençlerin yarıçapı sırasıyla $2d$ ve d dir.

S kesit alan daireye karşılık gelir ve $S = \pi r^2$ eşitliği ile bulunur.

Verileri Eşitlik (1.4)'te yerine koyarsak;

$$R_1 = \rho_1 \frac{L_1}{S_1} = \rho \frac{L}{\pi(2d)^2}$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{L_2}{S_2} = \rho \frac{2L}{\pi(d)^2}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \frac{L}{\pi(2d)^2}}{\rho \frac{2L}{\pi d^2}} = \frac{1/4}{2} = \frac{1}{8}$$

✓ “Bir iletkenin iki ucu arasına uygulanan potansiyel farkı ile akım şiddeti arasında R direncine eşit sabit bir oran vardır. Bu R direncinin büyüklüğü, iletken telin cinsi ve uzunluğu ile doğru, telin kesit alanı ile ters orantılı olarak değişir.” Bu ilişki *Ohm Yasası*’nı ifade eder.



dikkat

$1 \text{ m}^2 = 1.10^6 \text{ mm}^2$ birim dönüşümünü yapmayı unutmayınız.

Bir iletkenin direnci sıcaklığa bağlı değişiklik göstermektedir. Sıcaklık artınca direnç artar, azaldıkça azalır. İletken telin direncinin sıcaklığa bağlı değişimi;

$$R=R_0 [1+\alpha(T-T_0)] \quad (1.5)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte T sıcaklığındaki iletken telin direnci R , 20°C oda sıcaklığı T_0 'daki direnç değeri R_0 ve sıcaklıkla değişim katsayısı α olarak verilmiştir.

Sıcaklıkla değişimi kullandığımız cihazların performansını etkileyen bir parametredir. Örneğin bir el radyosunu yazın sahilde $+40^\circ\text{C}$ 'de kışın ise -10°C 'de kullandığımızı düşünelim. Bu durumda 50°C 'lik bir sıcaklık değişiminde radyomuz içindeki dirençlerin aynı kalmasını isteriz. İşte kullandığımız cihazların içindeki dirençlerimizin sıcaklık gibi dış etkenler ile değişme aralığını veren bu aralığa tolerans diyoruz. Bir direncin toleransı ne kadar düşükse o kadar dış etkenlerden az etkilenir.



dikkat

Yarı iletkenlerin direnci, iletkenlerin direncinden farklıdır. Genellikle sıcaklık arttıkça azalır.

Örnek 1.5: Sıcaklık değişim katsayısı 0,001 olan iletkenin oda sıcaklığındaki direnci 40Ω ise 15°C 'deki direnç değeri ne olur?

Çözüm: Sayısal değerler Eşitlik (1.5)'e yerleştirilirse 15°C 'deki direnç değeri bulunur.

$$R=R_0 [1+\alpha(T-T_0)]$$

$$R=40[1+0,001(15-20)]=39,8\Omega$$

Potansiyel Fark

Günlük hayatta sıkça duyduğunuz gerilim veya voltaj kelimeleri, *potansiyel farkı* terimine karşılık gelir. Bir yükün sonsuzda oluşturacağı potansiyel sıfır olarak alınır. Genelde sıfır potansiyel olarak tanımladığımız bu nokta topraklama olarak tanımladığımız noktadır.

✓ Toprak potansiyelin sıfır olduğu noktadır.

Potansiyel ve bir noktanın potansiyeli, elektrik alan içindeki birim yükü sonsuzdaki bir noktadan ilgilendiğimiz bir noktaya getirmek için yaptığımız iş olarak tanımlanır. İki nokta arasındaki elektriksel potansiyel farkı, bu iki nokta arasında elektrik alan altındaki birim yükün taşınması için gerekli olan enerjiye eşittir.

✓ Bir elektrik alan içerisinde elektronu sonsuzdan ilgilendiğimiz bir noktaya taşımak için birim yük başına gereken enerjiye *potansiyel*, bu alan içindeki herhangi iki noktanın potansiyelleri arasındaki farka da *potansiyel farkı* denir.

Bir noktanın birim yük başına düşen elektriksel potansiyeli;

$$V = \frac{W_p}{q} \quad (1.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte V ile ilgilendiğimiz noktanın potansiyeli, q yükü ve W_p ise sonsuzdan ilgilendiğimiz noktaya getirmek birim yük başına düşen potansiyel enerjiyi tanımlar.

Potansiyel farkı (ΔV) ise, A ve B gibi iki nokta arasında elektrik alan altındaki birim yükü hareket ettirmek için gerekli olan enerjidir,

$$\Delta V = V_B - V_A \quad (1.7)$$

Elektriksel potansiyelin birimi olan volt, elektrik alanına büyük katkılar yapan pilin mucidi, İtalyan bilim adamı Alessandro Volta (1754–1827)'dan gelmektedir.

Bir devrede potansiyel farkın değeri *Voltmetre* denilen ölçüm aleti ile ölçülür. Voltmetre devreye paralel bağlanır. Voltmetre ile ilgili de daha geniş bilgiye “*Elektrik devre elemanları*” konu başlığı altında yer verilecektir.



Yaşamla İlişkilendir

İş güvenliği açısından elektrik yaralanmalarında yaralanmanın aşamaları bilinmelidir.

İnsan vücudunda bir elektrik akımına maruziyetten kaynaklanan elektriksiz yaralanmalar yüzeysel cilt yanıklarından yaşamı tehdit eden iç organ yaralanmalarına kadar değişebilir.

Yaralanmaların çoğu düşük voltajlı şebeke elektriği ile temas sonucu ortaya çıkar, ve çoğunlukla kapsamlı tedaviye ihtiyaç duymaz.

Ancak, kardiyak aritmi riski nedeniyle seçilmiş hastalarda kardiyak izlem önemlidir

İntravenöz hidrasyon

Böbrek yetmezliğini önlemek için gerekli olabilir

Resüsitasyon

Uzamaş resüsitasyon denenmeli

Olası Yaralanmalar

Kardiyovasküler

- Aritmiler (en yaygın)
- Myokard hasarı
- Bradikardi
- Damar içi pıhtılaşma

Solunum durması

- Diyafram felci
- Tetanik kasılma
- SSS kontrolünün inhibisyonu

Cilt yarıkları

- Enfeksiyon
- Dehidratasyon

Nörolojik

- Bilinç kaybı
- Amnezi
- Spinal kord hasarı
- Paraliz
- Ekstremitelerde duyu kaybı

Böbrek yetmezliği

- Myoglobinin renal tübüllerde çökmesi
- Hipotansiyon

Kas-İskelet Sistemi

- Kırık ve çıkıklar
- Kas hasarı
- Rabdomiyoliz
- Kompartman Sendromu

Elektrik Yaralanması

1 İlk Yaklaşım

Elektrik kaynağından uzaklaştırm (Önce kendi güvenliğini sağla !)

Gerekliyse Temel Yaşamı Desteği sağla

Baş ve Boyun stabilizasyonu (cihdi yaralanma durumunda)

2 Klinik Değerlendirme

Hastanın vücudunda elektrik akımının etkilerini değerlendirmek için bulguları kontrol edin.

Geniş cilt yanığı varlığı

Gebelik durumu
Bilinç kaybı

Vücuttan geçen akım yolunu belirleyin
Kaynağından çıkan Elektrik genellikle gövdeyi katederek zemine doğru gider. Giriş ve çıkış noktalarını saptamak, hangi organların zarar görebileceğini belirlemeye yardımcı olabilir

Voltajı belirleyin

Düşük voltaj <1000v

Madenler

960 V

Demiryolları

750 V

Sanayi

380 V

Ev

110 V (US)
220 V (EU)

Yüksek voltaj >1000v

Yüksek gerilim hattı

45000-400000 V

Demiryolu Ağı

25000 V

Havai Hatlar

1500 V

EKG ve kan testleri

EKG anomalisi

Aritmi

Troponin yüksekliği

3 Taburculuk

Yanık Merkezi İhtiyacı

Deri grefti gibi özel cerrahi bakım ihtiyacı

Obstetrik bakım ihtiyacı

Fetal kardiyak monitörizasyon ihtiyacı

Hastaneye başvuru

Bilinç kaybı, kardiyak anomaliler veya yüksek voltaja maruziyeti olan hastalar sürekli EKG monitörizasyonu gerektirir.

Organ yetmezliği açısından değerlendirme ve yönetimi

Ekokardiyografi

Kardiyak MRG

Koroner anjiyografi

(Klinik bulgulara göre gerekebilir)



24 saat kardiyak monitörizasyon

Hasta gecikmiş aritmi riski (çok nadiren ani ölüme yol açabilir) açısından bilgilendirilmeli

En az 24 saat boyunca ritim bozukluğa gözlenmezse

Çeviri: Dr. Birkan Korgan

Kaynak: <http://bmj.co/elec>

© 2017 BMJ Publishing group Ltd.



internet

<https://acilci.net/elektrik-yaralanmalari-yonetimi/>

<https://www.acilci.net/wp-content/uploads/2018/08/Electrical-injury-infografik-T%C3%BCrk%C3%A7e.pdf>

Frekans

Frekans, günlük hayatımızda da sıkça karşılaşılan bir terimdir. Frekans “sıklık” olarak da ifade edilir. En genel anlamıyla frekans, birim zamandaki hareket sayısıdır. Fakat ilgili olduğu hareket tipine göre bu tanım farklılık gösterebilir. Örneğin; bir dönme hareketinden bahsediliyorsa, “birim zamandaki dönü sayısı” veya titreşim hareketinden söz ediliyorsa “birim zamandaki dalga sayısı” olarak tanımlanır. Birimi 1/s veya Hertz'dir ve f simgesi ile gösterilir. Hertz, Hz olarak kısaltılır.

Periyot

En genel biçimi ile periyot “tam bir hareketin oluşması için geçen süre” olarak tanımlanır. Frekans tanımında olduğu gibi ilgilenilen hareket türüne bağlı olarak tanımlar değişir. Örneğin; bir dönme hareketinden bahsediliyorsa, “bir tam dönünün oluşması için geçen süre” veya titreşim hareketinden söz ediliyorsa “bir tam dalga oluşması için geçen süre” olarak tanımlanır. Zaman boyutundadır. Birimi saniyedir ve T simgesi ile gösterilir. Periyot ile frekans arasında $T=1/f$ bağıntısı vardır.

Periyodun daha iyi anlaşılması için bir örnek ile pekiştirelim. Örneğin yürüyüş sırasında kolumuzu dengemizi korumak için öne arkaya hareket ettiririz. Bu hareketimiz sırasında kolumuz belli bir yüksekliğe çıkış anında iken bir kronometre ile zamanı başlatıp kolumuz aynı yüksekliğe çıkış anına geldiğinde durdurursak geçen süre bir periyod olacaktır. Bu şekilde her adımımızda bir kol hareketi yaptığımızdan dolayı cep telefonları veya sporcu cihazları yardımıyla adım sayar (pedometre) yapılmıştır.

Örnek 1.6: Bir dalga üretici 1 saniyede 20 tane kare dalga üretmektedir. Buna göre dalga üreticinin frekansı ve periyodunun sayısal değeri ve birimi nedir?

Çözüm: Çözüm için frekans ve periyot tanımını iyi bilmemiz gerekiyor. Birim zamanda yani 1 saniyede 20 tane kare dalga üretiyorsa tanıma göre 20 sayısı frekansın sayısal değeridir.

$f=20s^{-1}$ dir dolayısıyla $T=1/f$ bağıntısından $T=1/20 (s^{-1})=0,05 s$ olur.

Öğrenme Çıktısı



4 Elektrik akımı, direnç ve potansiyel farkı kavramlarını tanımlayabilme
5 İletken bir telin direncinin bağlı olduğu nicelikler ile elektrik akımı ve potansiyel farkı ile olan ilişkisini (Ohm yasasını) açıklayabilme

Araştır 3

Elektrik tellerine konan kuşları neden elektrik çarpmaz?

İlişkilendir

Elektrik çarpmaları ile ilgili iş güvenliği açısından hangi konulara dikkat etmeliyiz?

Anlat/Paylaş

İnsan vücudu için öldürücü potansiyel farkı değerinin ne olduğunu biliyor musunuz?

ELEKTRİK DEVRE ELEMANLARI

Elektrik devresinde bulunan güç kaynakları ve çeşitleri, direnç ve çeşitleri ve de ampermetre ile voltmetre ölçüm aletleri gibi basit devre elemanlarından bu bölümde kısaca bahsedilecektir.

Güç Kaynakları (Üreteçler)

Güç kaynakları, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren devre elemanlarıdır. Kaynak tipine göre gerilim kaynağı veya akım kaynağı, zaman bağımlılığına göre doğru akım (DC) kaynakları ve alternatif akım (AC) kaynakları olarak ikiye ayrılırlar. Ayrıca devre eleman bağımlılığına göre de bağımlı kaynaklar ve bağımsız kaynaklar olarak ikiye ayrılır. Biz bu kitapta bağımsız kaynakları kullanmaktayız.

		Tipine Göre	
		Gerilim Kaynağı	Akım Kaynağı
Zamanla yön değişimine göre	DC		
	AC		
Eleman bağımlılığına göre	Bağımlı		
	Bağımsız		

Şekil 1.5 Güç kaynakları ve çeşitleri

Şekil 1.5'te tüm kaynak türleri ve sembolleri gösterilmiştir.

Doğru akım kaynakları devreye doğru akım sağlar. Pil, akümülatör, jeneratör ve dinamo doğru akım kaynaklarına örnek verilebilir.

Alternatif akım kaynakları ise alternatif akım sağlar. Alternatör veya alternatif akım jeneratörleri alternatif kaynaklara örnektir.

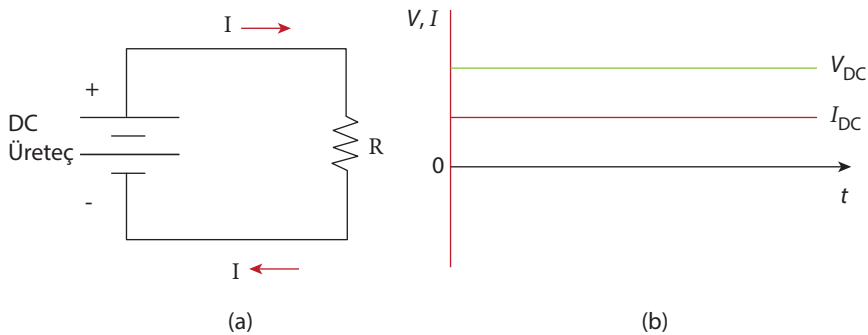
Şimdi de doğru akım ve alternatif akım nedir, kısaca değinelim.

Doğru Akım

Akımın yönü, zamana bağlı olarak değişmez fakat şiddeti değişir. İngilizcede doğru akım anlamına gelen "Direct Current" sözcüklerinin baş harfleri olan DC şeklinde gösterilir.

Şekil 1.6(a)'da R direnci ile doğru akım kaynağı seri bağlanarak oluşturulan basit bir elektrik devresi görülmektedir. Devrenin üzerinden üreteç yardımıyla I akımı geçmektedir.

Şekil 1.6(b)'de ise akımın ve potansiyel farkın zamanla değişim grafiği görülmektedir. Bu grafikte yeşil renkli çizgi, potansiyel farkını, kırmızı renkli çizgi ise devreden geçen akım şiddetini gösterir. Üreteç sabit bir potansiyel farkı sağladığı için büyüklüğü değişmez, sabittir. Buna karşı devreden geçen akım şiddetinin büyüklüğü, devredeki dirençten dolayı Ohm yasasına uygun olarak bir miktar daha düşüktür. Akım şiddeti değeri de zamanla değişmez yani sabittir.



Şekil 1.6 (a) Doğru akım devresi (b) Akım ve potansiyel farkın zamanla değişim grafiği

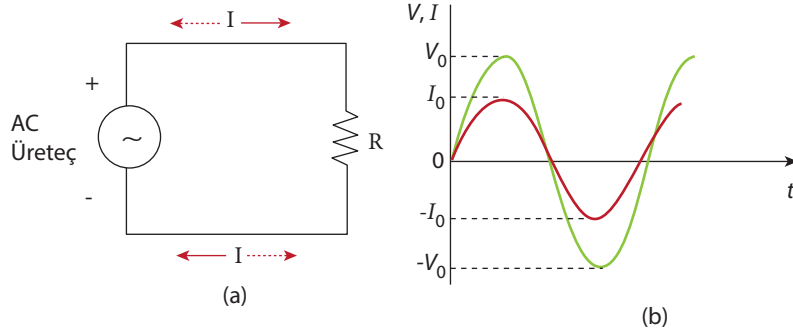
✓ Zamana bağlı olarak yönü değişmeyen akıma *Doğru Akım (DC)*, zamana bağlı olarak yönü değişen akıma *Alternatif Akım (AC)* denir.

Alternatif Akım

Üretecin sağladığı akım yönü ve şiddeti zamanla değişir. İngilizcede alternatif akım anlamına gelen “Alternating Current” sözcüklerinin baş harfleri olan AC veya Türkçe baş harflerin kısaltılmasıyla AA şeklinde gösterilir.

Şekil 1.7(a)’da R direnci ile alternatif akım üreteci seri bağlanarak oluşturulan basit bir elektrik devresi görülmektedir. Devrenin üzerinden üreteç yardımıyla I akımı geçmektedir.

Şekil 1.7(b)’de ise akımın ve potansiyel farkın zamanla değişim grafiği görülmektedir. Bu grafikte yeşil renkli çizgi, potansiyel farkını, kırmızı renkli çizgi ise devredeki akım şiddetini gösterir. Burada üreteç sabit olmayan yönü ve büyüklüğü zamanla değişen, sinüsel bir fonksiyona uyan, dalgalı olarak potansiyel farkı sağlar. Akım şiddetinin büyüklüğü de potansiyel farkında olduğu gibi sinüsel bir fonksiyon içerir. Devredeki dirençten dolayı akımın genliği direncin artması ile azalır.



Şekil 1.7 (a) Doğru akım devresi (b) Devredeki akım ve potansiyel farkın zamanla değişim grafiği

AC potansiyel farkı için sinüsel denklemi

$$V(t) = V_{max} \sin(2\pi ft) \quad (1.8)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte V_{max} gerilimin maksimum seviyesi (tepe noktası), f dalga şeklinin frekansı, t ise zamanı göstermektedir. Şekil 1.7.b’de $V_{max} = V_0$ olarak verilen değerdir.

Aynı fonksiyon akım için

$$I(t) = I_{max} \sin(2\pi ft) \quad (1.9)$$

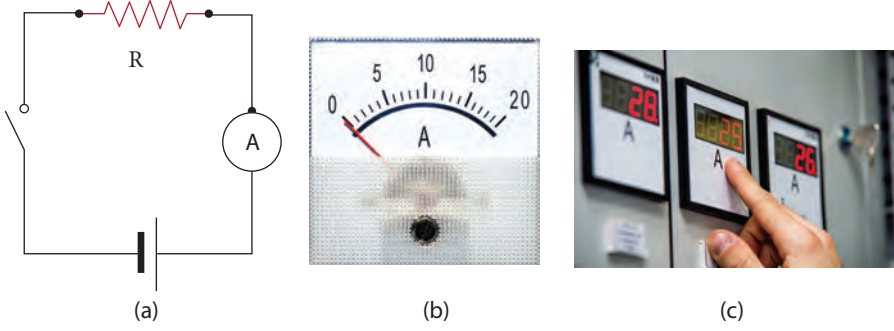
şeklinde yazılabilir. Burada da I_{max} gerilimin maksimum seviyesi (tepe noktası), f dalga şeklinin frekansı ve t ise zamanı göstermektedir. Şekil 1.7(b)’de $I_{max} = I_0$ olarak verilen değerdir.

Ölçüm Aletleri

Elektrik akım şiddeti AC veya DC akıma uygun ampermetre denilen ölçüm aleti ile ölçülür. Devrenin oluşturduğu devre elemanlarının üstüne düşen elektrik potansiyel farkları ise AC veya DC akıma uygun voltmetrelerle ölçülür.

Ampermetre

Elektrik akım şiddetini ölçen cihazdır. Elektrik devrelerindeki gösterimi çember içine alınmış "A" sembolüdür. Şekil 1.8'de ampermetrenin DC devredeki bağlantı şeması, analog ve dijital ampermetre görünümü verilmiştir.



Şekil 1.8 (a) ampermetrenin devre bağlantısı gösterimi (b) analog ampermetre görsel (c) dijital ampermetre görseli

Ampermetre, devre üzerinden geçen akımı ölçülebilmesi için devreye *seri* bağlanır.

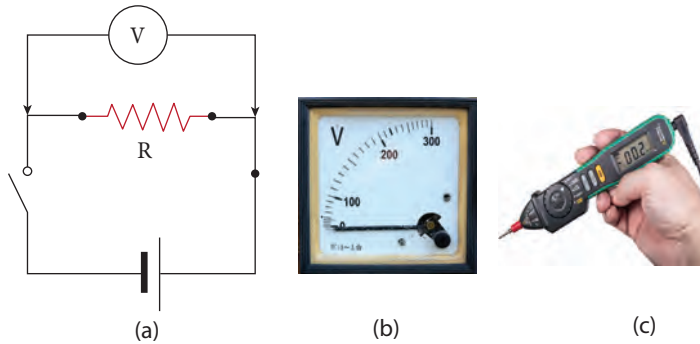
Akım kaybının olmaması için de ampermetrenin iç direncinin oldukça küçük olması gerekmektedir ($\sim 0-1 \Omega$). Bu nedenle ampermetre bobinleri kalın telli ve az sarımlı yapılır.

✓ Seri bağlanma, bir hat üzerinde hattın arasına bağlanma anlamını taşır.

Ampermetrelerin analog, dijital ve pens ampermetreler gibi yaygın olarak kullanılan çeşitleri vardır. Ampermetreler DC veya AC akım cinslerini mA seviyesinden kA seviyesine kadar ölçüm değerlerini ölçebilecek yetenekte üretilirler.

Voltmetre

Elektrik potansiyel farkını ölçen cihazdır. Elektrik devrelerindeki gösterimi, çember içine alınmış "V" sembolüdür. Şekil 1.9'da Voltmetrenin DC devredeki bağlantı şeması, analog ve dijital voltmetre çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 1.9 (a) voltmetrenin devre bağlantısı gösterimi (b) analog voltmetre görseli (c) sayısal göstergeli (dijital) voltmetre görseli

Voltmetre devreye paralel bağlanır ve kaynağın gerilimini düşürecek kadar akım çekmemesi için voltmetrelerin iç direncinin çok büyük olması gerekir Bu yüzden voltmetrenin bobinleri ince telli ve çok sarımlı olarak üretilir.

✓ Paralel bağlanma, potansiyel farkını ölçülecek iki noktaya bağlanması anlamını taşır.

**dikkat**

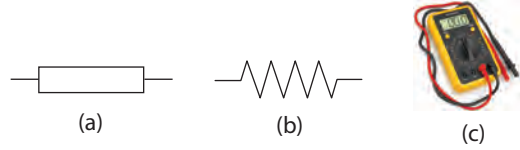
Ampermetre devreye seri, voltmetre devreye paralel bağlanır.

Voltmetrelerin analog ve dijital voltmetreler gibi yaygın kullanılan çeşitleri vardır. Voltmetreler de ampermetreler gibi DC veya AC gerilimleri V seviyesinden kV seviyesine kadar ölçüm değerlerini ölçebilecek yetenekte üretilirler.

Dirençler

Temel kavramlar konu başlığı altında temel terim olarak direncin tanımı yapılmış direncin nelere bağlı olduğundan ve Ohm yasasından kısaca bahsedilmiştir. Bu bölümde ise direnç, devre elemanı olarak ele alınacaktır.

Bir devrelerde dirençler, akım bölmek, gerilim bölmek veya akım sınırlamak amaçlarıyla kullanılır. Elektrik ve elektronik devrelerinde “*R*” harfi ile gösterilir. Şekil 1.10’da direncin devredeki gösterimi ve direnç ölçüm aleti multimetre gösterilmektedir.



Şekil 1.10 (a) ve (b) direncin devre çizimindeki gösterimi (c) multimetre gösterimi

Direnç Çeşitleri

Dirençler dışarıdan gelen etki ile değerinin değişim durumuna göre sabit dirençler veya değişken dirençler olarak ikiye ayrılır. Tablo 1.5’te direnç çeşitleri görselleri ile gösterilmiştir.

Tablo 1.5 Direnç çeşitleri

Görsel	İsim	Çeşit
	Karbon direnç	Sabit direnç
	Entegre direnç	Sabit direnç
	Potansiyometre	Değişken direnç
	Tripot	Değişken direnç

	Işık etkili direnç (LDR)	Ortam etkili direnç
	Isı etkili direnç (NTC) Sıcaklık artarsa direnç düşer.	Ortam etkili direnç
	Isı etkili direnç (PTC) Sıcaklık azalırsa direnç artar.	Ortam etkili direnç

Dirençlerin Renk Kodu ile Büyüklüğünün Belirlenmesi

Dersimiz uygulamalarında daha çok karbon dirençler kullanılacaktır. Farklı büyüklüklerde ve toleransla üretilen bu tür dirençler, üzerlerinde direnç değerlerini ve toleransını yansıtan renk kodları ile üretilirler. Tasarladığımız bir devre için gerekli teorik hesaplamalar yapılarak uygun direnç bulunur. Elimizde bulunan dirençlerin doğru olanını seçmek için elimizde ölçüm aleti bulunmadığı durumda, dirençlerin üzerindeki renklere karşılık gelen renk kodları yardımıyla sayısal değerleri hesaplanır. Ölçüm aleti varsa da uygun bir ölçüm aleti ile ölçüm yapılarak doğru direnç belirlenir.

Şekil 1.11'deki tabloda görüldüğü gibi 4 renk kodlu direnç için, öncelikle ilk 2 rengin karşılığı olan sayısal değer yazılır, 3. renk çarpana aittir. Son renk ise direncin artı/eksi tolerans değerine karşılık gelir. Benzer şekilde 5 renk kodlu direnç için ilk 3 rengin karşılığı olan sayısal değer yazılır, 4. renk çarpana eşittir. Son renk direncin artı/eksi tolerans değerine karşılık gelir. Tüm bu belirlemeler sonunda gerekli hesaplamalar yapılarak direncin değeri bulunur.



Renk	1.Bant	2.Bant	3.Bant	Çarpın	Tolerans
SİYAH	0	0	0	1Ω	
KAHVERENGİ	1	1	1	10Ω	± %1
KIRMIZI	2	2	2	100Ω	± %2
TURUNCU	3	3	3	1kΩ	
SARI	4	4	4	10kΩ	
YEŞİL	5	5	5	100kΩ	± %0.5
MAVİ	6	6	6	1MΩ	± %0.25
MOR	7	7	7	10MΩ	± %0.1
GRİ	8	8	8		± %0.05
BEYAZ	9	9	9		
ALTIN				0.1Ω	± %5
GÜMÜŞ				0.01Ω	± %10



Şekil 1.11 Direnç renk kodları tablosu (4 renk kodlu ve 5 renk kodlu direnç gösterimi ile)



dikkat

Siyah renkli bant değerinin sıfır olduğu için 1. bantta olamayacağını, son renk kodunun toleransa karşılık geleceği unutulmamalıdır.

Örnek 1.7: Şekil 1.12’de görülen direncin renk koduna göre değerini ve toleransını belirleyiniz.



Şekil 1.12 Sayısal değeri bilinmeyen direnç

Çözüm: Şekil 1.12’de değeri bilinmeyen direncin renk bantları numaralandırılarak Şekil 1.13’te gösterilmiş ve numaraların karşılıkları yazılarak direncin değeri hesaplanmıştır.



Şekil 1.13 Sayısal değeri bilinmeyen direncin renk numaraları ve karşılığı olan veriler

1. bant kahverengi; sayısal değeri: 1
2. bant siyah; sayısal değeri: 0
3. bant kırmızı; sayısal değeri: 2 çarpan bandı olduğundan değeri $\times 10^2$
4. bant altın rengi; yani tolerans değeri $\pm 5\%$ olur.

Direnç değeri: $R = 10 \times 10^2 \pm 5\% \Omega$

Toleransı $\pm 5\%$ olmasıyla, renk kodların bulunan değer (10×10^2) ile tolerans değeri ile çarpılması $(10 \times 10^2 \times 0,05 = 50 \Omega)$ anlamını taşır. Bu değer renk kodlarıyla bulunan değer ile toplanıp çıkarılır. Böylelikle, $R_{\min} = 950 \Omega$ veya $R_{\max} = 1050 \Omega$ arası bir değer gösterebilir.

Örnek 1.8: 681 k Ω değerindeki 5 bantlı bir direnç $\pm 1\%$ toleransla üretilmiş olsun. Üzerindeki renk kodlarını bulalım.

Çözüm:

1. bant 6; renk kodu mavi
2. bant 8; renk kodu gri
3. bant 1; renk kodu kahverengi
4. bant çarpan $\times 10^3$; renk kodu turuncu
5. bant tolerans $\pm 1\%$; renk kodu kahverengi

Direnç değeri; $R = 681 \times 10^3 \pm 1\%$ yani $R_{\min} = 674,19 \text{ k}\Omega$ veya $R_{\max} = 687,81 \text{ k}\Omega$ arası herhangi bir değer olabilir. Belirlenen renk kodları ile üretilen direncin görseli Şekil 1.13’te verilmiştir.



Şekil 1.14 Örnek 1.8’de Renk kodları belirlenen direnç

Renk kodlarına hangi sayının karşılık geldiği ve renk kodunun kaçınıcı bant seviyesinde olduğu biliniyorsa direnç değeri doğru şekilde belirlenmiş olunur.

Eğer elimizde ölçüm cihazımız varsa, bilinmeyen dirençler bu ölçüm cihazı ile ölçülür.

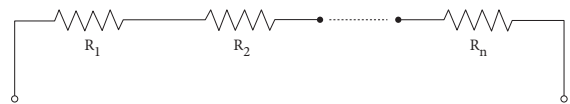
✓ Elektrik devresinde hem potansiyel farkı, hem geçen akım hem de devre elemanlarının büyüklüğünü ölçen cihaza **Multimetre** (çoklu ölçüm) cihazı denir.

Dirençlerin Seri Bağlanması

Dirençlerin uç uca eklenerek oluşturulan bağlanma şeklidir. Devreyi oluşturan dirençler tek bir direnç ile bağlanmak istenirse, bu dirençlerin tümünün sayısal değerleri toplanır. Bu değer de eşdeğer dirence ($R_{eş}$) eşittir. Seri bağlı devrede eşdeğer direnç;

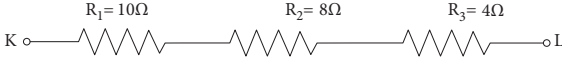
$$R_{eş} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1.10)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.15 Seri bağlı dirençlerin gösterimi

Şekil 1.15’te n adet direncin uç uca eklenmesi ile oluşturulan seri bağlı dirençler gösterilmiştir. Şimdi birkaç örnek vererek konuyu daha iyi anlayalım.

Örnek 1.9:**Şekil 1.16** Seri bağlı R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinin gösterimi

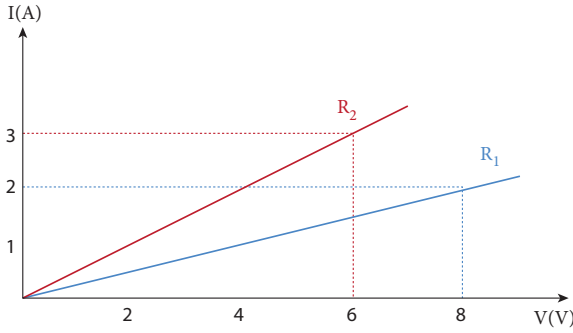
Şekilde verilen devrenin K ve L noktaları arasındaki dirençlerin eşdeğer direnci kaç Ohm (olur?

Çözüm: Devre seri bağlı olduğundan eşdeğer direnç eşitlik (1.10) kullanılarak

$$R_{eş} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eş} = 10 + 8 + 4 = 22 \Omega$$

Örnek 1.10: Özdeş malzemeden yapılmış, farklı iki R_1 ve R_2 dirençleri ile seri bağlı devre oluşturmak isteniyor. Dirençlere ait potansiyel farkına karşı akım grafiği Şekil 1.17'de verilmiştir. Buna göre dirençlerin eşdeğeri kaç Ohm (Ω) olur?

**Şekil 1.17** R_1 ve R_2 dirençleri için potansiyel farkına bağlı akım değişimi

Çözüm: Eşitlik (1.3)'te verilen Ohm yasasını inceleyelim. Eşitlikte de görüldüğü gibi potansiyel farkının akıma oranı dirence eşittir. Eğer bir potansiyel farkına karşı akım grafiği verilmişse biz bu grafiğin eğiminden dirence ulaşabiliriz. Şekil 1.17'de verilen grafiğin eğimi $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ bize direncin tersini $\left(\frac{1}{R}\right)$ verir. Grafiğin eğiminden R_1 ve R_2 dirençlerinin büyüklüğü

$$R_1 = \frac{8}{2} = 4\Omega$$

$$R_2 = \frac{6}{3} = 2\Omega$$

Seri bağlı devrede eş değer direnç ise;

$$R_{eş} = R_1 + R_2$$

$$R_{eş} = 4 + 2 = 6 \Omega$$

olarak bulunur.

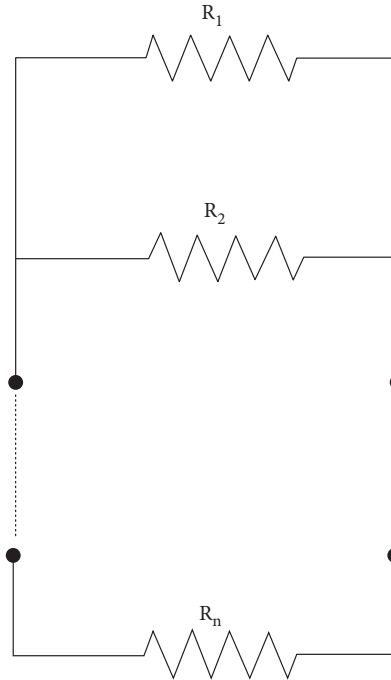
Dirençlerin Paralel Bağlanması

Dirençlerin üst üste gelecek şekilde uçları bağlanarak oluşturulan bağlama şeklidir. Devreyi oluşturan tüm dirençlerin yerine geçecek eşdeğer direnç ($R_{eş}$) değeri bulurken, devredeki tüm dirençlerin tersleri toplanır ve eşdeğer direncin tersine eşitlenir.

Paralel bağlı devrede eşdeğer direnç;

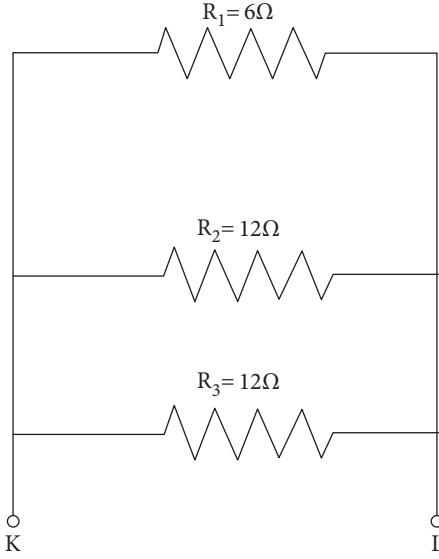
$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.11)$$

olarak bulunur.

**Şekil 1.18** Paralel bağlı dirençlerin gösterimi

Şekil 1.18'de n adet direncin üst üste gelecek şekilde uçları bağlanmasıyla oluşturulan paralel bağlı dirençler gösterilmiştir.

Örnek 1.11:



Şekil 1.19 Paralel bağlı R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinin gösterimi

Şekil 1.19'da verilen devrenin K ve L noktaları arasındaki dirençlerin eş değer direnci kaç Ohm (Ω) olur?

Çözüm: Devredeki dirençler paralel bağlıdır. Eşdeğer direnç Eşitlik (1.11) kullanılarak,

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$$

$$R_{eş} = 3\Omega$$

olarak bulunur.

Dirençlerin Karışık Bağlanması

Dirençlerin hem uç uca hem de üst üste gelecek uçlarının birleşmesi ile oluşturulan karışık

bağlama şeklidir. Devreyi oluşturan tüm dirençlerin yerine geçecek eşdeğer direnç ($R_{eş}$) değerini bulurken, nasıl dört işlemleri bir matematik problemlerini çözümlerken öncelik sırası parantez içinden başlarsa elektrik devrelerinde de aynı mantık söz konusudur. Elektrik devrelerinde, öncelikle devreyi oluşturan karışık dirençlerin hangilerinin paralel hangilerinin seri bağlı olduğuna karar vermek gerekmektedir. Sonra paralel olan ve seri olan dirençler kendi aralarında parantez içi işlem gibi çözümlenir. Her bir devre tipinin eş değer direnci hesaplanır. En sonunda da bu eşdeğer direnç topluluğu hangi tip bağlanma özelliğine sahipse tüm devrenin eşdeğer direnç değerine ulaşılır.

Devredeki dirençleri basit bir devreye dönüştürmek ve hangilerinin paralel hangilerinin seri olduğuna karar vermek için ilk adım direnç diziliminin nerede başlayıp nerde bittiğini düz bir doğru parçası üzerine taşımaktır.



dikkat

“Şekildeki devrede K-L uçları arasındaki dirençlerin eşdeğeri nedir?” soru kökünde ipucu gizlidir. Burada devrenin başlangıç ucu K bitiş ucu ise L noktasıdır.

Başlangıç noktası bir uca, bitiş noktası diğer uca yazılır. Devredeki tüm düğüm noktaları belirlenip istenilen harflerle isimlendirme yapılır.



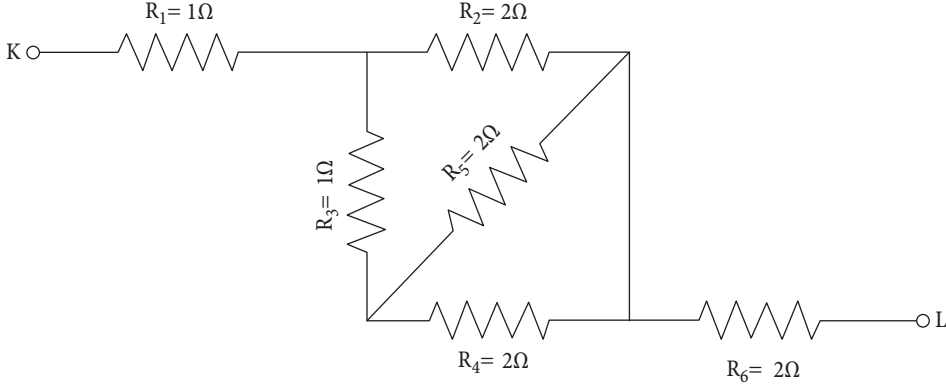
dikkat

Aynı tel üzerinde olan potansiyelinde değişim olmayan noktalar aynı harfle isimlendirilir.

Burada düğüm noktaları iki veya daha fazla direncin bir başka direnç grubu ile bağlandığı noktalara verilen isimdir. Düğüm noktaları başlangıç ve bitiş noktaları arasına sırasıyla yerleştirilir. Bu düğüm noktaları arasındaki tüm dirençler yerleştirilir. Devre daha basit hâle getirilerek çözümleme yapılır ve eşdeğer direnç hesaplanır.

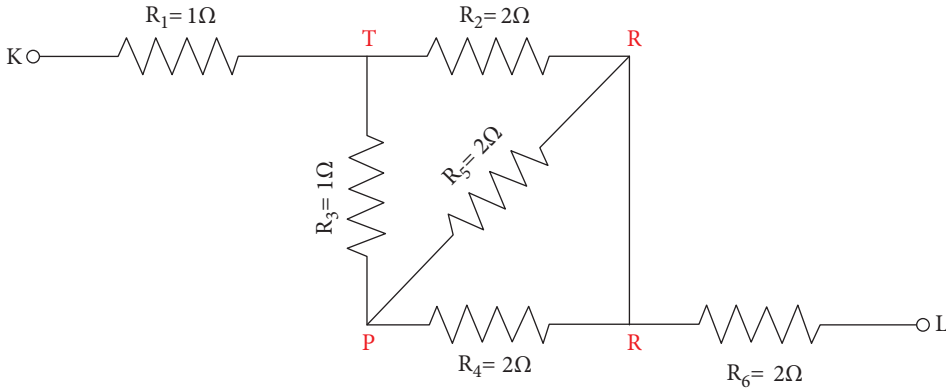
Şimdi bu çözümlemenin nasıl yapıldığını daha iyi anlamak için örnekleri inceleyelim.

Örnek 1.12: Şekil 1.20’de verilen devrenin K ve L noktaları arasındaki dirençlerin eşdeğer direnci kaç Ohm (Ω) olur?



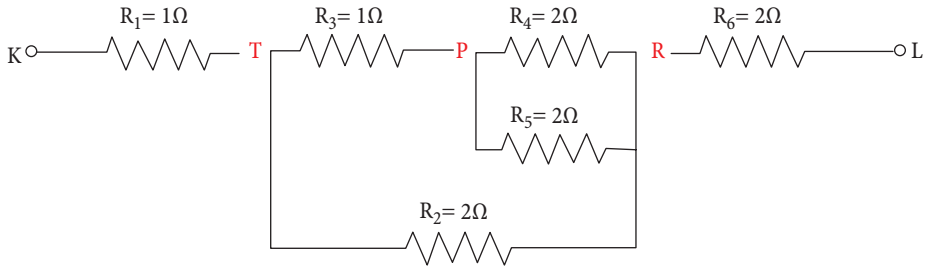
Şekil 1.20 Karışık bağlı R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 ve R_6 dirençlerinin gösterimi

Çözüm: Öncelikle K-L uçları arasındaki düğüm noktaları belirlenip istenilen harflerle isimlendirme yapılır.



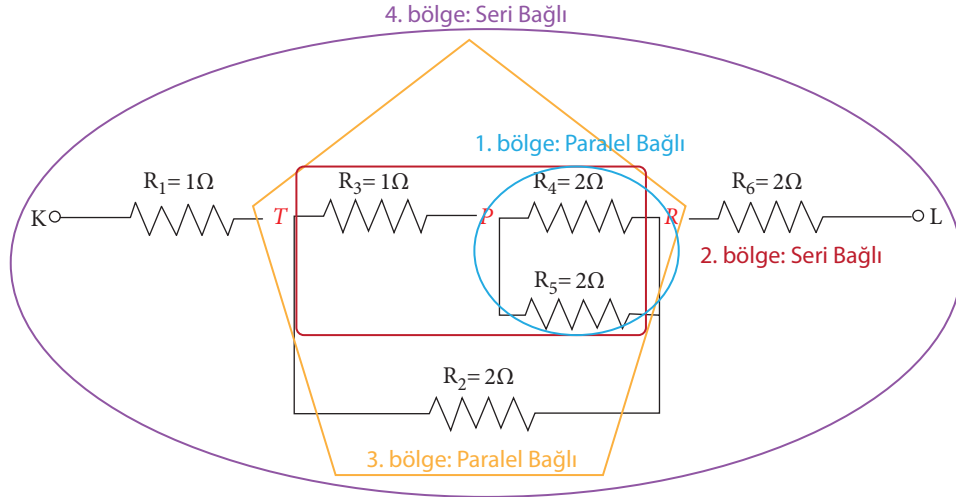
Şekil 1.21 Karışık bağlı direnç devresinin düğüm noktalarının gösterimi

Doğru parçası üzerine başlangıç, düğüm noktaları, bitiş noktaları yazılır ve dirençler yerleştirilir.



Şekil 1.22 K-L noktası arasındaki düğüm noktaları arasına yerleştirilen dirençlerin gösterimi

Seri ve paralel bağlı dirençler ayrı ayrı gruplandırılır.



Şekil 1.23 Seri ve paralel bağlı direnç gruplarının gösterimi

Eş değer direnç Eşitlik (1.10) ve Eşitlik (1.11) kullanılarak,

1. Bölge: Paralel

$$\frac{1}{R_{eş-1}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1\Omega$$

2. Bölge: Seri

$$R_{eş-2} = R_{eş-1} + R_3 \quad R_{eş-2} = 1 + 1 = 2\Omega$$

3. Bölge: Paralel

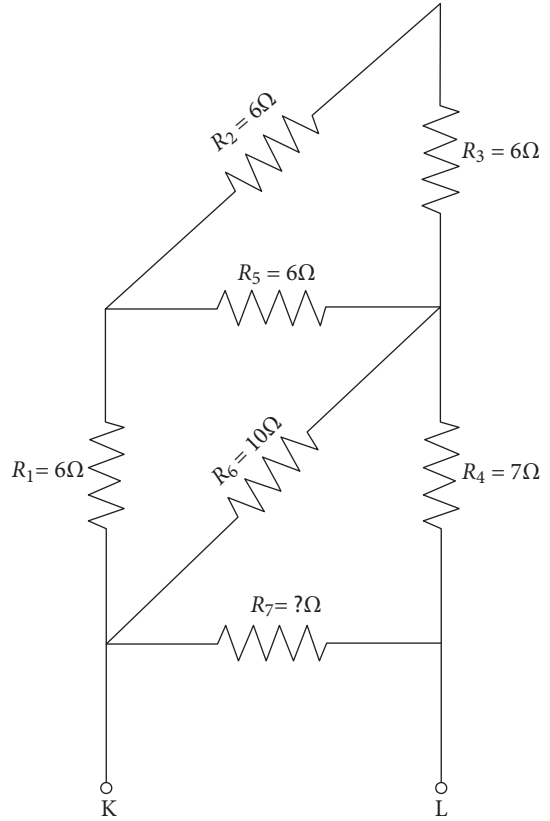
$$\frac{1}{R_{eş-3}} = \frac{1}{R_{eş-2}} + \frac{1}{R_2} \quad \frac{1}{R_{eş-3}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1\Omega$$

4. Bölge: Seri

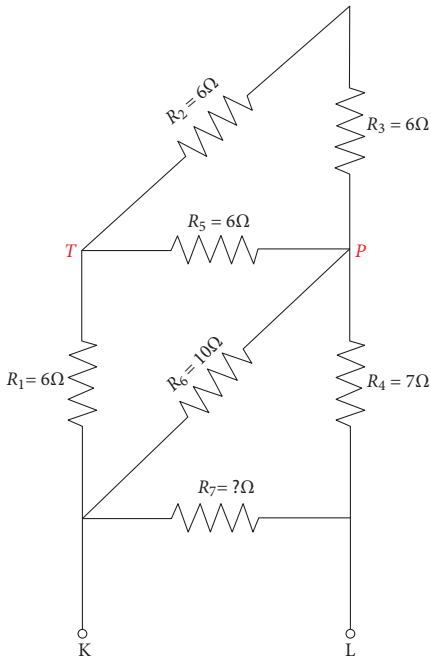
$$R_{eş} = R_1 + R_{eş-3} + R_6 \quad R_{eş} = 1 + 1 + 2 = 4\Omega$$

olarak hesaplanır.

Örnek 1.13: Şekil 1.24'te verilen devrenin K ve L noktaları arasındaki dirençlerin eşdeğer direnci $R_{eş}=6\Omega$ olduğuna göre R_7 direnci kaç Ohm (Ω) olur?

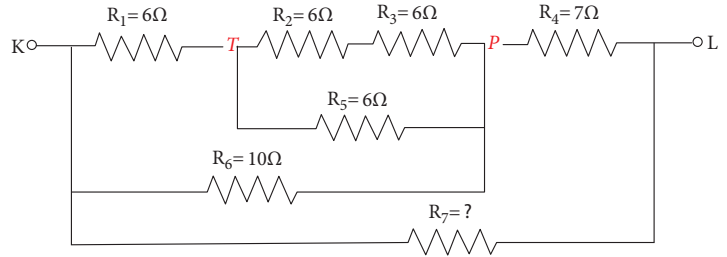
Şekil 1.24 Karışık bağlı R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 ve R_7 dirençlerinin gösterimi

Çözüm: Öncelikle K-L uçları arasındaki düğüm noktaları belirlenip istenilen harflerle isimlendirme yapılır.



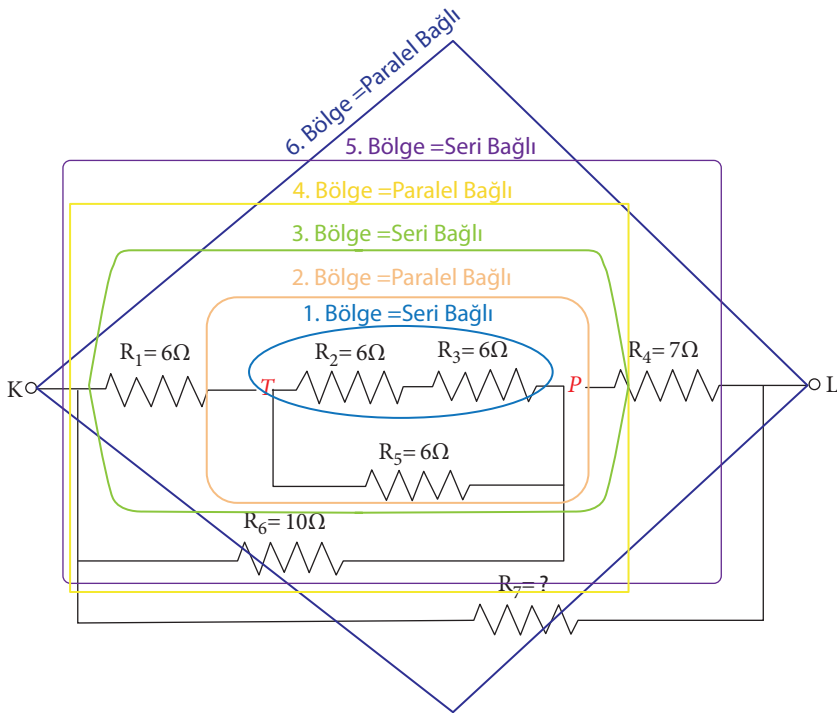
Şekil 1.25 Karışık bağlı direnç devresinin düğüm noktalarının gösterimi

Doğru parçası üzerine başlangıç, düğüm noktaları, bitiş noktaları yazılır ve dirençler yerleştirilir.



Şekil 1.26 K-L noktası arasındaki düğüm noktaları arasına yerleştirilen dirençlerin gösterimi

Seri ve paralel bağlı dirençler ayrı ayrı gruplandırılır.



Şekil 1.27 Seri ve paralel bağlı direnç gruplarının gösterimi

Eşdeğer direnç Eşitlik (1.10) ve Eşitlik (1.11) kullanılarak,

1. Bölge: Seri

$$R_{eş-1} = R_2 + R_3 \quad R_{eş-1} = 6 + 6 = 12\Omega$$

2. Bölge: Paralel

$$\frac{1}{R_{eş-2}} = \frac{1}{R_{eş-1}} + \frac{1}{R_5}$$

$$\frac{1}{R_{eş-2}} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{R_{eş-2}} = \frac{1}{12} + \frac{2}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

$$R_{eş-2} = 4\Omega$$

3. Bölge: Seri

$$R_{eş-3} = R_1 + R_{eş-2} \quad R_{eş-3} = 6 + 4 = 10\Omega$$

4. Bölge: Paralel

$$\frac{1}{R_{eş-4}} = \frac{1}{R_{eş-3}} + \frac{1}{R_6}$$

$$\frac{1}{R_{eş-4}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$$

$$R_{eş-4} = 5\Omega$$

5. Bölge: Seri

$$R_{eş-5} = R_4 + R_{eş-4}$$

6. Bölge: Paralel

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{eş-5}} + \frac{1}{R_7}$$

Soruda $R_{eş} = 6\Omega$ olarak verilmişti. Veriler eşitlikte yerine konulduğunda

$$\frac{1}{6} = \frac{1}{12} + \frac{1}{R_7}$$

$$\frac{1}{R_7} = \frac{1}{6} - \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R_7} = \frac{2}{12} - \frac{1}{12} = \frac{1}{12}$$

$$R_7 = 12\Omega$$

olarak bulunur.

Öğrenme Çıktısı



6 Üreteç, direnç ve çeşitleriyle akım ve gerilim ölçüm cihazlarını ayırt edebilme
7 Seri, paralel ve karışık bağlı direnç devrelerini çözümleyebilme

Araştır 4

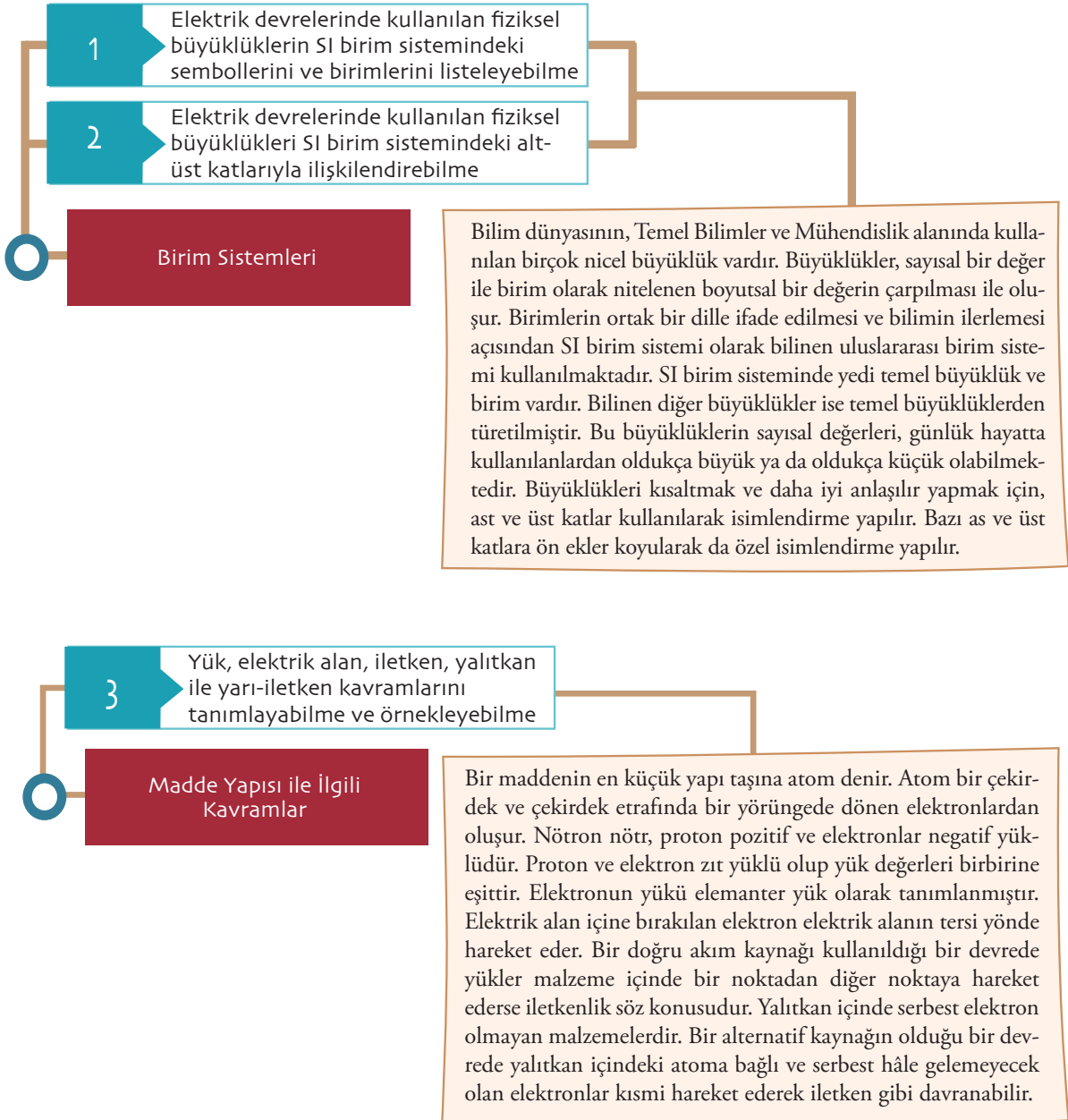
Ampermetre ve voltmetre seçilirken nelere dikkat edilmelidir?

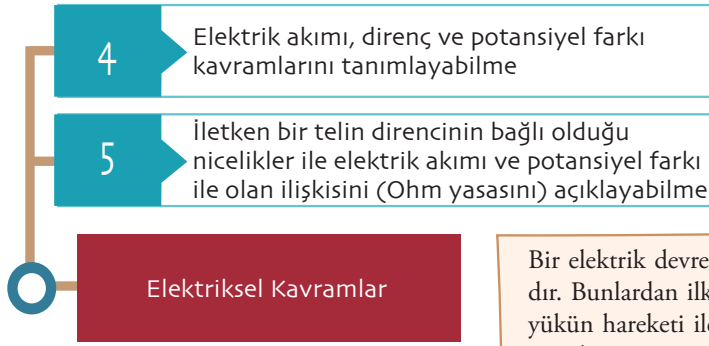
İlişkilendir

Faz kalemi diğer yaygın adıyla kontrol kalemi nasıl çalışır?

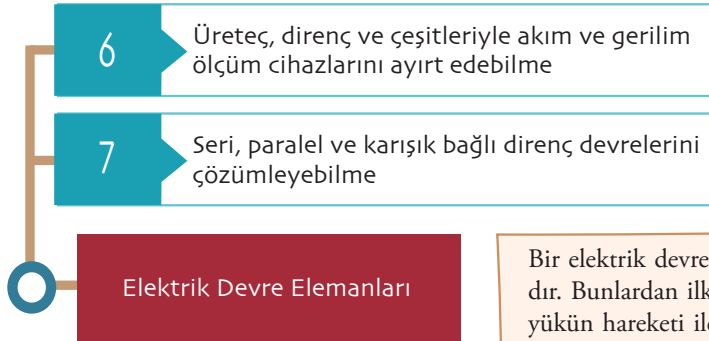
Anlat/Paylaş

Bir insan vücudu kaç volt-luk gerilime dayanır?





Bir elektrik devresi için bilinmesi gereken bazı kavramlar vardır. Bunlardan ilki devredeki elektrik akımıdır. Elektrik akımı yükün hareketi ile olur. Elektrik akımı iletken telin iki ucuna uygulanan potansiyel farkı etkisi ile oluşur. Potansiyel, birim yükü bir noktadan başka bir noktaya getirmek için yapılan işe karşılık gelir. Bu nedenle, iletken bir telin pozitif ucundan negatif ucuna doğru bir yük akışı söz konusudur. Bir devrede elektrik akımının yönü elektronların tersi yönündedir. Potansiyel farkı devrede bulunan devre elemanlarının elektrik akımına gösterdiği zorluktan dolayı oluşur. Akıma karşı gösterilen bu zorluğa direnç denir. İletken bir telin direnci, iletken telin cinsi ve uzunluğu ile doğru, telin kesit alanı ile ters orantılıdır. Bir devrede potansiyel farkı değiştirdiğimizde doğrusal olarak akım da değişim gösterir. Potansiyel farkı ile akım arasında sabit bir oran vardır. Bu oran devredeki eşdeğer dirence eşittir. Bu bağıntıya da Ohm yasası diyoruz. Elektrik devresinde bilinmesi gereken terimlerden *frekans* (sıklık) birim zamandaki hareket sayısı, *periyot* ise tam bir hareketin oluşması için geçen süreye denir.



Bir elektrik devresi için bilinmesi gereken bazı kavramlar vardır. Bunlardan ilki devredeki elektrik akımıdır. Elektrik akımı yükün hareketi ile olur. Elektrik akımı iletken telin iki ucuna uygulanan potansiyel farkı etkisi ile oluşur. Potansiyel, birim yükü bir noktadan başka bir noktaya getirmek için yapılan işe karşılık gelir. Bu nedenle, iletken bir telin pozitif ucundan negatif ucuna doğru bir yük akışı söz konusudur. Bir devrede elektrik akımının yönü elektronların tersi yönündedir. Potansiyel farkı devrede bulunan devre elemanlarının elektrik akımına gösterdiği zorluktan dolayı oluşur. Akıma karşı gösterilen bu zorluğa direnç denir. İletken bir telin direnci, iletken telin cinsi ve uzunluğu ile doğru, telin kesit alanı ile ters orantılıdır. Bir devrede potansiyel farkı değiştirdiğimizde doğrusal olarak akım da değişim gösterir. Potansiyel farkı ile akım arasında sabit bir oran vardır. Bu oran devredeki eşdeğer dirence eşittir. Bu bağıntıya da Ohm yasası diyoruz. Elektrik devresinde bilinmesi gereken terimlerden *frekans* (sıklık) birim zamandaki hareket sayısı, *periyot* ise tam bir hareketin oluşması için geçen süreye denir.

1 Devre analizindeki kavramlarla ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Akım, birim zamandaki yük akışıdır.
- B. Akım yönü pozitif uçtan toprak ucuna doğrudur.
- C. Periyodun birimi Hertz (Hz)'dir.
- D. Direnç, akıma karşı gösterilen zorluktur.
- E. Frekans, birim zamandaki hareket sayısıdır.

2 I. Elektrik akımına karşı gösterilen zorluktur.
II. Sıcaklık artınca azalır.
III. Paralel bağlı dirençlerde $R_{ef} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ ile bulunur.

Dirençle ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

- A. Yalnız I
- B. Yalnız II
- C. I ve II
- D. I ve III
- E. II ve III

3 Aşağıdakilerden hangisi direncin değerini değiştiren niceliklerden biri **değildir**?

- A. Telin cinsi
- B. Geçen akım
- C. Ortam sıcaklığı
- D. Telin uzunluğu
- E. Telin kalınlığı

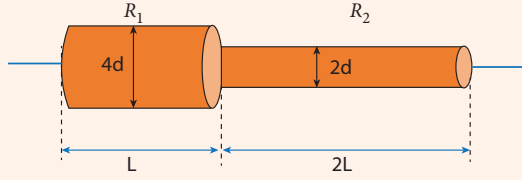
4 Potansiyel farkına karşı akım grafiği verildiğinde aşağıdakilerden hangisine ulaşılır?

- A. Ortam sıcaklığına
- B. Üreteç direncine
- C. Telin kesit alanına
- D. Telin cinsine
- E. Telin $1/R$ değerine

5 "Bu elektrik devresinde kullanılan sığanın büyüklüğü 2 nano faraddır." cümlesindeki sığanın büyüklüğü aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $2 \mu F$
- B. $2 nF$
- C. $20 mF$
- D. $20 nF$
- E. $20 pF$

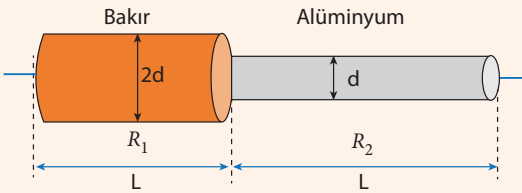
6



Özdeş iki telin kalınlıkları ve uzunlukları şekilde gösterildiği gibidir. Buna göre, tellerin arasındaki bağıntı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $8R_1 = R_2$
- B. $R_1 = 8R_2$
- C. $4R_1 = R_2$
- D. $R_1 = 2R_2$
- E. $2R_1 = R_2$

7



Şekilde bakır ve alüminyumdan yapılmış iki telin kalınlıkları ve uzunlukları verilmiştir. Bakır telin direnci R_1 , alüminyum telin direnci ise R_2 olarak verildiğine göre, bu sistem için aşağıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

($\rho_{\text{bakır}} = 1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, $\rho_{\text{alüminyum}} = 2,82 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) ampermetre

- I. $R_1 < R_2$.
- II. $d_1 = d_2$ iken $R_1 > R_2$
- III. $L_1 = 4L$ iken $R_1 < R_2$

- A. Yalnız I
- B. Yalnız II
- C. I ve II
- D. I ve III
- E. II ve III

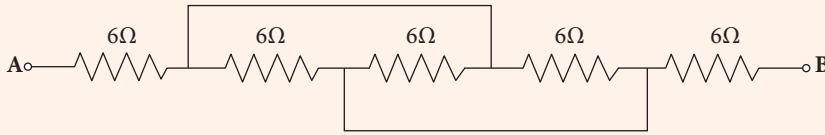
8

- I. Ampermetre ile akım ölçülür.
 II. Ampermetrenin iç direnci çok büyüktür.
 III. Ampermetre devreye seri bağlanır.

Ampermetre ile ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

- A. Yalnız I B. Yalnız II C. I ve II
 D. I ve III E. II ve III

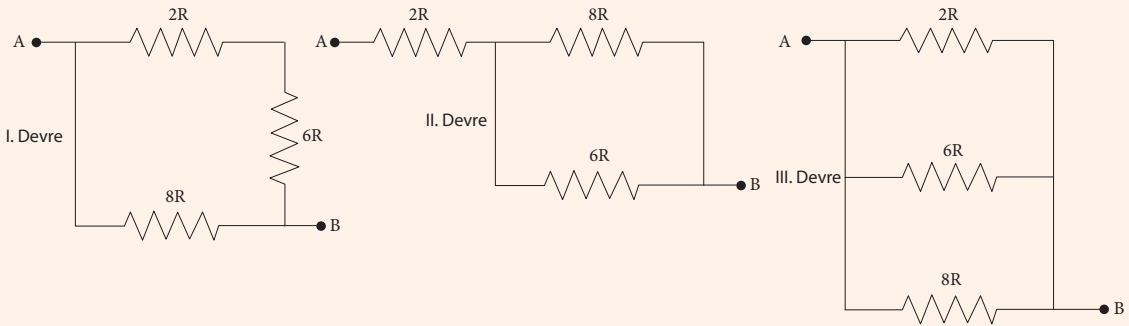
9



Şekildeki AB devre parçası 6Ω 'luk dirençlerle oluşturulmuştur. Buna göre, eşdeğer direnç kaç Ω 'dur?

- A. 14 B. 18 C. 20
 D. 24 E. 30

10



Yukarıdaki şekilde $2R$, $6R$ ve $8R$ dirençlerin oluşturduğu üç devre parçası gösterilmiştir. I. devrenin eşdeğer direnci R_1 , II. devrenin eşdeğer direnci R_2 ve III. devrenin eşdeğer direnci R_3 olduğuna göre, eşdeğer dirençlerin büyüklük sıralanışı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $R_1 > R_2 > R_3$ B. $R_1 > R_2 = R_3$ C. $R_2 > R_1 > R_3$
 D. $R_3 > R_2 > R_1$ E. $R_1 = R_2 = R_3$

1. C

Yanıtınız yanlış ise “Elektirsel Kavramlar” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

2. A

Yanıtınız yanlış ise “Dirençler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

3. B

Yanıtınız yanlış ise “Dirençler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

4. E

Yanıtınız yanlış ise “Dirençler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

5. B

Yanıtınız yanlış ise “As ve Üst Katlar” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

6. A

Yanıtınız yanlış ise “Bir İletkenin Direnci” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

7. D

Yanıtınız yanlış ise “Bir İletkenin Direnci” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

8. D

Yanıtınız yanlış ise “Ölçüm Aletleri” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

9. A

Yanıtınız yanlış ise “Dirençlerin Seri Bağlanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

10. C

Yanıtınız yanlış ise “Dirençlerin Seri ve Paralel Bağlanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

1

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

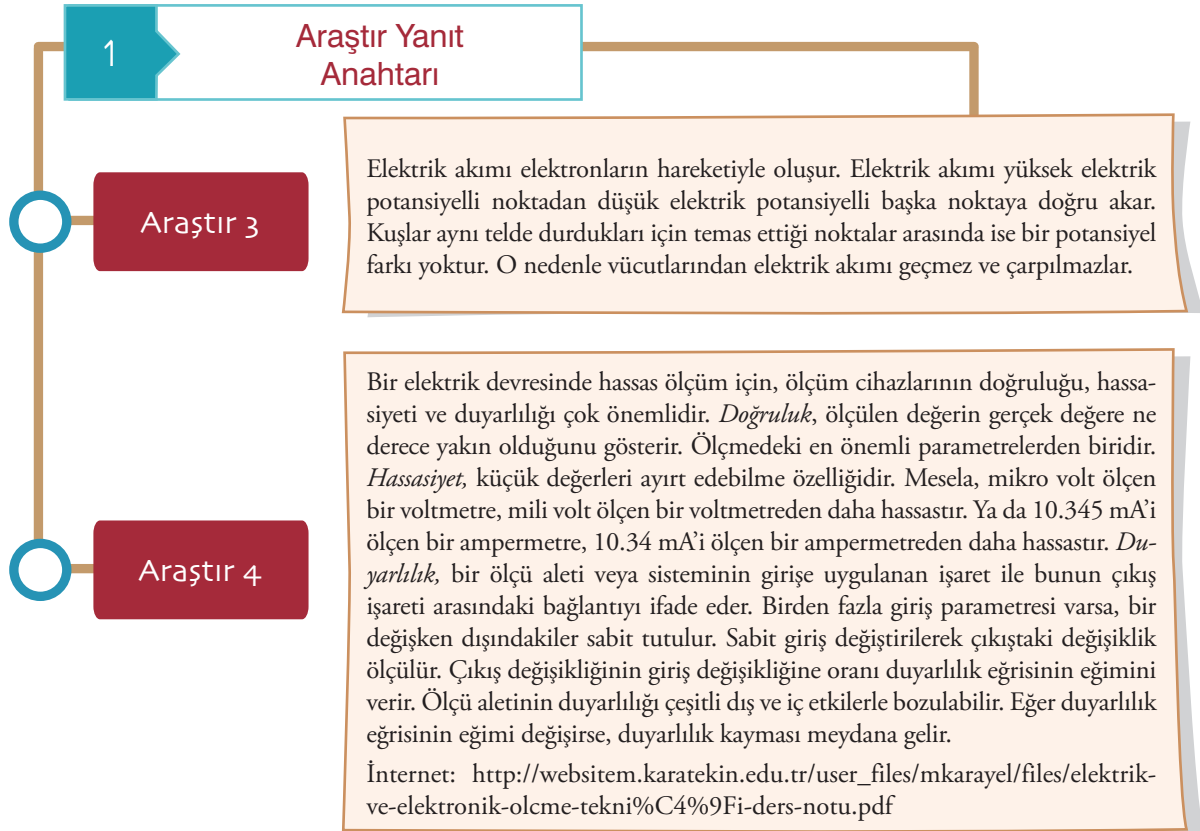
Işık yılı, astronomik uzaklıkları ifade etmek için kullanılan ve yaklaşık $9,46 \times 10^{12}$ km karşılık gelen uzunluk birimidir. Uluslararası Astronomi Birliği'nin (IAU) tanımına göre bir ışık yılı, ışığın bir Jülyen yılında (365,25 gün) boşlukta kat ettiği mesafedir. Burada ışık hızı, ışığın boşluktaki hızı olup c sembolüyle gösterilir. Tam değeri saniyede 299.792.458 metredir. (Yaklaşık olarak 300.000 km/s olduğu söylenir.) 1 IY (km) = Işık hızı (km/s) x bir yıl (saniye)

İnternet: (https://www.iau.org/publications/proceedings_rules/units/)

Araştır 2

Süper-iletkenlik, sıcaklık belli bir değerin altına düştüğünde bir malzemenin direncinin tamamen sıfır olmasıdır. Süper-iletken malzemelerde sıcaklık belirli bir değerin altına düştüğünde malzeme süper-iletken durumuna geçer. Bir elektrik akımı süper-iletken malzemenin içinden hiçbir kaynaktan güç almadan akmaya devam edebilir.

İnternet: (<https://acilci.net/elektrik-yaralanmalari-yonetimi>)



Kaynakça

- Demir, İ., Morgül, L., Tıraş, Y., Kaya, Y. (2020). *Mesleki Teknik Anadolu Lisesi Devre Analizi Ders Kitabı*. Ankara.
- Özüdoğru, M., Şamhal, H., Şen, Y., Canbolat, D., Arifoğlu E., Şimşek, H., Karakoç K., Demir M., Bozkurt, N., Yiğit T. ([1] 2020). *Elektrik ve Manyetizma*. Ankara: Aydın Yayınları.
- Waldmann, V., Narayanan, K., Combes, N. ve Marijon, E. (2017). Electrical injury. *Bmj*, 357, 1-7.

İnternet Kaynakları

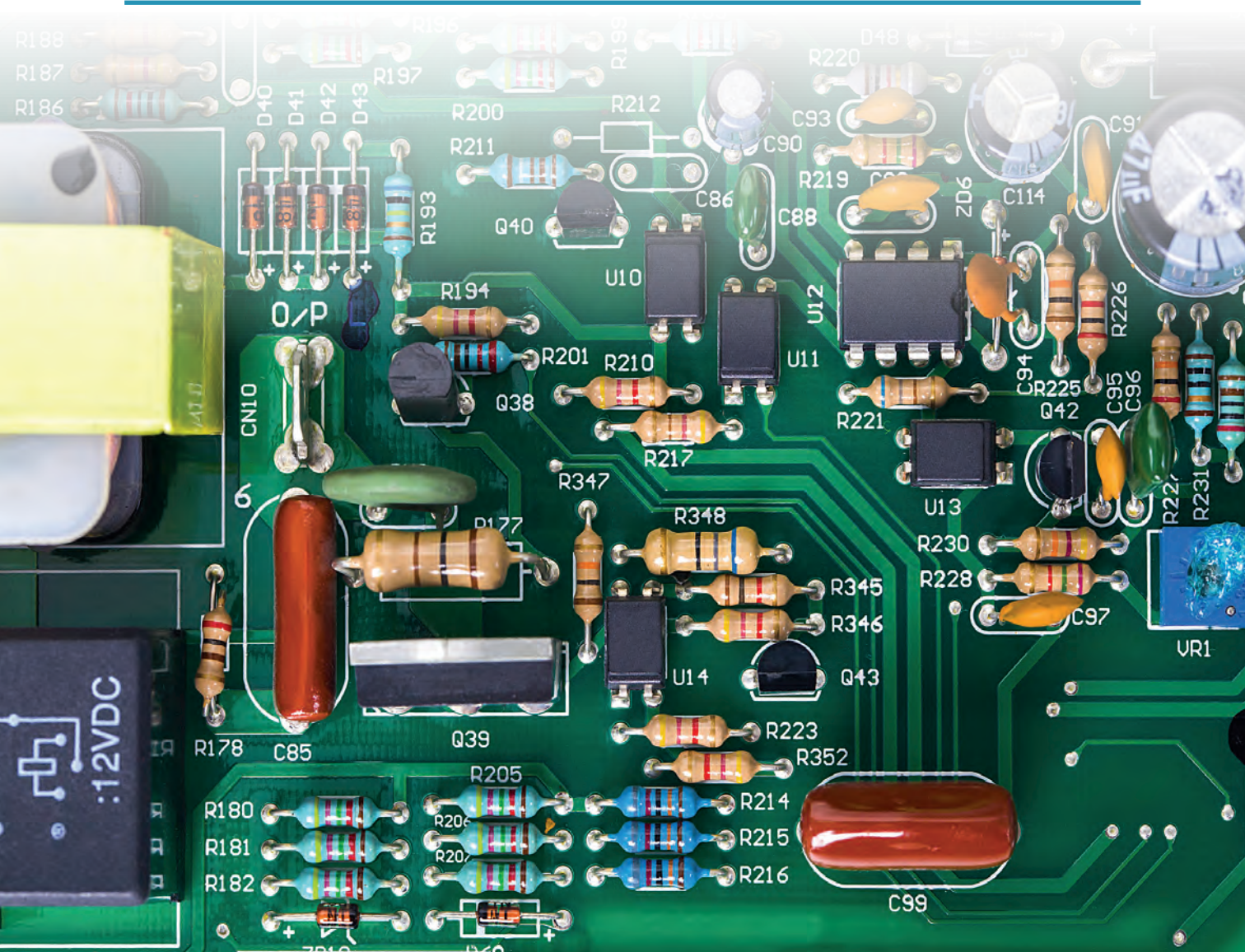
- <https://www.anadoluraylisistemler.org/content/upload/document-files/maglev-20180427095022.pdf>
- <https://acilci.net/elektrik-yaralanmalari-yonetimi/>

Öğrenme çıktıları

Temel Ağ Topolojisi

- ## Kirchhoff Yasaları

- Anahtar Sözcükler:** • Düğüm Noktası • Dal • Döngü • Kirchhoff Gerilim Yasası • Kirchhoff Akım Yasası



GİRİŞ

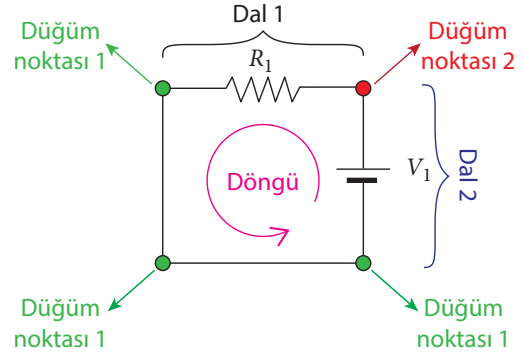
Thales tarafından yapılan ilk elektrik deneylerinin gerçekleşmesi üzerinden yaklaşık 25 yüzyıl geçmiştir. Thales'ten sonra insanoğlu elektriğin doğasını anlayabilmek için birçok deney gerçekleştirdi. Son birkaç yüzyılda ise, elektriği ve elektrikle ilgili kavramları tanımlama üzerine çalıştılar. Kavramların tanımlanması elektronik kavramını ortaya çıkararak teknolojik ilerlemelerin hızlanmasına yol açtı. Elektronik cihazlar elektriğin bir şekilde kullanıldığı cihazlardır. Bu cihazlar tarihsel süreçte oldukça büyük bir oda boyutunu kaplayan alanlardayken günümüzde inanılmaz derecede küçük boyutlara ulaştı. Bu küçük cihazların oluşturduğu devreler ise anlaşılması oldukça zor bir ansiklopedi olarak düşünülebilir.

Parçaların oluşturduğu kitapları okuyabilmek için öncelikle onlara ait olan lisans bilinmelidir. Elektronik aygıtların oluşturduğu bu ansiklopedi için bu lisans devre analizi olarak anılmaktadır. Devre analizi konusu, yüzyıllar öncesinden itibaren doğal olarak elektrik devreleri ve cihazlarına paralel olarak gelişmiştir. 1827 yılında Ohm yasası ve 1845 yılında ise Kirchhoff yasaları tanımlandı. Bu temel yasalar devre analizinin değişmezleridir ve büyük olasılıkla önümüzdeki yıllarda da aynı kalacaklardır. Genel olarak, temel yasalar akılcıca kullanıldıklarında her şeyi tanımlar. Bu nedenle, gelecek teknolojilerdeki karmaşık devreler de basitleştirilmiş bir şekilde temel yasalar ile ifade edilebilecektir. Devre analizi, tıp, otomotiv, bilgisayar gibi birçok sektörde elektriği içeren diğer tüm teknolojilerin yanı sıra elektrik ve elektronik mühendisliğinin tüm alt kategorileriyle doğal olarak bağlantılıdır.

Bu yüzden temel yasaların öğrenilmesi karmaşık sistemlerin çözümüne yardımcı olacaktır. Kirchhoff yasalarının sistematik olarak uygulanması için düğüm ve ağ analiz yöntemleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

TEMEL AĞ TOPOLOJİSİ

Birinci bölümde anlatılan devre elemanlarının farklı kombinasyonlarla birbirine bağlanması sonucu oluşan karmaşık devrelerin analizlerinin yapılabilmesi için temel ağ topolojisi kavramlarını anlamamız gerekir. Temel ağ topolojisi düğüm noktalarından, dallardan ve döngülerden oluşmaktadır. Şekil 2.1'de verilen devrede temel ağ topolojisine ait bileşenler verilmiştir.



Şekil 2.1 Temel ağ topolojisinin temel kavramları olan düğüm noktaları, dallar ve döngülerin gösterimi

- ✓ **Devre:** Kapalı yolları olan bir ağıdır.
- ✓ **Ağ:** İki veya daha fazla aygıtın (devre elemanının) arasındaki bağlantı olarak tanımlanmaktadır.
- ✓ **Topoloji:** Topoloji, geometri dalıdır. Geometrik bir şeklin değişmemiş özelliklerini araştırmaktadır.
- ✓ **Ağ Topolojisi:** Grafik Teorisinin elektrik devrelerinde özel bir uygulamasıdır ve devre elemanlarının bir ağ içerisindeki dizilişlerini, düzenlenmelerini incelemektedir. Elektrik devrelerinin grafiksel bir temsidir. Karmaşık devreleri ağ grafiklerine dönüştürerek analiz etmek için kullanışlıdır.
- ✓ **Dal:** Gerilim kaynağı veya direnç gibi tek bir elemanı temsil eder. Dal, herhangi bir iki uçlu devre elemanı temsil etmektedir. Bir dal, tek bir öğeyi temsil eder. Bir gerilim kaynağı, bir direnç veya bir kapasitör bir dala örnektir. Ağ topolojisi bağlamında, bir çizgisel bölümdür. Bir ağ grafiği çizerken bir ağda (devre) bulunan her iki uçlu elemanı bir çizgi parçasıyla değiştirilir.



dikkat

İki veya daha fazla dal, düğümlerle birbirine bağlıdır.

✓ **Düğüm:** Bir düğüm noktası, iki veya daha fazla dal arasındaki bağlantının “noktası”dır. Genellikle bir devrede nokta ile gösterilir.

✓ **Döngü:** Bir devredeki herhangi bir kapalı yoldur. Bir düğümden başlayarak, bir dizi düğümden geçerek ve herhangi bir düğümden birden fazla geçmeden başlangıç düğüme dönerek kapalı bir yol oluşturulur (Synge, 2021).



dikkat

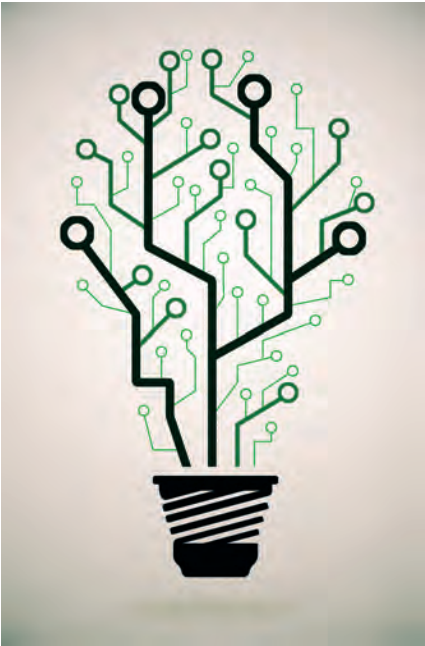
Bir kısa devre (bir bağlantı teli) iki düğümü birbirine bağlarsa, iki düğüm tek bir düğüm oluşturur.

Ağ Topolojisinin Temel Teoremi

Bir ağ topolojisi en basit şekilde ağaca benzetilmektedir. Dallar, düğüm noktaları ve döngülerden oluşmaktadır. Bütün elemanlar birbiriyle ilişkilidir. Örnek vermek gerekirse dalların ortak noktaları düğümdür. Bu ilişki temel ağ teoremi olarak tanımlanmaktadır. Temel ağ teoremi,

$$B = L + N - 1 \quad (2.1)$$

Burada B , N ve L sırasıyla dalların, düğüm noktalarının, döngülerin sayısını tanımlamaktadır (Synge, 2021).



Şekil 2.2 Devreler kendi içlerinde birbirine bağlı ağ bileşenlerinden oluşmaktadır.

Örnek 2.1: Dal sayısı 10, döngü sayı 2 olan bir devrede ağ topolojisinin temel teoremi kullanılarak düğüm noktalarının sayısını hesaplayınız?

Çözüm: Temel ağ teoremine göre dal sayısı, döngü ve döngü noktalarının sayısının bir eksiğidir. Döngü sayısı ve dal sayılarını temel ağ teoremi ifadesinde yerine koyduğumuz zaman,

$$B = L + N - 1$$

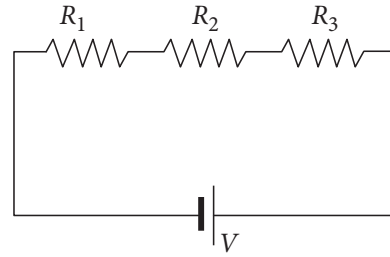
$$B = 10, L = 2$$

$$10 = 2 + N - 1$$

$$N = 9$$

düğüm noktası bulunur.

Örnek 2.2: Seri bağlı dirençlerden oluşan bir devre aşağıda verilmiştir. Bu devrenin topolojik incelemesini yapınız?

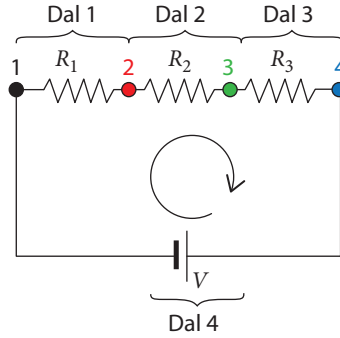


Şekil 2.3 Seri bağlı dirençlerden ve gerilim kaynağından oluşan devre

Çözüm: Seri bağlı dirençlerden oluşan devremizi basit bir yapıya indirebilmek için temel ağ topolojisinin temel kavramları devre üzerinde tanımlanmalıdır. Bu işlem yapılırken aşağıdaki sıra takip edilebilir.

1. Devre içinde bulunan güç kaynağı ve dirençlerin her biri dalları tanımlar ve sayısı 4'tür.
2. Düğüm noktaları;

- Güç kaynağı – R_1 direnci bağlantısı
 - R_1 direnci – R_2 direnci bağlantısı
 - R_2 direnci – R_3 direnci bağlantısı
 - R_3 direnci – Güç kaynağı bağlantısı olmak üzere 4 tane düğüm noktası vardır.
- Devre de tek bir kapalı yol bulunmaktadır. Bu durumda döngü sayısı 1 tanedir.



Şekil 2.4 Temel ağ topolojisinin temel kavramları olan düğüm noktaları, dallar ve döngülerin gösterimi

Ağ topolojisinin temel teoremini kullanarak sağlamamızı yapalım.

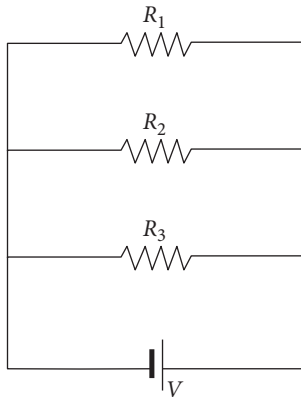
$$B = L + N - 1$$

$$N = 4, L = 1$$

$$B = 1 + 4 - 1$$

$$B = 4$$

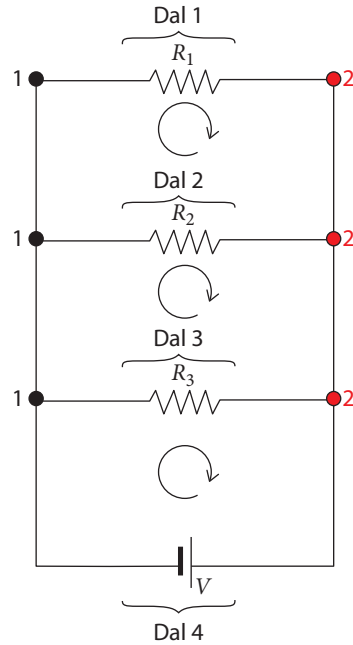
Örnek 2.3: Paralel bağlı dirençlerden oluşan bir devre aşağıda verilmiştir. Bu devrenin topolojik incelemesini yapınız?



Şekil 2.5 Paralel bağlı dirençlerden ve gerilim kaynağından oluşan devre

Çözüm: Paralel bağlı dirençlerden oluşan devremizi basit bir yapıya indirebilmek için temel ağ topolojisinin temel kavramları devre üzerinde tanımlanmalıdır. Bu işlem yapılırken aşağıdaki sıra takip edilebilir.

- Devre içinde bulunan güç kaynağı ve dirençlerin her biri dalları tanımlar ve sayısı 4'tür.
- Düğüm noktaları;
 - Güç kaynağı-dirençlerin bağlantı noktası
 - Dirençlerden – Güç kaynağı bağlantısı olmak üzere 2 tane düğüm noktası vardır.
- Devre de 3 adet kapalı yol bulunmaktadır. Bu durumda döngü sayısı 3 tanedir.



Şekil 2.6 Temel ağ topolojisinin temel kavramları olan düğüm noktaları, dallar ve döngülerin gösterimi

Ağ topolojisinin temel teoremini kullanarak sağlamamızı yapalım.

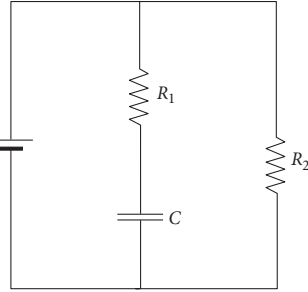
$$B = L + N - 1$$

$$L = 3, N = 2$$

$$B = 3 + 2 - 1$$

$$B = 4$$

Örnek 2.4: Aşağıda verilen devrenin topolojik incelemesini yapınız?

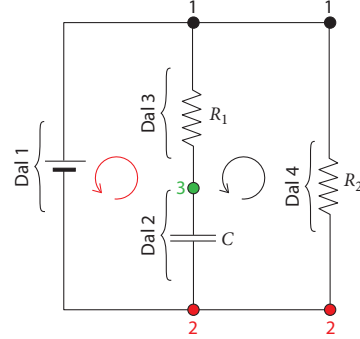


Şekil 2.7 Kapasitör, dirençler ve gerilim kaynağından oluşan devre

Çözüm: Kapasitans ve dirençlerden oluşan devremizi basit bir yapıya indirebilmek için temel ağ topolojisinin temel kavramları devre üzerinde tanımlanmalıdır. Bu işlem yapılırken aşağıdaki sıra takip edilebilir.

1. Devre içinde bulunan güç kaynağı, dirençler ve her biri dalları tanımlar ve sayısı 4'tür.
2. Düğüm noktaları;
 - a. Güç kaynağı $-R_1$ ve R_2 dirençlerin bağlantı noktası
 - b. Güç kaynağı R_2 direnci ve C kondansatörü bağlantı noktası

- c. R_1 direnci ve C kondansatörü bağlantısı olmak üzere 3 tane düğüm noktası vardır.
3. Devrede 2 adet kapalı yol bulunmaktadır. Bu durumda döngü sayısı 2 tanedir.



Şekil 2.8 Temel ağ topolojisinin temel kavramları olan düğüm noktaları, dallar ve döngülerin gösterimi

Ağ topolojisinin temel teoremini kullanarak sağlamamızı yapalım.

$$B = L + N - 1$$

$$L = 2, N = 3$$

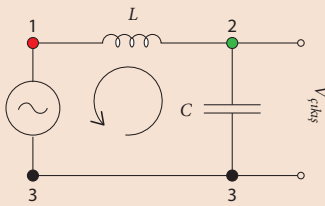
$$B = 2 + 3 - 1$$

$$B = 4$$

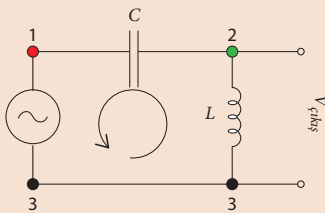
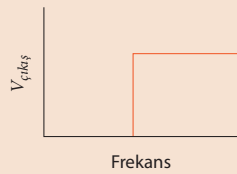


Araştırmalarla İlişkilendir

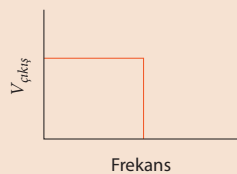
Alçak geçiren filtrelerdeki indüktör ve kapasitörün yerleri değiştirilmesi sonucu yüksek geçişli filtreler elde edilecektir. Kısacası frekans değerine göre devremizden bir çıkış gerilimi gözlenecektir. Şekil 2.9(a)'da yüksek geçiren filtre ve Şekil 2.9(b)'de alçak geçiren filtre ve devreleri gösterilmiştir.



a) Yüksek Geçiren Filtre Devresi



b) Alçak Geçiren Filtre Devresi



Şekil 2.9(a) Yüksek geçiren filtreler

Şekil 2.9(b) Alçak geçiren filtreler

Topolojik olarak bu iki fitre incelendiğinde aşağıdaki sonuçları varsayalım.

1. Her iki devre içinde bulunan güç kaynağı, kapasitans ve indüktans devre içindeki dalları tanımlar ve sayısı 3'tür.
2. Düğüm noktaları;
 - a. Yüksek geçiren filtre devresi için güç kaynağı- indüktans, indüktans-kapasitans ve kapasitans -güç kaynağı bağlantıları olduğundan dolayı 3 tanedir.
 - b. Alçak geçiren filtre devresi için güç kaynağı-kapasitans, kapasitans-indüktans ve indüktans-güç kaynağı bağlantıları olduğundan dolayı 3 tanedir.
3. Her iki devrede de tek bir kapalı yol bulunmaktadır. Bu durumda döngü sayısı 1 tanedir.

Temel olarak iki bileşenin değişmesi nedeniyle, devrenin tüm işlevi değişir ancak topolojisi aynı kalır. Topolojinin aynı kalmasının anlamı aynı miktarda düğüm noktası, dal ve döngünün bulunmasıdır.

Öğrenme Çıktısı



1. Ağ topolojisini kullanmayı ve devre uygulamalarını açıklayabilme

Araştır 1

Temel ağ teoreminin kullanım alanları nelerdir?

İlişkilendir

Ağ topolojisi ile gündelik yaşantılarımız arasındaki uyumu tartışın.

Anlat/Paylaş

Temel ağ teoreminin devre analizi uygulamalarındaki avantajlarını sıralayın.

KİRCHHOFF YASALARI

Alman fizikçi Gustav Robert Kirchhoff'un ilk araştırma konusu elektriğin iletimi üzerinedir. Bu araştırmanın bir sonucu olarak Kirchhoff, 1845'te Kapalı Elektrik Devreleri Yasalarını yazdı. Bu yasalar bir elektronik devrenin nasıl çalıştığının anlaşılmasında çok önemlidir. Kirchhoff yasaları, akımın bir devreden nasıl geçtiğini ve bir devredeki bir döngü etrafında gerilimin nasıl değiştiğini ölçer. Gustav Kirchhoff'un iki yasası, Kirchhoff'un gerilim yasası (KGY) ve Kirchhoff'un akım yasası (KAY), bağlantı eşitliklerini oluşturmak için gereklidir. Bağlantı eşitlikleri, bir devreyi oluşturmak için devre elemanlarını (pilller veya dirençler gibi) bağladığınızda enerji ve *yük korunumu* yasalarına uyar. Korunum yasaları, bir devreyi oluşturmak için devre elemanlarını bağladığınızda elektronların belirli bir düzende hareket etmesi gerektiğini söyler. Elektronların bu hareketlerine karşılık, gerilim ve akımın döngülerdeki ve düğümlerdeki davranışını yönetir.

✓ **Yük korunumu:** Fizikte yükün korunumu, evrendeki veya herhangi bir spesifik kimyasal veya nükleer reaksiyondaki toplam elektrik yükünün sabitliğidir.

Herhangi bir kapalı sistemdeki toplam yük, en azından en hassas gözlemin sınırları içinde asla değişmez. Klasik terimlerle, bu yasa, bir sistemin bir bölümünde belirli bir pozitif yük miktarının ortaya çıkmasına her zaman sistemin başka bir yerinde eşit miktarda negatif yükün ortaya çıkmasının eşlik ettiğini ima eder; örneğin, plastik bir balon saçımıza sürtüldüğünde negatif yüklü hâle gelir ve saçımız eşit miktarda pozitif yüklü hâle gelir. Maddenin temel parçacıkları sürekli ve kendiliğinden ortaya çıksalar, kaybolurlar ve birbirlerine dönüşseler de her zaman net yük miktarının korunduğu sınırlamasına uyarlar. Yüklü bir parçacık yeni bir parçacığa dönüştüğünde, yeni parçacık orijinalin tam yükünü miras alır. Yüklü bir parça-

cık daha önce olmadığı yerde görüldüğünde, ona her zaman eşit ve zıt yüklü başka bir parçacık eşlik eder, böylece yükte net bir değişiklik olmaz. Yüklü bir parçacığın yok edilmesi, eşit ve zıt yüklü bir parçacığın birlikte yok edilmesini gerektirir.

Static electricity



Şekil 2.10 Balon ile statik elektriklenme

✓ Enerji korunumu, fizik ve kimyada, enerjinin korunumu yasası, izole edilmiş bir sistemin toplam enerjisinin sabit kaldığını (zamanla korunduğunu) belirtir.

Enerji korunumu yasası, enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceği anlamına gelir; daha ziyade, yalnızca dönüştürülebilir veya bir formdan diğerine aktarılabilir. Örneğin, bir uzay mekiğinin itici roketi ateşlendiğinde kimyasal enerji kinetik enerjiye dönüştürülür. Kinetik enerjisi ve potansiyel enerjisi, ısı ve ses gibi fırlatmada açığa çıkan tüm enerji türleri toplanırsa, tam olarak roketin ilk kimyasal enerjisine eşit olduğu görülür.



Şekil 2.11 Roketin fırlatılması

Kirchhoff'un Akım Yasası (KAY)

Kirchhoff'un akım yasası (KAY) bir düğüm noktasında giren akımların bir düğümden çıkan akıma eşit olması gerektiği anlamına gelir. Bir düğümdeki tüm akımların cebirsel toplamının sıfır olduğunu tanımlamaktadır.

$$\sum I_t = 0 \quad (2.2)$$



dikkat

Basit bir şekilde giriş=çıkış versiyonu daha kolaydır çünkü gelen veya giden akımlar için neyin pozitif veya negatif olduğunu bulmanız gerekmez.

Dolayısıyla, KAY gerçekten de yükün korunumunun matematiksel bir temsildir. Basit bir şekilde pil kullanarak gerilim uyguladığınızda, bir akım akışı sağlanır ve devrenin geri kalanına aynı miktarda akım iletilir. Telde yük birikemez, bu da akım akışının yükün korunumu ile ilgili olduğu anlamına gelir.

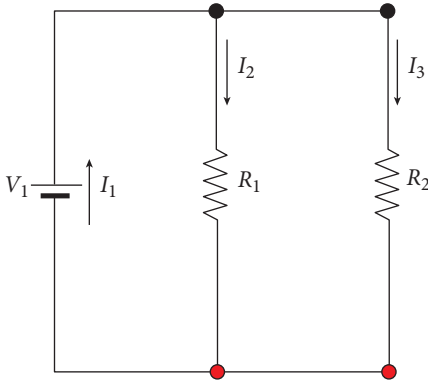
Akımı -yüklerin akışını- su akışına benzetebiliriz. Hortum bağlı bir su musluğunu açtığınızda musluktan akan su miktarı hortumun diğer ucundan çıkan su miktarı ile aynıdır. Harici bir enerji kaynağından gelen su basıncı, su akışını oluşturur, bu da suyun hortumda birikemeyeceği anlamına gelir. Hortuma bir ayırıcı koyulduğunda da akan su miktarı hortumlarda bölünen su miktarına eşittir. Bu örnek, yükün korunmasından ziyade kütlelenin korunumunu göstermektedir ancak yük korunumuyla benzerdir.



Şekil 2.12 Su akışı

KAY Devre Üzerinde İncelenmesi

Güç kaynağı ve dirençlerden oluşan devre Şekil 2.13'te verilmiştir. Bu devre üzerinde KAY tartışalım.



Şekil 2.13 Kirchhoff akım yasası uygulaması için 2 düğüm noktasına sahip devre

(Düğüm noktaları siyah ve kırmızı olarak gösterilmiştir.)

- Bir KAY eşitliği oluşturmak için, her düğümde gelen akımları ve giden akımları takip etmeniz gerekir.
- Her düğüm için net akım sıfır olmalıdır.
- Akımların giriş ve çıkışlarını takip ederek pratik yapmak için, iki düğümü gösteren Şekil 2.13'e bakalım.
- Bu gelen ve giden kuralı, diğer devre elemanları ve akımlar için de geçerliliğini korumaktadır.



dikkat

Bir düğümde bir gelen akım ve bir giden akımınız olduğunda, KAY uygulamak nispeten kolaydır.

Birden fazla akımın girip çıktığı siyah düğüm noktasını ele alalım.

- Gelen akım I_1 dir.
- Giden akımlar I_2 ve I_3 tür.

Dolayısıyla, siyah düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \rightarrow I_1 = I_2 + I_3 \quad (2.3)$$

olarak verilir. Son olarak kırmızı düğüm noktasını düşünelim.

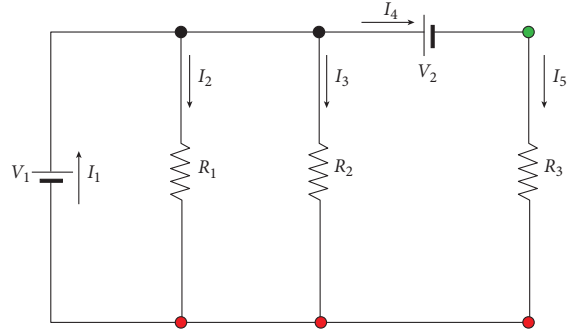
- Gelen akımlar I_2 ve I_3 'tir.
- Giden akım I_1 'dir.

Dolayısıyla, Kırmızı düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \rightarrow I_2 + I_3 = I_1 \quad (2.4)$$

olarak verilir.

Örnek 2.5: Şekil 2.14'te verilen devre için KAY eşitliklerini oluşturunuz.



Şekil 2.14 Kirchhoff akım yasası uygulaması için 3 düğüm noktasına sahip devre

(Düğüm noktaları siyah, kırmızı ve yeşil olarak gösterilmiştir.)

Çözüm:

Kirchhoff akım yasasının

- Bir KAY eşitliği oluşturmak için, her düğümde gelen akımları ve giden akımları takip etmeniz gerekir.
- Her düğüm için net akım sıfır olmalıdır.
- Akımların giriş ve çıkışlarını takip ederek pratik yapmak için, üç düğümü gösteren Şekil 2.14'e bakalım.
- I_4 akımı V_2 'ten akmaktadır.
- I_4 siyah düğüm noktasında giden bir akımdır ancak yeşil düğüm noktasında gelen bir akım olarak tanımlanmaktadır.
- Bu gelen ve giden kuralı, diğer devre elemanları ve akımlar için de geçerliliğini korumaktadır.



dikkat

Bir düğümde bir gelen akım ve bir giden akımınız olduğunda, KAY uygulamak nispeten kolaydır.

Şekilde 2.14'teki yeşil düğüm noktasını ele alalım.

- Gelen akım I_4 'tür
- Çıkan akım ise I_5 'tir.

Cebirsel olarak, yeşil düğüm noktası için KAY,

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \rightarrow I_4 = I_5 \quad (2.5)$$

olacaktır. Birden fazla akımın girip çıktığı siyah düğüm noktasını ele alalım.

- Gelen akım I_1 dir.
- Giden akımlar I_2 , I_3 ve I_4 tür.

Dolayısıyla, siyah düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \rightarrow I_1 = I_2 + I_3 + I_4 \quad (2.6)$$

şeklinde yazılır. Son olarak kırmızı düğüm noktasını düşünelim.

- Gelen akımlar I_2 , I_3 ve I_5 'tir.
- Giden akım I_1 'dir.

Dolayısıyla, Kırmızı düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \rightarrow I_2 + I_3 + I_5 = I_1 \quad (2.7)$$

olarak verilir.

Kirchhoff'un Gerilim Yasası (KGY)

Kirchhoff'un Gerilim Yasası (KGY), kapalı bir döngü etrafındaki gerilimlerin cebirsel toplamının her an sıfır olduğunu belirtir. Bu yasayı şu şekilde yazabilirsiniz:

$$Uygulanan (veya verilen) gerilim = Emilen (kullanılan) gerilim düşüşleri \quad (2.8)$$

Elektrik enerjisi, belirli bir yük miktarını taşımak için gereken enerji miktarı olan gerilimle ilgilidir. Yani KGY'yi enerjinin korunumu yasasının matematiksel bir temsili olarak düşünebilirsiniz. Bir devrede, örneğin, bir pil güç sağlar (bir enerji oranı) ve bir direnç, verilen gücü ısı olarak dağıtır (bir akkor ampulün ısı yayması gibi). Bunu söylemenin başka bir yolu, sağlanan enerji miktarının kullanılan veya emilen enerji miktarına eşit olmasıdır.

KGY'yi görselleştirmek için, bir dağ keçisini düşünelim. Keçi dağın tepesinde yırtıcı hayvanların gelemeyeceği düzgün bir platoda yaşar. Sabah beslenmek için gezmeye başlasın dağın etrafında yürüsün, birkaç tepede yukarı ve aşağı gitsin. Keçi yürüyüşünü sonlandırmadan önce başka bir tepede yukarı ve aşağı yürürken farklı bir yol kullanarak ilk çıkış yaptığı platosuna dönsün. İşte bu tepe aşağı ve tepe yukarı yürüme olayı gerilimin yükselmesine ve düşmesine benzemektedir. Keçi akşamı geçirmek için güvenli platosuna geri döndüğünde, başlangıç noktasında biten kapalı bir yol veya döngüyü oluşturmaktadır. Sonuç olarak tüm gün yapmış olduğu yürüyüş sonunda net yüksekliği (potansiyel enerji) değişmemektedir.

Bir devrede KGY ve döngüler iç içedir. Bir döngü etrafında dolaşırken, devre elemanlarına girip çıkmaktadır. Gerilimi ölçmek için iki nokta gerekir; bu nedenle, bir devre elemanına girip çıkarsanız, devre elemanının gerilimi KGY kullanarak bulmak için yeterli noktaya sahip olursunuz. Bundan sonra, Ohm



Şekil 2.15 Dağ keçisinin gündelik rutini

yasası gibi ilişkileri kullanarak devre elemanına karşılık gelen akımını bulabilirsiniz.

KGY ifadelerini formüle etmek, gerilim yükselmeleri ve düşmeleri kavramını anlamayı gerektirir.

Gerilim yükselmeleri, negatif bir terminalden pozitif bir terminale (eksiden artıya) geçtiğinizde meydana gelir. Genellikle pillerle veya daha genel olarak kaynaklarla ilişkilendirilirler. Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, elektrik akımı akışı yönünde pozitif bir terminalden negatif bir terminale (artıdan eksiye) doğru gittiğinizde gerilim düşüşleri meydana gelir. Genellikle dirençler gibi yükler adı verilen pasif devre elemanlarının varlığı ile ilişkilendirilirler.

KGY'nin Devre Üzerinde İncelenmesi

Bir devre üzerinde KGY uygulaması yaparken aşağıdaki kurallar uygulanmalıdır.

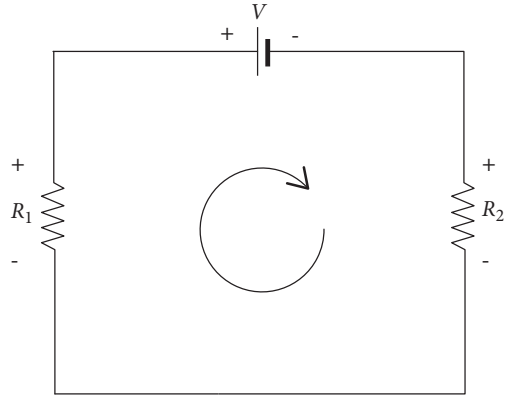
- Bir devre şemasında gerilim kutuplarını (artı ve eksi) etiketledikten sonra KGY eşitliğini oluşturabilirsiniz.
- Basitçe bir başlangıç noktası seçilir.
- Başlangıç noktasından bakarak akımın bütün bir döngü içinde dönmesi sağlanır.
- Akımın geçtiği her devre elemanına karşılık gelen gerilim değerleri yazılır.
- Döngü kapalı gözde tamamlandığında, KGY eşitliğini elde etmek için gerilimdeki tüm artış ve düşüşler toplanır.



dikkat

Şematiklerinizi her zaman uygun şekilde etiketleyin, böylece gerilim terminallerinin nerede olduğunu ve akımın yönünü bilirsiniz.

Şekil 2.16'daki devre için KGY uygulayalım. Döngü etrafında dolaşırken gerilim artışlarını ve düşüşlerini hesaba katmak için, gerilim kutuplarının takip edilmesi ve hem başlangıç hem de bitiş noktası olarak hizmet verecek bir düğüm (iki veya daha fazla devre elemanın bağlandığı bir bağlantı noktası) seçilmesi gerekir. Ardından, döngü içinde saat yönünde veya saat yönünün tersine dönün. Ayrıca, tek bir döngü için herhangi bir devre elemanından birden fazla kez geçmediğinizden emin olun.



Şekil 2.16 Direnç ve gerilim kaynağından oluşan devre

Şekildeki devre için KGY eşitliğini, diyagramın sol alt köşesinden başlayarak ve döngü etrafında saat yönünde ilerleyerek oluşturmaya çalışalım.

- Devre üç yükten oluşur.
- Ok yönündeki gerilim düşüşlerini hesaba katın.
- Direnç 1'e negatif terminalinden girip pozitif terminalinden çıktığınız için, direnç 1'den geçerken ortaya çıkan gerilim artışı $+V_1$ 'dir.
- Ardından, pozitif terminalinden güç kaynağına girersiniz ve negatif terminalinden çıkarsınız. Sonuç olarak, güç kaynağında gerilim düşüşü $-V_2$ olarak ifade edilebilir.
- Ardından, pozitif terminalinden direnç 2'ye girersiniz ve negatif terminalinden çıkarsınız, böylece $-V_3$ 'lük bir düşüş gerilimiyle sonuçlanırsınız.
- Son olarak, direnç 2'yi negatif terminalde bırakmak sizi başladığınız yere geri götürür. Artık KGY eşitliğinizi oluşturmak için ihtiyacınız olan bilgilere sahipsiniz. Tüm devre elemanları için gerilim artışlarını ve düşüşlerini eklediğinizde, aşağıdaki KGY eşitliğini elde edersiniz:

$$V_1 - V_2 - V_3 = 0 \quad (2.9)$$

Şekil 2.16'da saat yönünün tersine gidip devrenin sağ üst köşesinden başlarsanız bu örnek için aynı KGY eşitliğini elde edebilirsiniz. Bu durumda, KGY eşitliği

$$V_2 - V_1 - V_3 = 0 \quad (2.10)$$

olarak verilir. Cebirsel olarak, önceki iki eşitlik eş değerdir. İster saat yönünde ister saat yönünün tersine gidin veya döngüde dolaşırken her devre elemanı için gerilim düşüşleri veya yükselmeleri olsun, aynı KGY eşitliğini elde edersiniz.

Gerilim artışlarının toplamının, gerilim düşüşlerinin toplamına eşit olduğunu göstermek istiyorsanız (KGY'nin gerçekten bir enerji korunumu eşitliği olduğunu pekiştirmek için), KGY eşitliğini aşağıdaki gibi yazın:

$$\text{Gerilim artışlarının toplamı} = \text{Gerilim düşüşlerinin toplamı} \quad (2.11)$$

Benzer şekilde, eşitliğin bir tarafında V_1 'i izole etmek için bir cebir kullanarak aşağıdakileri elde edersiniz:

$$V_1 = V_2 + V_3 \quad (2.12)$$

Bu ifade, KGY'nin gerçekten bir enerji korunumu eşitliği olduğunu gösteriyor.

Örnek 2.6: Şekil 2.16'da verilen devrede gerilim kaynağından 15 V çıkış uygulanmaktadır. R_1 direncinin üstünde oluşan gerilim düşmesi değeri 8V ise R_2 direncinin üzerine düşen gerilim kaç V olur?

Çözüm: Kirchhoff gerilim yasasını uygularken devre üzerindeki gerilim artış ve düşüşleri yazılmalıdır. Gerilim kaynağı bir gerilim artışıdır. Direnç ise gerilim düşmesine neden olmaktadır. Eşitlik (2.11) yardımıyla;

$$\text{Gerilim artışlarının toplamı} = \text{Gerilim düşüşlerinin toplamı} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 + V_3 \\ 15 &= 8 + V_3 \\ V_3 &= 7 \text{ V} \end{aligned}$$

olarak bulunmaktadır.

Kirchhoff ve Ohm Yasalarını Kullanarak Devre Analizi

Bir devreyi analiz etmek için matematiksel eşitliklerin oluşturulmasında, iki temel eşitlik türüne ihtiyaç vardır:

- Devre elemanlarının gerilim ve akım karakteristiğini tanımlayan eşitlikler
- Kirchhoff'un gerilim ve akım yasalarından türetilen bağlantı eşitlikleri (KGY ve KAY) herhangi bir devre için

Devre analiz edilirken yapılması gerekenler,

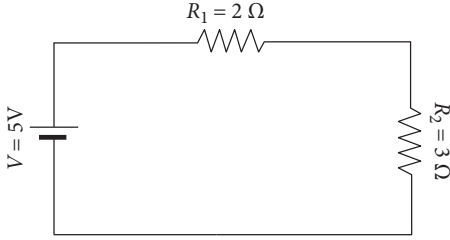
1. Devre elemanlarının terminallerini doğru gerilim polariteleri (+ ve -) ve gerilim değişkenleri ile etiketleyin.
2. Verilen devre için akımların yönlerini atayın.
3. KGY veya KAY bağlantı eşitliklerini formüle edin.
4. Devre analizi eşitliklerini (Ohm' un dirençler için yasası gibi) uygulayın.
5. Elde edilen denklemleri çözerek herhangi bir devre elemanı için gerilim ve akım değerlerini belirleyin.



dikkat

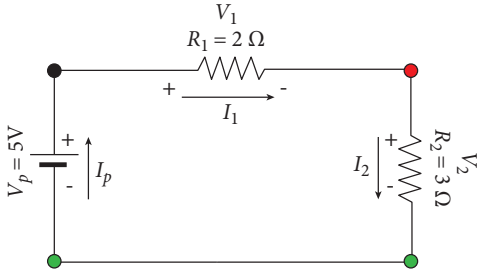
Seri bir devrede, bütün devre elemanlarından aynı akım geçer. Paralel bir devrede, tüm bağlı devre elemanları aynı gerilime sahiptir. Devreler farklı olsa da genel durum aynıdır.

Örnek 2.7: Şekil 2.17’de verilen seri bağlı dirençlerden ve gerilim kaynağından oluşan devreyi Kirchhoff ve Ohm yasalarını kullanarak inceleyiniz?



Şekil 2.17 Seri bağlı dirençlerden ve gerilim kaynağından oluşan devre

Çözüm: Devrede bir pil (ideal bir gerilim kaynağı) ve iki adet direnç bulunmaktadır. Her devre elemanı için gerilim ve akım değerini bulmak için, önce devreye ait eşitliklerin yazılması gerekmektedir. Devre üç devre elemanı içerdiğinden, her devre elemanı gerilim ve akım değerine sahiptir.



Şekil 2.18 KAY ve KGY uygulamaları için devre elemanlarının üzerindeki akım ve gerilim değerlerinin bilinmeyen olarak kodlanması

Analize Kirchhoff yasalarından biriyle başlayabilirsiniz. Örnek 2.7’de KGY ile başlayalım.

Çözüme ulaşmamızı sağlaması için yeteri kadar eşitliğe ihtiyacımız vardır. Örneğin toplamda 5 bilinmeyen varsa beş bağımsız eşitliğe ihtiyacımız vardır. Bağımsız, her eşitliğin diğer eşitliklerden türetilmeyeceği anlamına gelir. Her devre elemanı için, Ohm yasası size bir bağımsız eşitlik verir; Örnek 2.7’deki devrede üç adet devre elemanı bulunmaktadır, dolayısıyla Ohm yasasından üç adet eşitlik elde edebilir. Referans veya başlangıç düğümü dışında her düğüm için bir KAY (Kirchhoff akım yasası) eşitliği elde edilir; bu devrenin üç düğümü vardır, bu nedenle iki KAY eşitliği elde edilir. Son olarak, bu devre size bir bağımsız KGY (Kirchhoff gerilim yasası) eşitliğini verir.

Dikkat: KGY’yi formüle ederken, aynı düğüm-den başlayıp aynı düğüme geri geldiğinizden emin olun. Başlangıç noktanıza geri döndüğünüz sürece, devrede nereden başlarsanız başlayın, aynı KGY eşitliğine sahip olursunuz.

Örnek 2.7 için, sağ alt köşeden başlayıp saat yönünde hareket ederek aşağıdaki KGY eşitliğini oluşturulur:

$$V_p - V_1 - V_2 = 0 \quad (2.14)$$

Bilinmeyenleri elde edebilmek için KAY’ı kullanın. Siyah Düğüm noktasından başlayarak, Siyah Düğüm noktasına gelen akım I_p ve Siyah Düğüm noktasından giden akım I_1 ’dir. Dolayısıyla, Siyah Düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \quad (2.15)$$

$$I_p = I_1 \quad (2.16)$$

olarak yazılır. Kırmızı düğüm noktası için, gelen akım I_1 ve giden akım I_2 ’dir. Kırmızı Düğüm noktası için KAY eşitliği;

$$I_1 = I_2, \quad (2.17)$$

KAY eşitliklerini birleştirdiğinizde,

$$I_p = I_1 = I_2 \quad (2.18)$$

olarak elde edilir. Bir akım değerini bulduğumuzda bütün akım değerlerini elde edebiliriz.

R_1 ve R_2 dirençleri için Ohm yasasını yazalım,

$$V_1 = R_1 I_1 \quad (2.19)$$

$$V_1 = 2I_1$$

$$V_2 = R_2 I_2$$

$$V_2 = 3I_2$$

Şimdi bu eşitlikleri KGY elde eşitlikte Ohm yasası ifadelerini koyalım,

$$V_p - 2I_1 - 3I_2 = 0 \quad (2.20)$$

Elde ettiğimiz eşitlikte KAY eşitliğini ve gerilim kaynağının değerini yazdığımızda akımının değerini bulalım,

$$5 - 2I_1 - 3I_1 = 0$$

$$I_1 = 1A$$

Devremiz üzerinden geçen akımların değerini 1 A olarak elde etmiş olduk. Şimdi yukarıda verilen R_1 ve R_2 dirençleri için Ohm yasası eşitliklerinde bu akım değeri yerine yazılırsa, R_1 direnci üzerine 2 V ve R_2 direnci üzerine 3 V değerinde gerilim düşümü elde edilir.

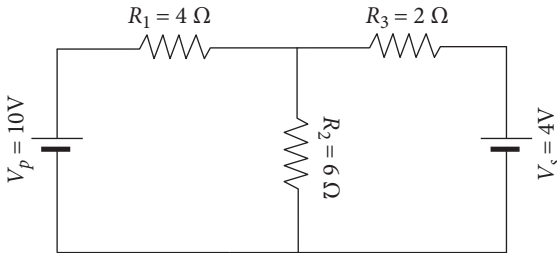


dikkat

İki eleman, diğer devre elemanlarının paylaştığı bir ortak düğüme sahip olduklarında seri olarak bağlanır. Başka bir deyişle, her devre elemanından aynı akım geçer ve akım yalnızca ileriye doğru akabilir. Temelde tek yönlü kapalı bir sisteme ait bileti var demektir.

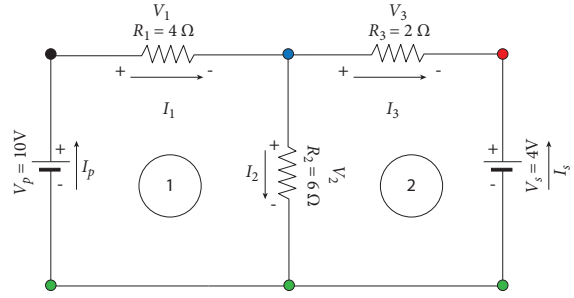
Seri devreleri hayal etmekte sorun yaşıyorsanız, kışın üşüdüğünüzde montunuzun içine giydiğiniz ekstra bir hırkayı düşünün. Üstünüzdeki kaban ve hırka üst üste binmektedir. Hırka ile kaban ve vücut ile hırka arasındaki hava katmanları seri bağlanmaktadır. Isı, kaybolmadan önce her üst üste geçen hava tabakasından geçmelidir. Hırkayla kabanın yerini değiştirseniz de hava tabakaları aynı kalacaktır. Sıcak ortamdan soğuk ortama hava ısı akışı olduğu gibi, akım da yüksek (+) gerilimden düşük (-) gerilime doğru akmaktadır. Hava tabakaları, seri bağlı dirençler gibi davranan seri hâlindeki ısı yalıtımlarıdır. Dirençlerin konumları değişse de her birinden aynı miktarda akım geçmeye devam eder.

Örnek 2.8: Aşağıdaki devrenin analizini gerçekleştirelim.



Şekil 2.19 Seri ve paralel bağlı dirençlerden ve gerilim kaynaklarından oluşan devre

Çözüm: Şekildeki devremiz 2 adet gözden oluşmaktadır. Bu gözler içinde 3 adet direnç ve 2 adet gerilim kaynağına sahiptir. Şimdi bu devreyi Kirchhoff yasaları yardımıyla analiz edelim.



Şekil 2.20 KAY ve KGY uygulamaları için devre elemanlarının üzerindeki akım ve gerilim değerlerinin bilinmeyen olarak kodlanması

(Çemberler içinde verilmiş 1 ve 2 sayısı gözleri tanımlamaktadır.)

Örnek 2.8 için, birinci gözde sol alt köşeden başlayıp saat yönünde hareket ederek aşağıdaki KGY eşitliğini elde edelim:

$$V_p - V_1 - V_2 = 0 \quad (2.21)$$

R_2 direncinin bulunduğu dalda bulunan yeşil düğüm noktası için KGY eşitliği elde edelim.

$$V_2 - V_3 - V_s = 0 \quad (2.22)$$

Bilinmeyenleri elde edebilmek için KAY'ı kullanın. Birinci gözde bulunan siyah düğüm noktasından başlayarak siyah düğüm noktasına gelen akım I_p ve siyah düğüm noktasındaki giden akım I_1 'dir. Dolayısıyla, Siyah Düğüm noktası için KAY eşitliği;

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \quad (2.23)$$

$$I_p = I_1 \quad (2.24)$$

R_2 direncinin bulunduğu dalda bulunan mavi düğüm noktası için, gelen akım I_1 iken giden akım I_2 ve I_3 'dir. Mavi düğüm noktası için KAY eşitliği

$$I_1 = I_p = I_2 + I_3 \quad (2.25)$$

olarak verilir. Bir akım değerini bulduğumuzda bütün akım değerlerini elde edebiliriz.

Bütün pasif devre elemanları için Ohm yasasını yazalım.

$$V_1 = R_1 I_1 \quad (2.26)$$

$$V_1 = 4I_1$$

$$V_2 = R_2 I_2 \quad (2.27)$$

$$V_2 = 6I_2$$

$$V_3 = R_3 I_3 \quad (2.28)$$

$$V_3 = 2I_3$$

Şimdi birinci gözde sol alt köşeden elde edilen KGY eşitliğinde gerilim kaynağının ve Ohm yasasında elde edilen eşitlikleri yerine koyalım,

$$V_p - V_1 - V_2 = 0 \quad (2.29)$$

$$10 - 4I_1 - 6I_2 = 0$$

KAY eşitliğinden elde edilen I_1 akımı yukarıdaki eşitlikte yerine koyalım. I_3 akımı I_2 akımı cinsinden değerini bulalım,

$$10 - 4(I_2 + I_3) - 6I_2 = 0 \quad (2.30)$$

$$10 - 10I_2 - 4I_3 = 0$$

$$4I_3 = 10 - 10I_2$$

$$I_3 = \frac{10 - 10I_2}{4}$$

R_2 direncinin bulunduğu dalda bulunan yeşil düğüm noktası için elde edilen KGY eşitliğinde gerilim kaynağının ve Ohm yasasına göre dirençlerin değerlerini yazalım.

$$V_2 - V_3 - V_s = 0 \quad (2.31)$$

$$6I_2 - 2I_3 - 4 = 0$$

Şimdi I_2 akımını bulabilmek için elde ettiğimiz I_3 akımını yukarıdaki eşitlikte yerine koyalım.

$$6I_2 - 2\left(\frac{10 - 10I_2}{4}\right) - 4 = 0$$

$$6I_2 - (5 - 5I_2) - 4 = 0$$

$$11I_2 - 9 = 0$$

$$I_2 = 0,82A$$

I_3 akımını bulmak için I_2 akımını eşitlikte yerine koyalım.

$$I_3 = \frac{10 - 10I_2}{4}$$

$$I_3 = \frac{10 - 10(0,82)}{4}$$

$$I_3 = 0,45A$$

KAY eşitliğinde I_3 ve I_2 akımını değerlerini kullanarak I_1 akımını bulalım.

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (2.32)$$

$$I_1 = 1,27 A$$

KGY eşitliği devre elemanlarımız üzerinden geçen akımların değerini bulduk. Şimdi pasif devre elemanı olan dirençler üzerindeki gerilim düşmelerini bulabilmek için Ohm yasası kullanalım.

$$V_1 = R_1 I_1 \quad (2.33)$$

$$V_1 = 4 \times 1,27$$

$$V_1 = 5,08V$$

$$V_2 = R_2 I_2 \quad (2.34)$$

$$V_2 = 6 \times 0,82$$

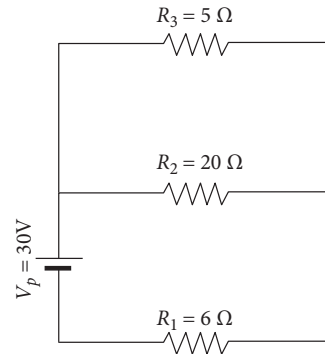
$$V_2 = 4,92V$$

$$V_3 = R_3 I_3 \quad (2.35)$$

$$V_3 = 2 \times 0,45$$

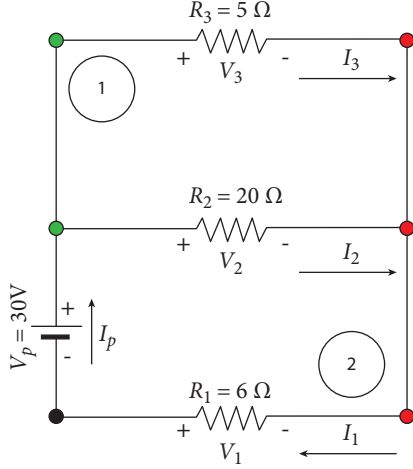
$$V_3 = 0,9V$$

Örnek 2.9: Aşağıdaki devrenin dirençleri üzerinde geçen akımları bulunuz?



Şekil 2.21 Seri ve paralel bağlı dirençlerden ve gerilim kaynağından oluşan devre

Çözüm: Şekildeki devremiz 2 adet gözden oluşmaktadır. Bu gözler içinde 3 adet direnç ve 1 adet gerilim kaynağı bulundurmaktadır. Şimdi bu devreyi Kirchhoff yasaları yardımıyla analiz edelim.



Şekil 2.22 KAY ve KGY uygulamaları için devre elemanlarının üzerindeki akım ve gerilim değerlerinin bilinmeyen olarak kodlanması
(Çemberler içinde verilmiş 1 ve 2 sayılı gözleri tanımlamaktadır.)

Bu örneği çözerken aşağıdakilere daha fazla dikkat edelim.

- Gerilim kaynağındaki akım bilinmemektedir. Bu nedenle, KAY'ı gerilim kaynağının giriş ve çıkış düğümlerinde yazmak kullanışlı değildir.

Genel olarak, gerilim kaynağı üzerinden akımı bulmak zorunlu olmadıkça, bir gerilim kaynağının bağlı olduğu bir düğümde KAY yazmaktan kaçınılırız. Ek olarak, KGY'yi bir akım kaynağı içeren bir ağa uygulamak, akım kaynağı boyunca gerilimin bulunması gerekmedikçe genellikle yararlı değildir.

Bu durumda diğer iki göz için KGY eşitliğini oluşturalım:

Birinci göz yani R_2 ve R_3 dirençlerini içeren göz için KGY eşitliği,

$$V_3 - V_2 = 0 \quad (2.36)$$

olarak verilir. Gerilim kaynağı R_1 ve R_2 dirençlerinin bulunduğu göz (ikinci göz) için siyah düğüm noktasından başlayarak saat yönünde KGY uygulayalım.

$$V_p - V_2 - V_1 = 0 \quad (2.37)$$

Bilinmeyenleri elde edebilmek için KAY kullanılır. Bütün akımların toplandığı kırmızı düğüm noktasında KAY eşitliği,

$$I_{GEL} = I_{ÇIK} \quad (2.38)$$

$$I_2 + I_3 = I_1 \quad (2.39)$$

olarak verilir. R_1 ve R_2 eşitlikleri için Ohm yasasını yazalım

$$V_1 = R_1 I_1 \quad (2.40)$$

$$V_1 = 6I_1$$

$$V_2 = R_2 I_2 \quad (2.41)$$

$$V_2 = 20I_2$$

$$V_3 = R_3 I_3 \quad (2.42)$$

$$V_3 = 5I_3$$

Birinci gözde elde edilen KGY'sında Ohm yasası yazılırsa,

$$V_3 - V_2 = 0 \quad (2.43)$$

$$5I_3 - 20I_2 = 0$$

$$I_3 = 4I_2$$

Benzer şekilde ikinci göz için KGY yazılırsa,

$$V_p - V_2 - V_1 = 0 \quad (2.44)$$

$$30 - 20I_2 - 6I_1 = 0$$

$$15 - 10I_2 - 3I_1 = 0$$

$$I_1 = \frac{15 - 10I_2}{3}$$

Basit bir şekilde I_1 ve I_3 akımları I_2 akımı cinsinden elde edilmiştir.

KAY eşitliğini kullanarak I_3 akım değerini bulalım.

$$I_2 + I_3 = I_1 \quad (2.45)$$

$$I_2 + 4I_2 = \frac{15 - 10I_2}{3}$$

$$15I_2 = -10I_2 + 15$$

$$25I_2 = 15$$

$$I_2 = 0,6A$$

I_2 akımını I_1 ve I_3 akımlarını bulmak için elde edilen eşitliklere koyalım.

$$I_1 = \frac{15 - 10I_2}{3}$$

$$I_1 = 3A$$

$$I_1 = 2I_3 - 2$$

$$I_1 = 2,4A$$

Öğrenme Çıktısı



- 2 Kirchhoff akım yasasını açıklayabilme
- 3 Kirchhoff gerilim yasasını açıklayabilme
- 4 Kirchhoff yasalarını kullanarak devre analizi yapabilme

Araştır 2

Yeni yıl ışıkları seri mi bağlıdır yoksa paralel mi?

İlişkilendir

Kirchhoff yasalarıyla bir devre kartı gerçekleştirilebilir mi?

Anlat/Paylaş

Kirchhoff yasalarının temelini oluşturan korunum yasalarını tanımlayın.

1

Ağ topolojisini kullanmayı
ve devre uygulamalarını
açıklayabilme

Temel Ağ Topolojisi

Ağ Topolojisi: Grafik teorisinin elektrik devrelerinde özel bir uygulamasıdır ve devre elemanlarının bir ağ içerisindeki dizilişlerini, düzenlenmelerini incelemektedir. Elektrik devrelerinin grafiksel bir temsidir. Karmaşık devreleri ağ grafiklerine dönüştürerek analiz etmek için kullanılmaktadır. Dal, Düğüm ve Döngü bileşenlerinden oluşmaktadır. Dal, herhangi bir iki uçlu devre elemanını temsil etmektedir. Düğüm noktası, iki veya daha fazla dal arasındaki bağlantının “noktası”dır. Döngü: Bir düğümden başlayarak, bir dizi düğümden geçerek tekrardan başlangıç düğüme dönen kapalı yola döngü denmektedir. Temel ağ teoremi,

$$B = L + N - 1 \quad (2.1)$$

Burada B , N ve L sırasıyla dalların, düğüm noktalarının, döngülerin sayısını tanımlamaktadır.

2

Kirchhoff akım yasasını
açıklayabilme

3

Kirchhoff gerilim yasasını
açıklayabilme

4

Kirchhoff yasalarını
kullanarak devre analizi
yapabilme

Kirchhoff Yasaları

Kirchhoff'un akım yasası (KAY) bir düğüm noktasına giren akımların aynı düğümden çıkan akımlara eşit olması gerektiği anlamına gelir. Yüklerin korunumuna dayanmaktadır. Bir düğümden çıkan tüm akımların cebirsel toplamının sıfır olduğunu tanımlamaktadır.

$$\sum I_t = 0 \quad (2.2)$$

Kirchhoff'un gerilim yasası (KGY), kapalı bir döngü etrafındaki gerilimlerin cebirsel toplamının her an sıfır olduğunu belirtir. Enerjinin korunumuna dayanmaktadır. Aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Uygulanan (veya verilen) gerilim} = \text{Emilen (kullanılan) gerilim düşüşleri} \quad (2.3)$$

Devre ağ topolojisi yardımıyla analizi yapılmalıdır. Devre analizlerinde devre elemanlarının gerilim ve akım karakteristiğini tanımlayan Ohm yasasına göre eşitlikleri ve Kirchhoff'un gerilim ve akım yasalarından türetilen bağlantı eşitlikleri yazılmalıdır.

1 İki devre elemanın bağlandığı ortak noktaya ne ad verilir?

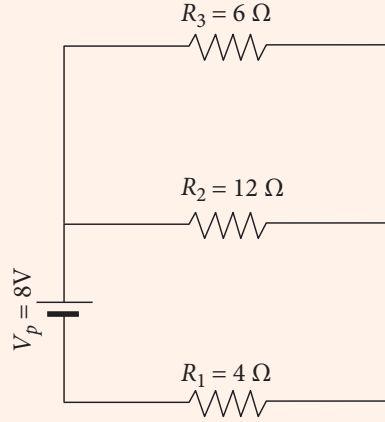
- A. Düğüm
- B. Ağ
- C. Döngü
- D. Dal
- E. Devre

2 Bir devrede 4 tane düğüm noktası ve 4 tane döngü bulunmaktadır. Buna göre, bu devredeki dal sayısı kaçtır?

- A. 4
- B. 8
- C. 7
- D. 3
- E. 9

3 Kirchoff akım yasası ile aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

- A. Bir düğüm noktasından giren akımlar çıkan akımlara eşit değildir.
- B. Enerji korunumuna dayanmaktadır.
- C. Kapalı bir döngü etrafındaki gerilimlerin cebirsel toplamının her anı sıfırdır.
- D. Bir döngüdeki akımların cebirsel toplamı sıfırdır.
- E. Yük korunumuna dayanmaktadır.



4-6 soruları yukarıdaki devreye göre cevaplayınız.

4 Döngü, düğüm noktası ve dal sayıları aşağıdakilerden hangisinde sırasıyla ve doğru olarak verilmiştir?

- A. 2,3,4
- B. 3,3,5
- C. 4,3,5
- D. 3,3,3
- E. 3,2,1

5 R_1 direncinin üzerinden geçen akım kaç amperdir?

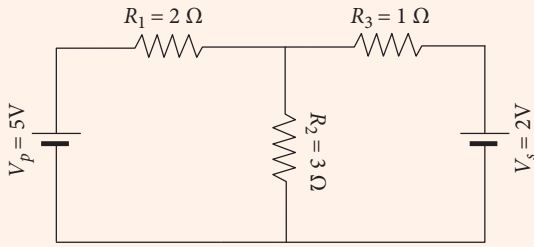
- A. 3
- B. 2
- C. 1
- D. 4
- E. 5

6 R_3 direncinin üzerine düşen gerilim kaç Volttur?

- A. 2
- B. 4
- C. 3
- D. 5
- E. 1

7 Enerjinin korunumuna dayanan Kirchhoff yasası aşağıdakilerden hangisidir?

- A. Akım yasası
- B. Direnç yasası
- C. Yük yasası
- D. Gerilim yasası
- E. Güç yasası



8-10 soruları yukarıdaki devreye göre cevaplayınız.

8 Döngü, düğüm noktası ve dal sayısı aşağıdakilerden hangisinde sırasıyla ve doğru olarak verilmiştir?

- A. 2,5,6
- B. 2,3,4
- C. 2,4,5
- D. 3,3,3
- E. 3,2,1

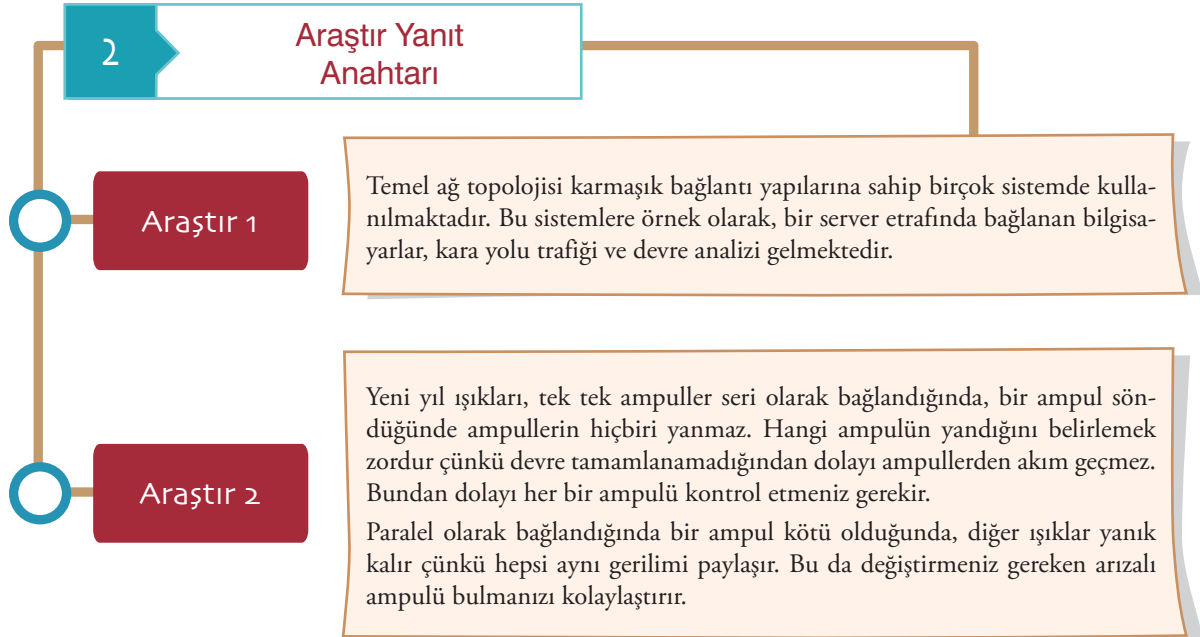
9 R_1 direncinin üzerinden geçen akımın büyüklüğü kaç amperdir?

- A. 1,27
- B. 1
- C. 2,56
- D. 0,64
- E. 0,72

10 R_2 direncinin üzerine düşen gerilim kaç Volttur?

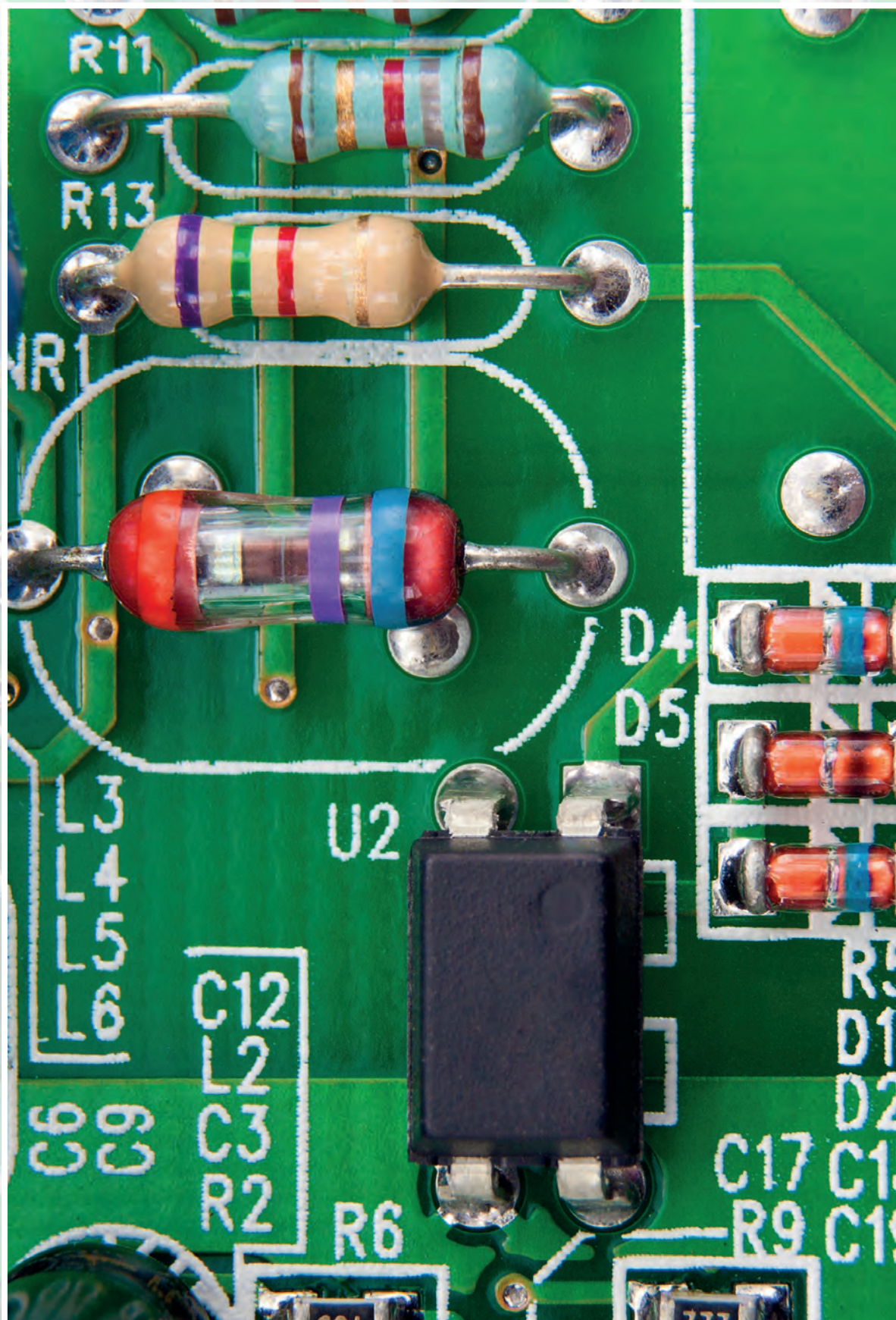
- A. 4,2
- B. 3
- C. 1,23
- D. 2
- E. 2,46

1. A	Yanıtınız yanlış ise “Temel Ağ Topolojisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	6. B	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff ve Ohm Yasalarını Kullanarak Devre Analizi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
2. C	Yanıtınız yanlış ise “Ağ Topolojisinin Temel Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	7. D	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff Gerilim Yasası” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
3. E	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff Akım Yasası” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	8. C	Yanıtınız yanlış ise “Temel Ağ Topolojisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
4. A	Yanıtınız yanlış ise “Temel Ağ Topolojisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	9. A	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff ve Ohm Yasalarını Kullanarak Devre Analizi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
5. C	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff ve Ohm Yasalarını Kullanarak Devre Analizi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	10. E	Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff ve Ohm Yasalarını Kullanarak Devre Analizi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.



Kaynakça

- Ergul, O. (2017). *Introduction to Electrical Circuit Analysis*. John Wiley & Sons.
- İlhami, Y. ve MacEachern, C. (2018). 1.2 Historical Aspects of Energy, *Comprehensive Energy Systems*, 24–48.
- Meyer, H.W. (1971). *A History of Electricity and Magnetism*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Synge, J. L. (1951). The fundamental theorem of electrical networks. *Quarterly of Applied Mathematics*, 9(2), 113-127.
- Williams, H. S., & Williams, E. H. (1910). *A history of science* (Vol. 9). Harper.



Bölüm 3

Düğüm Noktası Gerilim ve Çevre Akımları Yöntemleri

öğrenme çıktıları

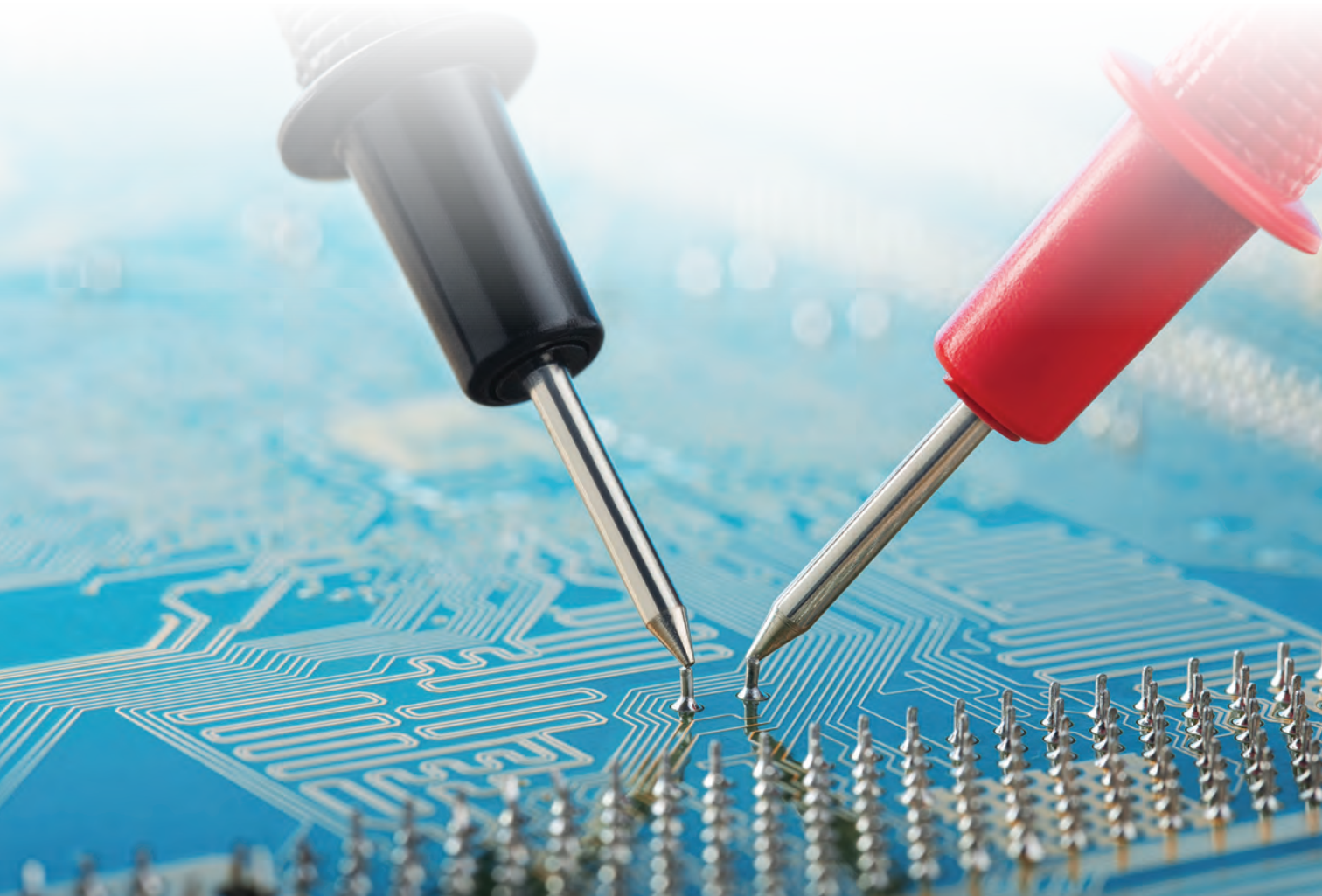
Düğüm Noktası Gerilimleri Yöntemi

- 1 Düğüm noktası gerilimi yöntemi ile ilgili kavramları açıklayabilme
- 2 Düğüm noktası gerilimi yöntemini devre çözümünde kullanabilme

Çevre Akımları Yöntemi

- 3 Çevre akımları yöntemi ile ilgili kavramları açıklayabilme
- 4 Çevre akımları yöntemini devre çözümünde kullanabilme

Anahtar Sözcükler: • Düğüm • Çevre (göz) • Döngü • Düğüm Noktası Gerilimi Yöntemi
• Çevre Akımları Yöntemi



GİRİŞ

Elektrik devrelerinin çözümü için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. KAY ve KGY temel yasaları devrelerin çözümü için temel yasalardır. Bu yasaları kullanarak devreyi analiz edebilmek için gerekli olan eşitlikleri elde edebiliriz. Daha karmaşık devrelerin analizinde bu temel yasaları kullanabiliriz fakat bu yasaların özel hâlleri olan düğüm noktası gerilimi ve çevre akımları yöntemlerini kullanmak daha hızlı bir sonuca ulaşmayı sağlar.

Birçok dal ve bu dalların bir düğüm noktasında birleşmesi sonucunda oluşan karmaşık devreler için, gerilimler ve akımlar arasında gerekli ilişkileri türetmek oldukça zordur. Bu bölümde, KAY'nın sistematik bir uygulamasını temel alan daha üst düzey bir yöntem olan düğüm noktası gerilimi yöntemi üzerinde durulmaktadır. Herhangi bir devre verildiğinde, düğüm noktası gerilimi yönteminin düzgün bir şekilde uygulanması, analiz için gerekli eşitliklerin türetilmesini garanti eder.

Ayrıca, KGY'nin sistematik bir uygulaması olan çevre akımları yöntemi önemli diğer bir yöntemdir. Düğüm noktası gerilimi yöntemine benzer şekilde, çevre akımları yöntemi, karmaşık devrelerin çözümü için gerekli eşitliklerin elde edilmesine imkân sağlar.

Bununla birlikte, düğüm noktaları gerilimi yöntemi ile devredeki düğüm gerilimlerinin değerleri elde edilir. Çevre akımları yönteminde ise, çevre (göz) akımları bilinmeyenlerdir. Bu çevre akımlarının belirlenmesi ile kol akımları tek tek bulunabilir.

Bu bölümde, düğüm noktası gerilimi ve çevre akımları yöntemleri ile verilen devrelerin çözümü için izlenmesi gereken çözüm yolları adım adım incelenip devre üzerinde uygulaması ile konu pekiştirilmiştir.

DÜĞÜM NOKTASI GERİLİMLERİ YÖNTEMİ

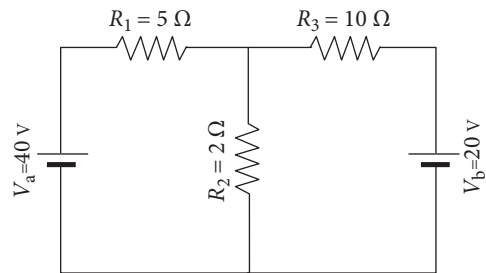
Düğüm noktası gerilimi yöntemi en çok kullanılan elektrik devre analizi yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, verilen bir elektrik devresinde iki veya daha fazla devre elemanının birleşmesiyle oluşan düğüm noktalarının belirlenmesi ve her bir düğüm noktası için Kirchhoff akım yasası uygulanarak devre analizi için gerekli eşitliklerin elde edilmesine dayanmaktadır. Böylelikle her bir düğüm noktasına karşılık gelen gerilim değerleri belirlenir. Bu gerilim değerleri kullanılarak devrenin herhangi bir

noktasından geçen akım değerleri ve istenen diğer bilgiler bulunabilir.

Düğüm noktası gerilimi yöntemi kullanılarak bir elektrik devresinin analizi için izlenilmesi gereken adımlar sırası ile aşağıdaki gibidir:

1. Düğüm noktaları belirlenir. Düğüm noktalarının sayısı " N " tane ise, devreyi analiz etmek için " $N-1$ " tane düğüm eşitliği elde edilir ve bu elde edilen eşitlikler devreyi çözmek için yeterlidir.
2. Referans bir düğüm noktası seçilir ve bu düğüm noktasının gerilimi sıfır volt olarak kabul edilir. Genel olarak en çok devre elemanının bağlı olduğu düğüm noktasının referans düğüm noktası olarak seçilmesi işlem kolaylığı sağlayabilmektedir.
3. Devrede bir gerilim kaynağı varsa gerilim kaynağının negatif (-) ucu referans düğüm noktası olarak seçilebilir. Bu durumda gerilim kaynağının pozitif ucuna (+) bağlı olan düğüm noktası gerilim kaynağının sahip olduğu gerilim değerine eşittir.
4. Referans düğüm noktası dışında kalan düğüm noktalarına $V_1, V_2, \dots$ şeklinde düğüm gerilimleri atanır.
5. Her bir düğüm noktasına giren ve çıkan akımlar ok ($\rightarrow$) yardımı ile gösterilir. Düğüm noktasına giren akımlar (+) ve çıkan akımlar (-) işaretli olarak alınır.
6. Referans düğüm noktasına göre her bir düğüm noktası için Kirchhoff akım yasası kullanılarak düğüm gerilimleri eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikler yazılırken Ohm yasasından yararlanılır ($V = I.R$).

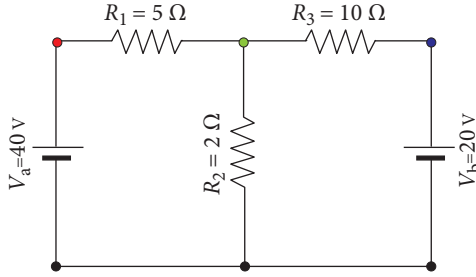
Örnek 3.1: Şekildeki devrede dirençler üzerinden geçen akımları düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanarak belirleyiniz.



Şekil 3.1 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devre

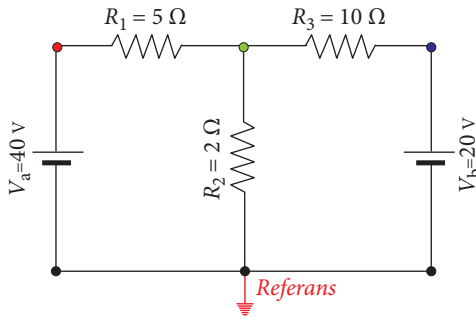
Çözüm: Yukarıdaki devrenin çözümü için düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanırken aşağıdaki adımlar uygulanır.

Adım 1: Öncelikle düğüm noktaları belirlenir. Devrede kırmızı, yeşil, mavi ve siyah içi dolu noktalar ile temsil edilen altı adet düğüm noktası bulunmaktadır.



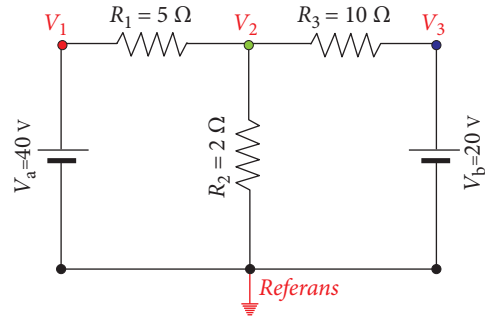
Şekil 3.2 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devrede düğüm noktalarının gösterimi

Adım 2: Devrede bir düğüm noktası referans olarak seçilir. Siyah renkli noktalar ile gösterilen düğümlerin hepsi aynı hat üzerindedir ve aralarında başka bir devre elemanı olmadığı için özdeştir. Dolayısı ile bu siyah noktalardan birinin referans noktası olarak seçilmesi çözümü kolaylaştırır. Çözüm için ortadaki siyah nokta referans noktası seçilmiştir ve topraklanır, dolayısı ile siyah renkli düğümler sıfır voltluk bir gerilim değerine sahiptir.



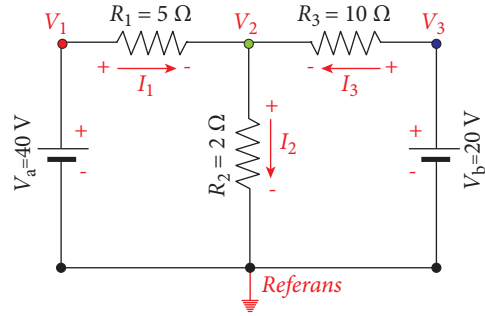
Şekil 3.3 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devrede referans noktasının gösterimi

Adım 3: Referans olarak seçilen düğüm noktası dışında kalan düğüm noktalarına V_1 , V_2 ve V_3 gerilim değerleri atanır.



Şekil 3.4 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devrede düğüm noktalarına atanan gerilimlerin gösterimi

Adım 4: Devreden geçen akımlar tanımlanır. I_1 ve I_3 akımları ikinci (yeşil renkli) düğüm noktasına giren akımlar iken I_2 akımı ise düğüm noktasından çıkan akımdır. $R_1=5\ \Omega$ 'luk dirençten I_1 , $R_2=2\ \Omega$ 'luk dirençten I_2 ve $R_3=10\ \Omega$ 'luk dirençten I_3 akımı geçmektedir. Giren akımlar (+) ve çıkan akımlar (-) ile gösterilir.



Şekil 3.5 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devrede geçen akımların gösterimi

Adım 5: Kirchhoff akım yasası kullanılarak devrenin düğüm noktası gerilimleri eşitlikleri yazılabilir.

V_1 düğüm noktasının bir ucu $V_a=40\text{ V}$ gerilim kaynağının bir ucuna bağlıdır. Bu yüzden $V_1=V_a=40\text{ V}$ elde edilir. Benzer şekilde, V_3 düğüm noktasının bir ucu $V_b=20\text{ V}$ gerilim kaynağının bir ucuna bağlıdır. Bu yüzden $V_3=V_b=20\text{ V}$ elde edilir. Dolayısı ile bilinmeyen tek düğüm noktası gerilimi V_2 'dir.

Ohm yasasına ($V=I.R$) göre, $R_1=5\ \Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim değeri $5I_1$ 'dir ve $V_a=40\text{ V}$ 'luk kaynak gerilimi değeri ile zıt yönlüdür:

$$40 - 5I_1 = V_2 \quad (3.1)$$

$$I_1 = \frac{40 - V_2}{5}$$

$R_2=2\Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim $2I_2$ 'dir ve V_2 gerilim değerine eşittir:

$$2I_2 = V_2 \quad (3.2)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{2}$$

$R_3=10\Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim $10I_3$ 'dir ve $V_b=20$ V'luk gerilim değeri ile zıt yönlüdür:

$$20 - 10I_3 = V_2 \quad (3.3)$$

$$I_3 = \frac{20 - V_2}{10}$$

Kirchhoff akım yasasına göre, bir düğüm noktasına giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşittir. İkinci düğüm noktasına göre Kirchhoff akım yasası yazılır:

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad (3.4)$$

$$\frac{(40 - V_2)}{5} + \frac{(20 - V_2)}{10} = \frac{V_2}{2}$$

Eşitliği elde edilir. Payda eşitlemesi yapıldığında,

$$5V_2 = 80 - 2V_2 + 20 - V_2$$

$$8V_2 = 100$$

$$V_2 = 12,5V$$

olarak elde edilir.

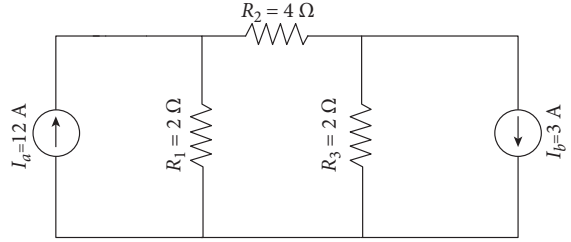
Kol akımlarını bulalım,

$$I_1 = \frac{40 - V_2}{5} = \frac{40 - 12,5}{5} = 5,5A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{2} = \frac{12,5}{2} = 6,25A$$

$$I_3 = \frac{20 - V_2}{10} = \frac{20 - 12,5}{10} = 0,75A$$

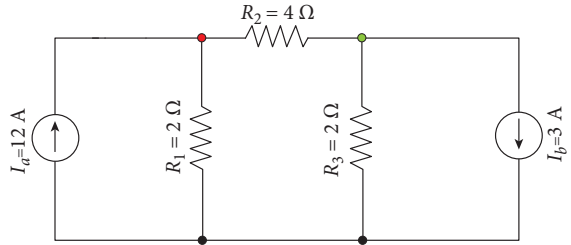
Örnek 3.2: Şekildeki devrede her bir direnç üzerinden geçen akımları ve güç değerlerini düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanarak belirleyiniz.



Şekil 3.6 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devre

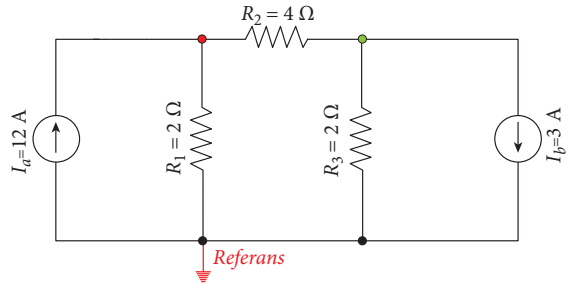
Çözüm: Yukarıdaki devrenin çözümü için düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanırken aşağıdaki adımlar uygulanır.

Adım 1: Öncelikle düğüm noktaları belirlenir. Devrede dört adet düğüm noktası vardır.



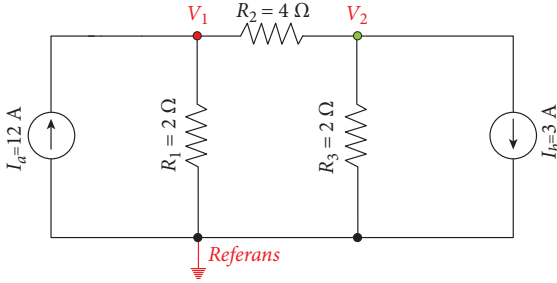
Şekil 3.7 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede düğüm noktalarının gösterimi

Adım 2: Devrede bir düğüm noktası referans olarak seçilir. Hat boyunca herhangi bir devre elemanı bulunmadığı için siyah nokta ile temsil edilen düğüm noktaları eşdeğerdir ve aynı gerilim değerine sahiptir. Siyah renkli ilk düğüm noktası referans düğüm noktası olarak seçilmiştir.



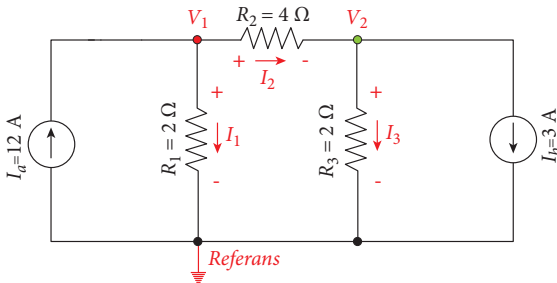
Şekil 3.8 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede referans noktasının gösterimi

Adım 3: Referans olarak seçilen düğüm noktası dışında kalan düğüm noktalarına V_1 ve V_2 gerilim değerleri atanır.



Şekil 3.9 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede düğüm noktalarına atanan gerilimlerin gösterimi

Adım 4: Devreden geçen akımlar tanımlanır. $I_a=12$ A'lık akım birinci (kırmızı renkli) düğüm noktasından girerek $R_1=2 \Omega$ 'luk dirençten I_1 ve $R_2=4 \Omega$ 'luk dirençten geçen I_2 akımlarına ayrılır. Benzer şekilde I_2 akımı ikinci (yeşil renkli) düğüm noktasından girerek $R_3=2 \Omega$ 'luk dirençten geçen I_3 ve $I_b=3$ A'lık akımlara ayrılır.



Şekil 3.10 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede dirençlerden geçen akımların gösterimi

Adım 5: Kirchhoff akım yasası kullanılarak devrenin düğüm noktası gerilimleri eşitlikleri elde edilebilir. Devrede üç düğüm noktası olduğundan dolayı elde edilen iki eşitlik devre çözümü için yeterlidir.

$R_1=2 \Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim $2I_1$ 'dir,

$$V_1 = 2I_1 \quad (3.5)$$

$$I_1 = \frac{V_1}{2}$$

$R_2=4 \Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim $4I_2$ 'dir,

$$V_1 - V_2 = 4I_2 \quad (3.6)$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{4}$$

$R_3=2 \Omega$ 'luk direnç üzerine düşen gerilim $2I_3$ 'dir,

$$V_2 = 2I_3 \quad (3.7)$$

$$I_3 = \frac{V_2}{2}$$

Birinci düğüm noktası için Kirchhoff akım yasası,

$$12 = I_1 + I_2 \quad (3.8)$$

$$12 = \frac{V_1}{2} + \frac{(V_1 - V_2)}{4}$$

Payda eşitlemesi yapılırsa,

$$48 = 3V_1 - V_2$$

İkinci düğüm noktası için Kirchhoff akım yasası,

$$I_2 = I_3 + 3 \quad (3.9)$$

$$\frac{(V_1 - V_2)}{4} = \frac{V_2}{2} + 3$$

payda eşitlemesi yapılırsa,

$$12 = V_1 - 3V_2$$

olarak bulunur. İkinci düğüm noktası için bulunan eşitlik "-3" ile çarpılıp birinci düğüm noktası için elde edilen eşitlik ile taraf tarafa toplanırsa V_1 ve V_2 değerleri elde edilir.

$$48 = 3V_1 - V_2$$

$$-36 = -3V_1 + 9V_2$$

Buradan, $V_1=16,5V$ ve $V_2=1,5V$ olarak elde edilir.

Kol akımlarını bulalım,

$$I_1 = \frac{V_1}{2} = \frac{16,5}{2} = 8,25A$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{4} = \frac{16,5 - 1,5}{4} = 3,75A$$

$$I_3 = \frac{V_2}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75A$$

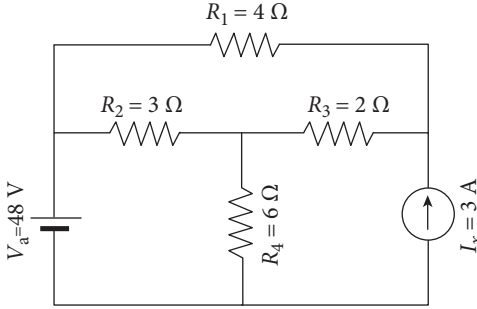
Her bir direnç için harcanan güç $P = I^2 \cdot R$ formülü ile hesaplanır.

$$R_1 = 2 \, \Omega \text{ 'luk direnç için } P = 8,25^2 \cdot 2 = 136,125 \text{ W}$$

$$R_2 = 4 \, \Omega \text{ 'luk direnç için } P = 3,75^2 \cdot 4 = 56,25 \text{ W}$$

$R_3 = 2 \, \Omega \text{ 'luk direnç için } P = 0,75^2 \cdot 2 = 1,125 \text{ W}$ olarak bulunur.

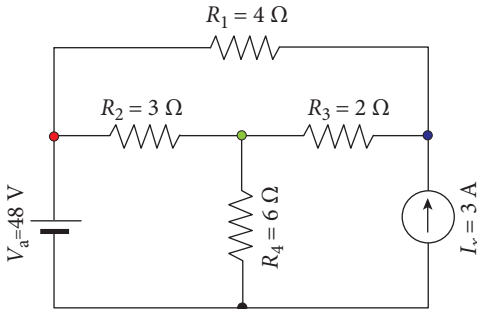
Örnek 3.3: Şekildeki devrede düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanarak devredeki dirençler üzerinden geçen akım değerlerini bulunuz.



Şekil 3.11 Seri, paralel bağlı dirençler ve bir adet akım ve bir adet gerilim kaynağına sahip devre

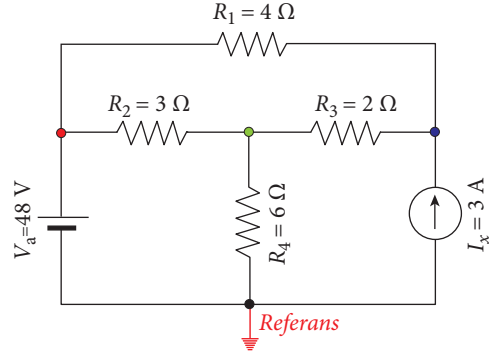
Çözüm: Yukarıdaki devrenin çözümü için düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanırken aşağıdaki adımlar uygulanır.

Adım 1: Düğüm noktaları belirlenir. Devrede dört adet düğüm noktası vardır.



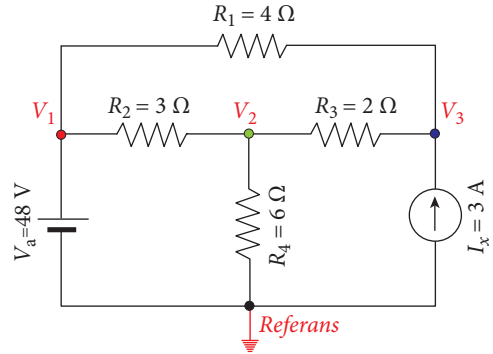
Şekil 3.12 Seri, paralel bağlı dirençler ve bir adet akım ve bir adet gerilim kaynağına sahip devrede düğüm noktalarının gösterimi

Adım 2: Devrede bir düğüm noktası referans olarak seçilir. Siyah nokta ile temsil edilen düğüm noktası referans düğüm noktası olarak seçilmiştir.



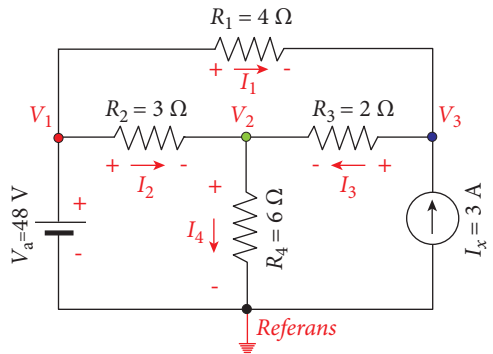
Şekil 3.13 Seri, paralel bağlı dirençler ve bir adet akım ve bir adet gerilim kaynağına sahip devrede referans düğüm noktasının gösterimi

Adım 3: Referans olarak seçilen düğüm noktası dışında kalan düğüm noktalarına V_1 , V_2 ve V_3 gerilim değerleri atanır. V_1 geriliminin bulunduğu düğüm bir ucu topraklanmış $V_a = 48 \text{ V}$ gerilim kaynağına bağlı olduğundan dolayı değeri $V_a = V_1 = 48 \text{ V}$ olur.



Şekil 3.14 Seri, paralel bağlı dirençler ve bir adet akım ve bir adet gerilim kaynağına sahip devrede düğüm noktası gerilimlerinin gösterimi

Adım 4: Devreden geçen akımlar tanımlanır.



Şekil 3.15 Seri, paralel bağlı dirençler ve bir adet akım ve bir adet gerilim kaynağına sahip devrede dirençlerden geçen akımların gösterimi

Adım 5: Kirchhoff akım yasası kullanılarak devrenin düğüm noktası gerilimleri eşitlikleri yazılabilir.

$R_1 = 4 \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_1 = \frac{V_1 - V_3}{4} \quad (3.10)$$

$R_2 = 3 \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{3} \quad (3.11)$$

$R_3 = 2 \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_3 = \frac{V_3 - V_2}{2} \quad (3.12)$$

$R_4 = 6 \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_4 = \frac{V_2}{6} \quad (3.13)$$

ile verilir.

İkinci düğüm noktasına (yeşil renkli) giren I_2 ve I_3 akımlarının toplamı çıkan I_4 akımına eşittir ve

$$I_2 + I_3 = I_4 \quad (3.14)$$

$$\frac{V_1 - V_2}{3} + \frac{V_3 - V_2}{2} = \frac{V_2}{6}$$

Burada, $V_1 = 48V$ değerine sahiptir eşitlikte payda eşitlemesi yapılırsa,

$$\frac{48 - V_2}{3} + \frac{V_3 - V_2}{2} = \frac{V_2}{6}$$

$$96 = 6V_2 - 3V_3$$

elde edilir.

Üçüncü düğüm noktasına (mavi renkli) giren $I_x = 3A$ ve I_1 akımlarının toplamı çıkan I_3 akımına eşittir ve

$$3 + I_1 = I_3 \quad (3.15)$$

$$3 + \frac{48 - V_3}{4} = \frac{V_3 - V_2}{2}$$

ile verilir. Bu eşitlikte payda eşitlemesi yapılırsa,

$$60 = 3V_3 - 2V_2$$

elde edilir. İkinci düğüm noktası için bulunan eşitlik ile üçüncü düğüm noktası için elde edilen eşitlik taraf tarafa toplanırsa V_2 ve V_3 gerilim değerleri elde edilir.

$$96 = 6V_2 - 3V_3$$

$$60 = 3V_3 - 2V_2$$

$$156 = 4V_2$$

$$V_2 = 39V$$

olarak bulunur. Elde edilen $V_2 = 39V$ gerilim değeri birinci ya da ikinci eşitlikte yerine yazılır.

$$60 = 3V_3 - 2V_2$$

$$60 = 3V_3 - 2(39)$$

$$3V_3 = 138$$

$$V_3 = 46V$$

şeklinde elde edilir.

Her bir direnç üzerindeki akım değerleri,

$$I_1 = \frac{48 - V_3}{4} = \frac{48 - 46}{4} = 0,5A$$

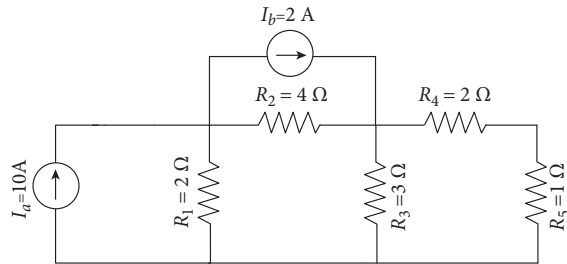
$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{3} = \frac{48 - 39}{3} = 3A$$

$$I_3 = \frac{V_3 - V_2}{2} = \frac{46 - 39}{2} = 3,5A$$

$$I_4 = \frac{V_2}{6} = \frac{39}{6} = 6,5A$$

olarak elde edilir.

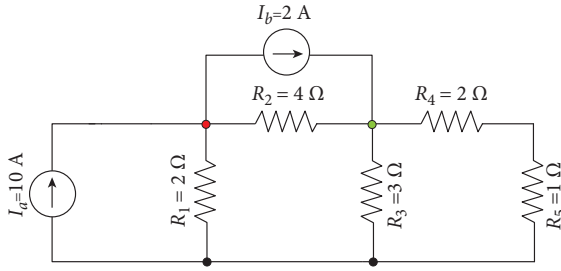
Örnek 3.4: Aşağıdaki devrede düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanarak düğüm noktalarının gerilimlerini belirleyiniz.



Şekil 3.16 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devre

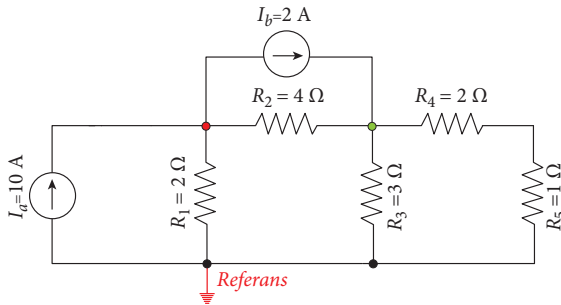
Çözüm: Yukarıdaki devrenin çözümü için düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanırken aşağıdaki adımlar uygulanır.

Adım 1: Düğüm noktaları belirlenir. Devrede dört adet düğüm noktası vardır. Siyah nokta ile temsil edilen düğüm noktaları eş değerdir çünkü aynı hat üzerinde başka bir devre elemanı yoktur.



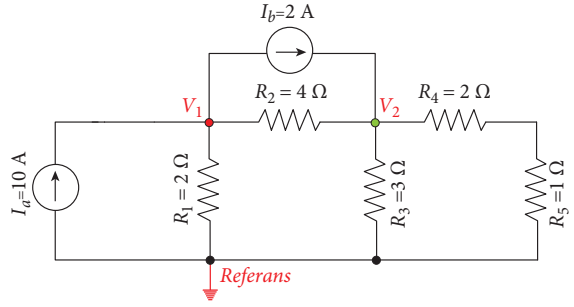
Şekil 3.17 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede düğüm noktalarının gösterimi

Adım 2: Devrede siyah renkli nokta ile gösterilen düğüm noktalarından biri referans düğüm noktası olarak seçilebilir. Bu düğüm noktasının referans düğüm noktası olarak seçilmesi devrenin çözümünde kolaylık sağlar çünkü bu düğüm noktası çok sayıda bağlantı içerir.



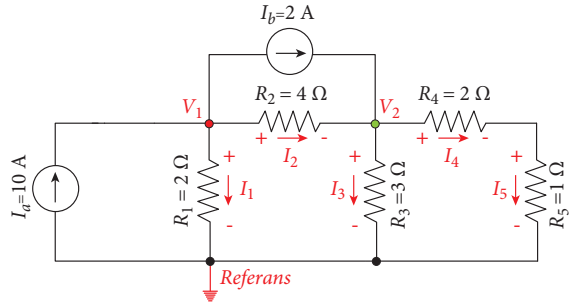
Şekil 3.18 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede referans noktası gösterimi

Adım 3: Referans olarak seçilen düğüm noktası dışında kalan düğüm noktalarına V_1 ve V_2 gerilim değerleri atanır.



Şekil 3.19 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede düğüm noktası gerilimlerinin gösterimi

Adım 4: Devreden geçen akımlar tanımlanır. Sağ koldaki $R_4=2\ \Omega$ ve $R_5=1\ \Omega$ 'luk dirençler seri bağlı olduğu için üzerlerinden geçen akım değerleri birbirine eşittir ve değeri $I_4=I_5$ ile verilir.



Şekil 3.20 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devre dirençlerden geçen akımların gösterimi

Adım 5: Kirchhoff akım yasası kullanılarak devrenin düğüm noktası gerilimleri eşitlikleri yazılabilir. Birinci (kırmızı renkli) ve ikinci (yeşil renkli) düğüm noktalarına göre düğüm gerilimleri eşitlikleri yazılır.

$R_1=2\ \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_1 = \frac{V_1}{2} \quad (3.16)$$

$R_2=4\ \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{4} \quad (3.17)$$

$R_3=3 \Omega$ 'luk dirençten geçen akım değeri,

$$I_3 = \frac{V_2}{3} \quad (3.18)$$

Seri bağlı $R_4=2 \Omega$ ve $R_5=1 \Omega$ 'luk dirençlerden geçen akım değeri,

$$I_4 = I_5 = \frac{V_2}{2+1} = \frac{V_2}{3} \quad (3.19)$$

Seri bağlı $R_4=2 \Omega$ ve $R_5=1 \Omega$ 'luk dirençlerin eş-değer direnci $2 \Omega + 1 \Omega = 3 \Omega$ 'dur.

Birinci düğüm noktası için düğüm noktası eşitliği yazılır.

Birinci düğüm noktasına (kırmızı renkli) $I_a=10$ A değerinde bir akım girmekte ve I_1 , I_2 ve $I_b=2$ A'lık akımlar bu düğüm noktasından çıkmaktadır. Giren akımların toplamı çıkan akımlara eşittir.

$$10 = I_1 + I_2 + 2 \quad (3.20)$$

$$10 = \frac{V_1}{2} + \frac{V_1 - V_2}{4} + 2$$

Eşitlikler düzenlenir ve payda eşitlemesi yapılır,

$$3V_1 - V_2 = 32$$

elde edilir. İkinci düğüm noktası için düğüm noktası eşitliği yazılır.

İkinci düğüm noktasına (yeşil renkli) $I_b=2$ A ve I_2 akımları girer. I_3 ve I_4 akımları bu düğüm noktasından çıkar. Giren akımların toplamı çıkan akımlara eşittir.

$$2 + I_2 = I_3 + I_4 \quad (3.21)$$

$$2 + \frac{V_1 - V_2}{4} = \frac{V_2}{3} + \frac{V_2}{3}$$

Eşitlik düzenlenir ve paydalar eşitlenirse,

$$11V_2 - 3V_1 = 24$$

elde edilir. Bu iki eşitlik alt alta yazılıp taraf tarafa toplanırsa,

$$3V_1 - V_2 = 32$$

$$11V_2 - 3V_1 = 24$$

$$10V_2 = 56$$

$$V_2 = 5,6V$$

olarak elde edilir. Bu $V_2=5,6V$ gerilim değeri birinci ya da ikinci eşitlikte yazılırsa,

$$3V_1 - V_2 = 32$$

$$3V_1 - 5,6 = 32$$

$$3V_1 = 37,6$$

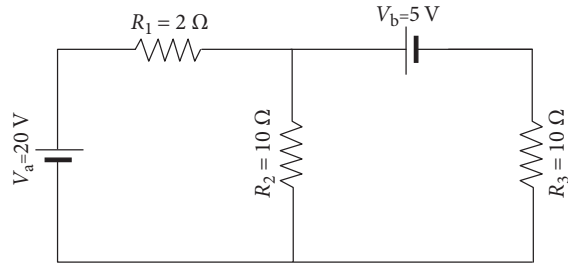
$$V_1 = 12,53V$$

olarak elde edilir.

Süper Düğüm

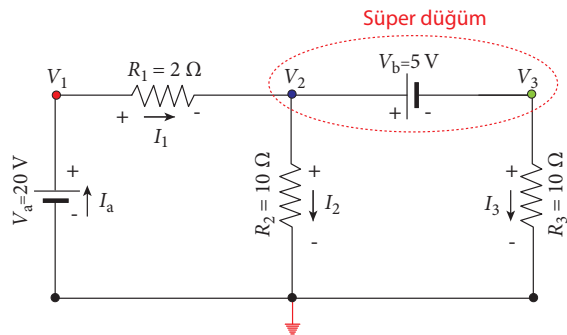
Verilen devrede referans düğüm noktası dışında kalan iki düğüm noktası arasında bir gerilim kaynağı ve bu gerilim kaynağına paralel bağlı devre elemanları bulunuyorsa bu durum süper düğüm olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda, süper düğümü oluşturan bu iki düğüm tek bir düğüm olarak kabul edilir. Bu özel durumu Örnek 3.5 üzerinde inceleyelim.

Örnek 3.5: Şekildeki devrede düğüm gerilimlerini belirleyiniz.



Şekil 3.21 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı süper düğümüne sahip devre

Çözüm: Devreyi incelediğimiz zaman $V_b=5$ V'luk gerilim kaynağı referans düğüm noktası olarak seçilen (siyah renkli) düğüm noktası dışında kalan ikinci düğüm (mavi renkli) ve üçüncü düğüm (yeşil renkli) arasındadır dolayısı ile süper düğüm oluşturur.

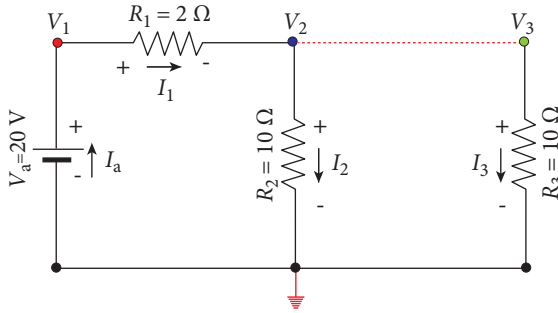


Şekil 3.22 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynaklı devrede süper düğümün gösterimi

Devre Analizi

Böyle bir devrenin analizi için, ikinci (mavi renkli) ve üçüncü (yeşil renkli) düğüm noktaları tek bir düğüm noktası olarak düşünülür (Şekil 3.25). Kirchhoff'un akım yasası uygulanarak çözüm için gerekli eşitlikler elde edilebilir.

V_a geriliminin bir ucu referans noktasına bir ucu birinci düğüm noktasına bağlı olduğundan dolayı V_1 gerilimi V_a gerilimine eşittir. Kırmızı renkli düğüm noktasına I_a akımı girip I_1 akımı çıkmaktadır. Dolayısıyla $I_a = I_1$ verilir. İkinci düğüm noktasına (mavi renkli) göre Kirchhoff'un akım yasası kullanılarak eşitlikler yazılırsa,



Şekil 3.23 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynağı devrede süper düğümün indirgenmesi

$$I_1 = \frac{V_1 - V_2}{R_1} = \frac{20 - V_2}{2} \quad (3.22)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_2}{10} \quad (3.23)$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{V_3}{10} \quad (3.24)$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (3.25)$$

$$\frac{20 - V_2}{2} = \frac{V_2}{10} + \frac{V_3}{10}$$

Payda eşitlemesi yapılırsa,

$$6V_2 + V_3 = 100$$

eşitliği elde edilir.

İki düğüm noktası arasında kalan $V_b = 5$ V gerilim kaynağı için eşitlik yazılırsa,

$$V_2 - V_3 = 5$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak bu iki eşitlik alta yazılır ve ikinci eşitlik "-6" ile çarpılarak bu iki eşitlik toplanırsa V_2 ve V_3 gerilimleri elde edilir.

$$6V_2 + V_3 = 100$$

$$-6V_2 + 6V_3 = -30$$

$$V_3 = 10 \text{ V ve } V_2 = 15 \text{ V olarak elde edilir.}$$

Öğrenme Çıktısı



1. Düğüm noktası gerilimi yöntemi ile ilgili kavramları açıklayabilme
2. Düğüm noktası gerilimi yöntemini devre çözümünde kullanabilme

Araştır 1

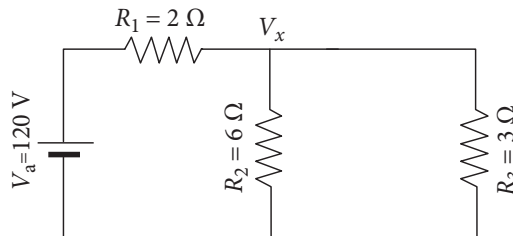
Şekildeki devrede tanımlanan V_x gerilim değerini düğüm noktası gerilimleri yöntemini kullanarak belirleyiniz ve $R_2 = 6 \Omega$ 'luk direnç üzerinden geçen akım değerini hesaplayınız.

İlişkilendir

Düğüm noktası gerilimi yöntemi bir anakart üzerindeki herhangi bir direncin harcadığı gücü belirlemek için uygulanabilir mi?

Anlat/Paylaş

Düğüm noktası gerilimi yönteminin devre analizi uygulamalarındaki avantajlarını sıralayın.



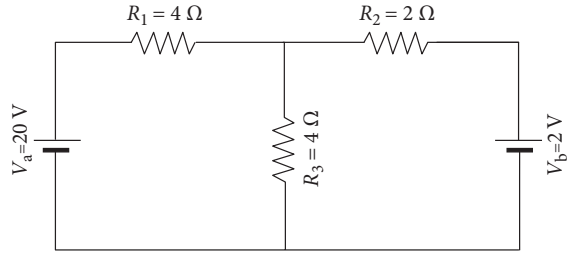
Şekil 3.24 Seri, paralel bağlı dirençler ve gerilim kaynağına sahip devre

ÇEVRE AKIMLARI YÖNTEMİ

Elektrik devrelerinin analizinde kullanılan bir diğer önemli yöntem ise çevre akımları yöntemidir. Bu yöntemin temeli, düğüm noktası gerilimleri yönteminde kullanılan düğüm noktasına giren akımların yerine çevre (göz) olarak isimlendirilen kapalı bölgelerden geçen çevre akımlarının belirlenmesi ve bu çevre akımlarına göre Kirchhoff'un gerilim yasası kullanılarak gerekli eşitliklerin elde edilmesine dayanmaktadır. Çevre akımı, bir çevre boyunca akan akımdır. Çevre akımları yöntemi ile devre analizi basamakları genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

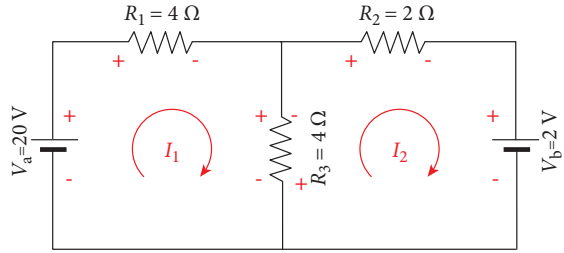
1. Devrede var olan her bir bağımsız çevre için çevre (göz) akımları ve yönü tanımlanır. Çevre akımlarının yön seçimi genellikle keyfidir. Fakat devrede,
 - a. Akım kaynağı var ise o bölgenin çevre (göz) akım yönü kaynak akım yönü ile aynı yönde seçilmesi,
 - b. Gerilim kaynağı var ise o bölgenin çevre (göz) akım yönü gerilim kaynağının (+) ucundan (-) ucuna doğru seçilmesi
 işlem kolaylığı sağlayabilmektedir.
2. Her bir kapalı çevre için tanımlanan çevre (göz) akımları kullanılarak Kirchhoff'un gerilim yasası eşitlikleri yazılır. Eşitlikler yazılırken Ohm yasası kullanılır. Çevre (göz) sayısı kadar eşitlik elde edilir. Bu eşitliklerin düzenlenerek çözülmesi ile önce çevre (göz) akımlarının değerleri elde edilir ve bu değerler kullanılarak kol akımları belirlenebilir.
3. Her bir göz için Kirchhoff'un gerilim yasası eşitlikleri yazılırken, eşitliğin yazılmaya başlandığı noktaya geri dönülür, yani her bir devre elemanının üzerinden yalnızca bir kez geçilerek eşitlikler elde edilir.
4. Devrede bir direnç üzerinden iki veya daha fazla akım akıyorsa, direnç üzerinden akan toplam akım; iki akım aynı yönde ise iki akımın toplamına zıt yönde ise farkına eşittir.
5. Bir çevre (göz)'de akım kaynağı bulunuyorsa, o gözden geçen akımın değeri kaynak akımın değerine eşittir. Bu yüzden, bu çevreye Kirchhoff'un gerilim yasası uygulanmasına gerek yoktur.

Örnek 3.6: Şekildeki devrede çevre (göz) akımlarını ve $R_2=2\ \Omega$ 'luk direncin harcadığı gücü bulunuz.



Şekil 3.25 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynağına sahip devre

Çözüm: Öncelikle devredeki çevre (göz) sayısı belirlenir. Devrede iki adet çevre (göz) bulunmaktadır dolayısı ile yazılacak olan iki adet çevre akımı eşitliği çözüm için yeterli olacaktır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi devrede birinci çevreden I_1 ve ikinci çevreden I_2 çevre akımlarının saat yönünde aktığı varsayılmıştır. Kirchhoff'un gerilim yasasından yararlanılarak çevre akımları eşitlikleri yazılır.



Şekil 3.26 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynağına sahip devrede çevre akımlarının gösterimi

Birinci çevre (göz) için çevre eşitliği;

$$R_1 I_1 + R_3 (I_1 - I_2) - V_a = 0 \quad (3.26)$$

$$4I_1 + 4(I_1 - I_2) - 20 = 0$$

$$8I_1 - 4I_2 = 20$$

İkinci çevre (göz) için çevre eşitliği;

$$R_2 I_2 + R_3 (I_2 - I_1) + V_b = 0 \quad (3.27)$$

$$2I_2 + 4(I_2 - I_1) + 2 = 0$$

$$6I_2 - 4I_1 = -2$$

şeklinde yazılır.

$R_3=4\ \Omega$ 'luk direncin üzerinden hem I_1 hem de I_2 akımları akmaktadır. Bu yüzden çevre eşitliği yazılırken bu iki akımın cebirsel toplamı dikkate alınmalıdır. Birinci çevrede (göz) I_1 akımı akarken I_2 akımı bu akımı azaltıcı yönde akmaktadır. Bu yüz-

den birinci çevre için yazılan eşitlikte $R_3=4\ \Omega$ 'luk direncin üzerinden akan akım $I_1 - I_2$ şeklinde ifade edilmiştir. Benzer durum ikinci çevre için de geçerlidir. İkinci çevrede I_2 akımı akarken I_1 akımı bu akımı azaltıcı yönde akmaktadır. Bu sebeple ikinci çevre akımı eşitliği yazılırken $R_3=4\ \Omega$ 'luk direncin üzerinden geçen akım $I_2 - I_1$ şeklinde ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle, $R_3=4\ \Omega$ 'luk direncin üzerinden akan akımlar zıt yönlü olduğundan toplam akım farkları kadardır.

Elde edilen çevre eşitlikleri alt alta yazılıp çözümlerse I_1 ve I_2 çevre akımları elde edilir.

$$8I_1 - 4I_2 = 20$$

$$6I_2 - 4I_1 = -2$$

İkinci eşitlik "2" ile çarpılıp bu eşitlikler taraf tarafa toplanırsa,

$$8I_1 - 4I_2 = 20$$

$$12I_2 - 8I_1 = -4$$

$$8I_2 = 16$$

$$I_2 = 2A$$

olarak elde edilir. Birinci ya da ikinci eşitlikte $I_2=2A$ değeri yerine yazılırsa,

$$8I_1 - 4I_2 = 20$$

$$8I_1 - 4(2) = 20$$

$$8I_1 = 28$$

$$I_1 = 3,5A$$

olacak şekilde çevre (göz) akımları elde edilir.

$R_2=2\ \Omega$ 'luk direncin harcadığı güç ise,

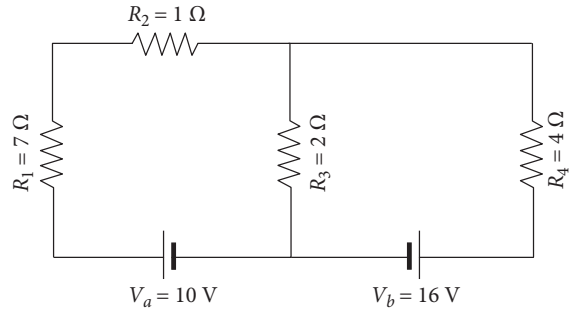
$$P = I^2 \cdot R \quad (3.28)$$

Eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. $R_2=2\ \Omega$ 'luk direnç ikinci çevre (göz) de bulunmaktadır ve bu çevreden sadece $I_2=2A$ akım akmaktadır. Dolayısı ile harcanan güç,

$$P = I^2 \cdot R = 2^2 \cdot 2 = 8W$$

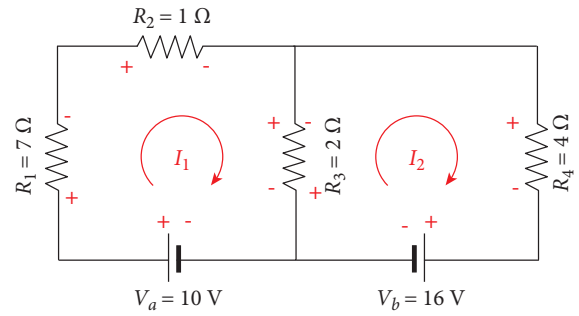
olarak elde edilir.

Örnek 3.7: Şekildeki devrede çevre (göz) akımlarını belirleyiniz.



Şekil 3.27 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynağına sahip devre

Çözüm: Verilen devreyi incelediğimizde iki adet çevre (göz) bulunmaktadır. Her bir göz için iki adet çevre akımı eşitliği yazılması devrenin analizi için yeterlidir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, devrede birinci çevreden I_1 ve ikinci çevreden I_2 çevre akımlarının saat yönünde aktığı varsayılmıştır.



Şekil 3.28 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim kaynağına sahip devrede çevre akımlarının gösterimi

Kirchhoff'un gerilim yasası kullanılarak çevre akımları eşitliklerini elde edelim.

Birinci çevre (göz) için çevre eşitliği:

$$R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 (I_1 - I_2) - V_a = 0 \quad (3.29)$$

$$7I_1 + 1I_1 + 2(I_1 - I_2) - 10 = 0$$

$$10I_1 - 2I_2 = 10$$

İkinci çevre (göz) için çevre eşitliği:

$$R_4 I_2 + R_3 (I_2 - I_1) + V_b = 0 \quad (3.30)$$

$$4I_2 + 2(I_2 - I_1) + 16 = 0$$

$$6I_2 - 2I_1 = -16$$

şeklinde düzenlenmiş iki adet çevre akımı eşitliği elde edilir. Bu eşitlikler alt alta yazılıp çözümlerse I_1 ve I_2 çevre akımları elde edilir.

$$10I_1 - 2I_2 = 10$$

$$6I_2 - 2I_1 = -16$$

Birinci eşitliği “3” ile çarpıp eşitlikler taraf tarafa toplanırsa,

$$30I_1 - 6I_2 = 30$$

$$6I_2 - 2I_1 = -16$$

$$28I_1 = 14$$

$$I_1 = 0,5A$$

olarak elde edilir. Birinci ya da ikinci eşitlikte $I_1 = 0,5A$ değeri yerine yazılırsa,

$$10(0,5) - 2I_2 = 10$$

$$-2I_2 = 5$$

$$I_2 = -2,5A$$

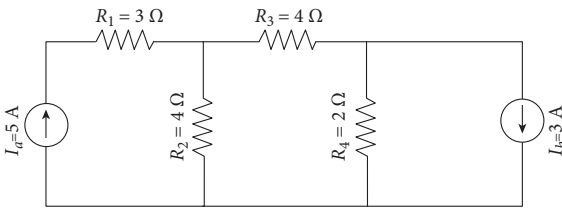
olarak çevre akımları elde edilir.



dikkat

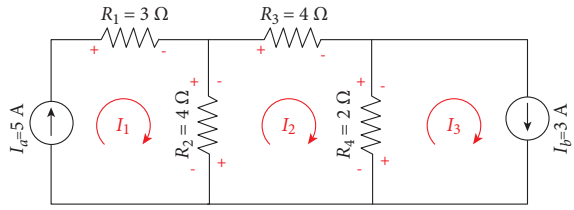
I_2 akımının negatif işaretli çıkmasının sebebi gerçekte devre analizi sırasında ikinci çevreden akan akım için seçilen yönün tersinde akım aktığını göstermektedir.

Örnek 3.8: Şekilde verilen devrede $R_3 = 4\Omega$ direnci üzerinden geçen akım değerini çevre akımları yöntemi ile belirleyiniz.



Şekil 3.29 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devre

Çözüm: Verilen devreyi incelediğimizde üç adet çevre (göz) bulunmaktadır. Devreyi incelediğimizde, birinci çevreden I_1 , ikinci çevreden I_2 ve üçüncü çevreden I_3 çevre akımlarının saat yönünde aktığı varsayılmıştır.



Şekil 3.30 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devrede çevre akımlarının gösterimi

Birinci çevrede, $I_a = 5A$ bir akım kaynağı bulunmaktadır. Dolayısı ile birinci çevre için tanımlanan I_1 akımının değeri bu çevrede bulunan akım kaynağının değerine eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$I_a = I_1 = 5A \quad (3.31)$$

Benzer şekilde, üçüncü çevrede $I_b = 3A$ bir akım kaynağı bulunmaktadır. Bu çevreden akan I_3 akım değeri bu çevrede bulunan akım kaynağının değerine eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$I_b = I_3 = 3A \quad (3.32)$$

Yalnızca ikinci çevre için Kirchhoff'un gerilim yasası kullanılarak çevre akımları eşitliğinin yazılması tüm çevre akımlarının elde edilmesi için yeterlidir.

İkinci çevre için çevre akımı eşitliği:

$$R_3I_2 + R_4(I_2 - I_3) + R_2(I_2 - I_1) = 0 \quad (3.33)$$

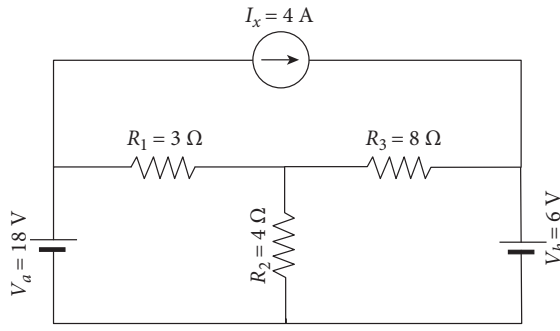
$$4I_2 + 2(I_2 - 3) + 4(I_2 - 5) = 0$$

$$10I_2 = 26$$

$$I_2 = 2,6A$$

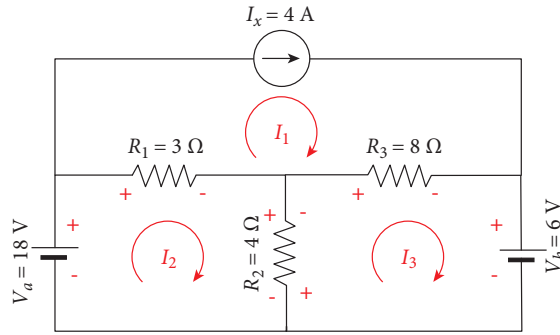
elde edilir. $R_3 = 4\Omega$ 'luk direnç ikinci çevrede bulunmaktadır ve üzerinden sadece tanımlanan I_2 akımı geçmektedir. Dolayısı ile $R_3 = 4\Omega$ direnci üzerinden $I_2 = 2,6A$ akım geçmektedir.

Örnek 3.9: Şekilde verilen devrede çevre akımları yöntemi ile $R_2 = 4\Omega$ direncinden geçen akım değerini belirleyiniz.



Şekil 3.31 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim bir adet akım kaynağına sahip devre

Çözüm: Verilen devreyi incelediğimizde üç adet çevre (göz) bulunmaktadır. Birinci çevreden geçen akım I_1 , ikinci çevreden geçen akım I_2 ve üçüncü çevreden geçen akım I_3 ile tanımlanmıştır ve bu akımların saat yönünde aktığı varsayılmıştır.



Şekil 3.32 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet gerilim bir adet akım kaynağına sahip devrede çevre akımlarının gösterimi

Birinci çevrede, $I_x=4A$ bir akım kaynağı bulunduğu için bu çevreden geçen akım değeri akım kaynağının değerine eşittir. Bu durumda;

$$I_1 = I_x = 4A \quad (3.34)$$

eşitliği elde edilir.

İkinci çevre (göz) için çevre eşitliği:

$$\begin{aligned} R_1(I_2 - I_1) + R_2(I_2 - I_3) - V_a &= 0 \\ 3(I_2 - 4) + 4(I_2 - I_3) - 18 &= 0 \\ 3I_2 - 12 + 4I_2 - 4I_3 - 18 &= 0 \\ 7I_2 - 4I_3 &= 30 \end{aligned} \quad (3.35)$$

Üçüncü çevre (göz) için çevre eşitliği:

$$\begin{aligned} R_3(I_3 - I_1) + R_2(I_3 - I_2) + V_b &= 0 \\ 8(I_3 - 4) + 4(I_3 - I_2) + 6 &= 0 \\ 8I_3 - 24 + 4I_3 - 4I_2 + 6 &= 0 \\ 12I_3 - 4I_2 &= 18 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Elde edilen bu iki eşitlik alt alta yazılıp çözülürse I_2 ve I_3 çevre akımları elde edilir.

$$\begin{aligned} 7I_2 - 4I_3 &= 30 \\ 12I_3 - 4I_2 &= 18 \end{aligned}$$

Birinci eşitliği "3" ile çarpıp eşitlikler taraf tarafa toplanırsa,

$$\begin{aligned} 21I_2 - 12I_3 &= 90 \\ 12I_3 - 4I_2 &= 18 \\ 17I_2 &= 108 \\ I_2 &= 6,35A \end{aligned}$$

olarak elde edilir. Birinci ya da ikinci eşitlikte $I_2=6,35A$ değeri yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} 12I_3 - 4I_2 &= 18 \\ 12I_3 - 4(6,35) &= 18 \\ 12I_3 &= 34,96 \\ I_3 &= 3,62A \end{aligned}$$

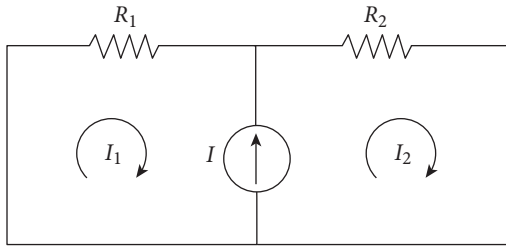
olarak çevre akımları elde edilir. $R_2=4\Omega$ direncinden geçen akım değerini belirlemek için devreyi incelersek $R_2=4\Omega$ direncinden hem I_2 hem de I_3 akımı aynı anda zıt yönde geçmektedir. Bu iki akımın cebirsel toplamı $R_2=4\Omega$ direncinden geçen akım değerini verir.

$$I_2 - I_3 = 6,35 - 3,62 = 2,73A$$

olarak belirlenir.

Süper Çevre

Ayrı iki çevre ortak bir akım kaynağına sahip olduğu zaman süper çevre olarak isimlendirilen özel bir durum karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda devre çözümü için ek bir süper çevre eşitliği çözüme dahil edilir. Aşağıdaki verilen basitleştirilmiş devre süper çevre durumunu açıklayabilmek için idealdir.



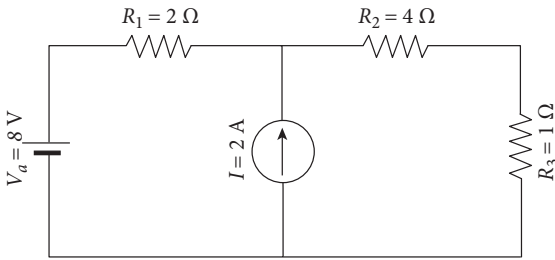
Şekil 3.33 Süper çevreye sahip devre

Devrede görüldüğü üzere, birinci ve ikinci çevre ortak I akım kaynağına sahiptir. Devredeki I akım kaynağının yönü I_2 akımı ile aynı yöndeyken I_1 akımı ile ters yöndedir. Dolayısı ile süper çevre akımı eşitliği;

$$I = I_2 - I_1 \quad (3.37)$$

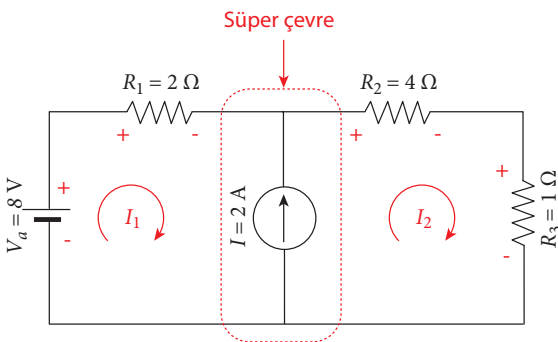
olarak yazılır. Bu özel durumu örnek 3.10 üzerinde inceleyelim.

Örnek 3.10: Şekilde verilen devrede çevre akımları yöntemi kullanarak çevre akımlarını belirleyiniz.



Şekil 3.34 Süper çevreye sahip devre

Çözüm: Şekilde verilen devreyi incelediğimizde, $I=2$ A'lık akım kaynağı birinci ve ikinci çevre arasına bağlıdır, bu durum süper çevreyi oluşturur.



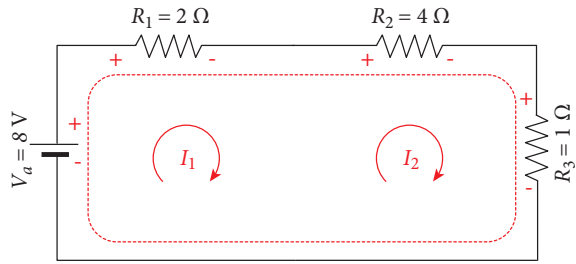
Şekil 3.35 Süper çevreye sahip devrede süper çevrenin gösterimi

Devredeki $I=2$ A'lık akım kaynağının yönü I_2 akımı ile aynı yöndeyken I_1 akımı ile ters yöndedir. Dolayısı ile süper çevre akımı eşitliği;

$$I = I_2 - I_1 = 2A \quad (3.38)$$

olarak elde edilir.

Devrede iki adet çevre bulunmaktadır. Birinci çevreden I_1 ve ikinci çevreden I_2 çevre akımlarının geçtiği varsayılmıştır. Süper çevreye sahip devrede, iki çevre içinde ortak olan akım kaynağı çıkartılarak çözüm için aşağıdaki gibi indirgenmiş devre elde edilir.



Şekil 3.36 Süper çevreye sahip devrenin indirgenmiş gösterimi

Çözüm için elde edilen indirgenmiş devrede, Kirchhoff'un gerilim yasası uygulanarak çözüm için gerekli eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned} -V_a + R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_2 &= 0 \\ -8 + 2I_1 + 4I_2 + 1I_2 &= 0 \\ 2I_1 + 5I_2 &= 8 \end{aligned} \quad (3.39)$$

Elde edilen bu eşitliği süper çevre akımı için elde ettiğimiz eşitlik ile alt alta yazalım.

$$\begin{aligned} I_2 - I_1 &= 2 \\ 2I_1 + 5I_2 &= 8 \end{aligned}$$

Eşitliklerin çözümü için, birinci eşitliği "2" ile çarpıp iki eşitliği taraf tarafa toplayalım.

$$\begin{aligned} 2I_2 - 2I_1 &= 4 \\ 2I_1 + 5I_2 &= 8 \\ 7I_2 &= 12 \\ I_2 &= 1,71A \end{aligned}$$

olarak elde edilir. Elde edilen $I_2=1,71$ A akım değerini birinci ya da ikinci eşitlikte yerine yazarsak,

$$2I_1+5I_2=8$$

$$2I_1+5(1,71)=8$$

$$2I_1+5(1,71)=8$$

$$I_1=-0,275\text{A}$$

olarak elde edilir. Akımın negatif işaretli çıkması, gerçekte devrede çözüm için birinci çevreden akan I_1 akımı için seçilen yönün tersinde akım aktığını göstermektedir.

Öğrenme Çıktısı



3 Çevre akımları yöntemi ile ilgili kavramları açıklayabilme
4 Çevre akımları yöntemini devre çözümünde kullanabilme

Araştır 2

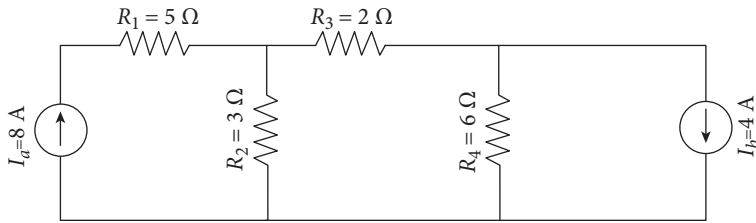
Şekilde verilen devrede $R_3=2\ \Omega$ 'luk direnç üzerinden geçen akım değerini bulunuz.

İlişkilendir

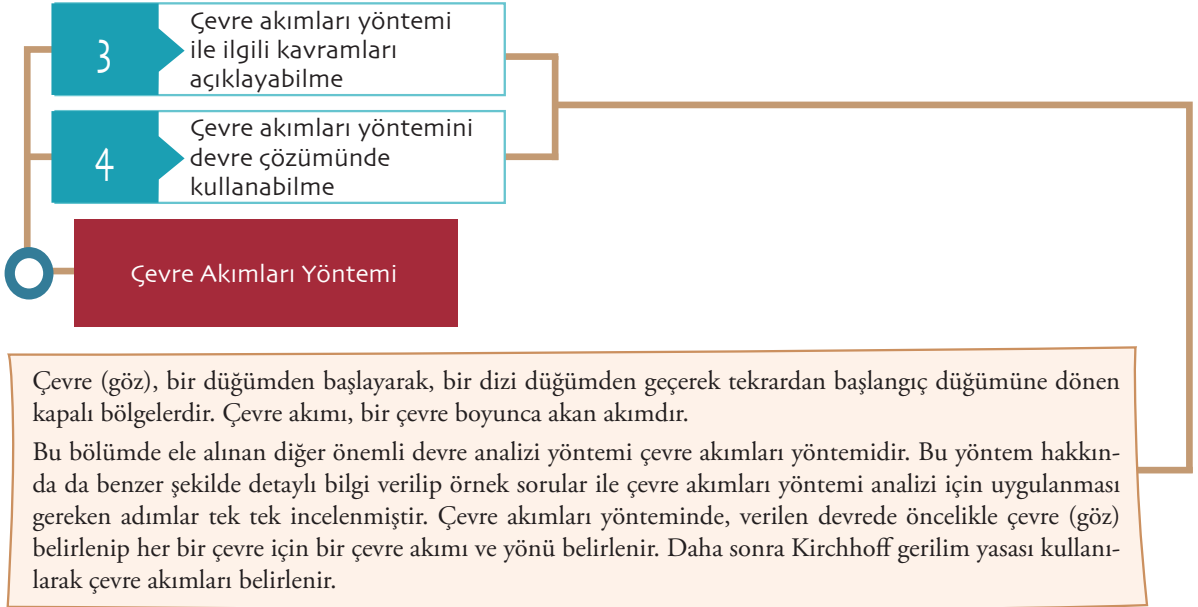
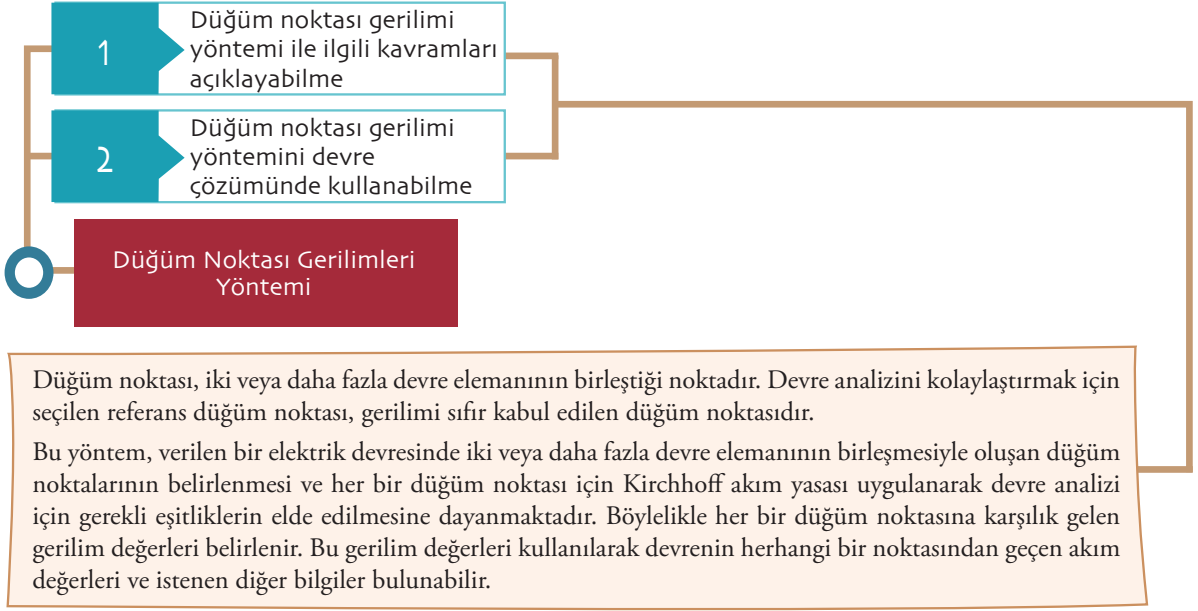
Çevre akımları yöntemi bir ekran kartında uygulanabilir mi?

Anlat/Paylaş

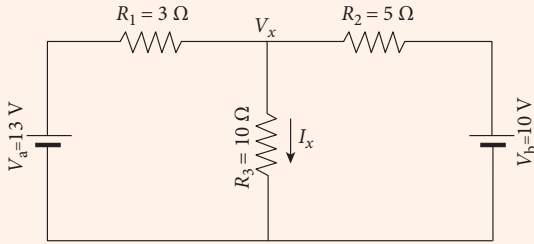
Çevre akımları yöntemlerinin temelini oluşturan yasaları tanımlayın.



Şekil 3.37 Seri, paralel bağlı dirençler ve iki adet akım kaynağına sahip devre



1, 2 ve 3. soruları aşağıda verilen devreye göre cevaplandırınız.



1 V_x geriliminin değeri kaç V'tur?

- A. 10 B. 12
C. 20 D. 5
E. 15

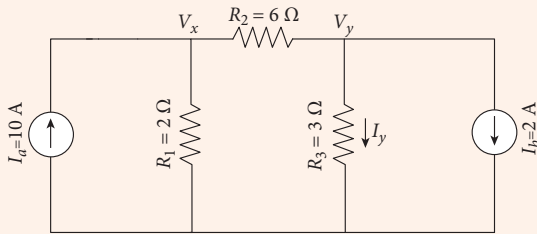
2 I_x akımın değeri kaç A'dır?

- A. 2 B. 4
C. 3 D. 1
E. 5

3 $R_3 = 10 \Omega$ 'luk direncin harcadığı güç kaç W'tır?

- A. 25 B. 15
C. 10 D. 30
E. 5

4, 5 ve 6. soruları aşağıda verilen devreye göre cevaplandırınız.



4 V_x geriliminin değeri kaç V'tur?

- A. 14,23 B. 15,27
C. 13,2 D. 10
E. 17,5

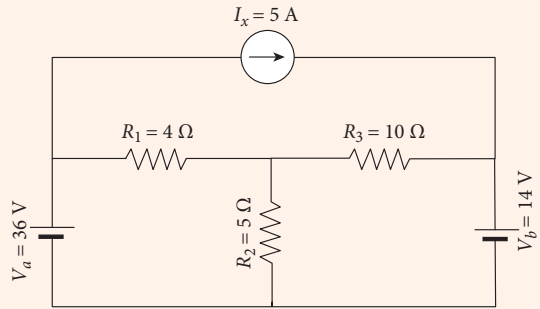
5 V_y geriliminin değeri kaç V'tur?

- A. 2,5 B. 3
C. 1,2 D. 3,6
E. 1,09

6 R_3 direncinin üzerine düşen I_y akımının değeri kaç A'dır?

- A. 0,36 B. 0,42
C. 1,2 D. 0,5
E. 0,72

7. ve 8. soruları aşağıda verilen devreye göre cevaplandırınız.



7 R_1 direnci üzerinden geçen akım değeri kaç A'dır?

- A. 3,7 B. 5,2
C. 3,2 D. 4,3
E. 2,8

8 R_2 direnci üzerinden geçen akım değeri kaç A'dır?

- A. 7 B. 5
C. 7,23 D. 5,50
E. 3,78

9 R_3 direnci üzerinden geçen akım değeri kaç A'dır?

- A. 1,58 B. 0,49
C. 1 D. 2,51
E. 4

10 $R_2 = 5 \Omega$ 'luk direncin harcadığı güç kaç W'tır?

- A. 72,2 B. 85
C. 65 D. 46
E. 78

1. A

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

2. D

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

3. C

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

4. B

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

5. E

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

6. A

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Gerilim Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

7. D

Yanıtınız yanlış ise “Çevre Akımları Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

8. E

Yanıtınız yanlış ise “Çevre Akımları Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

9. B

Yanıtınız yanlış ise “Çevre Akımları Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

10. A

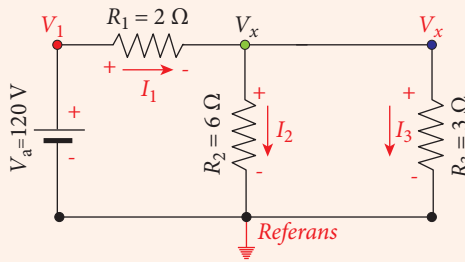
Yanıtınız yanlış ise “Çevre Akımları Yöntemi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

3

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

Devrede öncelikle düğüm noktaları belirlenir ve referans düğüm noktası seçilir. Her bir düğüm noktasına gerilim değerleri atanmıştır. Birinci düğüm noktasının (kırmızı renkli) sahip olduğu V_1 gerilimi V_a gerilimine eşittir. $R_2=6\ \Omega$ ve $R_3=3\ \Omega$ ’luk dirençler birbirine paralel oldukları için üzerlerine düşen gerilim değerleri aynıdır ve V_x kadardır. Her bir dirençten geçen akımlar I_1 , I_2 ve I_3 ile gösterilmiştir.



Kirchoff akım yasası kullanılarak devrenin düğüm gerilimleri eşitlikleri yazılabilir. İkinci düğüm noktasına (yeşil renkli) giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşittir.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\frac{V_1 - V_x}{2} = \frac{V_x}{6} + \frac{V_x}{3}$$

$$\frac{120 - V_x}{2} = \frac{V_x}{6} + \frac{V_x}{3}$$

3

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

Payda eşitlemesi yapılırsa,

$$6V_x = 360$$

$$V_x = 60V$$

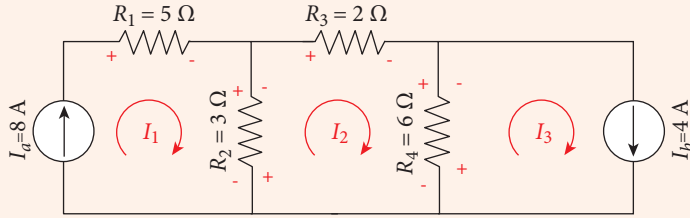
Olarak elde edilir. $R_2 = 6 \Omega$ 'luk direnç üzerinden geçen akım değeri,

$$I_{6\Omega} = \frac{V_x}{R_2}$$

$$I_{6\Omega} = \frac{60}{6} = 10A$$

Araştır 2

Verilen devreyi incelediğimizde üç adet çevre (göz) bulunmaktadır. Devreyi incelediğimizde, birinci çevreden I_1 , ikinci çevreden I_2 ve üçüncü çevreden I_3 çevre akımlarının saat yönünde aktığı varsayılmıştır.



Birinci çevrede, $I_a = 8A$ bir akım kaynağı bulunmaktadır. Dolayısı ile birinci çevre için tanımlanan I_1 akımının değeri bu çevrede bulunan akım kaynağının değerine eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$I_a = I_1 = 8A$$

Benzer şekilde, üçüncü çevrede $I_b = 4A$ bir akım kaynağı bulunmaktadır. Bu çevreden akan I_3 akım değeri bu çevrede bulunan akım kaynağının değerine eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$I_b = I_3 = 4A$$

İkinci çevre için Kirchhoff'un gerilim yasası kullanılarak çevre akımları eşitliği çözüm için yeterlidir.

İkinci çevre için çevre akımı eşitliği:

$$R_3 I_2 + R_4 (I_2 - I_3) + R_2 (I_2 - I_1) = 0$$

$$2I_2 + 6(I_2 - 4) + 3(I_2 - 8) = 0$$

$$11I_2 = 48$$

$$I_2 = 4,36A$$

elde edilir. $R_3 = 2 \Omega$ 'luk direnç üzerinden geçen akım

$$I_{2\Omega} = I_2 = 4,36A$$

olarak belirlenir.

Kaynakça

Boylestad, R. L. (2013). *Introductory circuit analysis*. Pearson Education.

Ergul, O. (2017). *Introduction to Electrical Circuit Analysis*. John Wiley & Sons.

Irwin, J. D. ve Nelms, R. M. (2020). *Basic engineering circuit analysis*. Wiley.

Rahmani-Andebili, M. (2021). *AC Electrical Circuit Analysis: Practice Problems, Methods, and Solutions*. Springer Nature.

■ Bölüm 4

Devre Teoremleri

öğrenme çıktıları

Süperpozisyon Teoremi

- 1 Süperpozisyon teoremini açıklayabilme
- 2 Karmaşık elektrik devrelerinin analizinde süperpozisyon teoremini uygulayabilme

Thevenin Teoremi

- 5 Thevenin teoremini açıklayabilme
- 6 Thevenin teoremini kullanarak devre analizi yapabilme

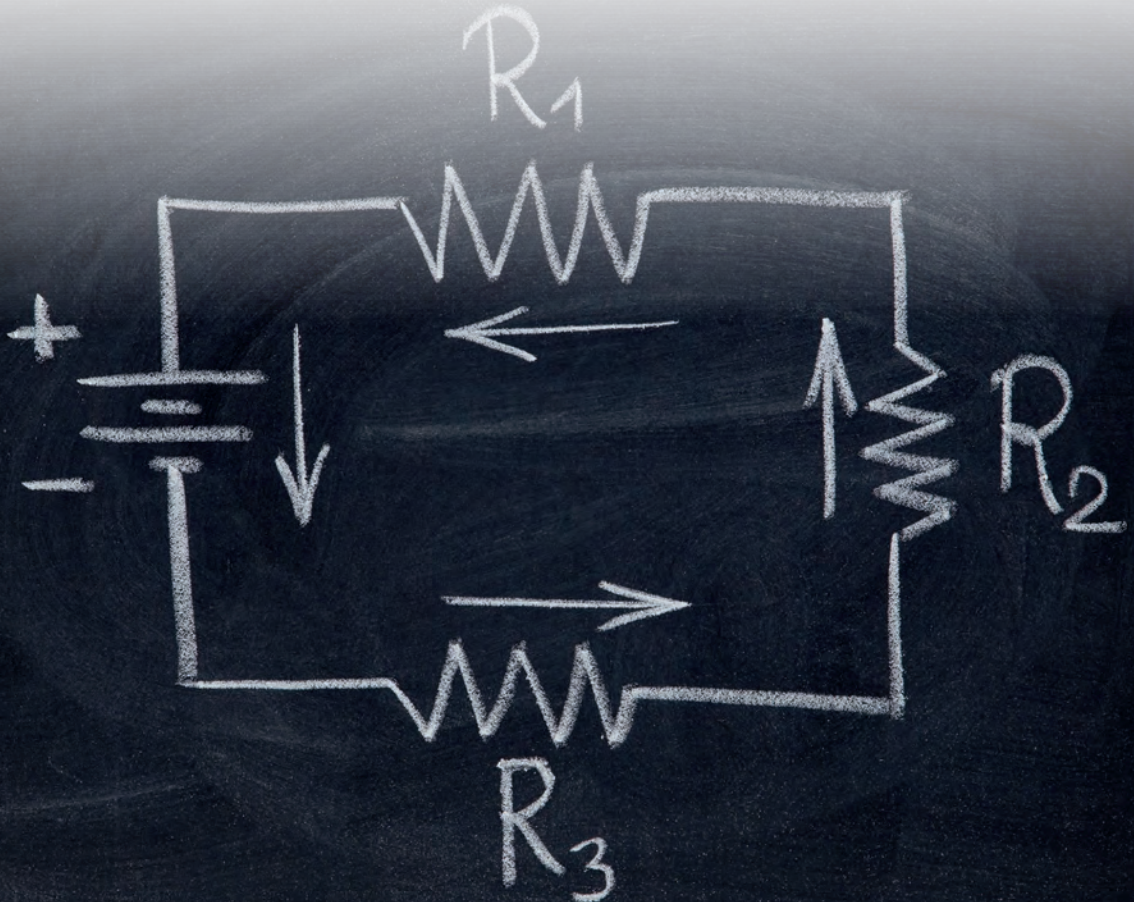
Kaynak Dönüşümü

- 3 Kaynak dönüşümünün elektrik devresini basitleştirmedeki rolünü açıklayabilme
- 4 Karmaşık devrelerde akım ve gerilim kaynaklarını birbirine dönüştürebilme

Norton Teoremi

- 7 Norton teoremini açıklayabilme
- 8 Norton teoremini kullanarak devre analizi yapabilme

Anahtar Sözcükler: • Süperpozisyon Teoremi • Kaynak Dönüşümü • Thevenin Teoremi • Thevenin Gerilimi • Thevenin Direnci • Norton Teoremi • Norton Akımı • Norton Direnci



GİRİŞ

Elektrik devrelerinin uygulama alanlarının her geçen gün artması, geçmişte basit olan ve gide-rek daha karmaşık hâle gelen devrelerin analizini kolaylaştıracak yöntemlere olan ihtiyacı da beraberinde getirmiştir. Karmaşık olmayan, birkaç di-renç ve voltaj kaynağından veya akım kaynağından oluşan devrelerin çözümlenmesi en temel kanun-lar olan Ohm kanunu ve Kirchhoff kanunları kul-lanılarak kolayca analiz edilebilmektedir. Ancak elektrik devresi daha karmaşık hâl aldıkça Ohm kanunu ve Kirchhoff kanunlarını kullanarak dev-renin yapısını bozmadan çözümlmek mümkün olmadığı durumlarda, devrelerin karmaşıklığı ile baş edebilmek ve çözüm ortaya koyabilmek amacı ile bazı devre çözümleme teoremleri geliştirilmiştir. Süperpozisyon teoremi, kaynak dönüşümü, Thevenin teoremi ve Norton teoremi bunlardan bazılarıdır. Bu bölümde ilgili teoremlerin lineer (doğrusal) elektrik devrelerine uygulanması ele alınacaktır. Bu amaç doğrultusunda süperpozisyon teoremi, kaynak dönüşümü, Thevenin teoremi ve Norton teoremi konuları sırası ile ele alınacaktır. Her konu temel seviyede açıklanacak ve örneklerle pekiştirilecektir.

SÜPERPOZİSYON TEOREMİ

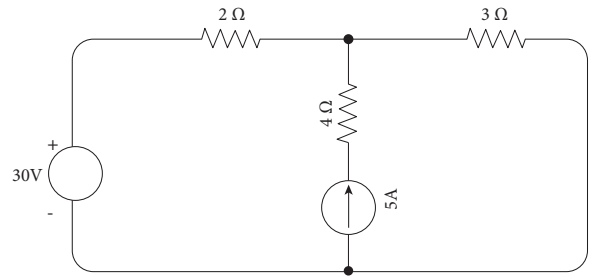
Birden fazla bağımsız besleme kaynağına sahip bir lineer elektrik devresinin çözümlenmesinde düğüm noktası ve göz analizi yöntemleri kullanılabilir. Ancak çözümlmeyi basitleştirmek için kullanılabilecek yöntemlerden birisi *süperpozisyon teoremi*dir.

✓ Süperpozisyon teoremi, bir lineer elekt-rik devresinin, devrede bulunan bağımsız besleme kaynaklarının (akım veya gerilim) toplamına verdiği tepkinin, ilgili elektrik devresinin her bir besleme kaynağına ayrı ayrı verdiği tepkilerin cebirsel toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir.

Örneğin devrede bir adet bağımsız gerilim kay-nağı ve bir adet bağımsız akım kaynağı olduğunu düşünelim. Devrenin bağımsız gerilim kaynağına vereceği tepkiyi görmek için akım kaynağı sustu-

rulur; devrenin bağımsız akım kaynağına vereceği tepkiyi görmek için ise gerilim kaynağı susturulur. Bu iki farklı durumda devrenin verdiği tepkilerin cebirsel toplamı, akım ve gerilim kaynağının ikisi-nin aynı anda aktif olduğunda oluşacak tepkiye eşit olacaktır. Süperpozisyon teoreminde takip edilecek adımları bir örnek üzerinden anlatalım.

Örnek 4.1: Aşağıda Şekil 4.1’de verilen devrede 3Ω ’luk direnç üzerinden geçen akımı süperpozis-yon yöntemi ile hesaplayınız.



Şekil 4.1 Örnek 4.1 için devre şeması

Çözüm:

I. Adım: Devrede kaç adet bağımsız kaynak ol-duğu tespit edilir. Bir devrede bağımsız akım ve ge-rilim kaynağı aynı anda bulunabilir. Bu örnekte bir adet bağımsız gerilim kaynağı ve bir adet bağımsız akım kaynağı bulunmaktadır.



dikkat

Devrede bulunan toplam bağımsız akım ve ge-rilim kaynağı sayısı kadar analiz yapılır.

Dolayısı ile iki farklı kaynağın devreyi tek başına beslediği iki durumu analiz edip sonuca ulaşacağız.

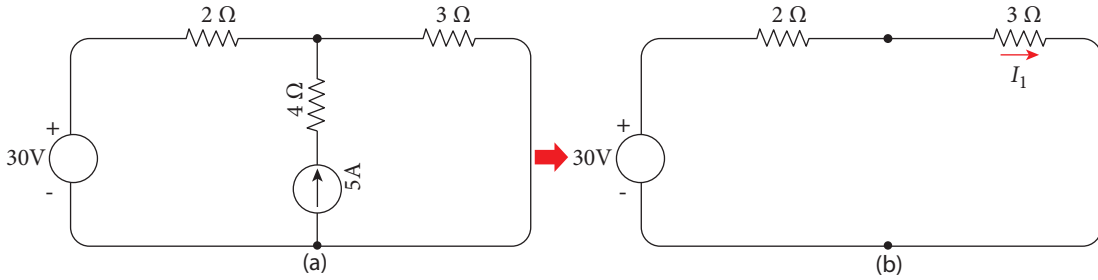
II. Adım: Devreyi besleyen kaynakların her birisinin tek başına devreyi beslemesi durumun-da 3Ω ’luk direnç üzerinden geçen akımı tek tek hesaplanır.

- 30V’luk gerilim kaynağından başlarsak, 5A’lık akım kaynağı söndürülür ve devre yalnızca 30 V’luk kaynak tarafından besle-nir (Şekil 4.2).



dikkat

Devrede bulunan gerilim kaynağını söndürmek için gerilim kaynağı kısa devre yapılır, akım kaynağını söndürmek için akım kaynağı açık devre yapılır.



Şekil 4.2 Akım kaynağının açık devre yapılması ve gerilim kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumu

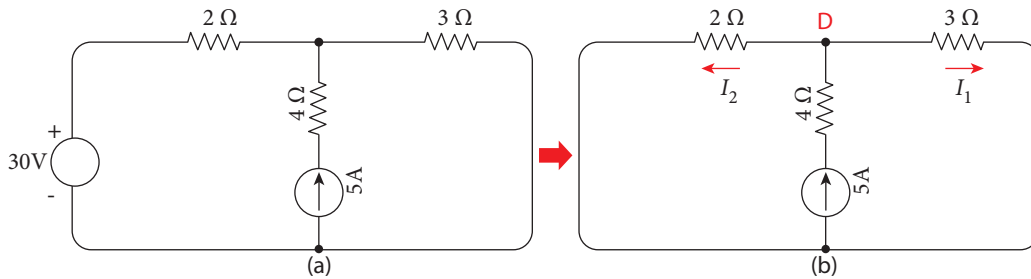
Şekil 4.2(b)'ye evrilen devre çözümlenirse,

$$-30 + 2I_1 + 3I_1 = 0 \quad (4.1)$$

$$I_{1,30V} = 6A \quad (4.2) \text{ olur.}$$

Süper pozisyon teoreminde çözümleme yaparken her bir bağımsız kaynağın hedef devre elemanı üzerine etkisini hesaplamak için $I_{1,30V}$ gibi gösterimler kullanılmaktadır. Örneğin $I_{1,30V}$ gösterimi, 30V'luk gerilim kaynağının devreyi beslemesi durumunda ortaya çıkan I_1 akımını ifade etmektedir.

b. 30V'luk gerilim kaynağının ortada olmadığı gibi düşünülür ve devre yalnızca 5A'lık kaynak tarafından beslenir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Gerilim kaynağının kısa devre yapılması ve akım kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumu

Şekil 4.3(b)'ye evrilen devre düğüm noktası analizi yöntemi ile çözümlenebilir. D düğüm noktasına 5A'lık akım girmekte, I_1 akımı ve I_2 akımı D düğüm noktasından çıkmaktadır. Giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşit olduğundan;

$$I_1 + I_2 = 5 \quad (4.3)$$

D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_1 gerilimi düşer. Bu durumda,

$$I_1 = \frac{V_1}{3} \text{ ve } I_2 = \frac{V_1}{2} \quad (4.4)$$

olan I_1 ve I_2 akımları yerine yazılarak V_1 değeri bulunabilir.

$$\frac{V_1}{3} + \frac{V_1}{2} = 5 \quad (4.5)$$

$$V_1 = 6V$$

$$I_1 = \frac{V_1}{3} = \frac{6}{3} = 2A \quad I_{1,5A} = 2A \quad (4.6)$$

III. Adım: Şekil 4.1'de verilen devrede bulunan her bir bağımsız akım ve gerilim kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumunda 3Ω 'luk direnç üzerinden geçen $I_{1,30V}$ ve $I_{1,5A}$ akımları cebirsel olarak toplanır ve 3Ω 'luk direnç üzerinden geçen $I_{3\Omega}$ akımı bulunur.

$$I_{3\Omega} = I_{1,30V} + I_{1,5A} \quad (4.7)$$

$$I_{3\Omega} = 8A$$

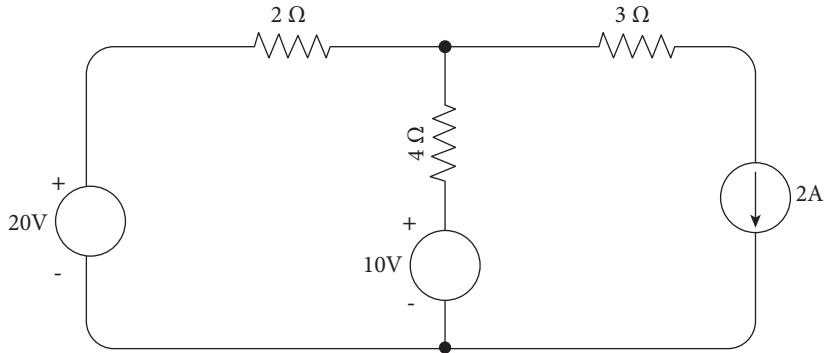
Süperpozisyon teoremi yardımı ile devre çözümlemesi yaparken ilgili devrede bağımlı kaynak bulunuyorsa, bu bağımlı kaynak hiçbir zaman diğer akım ve gerilim kaynakları gibi devre dışına alınmaz, bağımlı kaynağın devreyi beslediği durumu ele alınmaz.



dikkat

Bağımlı kaynak devrenin bir yerindeki akım veya gerilime bağlı olduğundan diğer bağımsız gerilim ve akım kaynakları gibi kesinlikle devreden çıkarılamaz. Yani bağımlı gerilim kaynaklarına kısa devre ve bağımlı akım kaynaklarına açık devre işlemi uygulanamaz.

Örnek 4.2: Aşağıda Şekil 4.4'te verilen devrede 4Ω 'luk direnç üzerinden geçen akımı süperpozisyon yöntemi ile hesaplayınız.



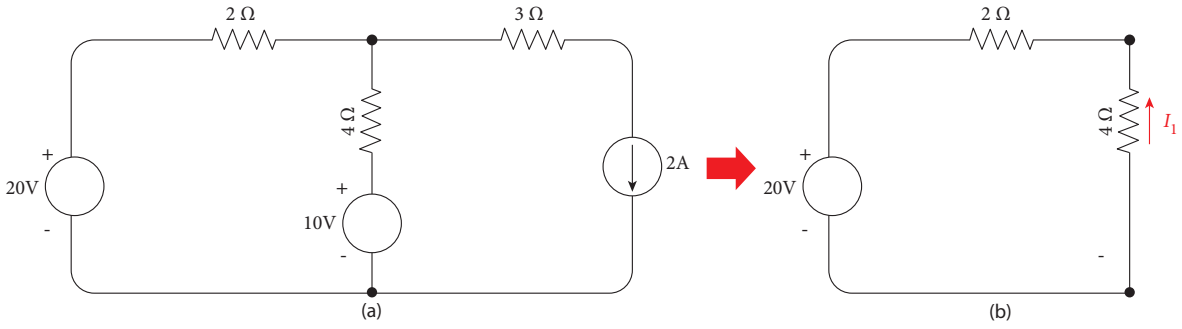
Şekil 4.4 Örnek 4.2 için devre şeması

Çözüm:

I. Adım: Devrede kaç adet bağımsız kaynak olduğu tespit edilir. Bu örnekte iki adet bağımsız gerilim kaynağı ve bir adet bağımsız akım kaynağı bulunmaktadır. Dolayısı ile üç farklı kaynağın devreyi tek başına beslediği üç durumu analiz edip sonuca ulaşacağız.

II. Adım: Devreyi besleyen kaynakların her birisinin tek başına devreyi beslemesi durumunda 4Ω 'luk direnç üzerinden geçen akım tek tek hesaplanır.

- 20 V'luk gerilim kaynağından başlarsak, 10 V'luk gerilim kaynağı kısa devre yapılır, 2 A'lık akım kaynağı açık devre yapılır ve devre yalnızca 20 V'luk kaynak tarafından beslenir (Şekil 4.5)



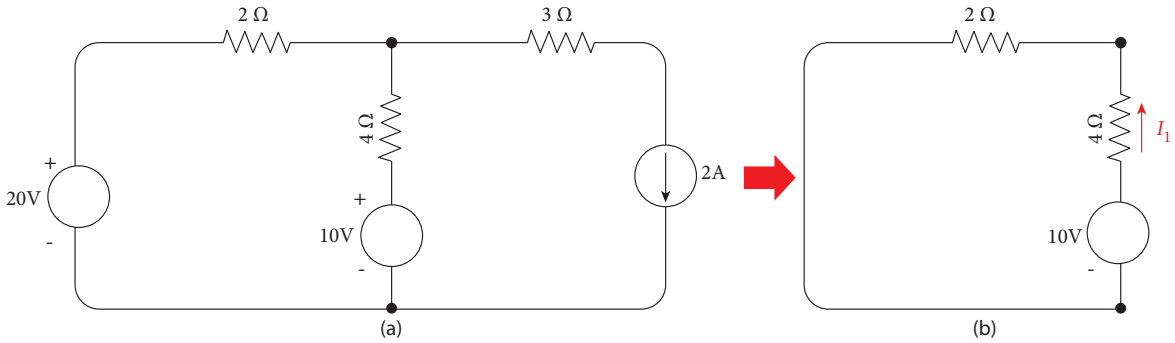
Şekil 4.5 2A'lık akım kaynağının açık devre yapılması ve 10V'luk gerilim kaynağının kısa devre yapılması sonrası 20V'luk gerilim kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumu

Şekil 4.5(b)'ye evrilen devre çözümlenirse:

$$-20 - 2I_1 + 4I_1 = 0 \quad (4.8)$$

$$I_{1,20V} = -3,33A \quad (4.9)$$

b) 20V'luk gerilim kaynağı kısa devre yapılır, 2A'lık akım kaynağı açık devre yapılır ve devre yalnızca 10V'luk kaynak tarafından beslenir (Şekil 4.6).



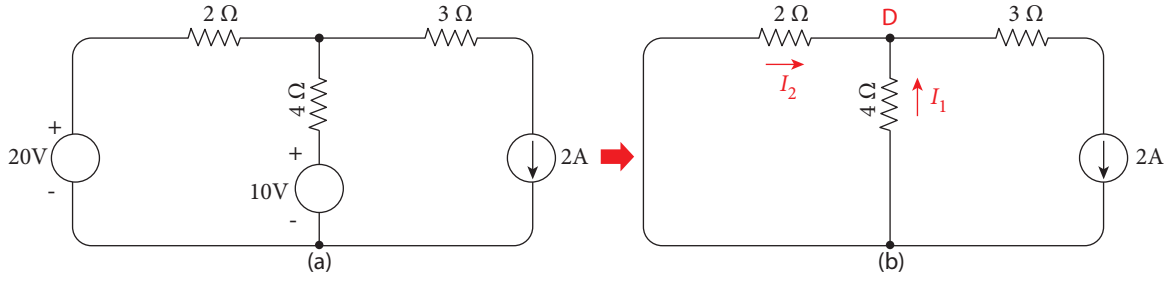
Şekil 4.6 2A'lık akım kaynağının açık devre yapılması ve 20V'luk gerilim kaynağının kısa devre yapılması sonrası 10V'luk gerilim kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumu

Şekil 4.6(b)'ye evrilen devre çözümlenirse,

$$-10 + 4I_1 + 2I_1 = 0 \quad (4.10)$$

$$I_{1,10V} = 1,67A \quad (4.11)$$

c) 20 V'luk ve 10 V'luk gerilim kaynağı kısa devre yapılır, devre yalnızca 2 A'lık kaynak tarafından beslenir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 20V'luk ve 10V'luk gerilim kaynaklarının kısa devre yapılması ve 2A'lık akım kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumu

Şekil 4.7(b)'ye evrilen devre düğüm noktası analizi yöntemi ile çözümlenebilir. D düğüm noktasına I_2 akımı ve I_1 akımı girmekte, 2A'lık akım D düğüm noktasından çıkmaktadır. Giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşit olduğundan,

$$I_1 + I_2 = 2 \quad (4.12)$$

olarak bulunur. D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_1 gerilimi düşer. Bu durumda,

$$I_1 = \frac{V_1}{4} \text{ ve } I_2 = \frac{V_1}{2} \quad (4.13)$$

olan I_1 ve I_2 akımları yerine yazılarak V_1 değeri bulunabilir.

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{2} + \frac{V_1}{4} &= 2 \\ V_1 &= 2,67V \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1}{4} = \frac{2,67}{4} = 0,67A \\ I_{1,2A} &= 0,67A \end{aligned} \quad (4.15)$$

III. Adım: Şekil 4.4'te verilen devrede bulunan her bir bağımsız akım ve gerilim kaynağının tek başına devreyi beslemesi durumunda 4Ω 'luk direnç üzerinden geçen $I_{1, 20V}$, $I_{1, 10V}$ ve $I_{1, 2A}$ akımları cebirsel olarak toplanır ve 4Ω 'luk direnç üzerinden geçen $I_{4\Omega}$ akımı bulunur.

$$\begin{aligned} I_{4\Omega} &= I_{1, 20V} + I_{1, 10V} + I_{1, 2A} \\ I_{4\Omega} &= -3,33 + 1,67 + 0,67 \\ I_{4\Omega} &= -0,99 A \end{aligned} \quad (4.16)$$

$I_{4\Omega}$ akımının eksi çıkması, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de yukarı yönlü gösterilen I_1 akımının yönünün ters olduğunu göstermektedir.



dikkat

Eksi değer akımın niceliğini değil yönünü belirtmektedir.

Öğrenme Çıktısı



- 1 Süperpozisyon teoremini açıklayabilme
- 2 Karmaşık elektrik devrelerinin analizinde süperpozisyon teoremini uygulayabilme

Araştır 1

Birden fazla bağımsız akım ve gerilim kaynağının bulunduğu bir devrede, herhangi bir devre elemanı üzerine düşen akım veya gerilimi belirlemek için süperpozisyon teoremi dışında başka hangi yöntemler kullanılabilir?

İlişkilendir

Süperpozisyon teoreminde neden bağımlı kaynağın devreyi tek başına besleme durumu ele alınmaz?

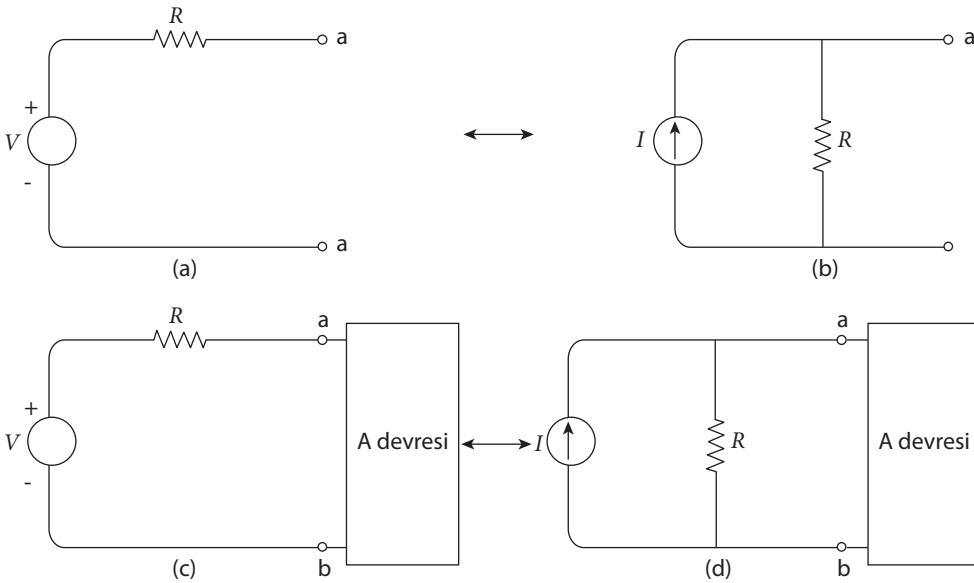
Anlat/Paylaş

Süperpozisyon teoreminin avantaj ve dezavantajları nelerdir?

KAYNAK DÖNÜŞÜMÜ

Karmaşık elektrik devrelerini basite indirme yöntemlerinden bir diğeri kaynak dönüşümüdür.

✓ Kaynak dönüşümü, bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağının, bir direnç ile paralel bağlı bir akım kaynağı ile yer değiştirilmesi veya bir direnç ile paralel bağlı akım kaynağının, bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağı ile yer değiştirilmesi işlemidir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Kaynak dönüşümü a) Voltaj kaynağı b) Akım kaynağı c) Voltaj kaynağı ile beslenen A devresi d) Akım kaynağı ile beslenen A devresi

Kaynak dönüşümünde en önemli nokta, kaynak dönüşümü sonrası ilgili devrede bulunan hiçbir devre elemanı üzerine düşen akım ve gerilimin değişmemesi gerekmektedir. Şöyle ki Şekil 4.8(a)'da verilen gerilim kaynağı Şekil 4.8(c)'deki gibi A devresini beslediğinde a-b terminalleri arasındaki akım ve gerilim; Şekil 4.8(b)'de verilen akım kaynağı Şekil 4.8(d)'deki gibi A devresini beslediğinde a-b terminalleri arasındaki akım ve gerilim ile aynı olmak zorundadır. Yani, Şekil 4.8(a)'daki gerilim kaynağı kaynak dönüşümü yöntemi ile Şekil 4.8(b)'deki akım kaynağına dönüştürülürse, A devresinde bulunan hiçbir devre elemanı üzerine düşen akım ve gerilim değerinin değişmemesi gerekmektedir.



dikkat

Kaynak dönüşümü sonrası, beslenen devrede bulunan devre elemanları üzerine düşen akım ve gerilimlerin değişmemesi gerekmektedir.

Bu durumda,

- a) Bir devrede bulunan gerilim kaynağını (Şekil 4.8(a)) akım kaynağına (Şekil 4.8(b)) dönüştürdüğümüzde, I değerini bulmak için

$$b) \quad I = \frac{V}{R} \quad (4.17)$$

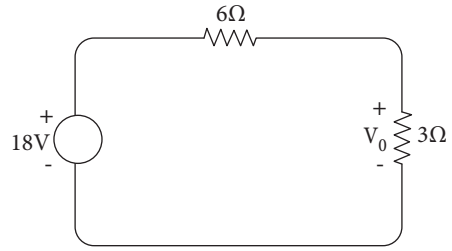
eşitliğinden faydalanılır.

- c) Bir devrede bulunan akım kaynağını (Şekil 4.8(b)) gerilim kaynağına (Şekil 4.8(a)) dönüştürdüğümüzde, V değerini bulmak için

$$V = I \cdot R \quad (4.18)$$

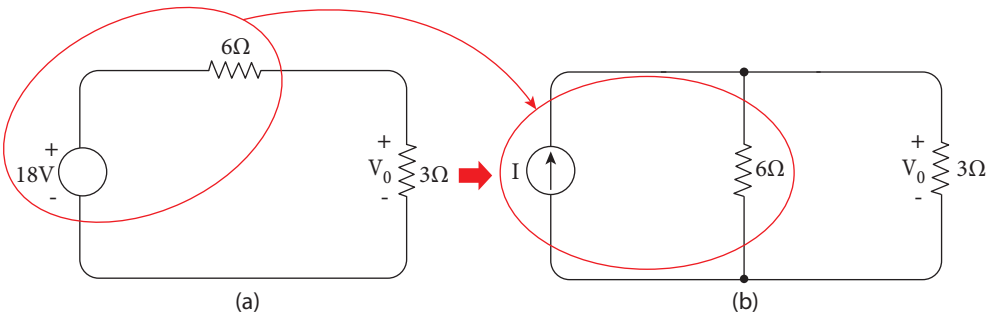
eşitliğinden faydalanılır.

Örnek 4.3: Şekil 4.9'da verilen devrede 3Ω 'luk direnç üzerine düşen V_0 gerilimini kaynak dönüşümü kullanarak bulunuz.



Şekil 4.9 Örnek 4.3 için devre şeması

Çözüm: Şekil 4.9'da 18V'luk gerilim kaynağına seri bağlı 6Ω 'luk bir direnç bulunmaktadır. Gerilim kaynağını akım kaynağına dönüştürme yöntemi ile 6Ω 'luk dirence paralel bağlı bir akım kaynağı bağlayarak devre beslenecektir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Gerilim kaynağından akım kaynağına dönüşüm



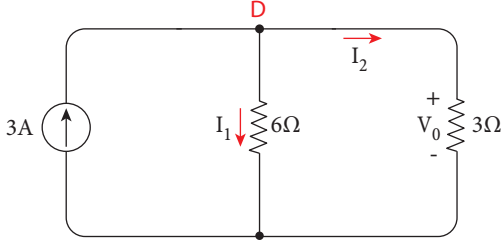
dikkat

I akım kaynağının yönü gerilim kaynağının eksi kutbundan artı kutbuna doğru olacaktır.

Şekil 4.10(a)'da gerilim kaynağına seri bağlı 6Ω 'luk direnç ile beslenen devre, Şekil 4.10(b)'de gösterildiği gibi artık 6Ω 'luk direnç ile paralel bağlı I akım kaynağı ile beslenecektir.

I akım kaynağının değerini bulmak için Şekil 4.10(a) kullanılır;

$$I = \frac{18}{6} = 3A \quad (4.19)$$



Şekil 4.11 3A'lık akım kaynağı ile beslenen devrenin son hâli

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere devre 3A'lık akım kaynağı ile beslenmektedir. 3Ω'luk direnç üzerine düşen V_0 gerilimini bulmak için Şekil 4.11'e evrilen devre düğüm noktası analizi yöntemi ile çözümlenebilir. D düğüm noktasına 3A'lık akım girmekte, I_1 ve I_2 akımı D düğüm noktasından çıkmaktadır. Giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşit olduğundan;

$$I_1 + I_2 = 3 \quad (4.20)$$

D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_0 gerilimi düşer. Bu durumda,

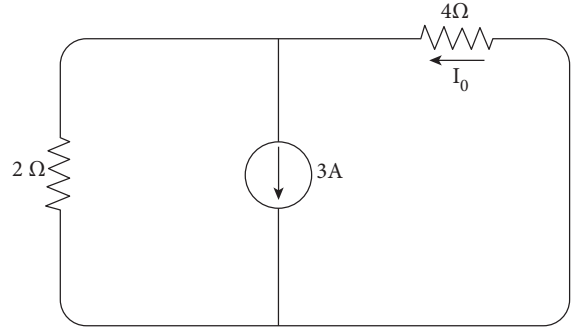
$$I_1 = \frac{V_0}{6} \text{ ve } I_2 = \frac{V_0}{3} \quad (4.21)$$

olan I_1 ve I_2 akımları yerine yazılarak V_0 değeri bulunabilir.

$$\frac{V_0}{6} + \frac{V_0}{3} = 3$$

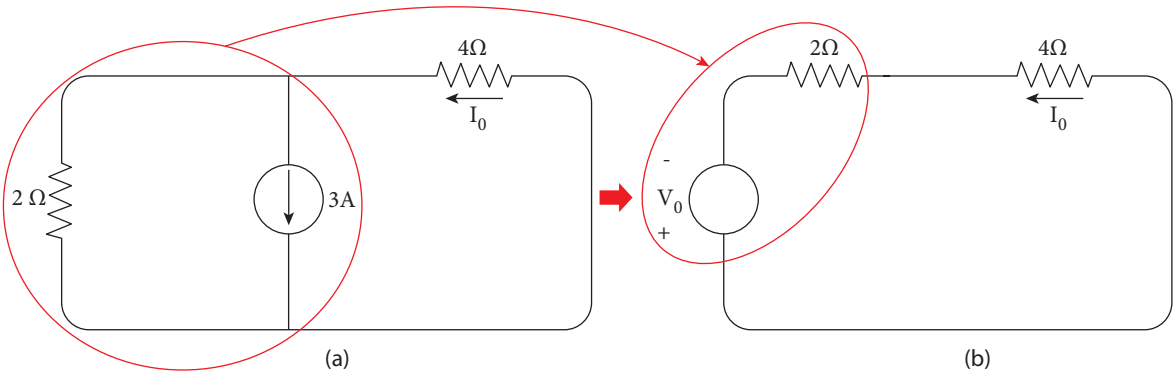
$$V_0 = 6V \quad (4.22)$$

Örnek 4.4: Şekil 4.12'de verilen devrede 4Ω'luk direnç üzerinden geçen I_0 akımını kaynak dönüşümü kullanarak bulunuz.



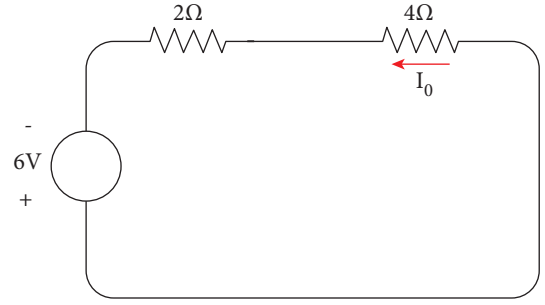
Şekil 4.12 Örnek 4.4 için devre şeması

Çözüm: Şekil 4.12'de 3A'lık akım kaynağına paralel bağlı 2Ω'luk bir direnç bulunmaktadır. Akım kaynağını gerilim kaynağına dönüştürme yöntemi ile 2Ω'luk dirence seri bağlı bir gerilim kaynağı bağlayarak devre beslenecektir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Akım kaynağından gerilim kaynağına dönüşüm

Şekil 4.13(a)'da akım kaynağına paralel bağlı 2Ω 'luk direnç ile beslenen devre, Şekil 4.13(b)'de gösterildiği gibi artık 2Ω 'luk direnç ile seri bağlı V_0 gerilim kaynağı ile beslenecektir.



Şekil 4.14 6V'luk gerilim kaynağı ile beslenen devrenin son hâli

V_0 gerilim kaynağının değerini bulmak için Şekil 4.13(a) kullanılır.

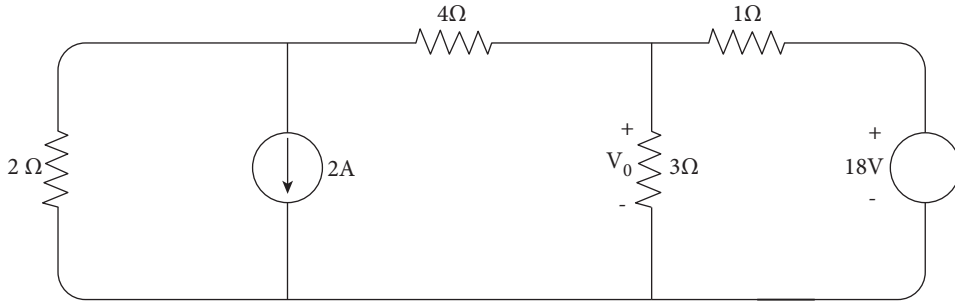
$$V_0 = 2 \times 3 = 6V \quad (4.23)$$

Yukarıda Şekil 4.14'te verilen devrede 2Ω 'luk direnç üzerinden geçen akım, devrenin toplam akımı ile aynıdır. Bu durumda,

$$I_0 = \frac{6}{6} = 1A \quad (4.24)$$

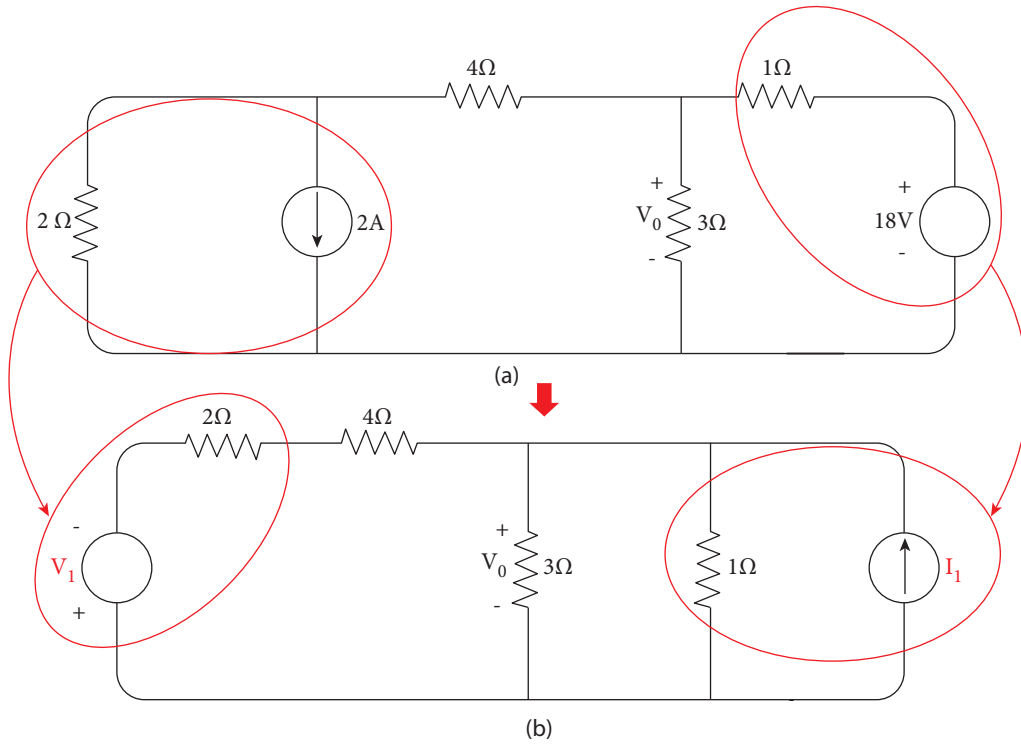
olarak bulunur.

Örnek 4.5: Şekil 4.15'te verilen devrede 3Ω 'luk direnç üzerine düşen V_0 gerilimini kaynak dönüşümü kullanarak bulunuz.



Şekil 4.15 Örnek 4.5 için devre şeması

Çözüm: Öncelikle 2Ω 'luk direnç ile paralel bağlı $2A$ 'lık akım kaynağını gerilim kaynağına; 1Ω 'luk direnç ile seri bağlı $18V$ 'luk gerilim kaynağını akım kaynağına dönüştürelim.



Şekil 4.16 Akım ve gerilim kaynaklarının dönüşümü

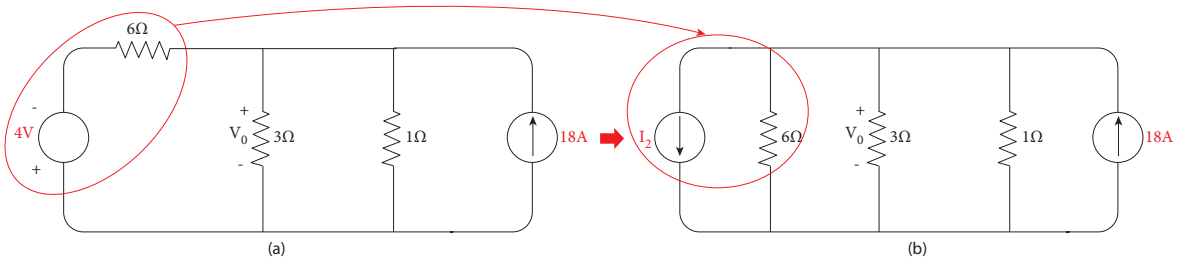
Şekil 4.16(a)'da akım kaynağının Şekil 4.16(b)'de gerilim kaynağına dönüşümü sonrası kullanılacak V_1 gerilimi,

$$V_1 = 2 \times 2 = 4V \quad (4.25)$$

olarak bulunur. Şekil 4.16(a)'da gerilim kaynağının Şekil 4.16(b)'de akım kaynağına dönüşümü sonrası kullanılacak I_1 akımı,

$$I_1 = \frac{18}{1} = 18A \quad (4.26)$$

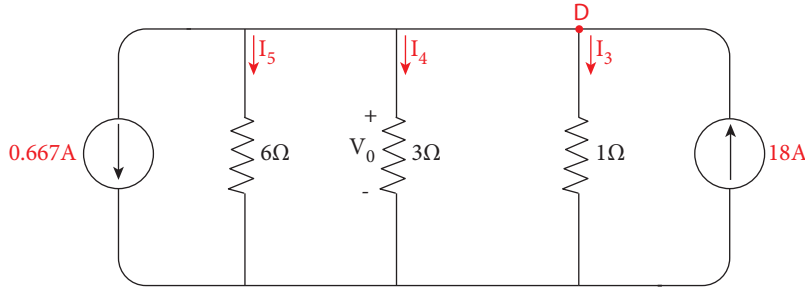
Yukarıda Şekil 4.16(b)'de 2Ω ve 4Ω dirençleri seri olduğu için toplanabilir. Bu iki direnci toplayıp, seri bağlı olan $V_1=4V$ 'luk gerilim kaynağı tekrar akım kaynağına dönüştürülürse çözümleme kolaylaşacaktır.



Şekil 4.17 İkinci defa kaynak dönüşümü

Şekil 4.17(b)'deki I_2 akımı Şekil 4.17(a)'dan faydalanılarak bulunur.

$$I_2 = \frac{4}{6} = 0,667A \quad (4.27)$$



Şekil 4.18 Kaynak dönüşümleri sonrası devrenin son hâli

Tüm bu dönüşümler sonrası Şekil 4.18'e evrilen devre düğüm noktası analizi yöntemi ile çözümlenebilir. D düğüm noktasına 18A'lık akım girmekte, I_3 , I_4 , I_5 ve 0,667 A'lık akım D düğüm noktasından çıkmaktadır. Giren akımların toplamı çıkan akımların toplamına eşit olduğundan;

$$I_3 + I_4 + I_5 + 0,667 = 18 \quad (4.28)$$

ve D düğüm noktasına bağlanan beş kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_0 gerilimi düşer. Bu durumda,

$$I_3 = \frac{V_0}{1}, I_4 = \frac{V_0}{3} \text{ ve } I_5 = \frac{V_0}{6} \quad (4.29)$$

I_3 , I_4 ve I_5 akımları yerine yazılarak V_0 değeri bulunabilir:

$$\frac{V_0}{1} + \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{6} + 0,667 = 18$$

$$V_0 = 11,55V \quad (4.30)$$

Öğrenme Çıktısı



3 Kaynak dönüşümünün elektrik devresini basitleştirmedeki rolünü açıklayabilme
4 Karmaşık devrelerde akım ve gerilim kaynaklarını birbirine dönüştürebilme

Araştır 2

Gerçek hayatta gerilim kaynağı yerine akım kaynağı kullanımının nedenleri neler olabilir?

İlişkilendir

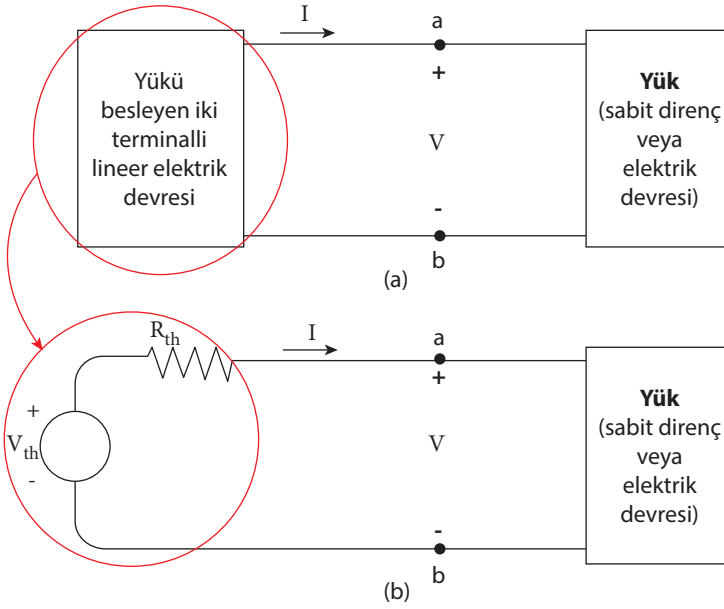
Elinde bir devre bulunan Ali, devresindeki değişken yük direnci üzerinden geçen akımın aşırı dalgalanmasını istememektedir. Elinde sabit akım sağlayan akım kaynağı olmaması sebebi ile gerilim kaynağı kullanmak zorundadır. Ali gerilim kaynağının önüne çok yüksek direnç mi, çok düşük direnç mi bağlasın ki yük direncinden geçen akım az dalgalansın?

Anlat/Paylaş

Sanayide veya evlerde akım kaynağının kullanıldığı cihazları araştırın.

THEVENİN TEOREMİ

Herhangi bir yükü besleyen lineer bir devre düşünüldüğünde, devrenin beslediği yük (bu yük sabit bir direnç de olabilir birden fazla devre elemanından oluşan bir devre de olabilir) değişirse, yükü besleyen devrenin elemanları üzerine düşen akım ve gerilimin her seferinde tekrar hesaplanması gerekmektedir. Thevenin teoremi, bir devrenin beslediği yükün her değişimi sonrası ihtiyaç duyulan analizi ortadan kaldırmaktadır. Yani, Thevenin teoremi yükü besleyen devrenin sabit kısmının eş değer bir devre ile yer değiştirilebileceğini söylemektedir. Bu durumu Şekil 4.19'u kullanarak açıklayalım.



Şekil 4.19 Yükü besleyen lineer devrenin Thevenin eşdeğer devresi ile değiştirilmesi a) Orijinal devre b) Thevenin eşdeğer devresi

Şekil 4.19(a)'da a-b terminallerinin solunda kalan ve yükü besleyen iki terminalli lineer elektrik devresi, Şekil 4.19(b)'de a-b terminallerinin solunda kalan V_{th} (Thevenin gerilimi) ve R_{th} (Thevenin direnci) olmak üzere iki devre elemanından oluşan Thevenin eşdeğer devresi ile yer değiştirilebilir. Şekil 4.19(b)'de görülen V_{th} ve R_{th} değerleri daha sonra açıklanacak yöntemlerle belirlenmektedir.

✓ Thevenin teoremi, bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, V_{th} gerilim kaynağına seri bağlı bir R_{th} direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir.

Bir yükü besleyen lineer elektrik devresi Thevenin eşdeğer devresi ile yer değiştirilirken dikkat edilecek en önemli nokta, yük üzerine düşen I akımının ve V gerilimin aynı kalmasıdır.

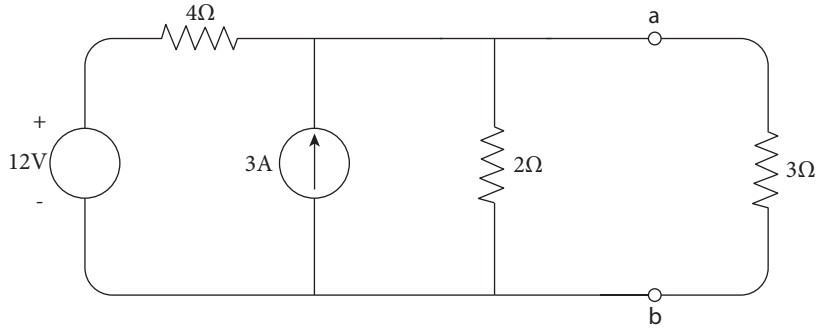


dikkat

Orijinal devre ile beslenmesi durumunda veya Thevenin eşdeğer devresi ile beslenmesi durumunda yük üzerine düşen akım ve gerilim aynı kalmalıdır.

Çünkü devreyi besleyen orijinal lineer elektrik devresinin yerini alan Thevenin eşdeğer devresi yükü beslediğinde, yük üzerine düşen I ve V değerleri farklı olursa amaca ulaşamamış oluruz. Thevenin eşdeğer devresinde bulunan V_{th} ve R_{th} değerlerinin bulunma adımları Örnek 4.6 üzerinden anlatılmıştır.

Örnek 4.6: Thevenin teoremini kullanarak, Şekil 4.20'de verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz.

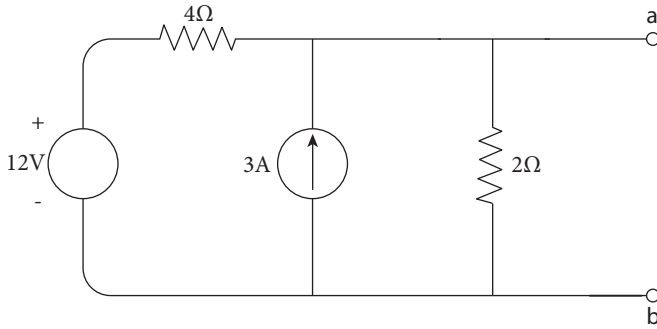


Şekil 4.20 Örnek 4.6 için devre şeması

Çözüm:

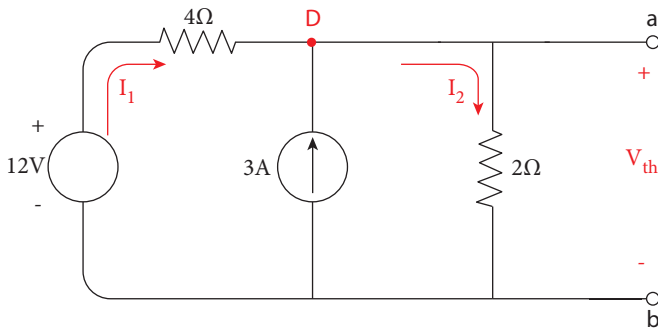
Şekil 4.20'de verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eş değeri istendiği için, a-b terminallerinin sağında kalan 3Ω 'luk direnç yük direnci olarak isimlendirilmektedir. Bu yük tek bir direnç yerine birden fazla devre elemanından oluşan bir devrede olabilirdi. Şimdi basamaklar hâlinde çözüme gidelim.

I. Adım: Şekil 4.20'de verilen devrenin a-b terminallerinin solunda kalan devrenin eş değerini Thevenin teoremi ile bulmak için yük direnci devreden çıkarılır (Şekil 4.21). Thevenin gerilimini ve Thevenin direncini bulmak için kullanılacak a-b terminalleri açıkta bırakılır.



Şekil 4.21 Yük direncinin devreden ayrılması

II. Adım: Birinci adımda yük direncinin devreden ayrılması sonucu açıkta kalan a-b terminalleri arasında düşen gerilim Thevenin gerilimi olacaktır ve V_{th} gerilimi devre çözümleme yöntemleri ile bulunur. Bulunan V_{th} gerilimi Thevenin eşdeğer devresinde kullanılacaktır. V_{th} gerilimini bulmak için uygulanan devre çözümlemesi Şekil 4.22 üzerinden anlatılmıştır.



Şekil 4.22 Thevenin geriliminin bulunması

Şekil 4.22'de V_{th} gerilimini bulmak için düğüm noktası analizini kullanabiliriz. Şöyle ki D düğüm noktasına giren I_1 akımı ile $3A$ 'lık akımın toplamı, D düğüm noktasından çıkan I_2 akımına eşittir,

$$I_1 + 3 = I_2. \quad (4.31)$$

D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_{th} gerilimi düşer. Bu durumda,

$$I_1 = \frac{12 - V_{th}}{4} \text{ ve } I_2 = \frac{V_{th}}{2} \quad (4.32)$$

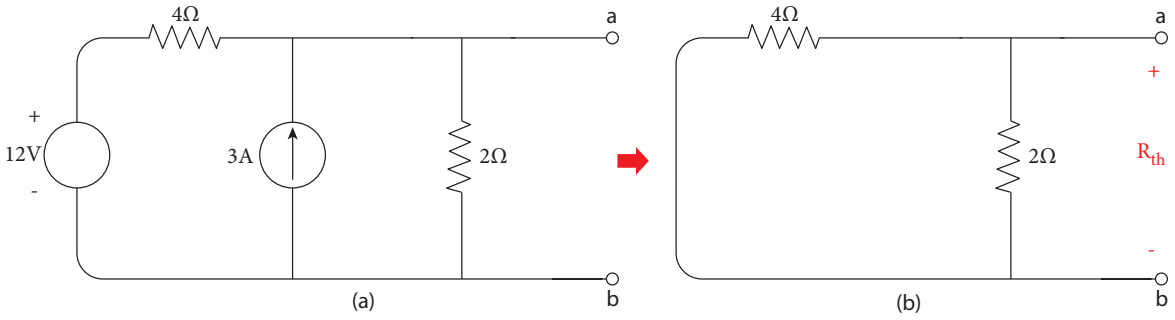
olan I_1 ve I_2 akımları yerine yazılarak V_{th} değeri bulunabilir.

$$\frac{12 - V_{th}}{4} + 3 = \frac{V_{th}}{2}$$

$$V_{th} = 8V \quad (4.33)$$

III. Adım: İkinci adımda Thevenin gerilimini bulduktan sonra, birinci adımda elde edilen ve

Şekil 4.21'de sunulan devre kullanılarak Thevenin direnci bulunur. Thevenin direnci bulunurken Şekil 4.21'de elde edilen devrede bulunan bağımsız gerilim kaynakları kısa devre yapılır ve yine devrede bulunan bağımsız akım kaynakları ise açık devre yapılır. Bu işlemler sonrası elde edilen devrede (Şekil 4.23(b)) a-b terminalleri arasındaki toplam direnç Thevenin direncini verir.

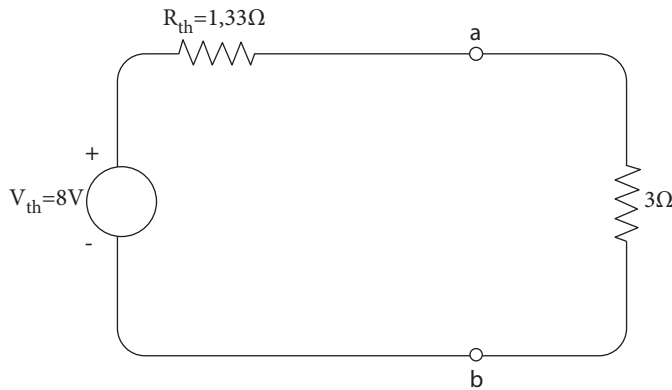


Şekil 4.23 Thevenin direncinin hesaplanması

Şekil 4.23(a)'da bulunan 12V'luk gerilim kaynağını kısa devre, 3 A'lık akım kaynağını açık devre yaptıktan sonra Şekil 4.23(b)'ye evrilen devrenin a-b terminalleri arasındaki R_{th} direnci aşağıda hesaplanmıştır:

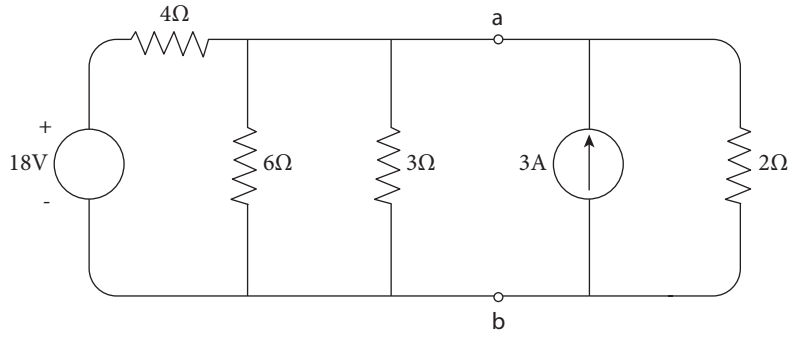
$$R_{th} = 2 \parallel 4 = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = 1,33\Omega \quad (4.34)$$

Yukarıda anlatıldığı üzere üç adımda Thevenin gerilimi ve Thevenin direnci bulunmaktadır. Bu üç adım sonrası Thevenin teoremi yardımı ile bulunan eşdeğer devre Şekil 4.24'te sunulmuştur. Thevenin teoremi ile bir akım kaynağı ve iki adet direnç devreden çıkarılmıştır, devre daha basit hâle gelmiştir. Ancak 3 Ω 'luk yük direnci üzerine düşen akım ve gerilim iki durumda da aynı kalmıştır

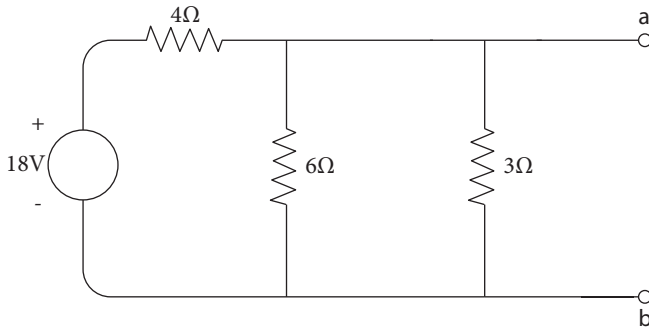


Şekil 4.24 Thevenin eşdeğer devresi

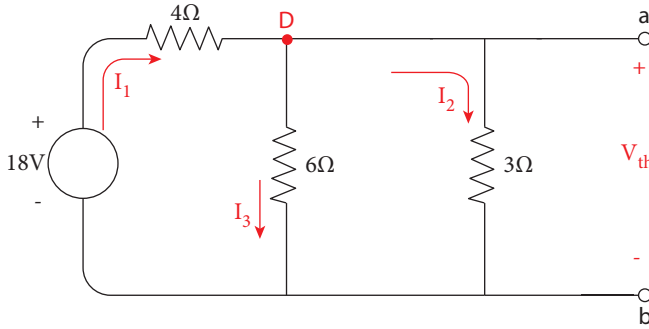
Örnek 4.7: Thevenin teoremini kullanarak Şekil 4.25'te verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz.



Şekil 4.25 Örnek 4.7 için devre şeması



Şekil 4.26 Yük direncinin devreden ayrılması



Şekil 4.27 Thevenin geriliminin bulunması

Çözüm: Örnek 4.6'da verilen devrenin aksine, Örnek 4.7 için verilen devrenin a-b terminallerinin sağında kalan yük bir devredir. Şimdi basamaklar hâlinde çözüme gidelim.

I. Adım: Şekil 4.25'te verilen devrenin a-b terminallerinin sağında kalan yük devreden çıkarılır (Şekil 4.26). Thevenin gerilimini ve Thevenin direncini bulmak için kullanılacak a-b terminalleri açıkta bırakılır.

II. Adım: Birinci adımda yük direncinin devreden ayrılması sonucu açıkta kalan a-b terminalleri arasına düşen V_{th} gerilimi devre çözümleme yöntemleri ile bulunur.

Şekil 4.27'de V_{th} gerilimini bulmak için düğüm noktası analizini kullanabiliriz. Şöyle ki D düğüm noktasına giren I_1 akımı, D düğüm noktasından çıkan I_2 ve I_3 akımlarının toplamına eşittir:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (4.35)$$

D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_{th} gerilimi düşer. Bu durumda,

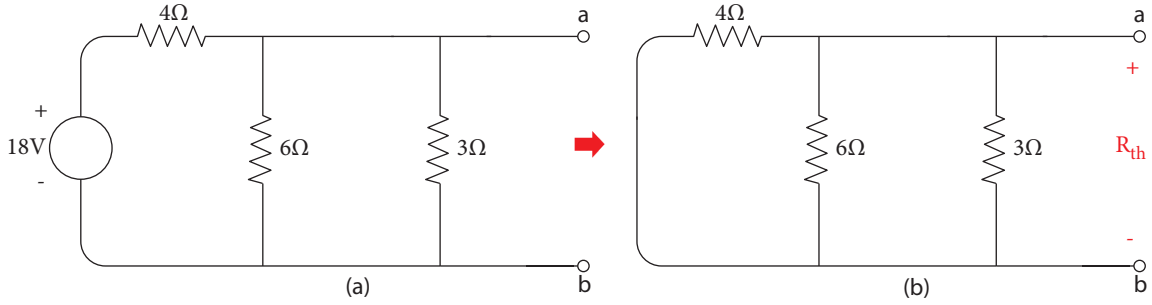
$$I_1 = \frac{18 - V_{th}}{4}, I_2 = \frac{V_{th}}{3} \text{ ve } I_3 = \frac{V_{th}}{6} \quad (4.36)$$

olan I_1 , I_2 ve I_3 akımları yerine yazılarak V_{th} değeri bulunabilir.

$$\frac{18 - V_{th}}{4} = \frac{V_{th}}{3} + \frac{V_{th}}{6}$$

$$V_{th} = 6V \quad (4.37)$$

III. Adım: Şekil 4.26'da elde edilen devrede bulunan bağımsız gerilim kaynakları kısa devre yapılır ve yine devrede bulunan bağımsız akım kaynakları ise açık devre yapılır. Bu işlemler sonrası elde edilen devrede (Şekil 4.28(b)) a-b terminalleri arasındaki toplam direnç Thevenin direncini verir.

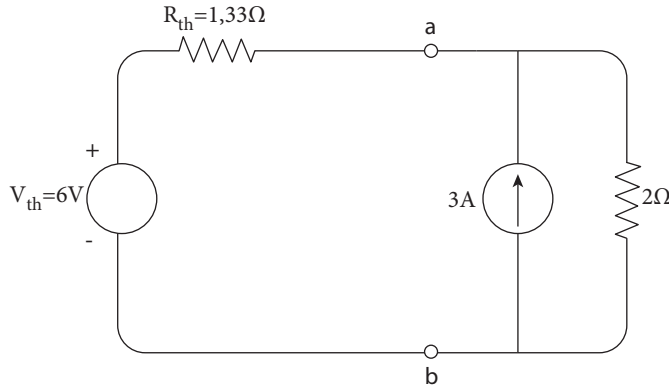


Şekil 4.28 Thevenin direncinin hesaplanması

Şekil 4.28(a)'da bulunan 18V'luk gerilim kaynağını kısa devre yapıldıktan sonra Şekil 4.28(b)'ye evrilen devrenin a-b terminalleri arasındaki R_{th} direnci aşağıda hesaplanmıştır:

$$R_{th} = (3 \parallel 6) \parallel 4 = \left(\frac{3 \times 6}{3 + 6} \right) \parallel 4 = 2 \parallel 4 = \left(\frac{2 \times 4}{2 + 4} \right) = 1,33\Omega \quad (4.38)$$

Bu üç adım sonrası Thevenin teoremi yardımı ile bulunan eşdeğer devre Şekil 4.29'da sunulmuştur.



Şekil 4.29 Thevenin eşdeğer devresi

Öğrenme Çıktısı

5 Thevenin teoremini açıklayabilme

6 Thevenin teoremini kullanarak devre analizi yapabilme



Araştır 3

Bir elektrik devresine Thevenin teoremini uygulayarak eşdeğer devresini bulduğunuzu varsayalım. Eşdeğer devre için bulduğunuz Thevenin gerilimi ve Thevenin direncini kullanarak yükü beslediniz ve yük üzerine düşen akım ve geriliminin orijinal devredeki akım ve gerilimden farklı olduğunu fark ettiniz. Nerede hata yapmış olabilirsiniz?

İlişkilendir

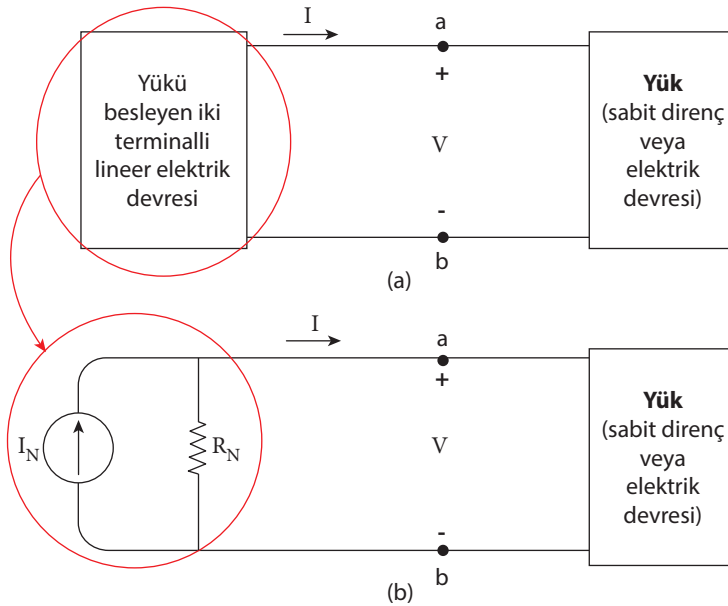
Thevenin eşdeğer devresini bulurken kaynak dönüşümü ve süperpozisyon teoremlerinden yararlanmak fayda sağlar mı?

Anlat/Paylaş

Thevenin teoremi hangi tarihte, kim tarafından geliştirilmiştir?

NORTON TEOREMİ

Norton Teoremi, Thevenin teoremi ile aynı amaç doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Yani, bir yükü besleyen karmaşık bir devre yerine, Norton Teoremi kullanılarak elde edilecek eşdeğer devresi ile yer değiştirelebileceğini belirtmektedir. Bu durumu Şekil 4.30 üzerinden anlatacak olursak,



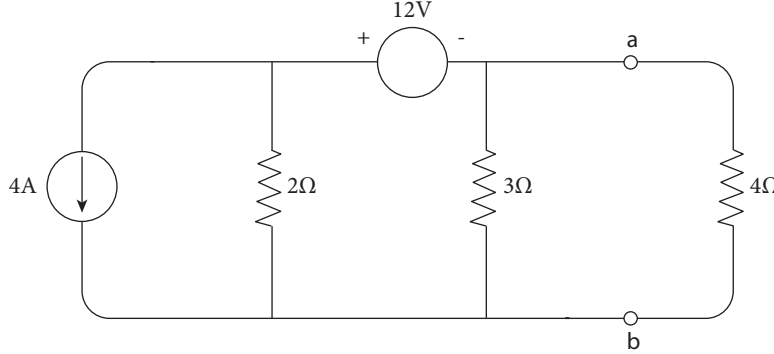
Şekil 4.30 Yüğü besleyen lineer devrenin Nortonun eşdeğer devresi ile değiştirilmesi a) Orijinal devre b) Nortonun eşdeğer devresi

Şekil 4.30(a)'da a-b terminallerinin solunda kalan ve yükü besleyen iki terminalli lineer elektrik devresi, Şekil 4.30(b)'de a-b terminallerinin solunda kalan I_N (Norton akımı) ve R_N (Norton direnci) olmak üzere iki devre elemanından oluşan Norton eşdeğer devresi ile yer değiştirilebilir. Şekil 4.30(b)'de görülen I_N ve R_N değerleri daha sonra açıklanacak yöntemlerle belirlenmektedir.

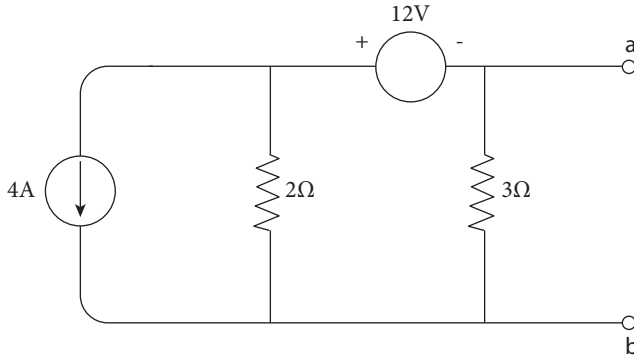
✓ Norton teoremi, bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, I_N akım kaynağına paralel bağlı bir R_N direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir.

Bir yükü besleyen lineer elektrik devresi Norton eşdeğer devresi ile yer değiştirilirken dikkat edilecek en önemli nokta, yük üzerine düşen I akımının ve V gerilimin aynı kalmasıdır. Çünkü devreyi besleyen orijinal lineer elektrik devresinin yerini alan Norton eşdeğer devresi yükü beslediğinde, yük üzerine düşen I ve V değerleri farklı olursa amaca ulaşamamış oluruz. Norton eşdeğer devresinde bulunan I_N ve R_N değerlerinin bulunma adımları Örnek 4.8 üzerinden anlatılmıştır.

Örnek 4.8: Norton teoremini kullanarak Şekil 4.31’de verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz.



Şekil 4.31 Örnek 4.8 için devre şeması



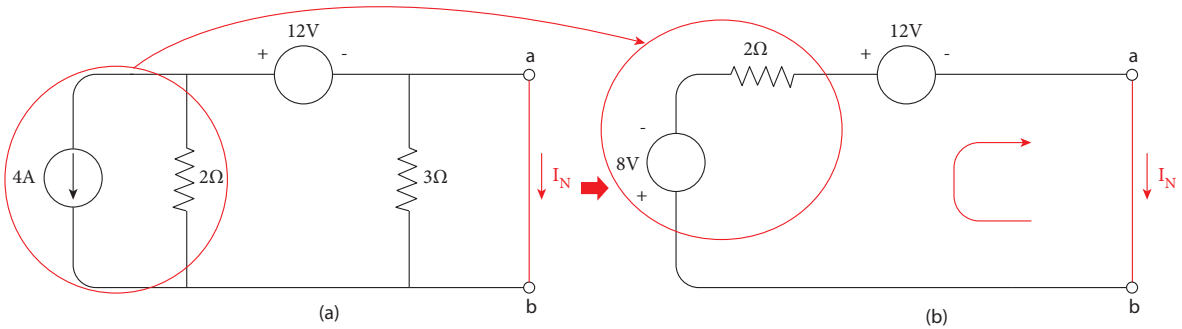
Şekil 4.32 Yük direncinin devreden ayrılması

Çözüm:

I. Adım: Şekil 4.31’de verilen devrenin a-b terminallerinin solunda kalan devrenin eşdeğerini Norton teoremi ile bulmak için yük direnci devreden çıkarılır (Şekil 4.32). Norton akımını ve Norton direncini bulmak için kullanılacak a-b terminalleri açıkta bırakılır.

II. Adım: Birinci adımda yük direncinin devreden ayrılması sonucu açıkta kalan a-b terminalleri kısa devre yapılır (Şekil 4.33(a)). Kısa devre yapılan a-b kolu üzerinden geçen akım Norton akımı olacaktır ve I_N akımı

devre çözümleme yöntemleri ile bulunur. Bulunan I_N akımı Norton eşdeğer devresinde kullanılacaktır. I_N akımını bulmak için uygulanan devre çözümlemesi Şekil 4.33 üzerinden anlatılmıştır.



Şekil 4.33 Norton akımının bulunması

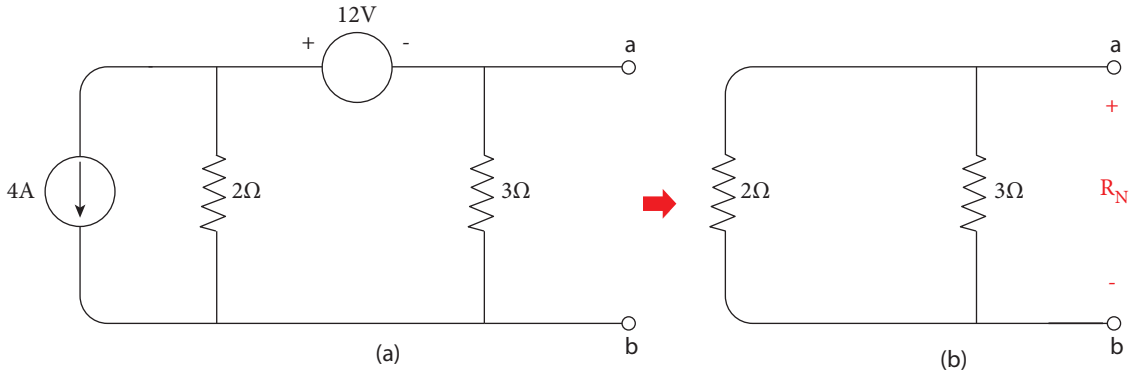
I_N akımını bulmak için bu defa kaynak dönüşümünden faydalanılmıştır. Öncelikle, Şekil 4.33(a)'da 4A'lık akım kaynağına paralel bağlı 2Ω 'luk bir direnç bulunmaktadır. Akım kaynağını gerilim kaynağına dönüştürme yöntemi ile 2Ω 'luk dirence seri bağlı 8V'luk bir gerilim kaynağı bağlayarak devre beslenmiştir (Şekil 4.33(b)). Burada 8V değeri 4A ile 2Ω 'luk direncin çarpımı ile bulunmuştur. Bu durumda Şekil 4.33(b)'ye göz içeri- sindeki ok yönünde göz analizi uygulanırsa,

$$\begin{aligned} 8 + 2I_N + 12 &= 0 \\ I_N &= -10A \end{aligned} \quad (4.39)$$

olarak bulunur. I_N değerinin eksi çıkması niceliğini değil, akımın yönünü göstermektedir. Yani Norton

eşdeğer devresine akım kaynağı yerleştirirken akım kaynağının üzerindeki okun yönü, Şekil 4.33(b)'de bulun I_N akımının yönünü gösteren ok ile ters yönlü olacaktır.

III. Adım: İkinci adımda Norton akımını bulduktan sonra, birinci adımda elde edilen ve Şekil 4.32'de sunulan devre kullanılarak Norton direnci bulunur. Thevenin direncini bulmak için uygulanan kurallar Norton direncini bulmak için de geçerlidir. Yani, Thevenin direnci Norton direncine eşittir ($R_{th}=R_N$). Norton direncini bulmak için Şekil 4.34(a)'da sunulan devrede bulunan bağımsız gerilim kaynakları kısa devre yapılır ve yine devrede bulunan bağımsız akım kaynakları ise açık devre yapılır. Bu işlemler sonrası elde edilen devrede (Şekil 4.34(b)) a-b terminalleri arasındaki toplam direnç Norton direncini verir.

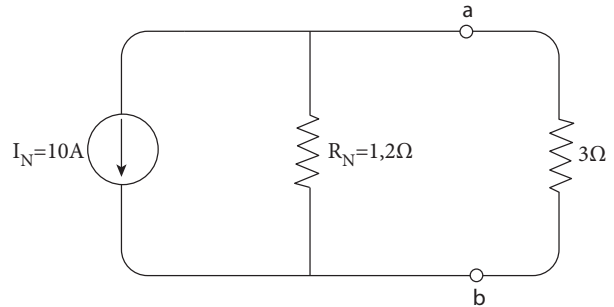


Şekil 4.34 Norton direncinin hesaplanması

Şekil 4.23(a)'da bulunan 12V'luk gerilim kaynağını kısa devre, 4A'lık akım kaynağını açık devre yaptıktan sonra Şekil 4.34(b)'ye evrilen devrenin a-b terminalleri arasındaki R_N direnci aşağıda hesaplanmıştır:

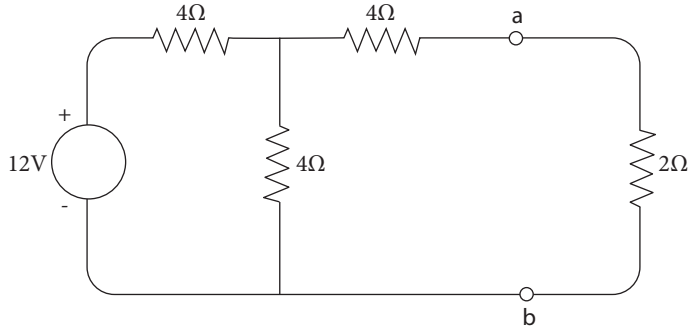
$$R_N = 2 \parallel 3 = \frac{2 \times 3}{2 + 3} = 1,2\Omega \quad (4.40)$$

Yukarıda detaylıca anlatıldığı üzere üç adımda Norton akımı ve Norton direnci bulunmaktadır. Bu üç adım sonrası Norton teoremi yardımı ile bulunan eşdeğer devre Şekil 4.35'te sunulmuştur. Norton teoremi ile bir gerilim kaynağı ve iki adet direnç devreden çıkarılmıştır, devre daha basit hâle gelmiştir. Ancak 4Ω 'luk yük direnci üzerine düşen akım ve gerilim iki durumda da aynı kalmıştır.



Şekil 4.35 Norton eşdeğer devresi

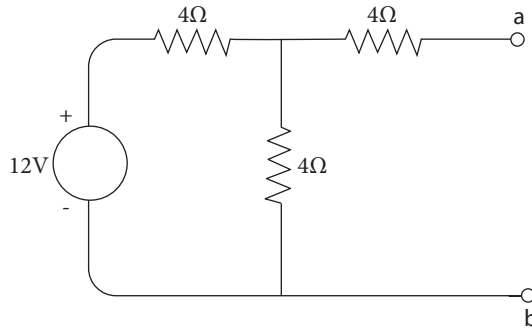
Örnek 4.9: Norton teoremini kullanarak, Şekil 4.36'da verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz.



Şekil 4.36 Örnek 4.9 için devre şeması

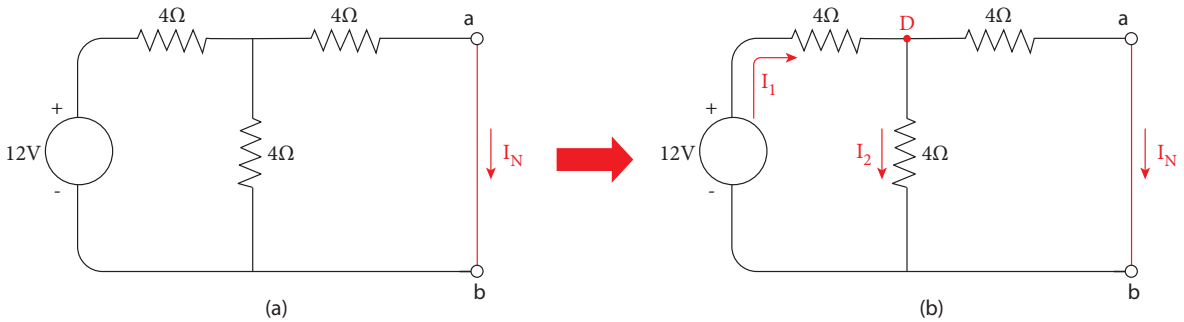
Çözüm:

I. Adım: Şekil 4.36'da verilen devrenin a-b terminallerinin solunda kalan devrenin eş değerini Norton teoremi ile bulmak için yük direnci devreden çıkarılır (Şekil 4.37). Norton akımını ve Norton direncini bulmak için kullanılacak a-b terminalleri açıkta bırakılır.



Şekil 4.37 Yük direncinin devreden ayrılması

II. Adım: Birinci adımda yük direncinin devreden ayrılması sonucu açıkta kalan a-b terminalleri kısa devre yapılır (Şekil 4.38.a). Kısa devre yapılan a-b kolu üzerinden geçen akım Norton akımı olacaktır ve I_N akımı devre çözümleme yöntemleri ile bulunur. Bulunan I_N akımı Norton eş değer devresinde kullanılacaktır. I_N akımını bulmak için uygulanan devre çözümlemesi Şekil 4.38.b üzerinden anlatılmıştır.



Şekil 4.38 Norton akımının bulunması

Şekil 4.38.b'de I_N akımını bulmak için düğüm noktası analizini kullanabiliriz. Şöyleki, D düğüm noktasına giren I_1 akımı, D düğüm noktasından çıkan I_2 ve I_N akımlarının toplamına eşittir.

$$I_1 = I_2 + I_N$$

D düğüm noktasına bağlanan üç kol birbirine paralel olduğundan her kola eşit V_1 gerilimi düşer. Bu durumda,

$$I_1 = \frac{12 - V_1}{4}, I_2 = \frac{V_1}{4} \text{ ve } I_N = \frac{V_1}{4}$$

olan I_1 , I_2 ve I_N akımları yerine yazılarak V_1 değeri bulunabilir.

$$\frac{12 - V_1}{4} = \frac{V_1}{4} + \frac{V_1}{4}$$

$$V_1 = 4V$$

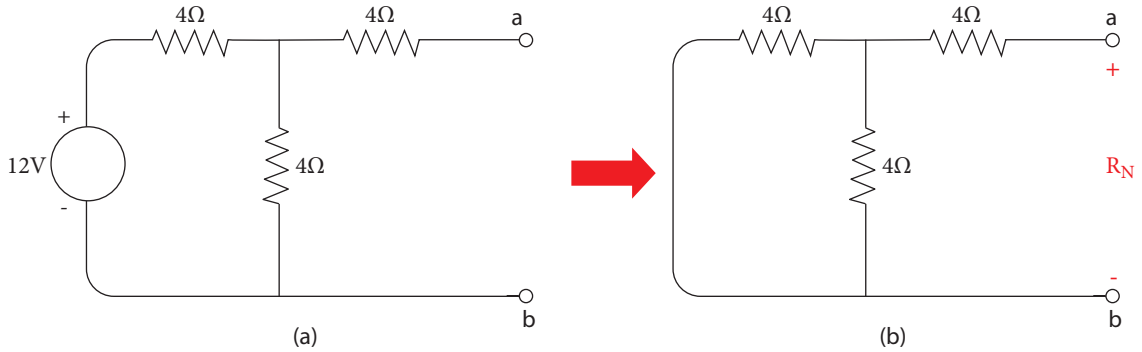
Bulunan V_1 gerilimini $I_N = \frac{V_1}{4}$ eşitliğinde yerine yazarsak,

$$I_N = \frac{V_1}{4} = \frac{4}{4} = 1A$$

$$I_N = 1A$$

olarak bulunur.

III. Adım: İkinci adımda Norton akımını bulduktan sonra, birinci adımda elde edilen ve Şekil 4.37'de sunulan devre kullanılarak Norton direnci bulunur. Thevenin direncini bulmak için uygulanan kurallar Norton direncini bulmak içinde geçerlidir. Yani, Thevenin direnci Norton direncine eşittir ($R_{th} = R_N$). Norton direncini bulmak için Şekil 4.39.a'da sunulan devrede bulunan bağımsız gerilim kaynakları kısa devre yapılır ve yine devrede bulunan bağımsız akım kaynakları ise açık devre yapılır. Bu işlemler sonrası elde edilen devrede (Şekil 4.39.b) a-b terminalleri arasındaki toplam direnç Norton direncini verir.

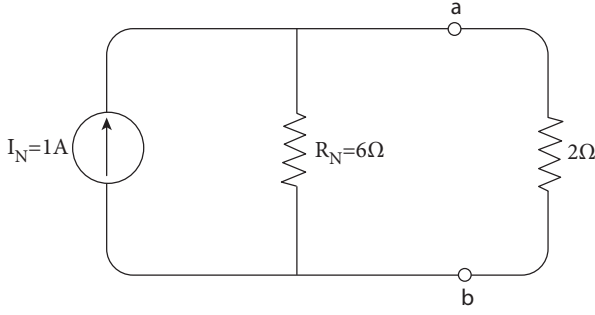


Şekil 4.39 Norton direncinin hesaplanması

Şekil 4.39.a'da akım kaynağı bulunmaması sebebi ile yalnızca 12 V'luk gerilim kaynağını kısa devre yaptıktan sonra Şekil 4.39.b'ye evrilen devrenin a-b terminalleri arasındaki R_N direnci aşağıda hesaplanmıştır.

$$R_N = 4 + (4 \parallel 4) = 4 + \frac{4 * 4}{4 + 4} = 6\Omega$$

$$R_N = 6\Omega$$



Şekil 4.40 Norton eşdeğer devresi

Detaylıca anlatıldığı üzere üç adımda Norton akımı ve Norton direnci bulunmaktadır. Bu üç adım sonrası Norton teoremi yardımı ile bulunan eşdeğer devre Şekil 4.40'da sunulmuştur. Norton teoremi ile bir gerilim kaynağı ve iki adet direnç devreden çıkarılmıştır, devre daha basit hale gelmiştir. Ancak, 2Ω 'luk yük direnci üzerine düşen akım ve gerilim iki durumdada aynı kalmıştır.

Öğrenme Çıktısı



- 7 Norton teoremini açıklayabilme
8 Norton teoremini kullanarak devre analizi yapabilme

Araştır 4

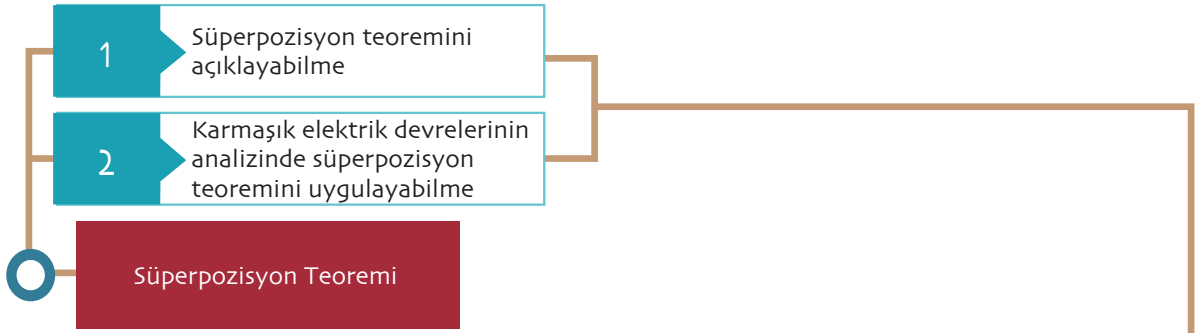
Thevenin eş değer devresinden Norton eş değer devresine kaynak dönüşümü yöntemi ile geçiş yapılabilir mi?

İlişkilendir

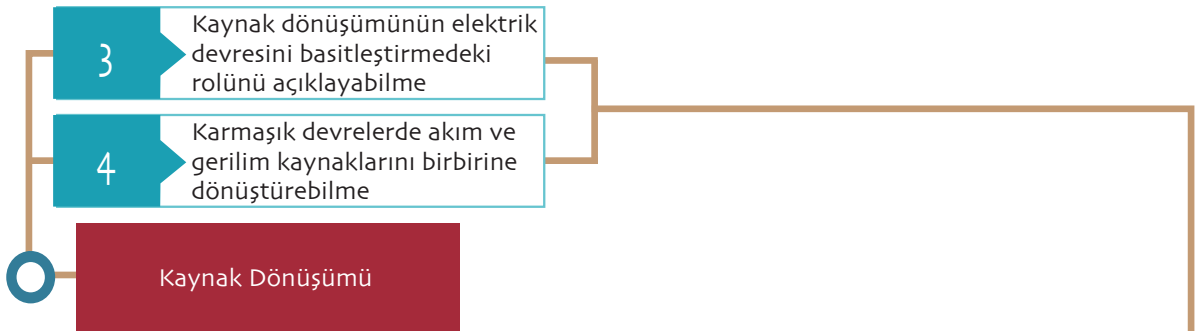
Elinde bir devre bulunan Ali, yük direncini besleyen devrenin daha az devre elemanı ile beslenebileceğini fark etmiştir. Bunun üzerine hem Thevenin eşdeğer devresi ile hem de Norton eşdeğer devresi ile devreyi besleyebilecekken Ali Norton eşdeğer devresini tercih etmiştir. Bu durumun sebebi ne olabilir?

Anlat/Paylaş

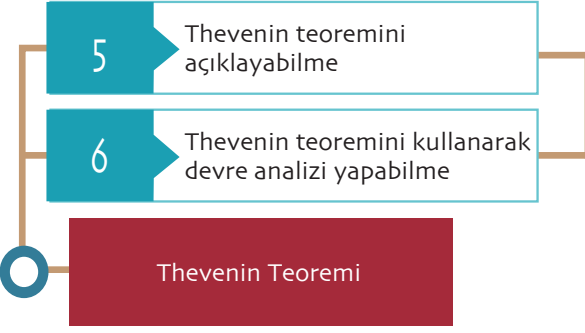
Norton teoremi Thevenin teoreminden önce mi yoksa sonra mı geliştirilmiştir?



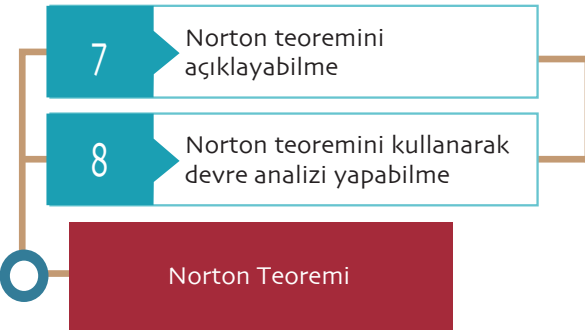
Birden fazla bağımsız besleme kaynağına sahip bir lineer elektrik devresinin analizini basitleştirmek için kullanılacak yöntemlerden birisi süperpozisyon teoremidir. Süperpozisyon teoremi, bir lineer elektrik devresinin, devrede bulunan bağımsız besleme kaynaklarının (akım veya gerilim) toplamına verdiği tepkinin, ilgili elektrik devresinin her bir besleme kaynağına ayrı ayrı verdiği tepkilerin cebirsel toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir. Yani devreden geçen akım veya devre elemanı üzerindeki gerilim düşümlerinin hesaplanmasında her kaynağın ayrı ayrı etkisi bulunmaktadır. Süperpozisyon teoremi ile devrenin analizi gerçekleştirilirken devrede tek bir kaynak kalacak şekilde diğer kaynaklar devreden çıkarılır. Kaynaklar devreden çıkarılırken gerilim kaynakları kısa devre, akım kaynakları açık devre yapılır.



Karmaşık elektrik devrelerini basite indirgeme yöntemlerinden bir diğeri kaynak dönüşümüdür. Kaynak dönüşümü, bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağının, bir direnç ile paralel bağlı bir akım kaynağı ile yer değiştirilmesi veya bir direnç ile paralel bağlı akım kaynağının, bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağı ile yer değiştirilmesi işlemidir. Kaynak dönüşümünde en önemli nokta, kaynak dönüşümü sonrası ilgili devrede bulunan hiçbir devre elemanı üzerine düşen akım ve gerilimin değişmemesidir.

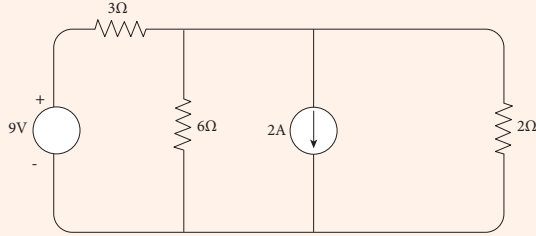


Herhangi bir yükü besleyen lineer bir devre düşünüldüğünde, devrenin beslediği yük (bu yük sabit bir direnç de olabilir birden fazla devre elemanından oluşan bir devre de olabilir) değişirse, yükü besleyen devrenin elemanları üzerine düşen akım ve gerilimin her seferinde tekrar hesaplanması gerekmektedir. Thevenin teoremi, bir devrenin beslediği yükün her değişimi sonrası ihtiyaç duyulan analizi ortadan kaldırmaktadır. Yani Thevenin teoremi, bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, V_{th} gerilim kaynağına seri bağlı bir R_{th} direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir. Thevenin eşdeğer devresi temel olarak üç adımda bulunur. Birinci adımda yük devreden çıkarılır. İkinci adımda, yükün çıkarılması ile açıkta kalan iki terminal arasına düşen V_{th} gerilimi bulunur. Üçüncü adımda ise yükün devreden çıkarılması ile açıkta kalması ile açıkta kalan iki terminal arasındaki R_{th} direnci (akım kaynakları açık devre, gerilim kaynakları kısa devre yapıldıktan sonra) hesaplanır. Bir yükü besleyen lineer elektrik devresi Thevenin eşdeğer devresi ile yer değiştirilirken dikkat edilecek en önemli nokta, yük üzerine düşen I akımının ve V gerilimin aynı kalmasıdır.



Norton Teoremi, Thevenin teoremi ile aynı amaç doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Yani, bir yükü besleyen karmaşık bir devre yerine, Norton teoremi kullanılarak elde edilecek eşdeğer devresi ile yer değiştirilebileceğini belirtmektedir. Tanım olarak Norton teoremi, bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, I_N akım kaynağına paralel bağlı bir R_N direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir. Norton eşdeğer devresi temel olarak üç adımda bulunur. Birinci adımda yük devreden çıkarılır. İkinci adımda, yükün çıkarılması ile açıkta kalan iki terminal kısa devre yapılır ve kısa devre yapılan koldan geçen I_N akımı bulunur. Üçüncü adımda ise yükün devreden çıkarılması ile açıkta kalması ve açıkta kalan iki terminal arasındaki R_N direnci (akım kaynakları açık devre, gerilim kaynakları kısa devre yapıldıktan sonra) hesaplanır. R_N ve R_{th} dirençleri eşittir. Bir yükü besleyen lineer elektrik devresi Norton eşdeğer devresi ile yer değiştirilirken dikkat edilecek en önemli nokta, yük üzerine düşen I akımının ve V gerilimin aynı kalmasıdır. Çünkü devreyi besleyen orijinal lineer elektrik devresinin yerini alan Norton eşdeğer devresi yükü beslediğinde, yük üzerine düşen I ve V değerleri farklı olursa amaca ulaşamamış oluruz.

1. ve 2. soruları Şekil 4.41'e göre cevaplayınız.



Şekil 4.41 Soru 1 ve 2 için devre şeması

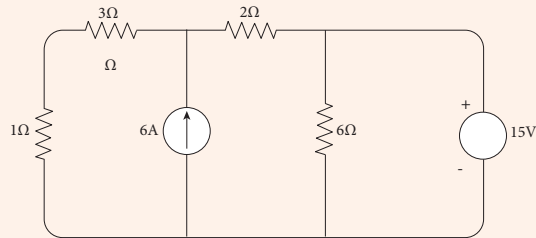
1 Şekil 4.41'de verilen devrede 3Ω'luk dirence seri bağlı 9V'luk gerilim kaynağı, kaynak dönüşümü yöntemi ile akım kaynağına dönüştürülürse akım kaynağının değeri kaç A olur?

- A. 2 B. 3 C. 4,5
D. 9 E. 27

2 Şekil 4.41'de verilen devrede 2Ω'luk dirence paralel bağlı 2A'lık akım kaynağı, kaynak dönüşümü yöntemi ile gerilim kaynağına dönüştürülürse gerilim kaynağının değeri kaç V olur?

- A. 1 B. 2 C. 4
D. 9 E. 12

3. ve 4. soruları Şekil 4.42'ye göre cevaplayınız.



Şekil 4.42 Soru 3 ve 4 için devre şeması

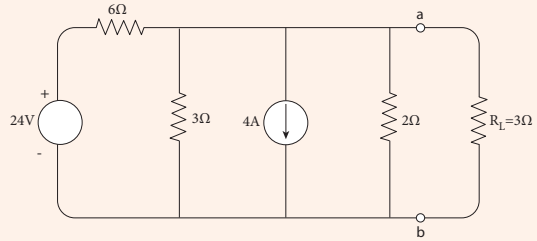
3 Şekil 4.42'de verilen devreye süperpozisyon teoremi uygulanıyor. Burada 15V'luk gerilim kaynağı tek başına devreyi besleyip 6A'lık akım kaynağı açık devre yapılırsa, 6Ω'luk direnç üzerinden kaç A akım geçer?

- A. 0 B. 1 C. 2,5
D. 4 E. 6

4 Şekil 4.42'de verilen devreye süperpozisyon teoremi uygulanıyor. Burada 6A'lık akım kaynağı tek başına devreyi besleyip 15V'luk gerilim kaynağı kısa devre yapılırsa, 6Ω'luk direnç üzerinden kaç A akım geçer?

- A. 0
B. 1
C. 2,5
D. 4
E. 6

5.,6. ve 7. soruları Şekil 4.43'e göre cevaplayınız.



Şekil 4.43 Soru 5, 6 ve 7 için devre şeması

5 Thevenin teoremini kullanarak, Şekil 4.43'te verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz. Bulduğunuz Thevenin eşdeğer devresinde Thevenin geriliminin değeri kaç V'tur?

- A. 24 B. 20
C. 12 D. 8
E. 4

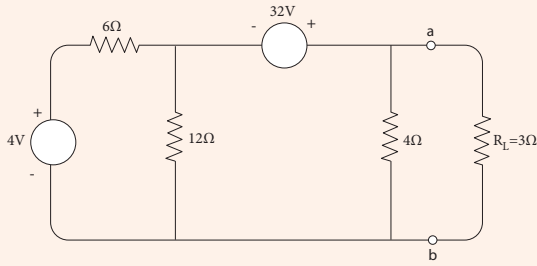
6 Thevenin teoremini kullanarak, Şekil 4.43'te verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz. Bulduğunuz Thevenin eşdeğer devresinde Thevenin direncinin değeri kaç Ω'dur?

- A. 1
B. 1,2
C. 1,5
D. 2
E. 4

7 Şekil 4.43'te verilen devrede a-b terminalle-ri arasındaki $R_L=3\Omega$ yük direnci üzerinden geçen akımın değeri kaç A'dır?

- A. 0
- B. 1
- C. 2
- D. 2,2
- E. 3,2

8, 9 ve 10. soruları Şekil 4.44'e göre cevaplayınız.



Şekil 4.44 Soru 8, 9 ve 10 için devre şeması

8 Norton teoremini kullanarak, Şekil 4.44'te verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz. Bulduğunuz Norton eşdeğer devresinde Norton akımının değeri kaç A'dır?

- A. 2
- B. 3,33
- C. 4
- D. 6,67
- E. 8

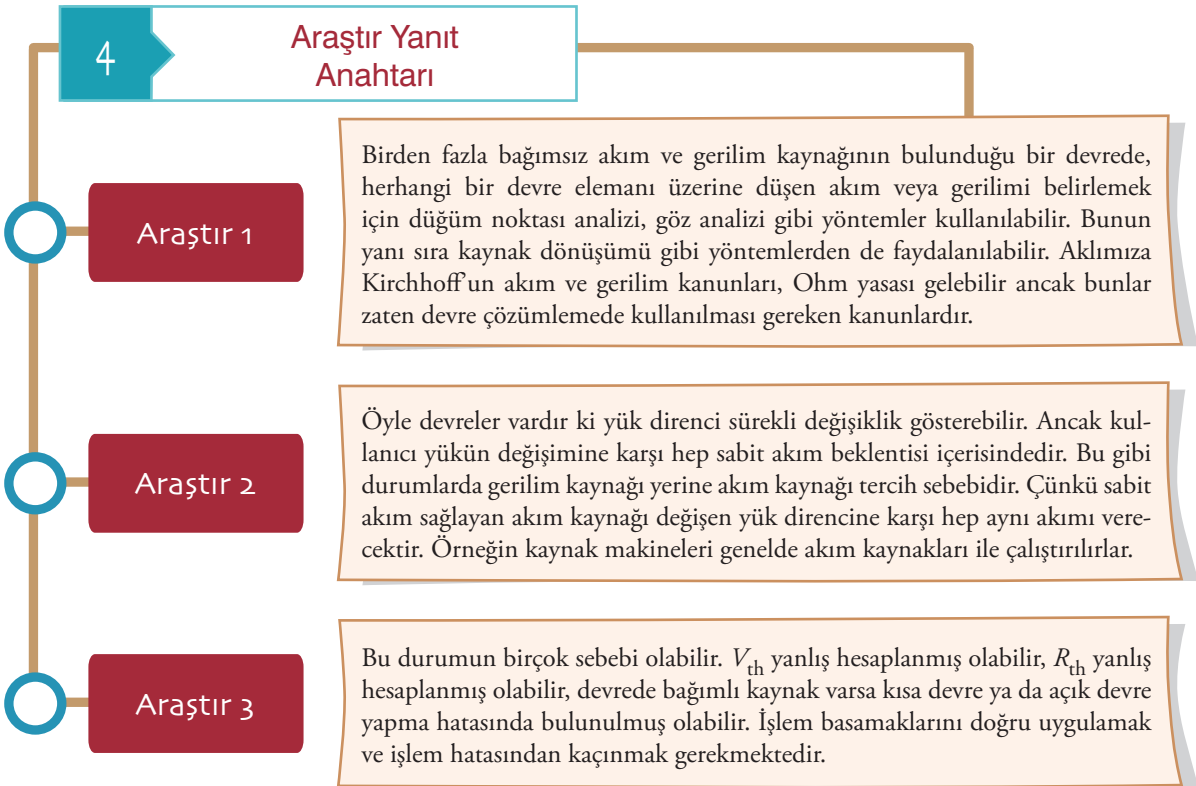
9 Norton teoremini kullanarak, Şekil 4.44'te verilen devrede a-b terminallerinin sol tarafında kalan devrenin eşdeğerini bulunuz. Bulduğunuz Norton eş değer devresinde Norton direncinin değeri kaç Ω 'dur?

- A. 1
- B. 1,2
- C. 3
- D. 3,3
- E. 6

10 Şekil 4.44'te verilen devrede a-b terminalle-ri arasındaki $R_L=3\Omega$ yük direnci üzerine düşen gerilimin değeri kaç V'tur?

- A. 3,33
- B. 6,67
- C. 8
- D. 9
- E. 10

1. B	Yanıtınız yanlış ise “Kaynak Dönüşümü” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	6. A	Yanıtınız yanlış ise “Thevenin Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
2. C	Yanıtınız yanlış ise “Kaynak Dönüşümü” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	7. C	Yanıtınız yanlış ise “Thevenin Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
3. C	Yanıtınız yanlış ise “Süperpozisyon Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	8. D	Yanıtınız yanlış ise “Norton Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
4. A	Yanıtınız yanlış ise “Süperpozisyon Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	9. C	Yanıtınız yanlış ise “Norton Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
5. D	Yanıtınız yanlış ise “Thevenin Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	10. E	Yanıtınız yanlış ise “Norton Teoremi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

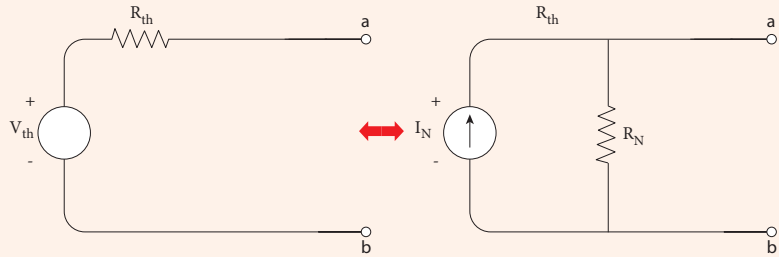


4

Araştır Yanıt
Anahtarı

Araştır 4

Evet. Thevenin ve Norton eşdeğer devreleri birbirine dönüştürülebilir.



Şekil 4.45 Thevenin ve Norton eşdeğer devrelerinin birbirine dönüşümü

İki devreyi birbirine dönüştürmek için aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir.

$$R_{th} = R_N \quad (4.43)$$

$$V_{th} = I_N \cdot R_N \quad (4.44)$$

$$I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}} \quad (4.45)$$

Kaynakça

- Charles, K. A. ve Matthew, N. O. (2017). *Fundamentals of electric circuits*. McGraw-hill Education.
- Svoboda, J. A. ve Dorf, R. C. (2013). *Introduction to electric circuits*. John Wiley & Sons.
- Ongun, İ. (2014). *Devre çözümleme temelleri: alternatif akım devre analizi*. Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Programı Ders Notu.

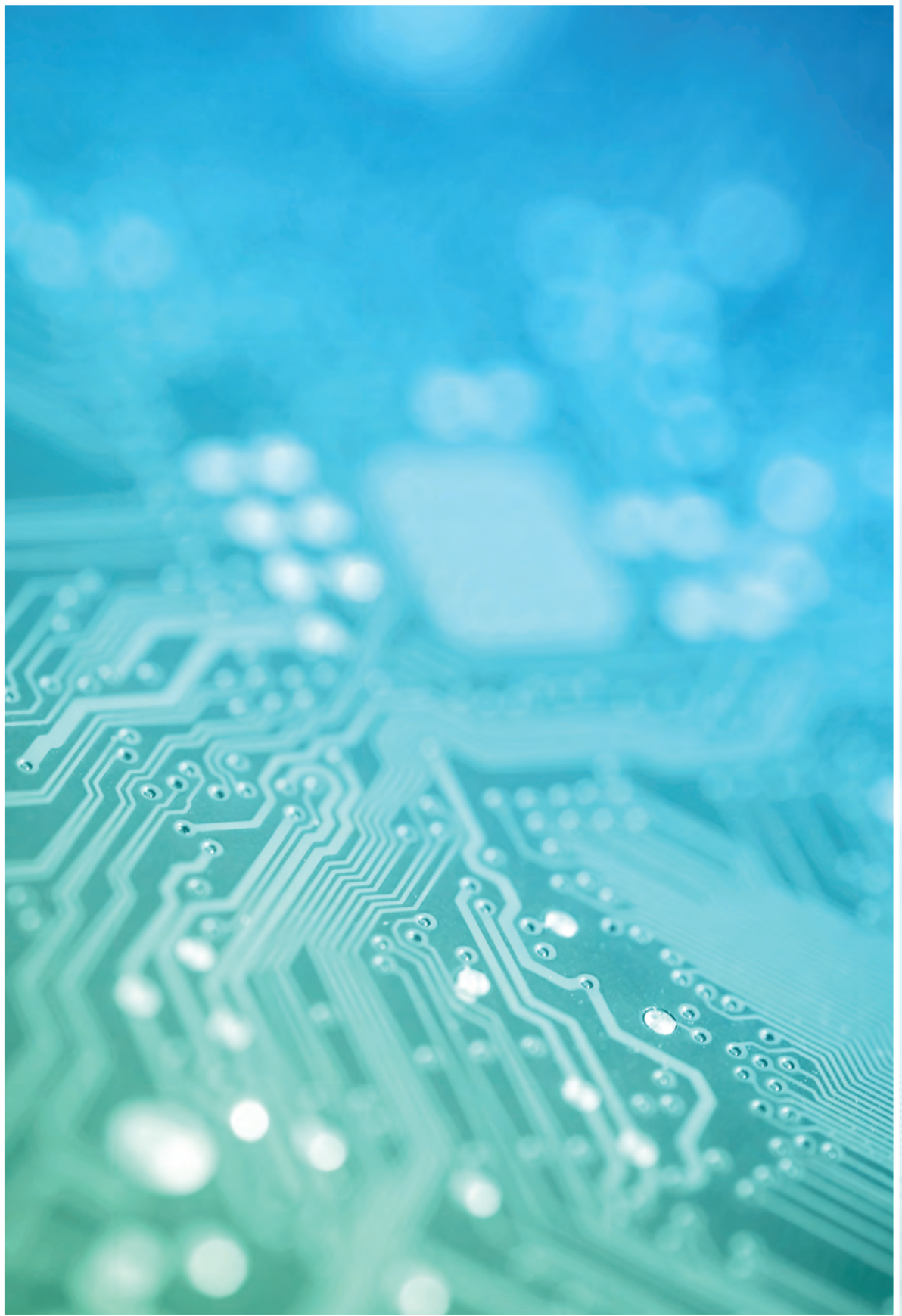
Sözlük

Süperpozisyon teoremi: Bir lineer elektrik devresinin, devrede bulunan bağımsız besleme kaynaklarının (akım veya gerilim) toplamına verdiği tepkinin, ilgili elektrik devresinin her bir besleme kaynağına ayrı ayrı verdiği tepkilerin cebirsel toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir.

Kaynak dönüşümü: Bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağının, bir direnç ile paralel bağlı bir akım kaynağı ile yer değiştirilmesi veya bir direnç ile paralel bağlı akım kaynağının, bir direnç ile seri bağlı voltaj kaynağı ile yer değiştirilmesi işlemidir.

Thevenin teoremi: Bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, V_{th} gerilim kaynağına seri bağlı bir R_{th} direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir.

Norton teoremi: Bir yükü besleyen lineer elektrik devresinin, I_N akım kaynağına paralel bağlı bir R_N direncinden oluşan eşdeğer devre ile yer değiştirilebileceğini ifade etmektedir.



Bölüm 5

Kondansatör ve Bobin

öğrenme çıktıları

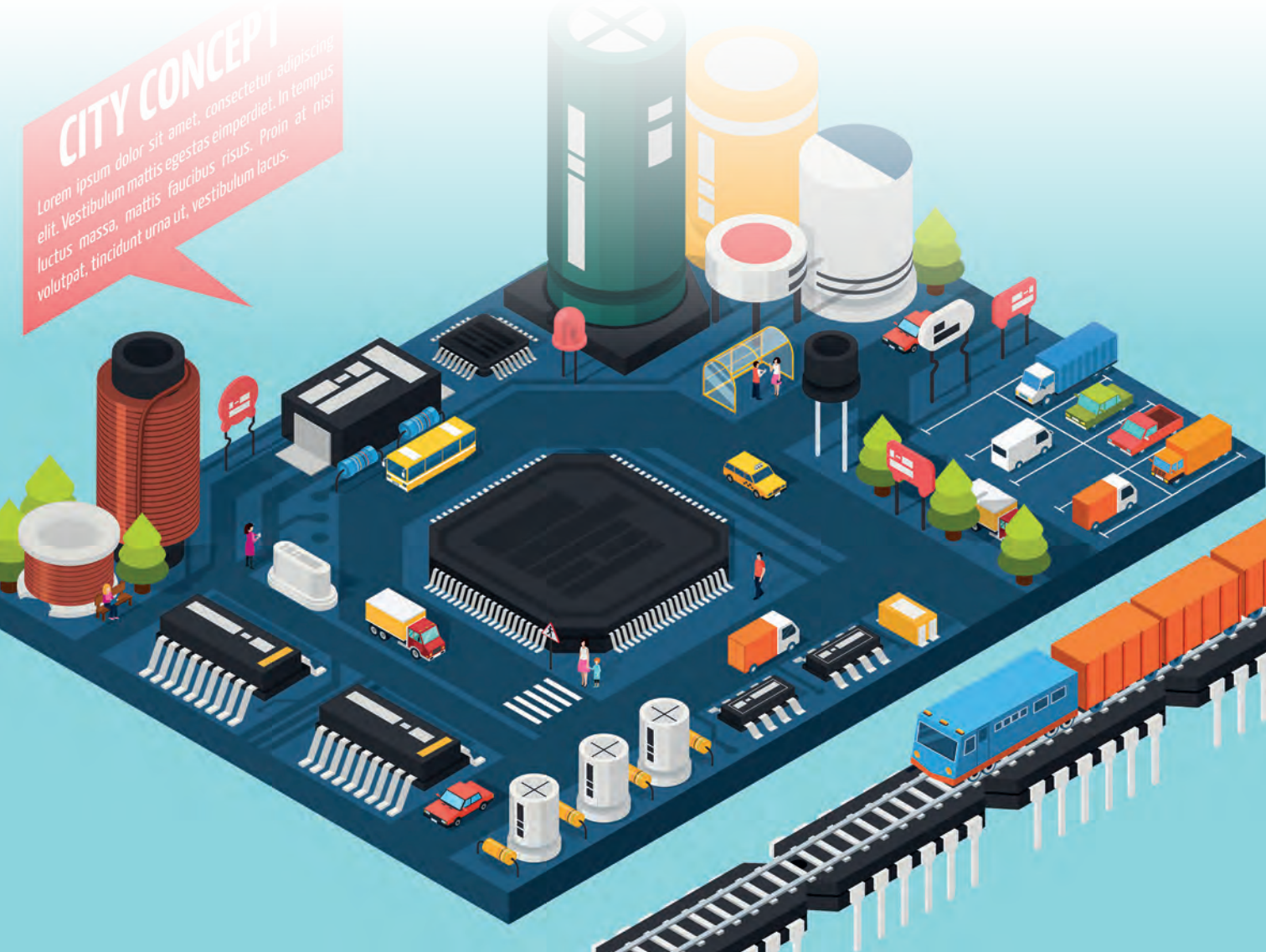
Kondansatör

- 1 Kondansatörün yapısı ve doğru gerilim kaynağı altında şarj olmasını açıklayabilme
- 2 Eşdeğer sığa (kapasite) ve eşdeğer kapasitif reaktans hesaplayabilme

Bobin

- 3 Bobinin yapısı ve çalışma prensibini açıklayabilme
- 4 Eşdeğer indüktans ve eşdeğer indüktif reaktans hesaplayabilme

Anahtar Sözcükler: • Kondansatör • Sığa • Kapasitif Reaktans • Bobin • İndüktans • İndüktif Reaktans



GİRİŞ

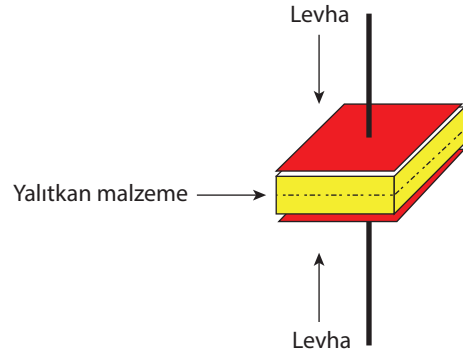
Kondansatörler ve bobinler, elektronik dünyasının en önemli elemanları arasındadır. Her iki eleman da pasif devre elemanı olmakla beraber enerjiyi depolama ve depo ettikleri enerjiyi devreye verme kabiliyetlerine sahiptir. Bununla birlikte, ideal kaynaklardan farklı olarak sağladıkları enerjiyi belli bir kısıtlı süre içinde devreye geri verirler. Kondansatörler enerjiyi gerilim olarak depolarken bobinler ise, üzerinden akım geçtiğinde manyetik alan içinde enerji depolayan devre elemanlarıdır. Kondansatörler, doğru akıma (DC) zorluk gösterirken, alternatif akımı (AC) ise kolayca geçirir; bobinler ise kondansatörün tersi olarak, doğru akımı (DC) kolayca geçirirken alternatif akıma (AC) ise zorluk gösterir. Bu bakımdan da genellikle elektriksel filtre elemanı olarak kullanılırlar.

Kondansatörler ve bobinlerin yapısının ve çalışma prensiplerinin iyi bilinmesi devre analizinde oldukça önemlidir. Bu bölümde ilk olarak kondansatör konusu ele alınmıştır. Burada, kondansatörün yapısı, DC bir gerilim kaynağı altında şarj olması (dolması), sığa kavramı ve sığayı etkileyen faktörler, kapasitif reaktans, kondansatör enerjisi, devreye birden fazla kondansatörün seri, paralel ve karışık bağlanması durumunda eşdeğer sığa ve eşdeğer kapasitif reaktansın hesaplanması ve değişken değerli kondansatörler konuları ele alınmıştır. Konulara yönelik olarak anlaşılır örnekler seçilerek kondansatörler ile ilgili konuların pekişmesi hedeflenmiştir. Bu bölümün ikinci ana konusu ise bobin konusudur. Burada ise, bobinin yapısı ve bobinin doğru akım ve alternatif akımda çalışma prensibi, indüktans kavramı ve indüktansı etkileyen faktörler, indüktif reaktans, bobin enerjisi, devreye birden fazla bobinin seri, paralel ve karışık bağlanması durumunda eşdeğer indüktans ve eşdeğer indüktif reaktansın hesaplanması, bobin çeşitleri ve ayarlı bobinler konuları ele alınmıştır. Konulara yönelik anlaşılır örnekler seçilerek bobinler ile ilgili konuların pekişmesi hedeflenmiştir.

Bölüm sonunda verilen neler öğrendik testi ile bu konuların ne kadar pekiştirildiğinin belirlenmesi sağlanabilir. Ayrıca kaynakça kısmında verilen veya konuyla ilişkili farklı kitaplarda bulunan problemlerin çözülmesi söz konusu konuların çok daha iyi pekişmesini sağlayacaktır.

KONDANSATÖR

Kondansatör, iki iletken plaka arasına hava, mika, seramik, cam, mumlu kâğıt vb. gibi bir yalıtkan malzeme konarak elde edilen ve elektrik enerjisini depolayabilen pasif bir devre elemanıdır. “Kondansatör” terimi olarak farklı Türkçe yazılan kaynaklarda “kapasite”, “kapasitör” ve “sığaç” gibi isimlerle de karşılaşılabılır. Kondansatörü oluşturan iletken plakalara “levha”, yalıtkan malzemeye ise “dielektrik malzeme” adı verilir. Şekil 5.1’de, kondansatörün yapısı, Şekil 5.2’de ise, kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü görülmektedir.



Şekil 5.1 Kondansatörün yapısı

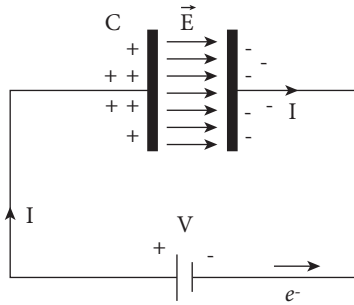


Şekil 5.2 Kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü

✓ İki iletken plaka arasına bir dielektrik malzeme konarak elde edilen ve elektrik enerjisini depo edebilen devre elemanına kondansatör denir.

Kondansatörün Şarj Olması

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi bir kondansatöre, DC gerilim uygulandığını ve gerilim uygulamadan önce de kondansatörün nötr olduğunu ($Q = 0$) varsayalım. Kondansatörün başlangıçta nötr olması demek, plakaların elektrik yükü ile yüklenmemiş olması demektir. Kondansatöre DC gerilim uygulandığında, elektrik kaynağının pozitif kutbu elektronları çekmeye, negatif kutbu ise elektronları itmeye başlar. Bu esnada elektronlar hareket etmekte, yani elektron akışı gerçekleşmektedir. Kondansatörün ortasında bulunan yalıtkan malzeme ise elektronların bir levhadan diğerine geçmesine izin geçmez. Elektronlarını kaybeden plaka, pozitif elektrik yükü ile yüklenirken elektron kazanan plaka ise, negatif elektrik yükü ile yüklenir. Plakalar, kondansatörün kapasitesi doluncaya kadar yüklenmeye devam eder ve plakalar dolunca da söz konusu elektron akışı durur. Bu durumda, yüklenen plakalar arasında, bir potansiyel fark meydana geldiğinden, kondansatörde yüklenmiş olur. Bu duruma "kondansatörün şarjı" denir. Elektrik kaynağı devreden çıkarıldığında ise, kondansatör sahip olduğu gerilimi, devrenin tamamlanması durumunda devreye verir. Bu duruma da "kondansatöründeşarjı" denir. Deşarj sırasında ise, devrede geçen akım, gerilim kaynağı bağlı iken geçen akım ile zıt yöndedir.



Şekil 5.3 Kondansatöre DC kaynağın bağlanması durumunda şarj olması

Kondansatörün elektrik yükü yüklenebilme yeteneğine sığa ya da kapasite adı verilir. Kondansatör sığa birimi, Farad (F)'dir. Sığa birimi Farad, büyük bir birim olduğundan alt katları kullanılır. Burada özellikle mili, mikro, nano ve piko alt katları sıklıkla kullanılır:

$$1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}, 1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}, 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}, 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

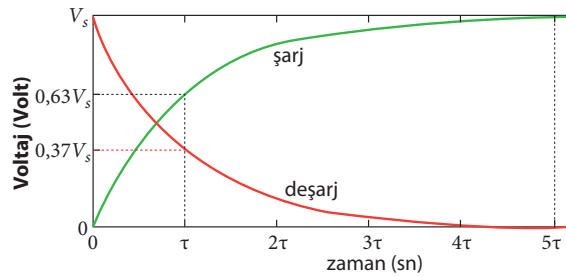
Sığanın matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (5.1)$$

Eşitlik (5.1)'de, C Farad (F) cinsinden kondansatörün sığasını, Q Coulomb (C) cinsinden elektrik yükünü ve V Volt (V) cinsinden potansiyel farkı göstermektedir. Kondansatörün yapısı değiştirilmediği sürece, sığası her zaman sabit bir değerdir. Örneğin bir kondansatöre etki eden gerilim değeri artırıldığında yük miktarı da artar ancak sığası sabittir.

✓ Kondansatörün elektrik yükü taşıyabilme yeteneği sığa olarak isimlendirilir ve C ile gösterilir, birimi Farad (F)'dir.

Şekil 5.4'te bir kondansatörün zaman içerisinde dolması (şarj) ve boşalması (deşarj) gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi kondansatörün şarjı sırasında üzerine düşen gerilim eksponansiyel olarak artmakta,deşarjı esnasında ise eksponansiyel olarak azalmaktadır. Verilen şekilde, zaman ekseninde gösterilen τ simgesi, zaman sabiti olarak isimlendirilmektedir ve bir sonraki bölümde daha detaylı olarak anlatılmaktadır. $\tau = RC$ olarak kullanılmaktadır. Boş bir kondansatörün uygulanan gerilimin %63'üne kadar dolması için ya da dolu bir kondansatörün uygulanan gerilimin %37'sine kadar inmesi için geçen süre olarak tanımlanabilir. Zaman sabiti değerinin 5 katı kadar sürede dolu bir kondansatörün boşaldığı ya da boş bir kondansatörün dolduğu kabul edilir.



Şekil 5.4 Kondansatörün zaman içerisinde dolması ve boşalması

**dikkat**

Kondansatör bir DC gerilim kaynağına bağlandığında, kapasitesi doluncaya kadar kondansatör üzerinden eksponansiyel olarak azalan bir akım geçer ve plakaları arasında ise eksponansiyel olarak artan bir gerilim oluşur. Kondansatör tamamen şarj olduğunda ise kondansatör açık devre gibi davranır, DC akıma sonsuz direnç gösterir ve akımı geçirmez.

Örnek 5.1: Bir kondansatöre en fazla 2 C'luk elektrik yükü 10V DC gerilim uygulandığında gözleniyor. Bu durumda kondansatörün sığa değeri nedir?

Çözüm:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2}{10} = 0,2F$$

Örnek 5.2: Q elektrik yükü ile yüklenmiş bir kondansatöre, V gerilimi uygulanmaktadır. Uygulanan gerilim yarıya indirilirse, kondansatörün sığa değeri nasıl değişir?

Çözüm: Bir kondansatör için sığa, yapısı değişmediği sürece sabittir. Bu örnekte gerilimin yarıya indirilmesi, yük miktarını da yarıya indirecektir. Bununla birlikte, sığa değişmeyecektir. Sığa bu anlamda, tıpkı direnç gibi düşünülebilir. Nasıl ki bir dirence uygulanan gerilim, sadece o dirençten geçen akım şiddetini değiştirir ancak direnç değerini değiştirmemezse, burada da gerilimin değişmesi, sadece yük miktarını değiştirecek ama sığa değişmeyecektir.

Örnek 5.3: Bir kondansatör, 10V gerilim değeri ile şarj olmuştur. Bu kondansatörün sığası ise 1 F'dır. Bu kondansatörün 100 Ohm'luk bir direnç üzerinden deşarj durumunu göz önüne aldığınızda zaman sabiti değerini ve deşarj süresini hesaplayınız.

Çözüm: Zaman sabiti $\tau = RC = (100)(1) = 100$ s olarak hesaplanır. Bu durumda uygulanan 10V gerilim değerinin %37'si olan 3,7V'a inene kadar geçen süre 100 s'dir. Zaman sabiti değerinin 5 katı olan 500 s'de ise bu kondansatörün üzerindeki gerilimin tamamen boşaldığı kabul edilir.

Kondansatörün Sığasına Etki Eden Faktörler

Kondansatörün yapısı değişmediği sürece sığa değeri sabit kalır. Sığanın değişmesi isteniyorsa, kondansatörün yapısı değiştirilmelidir. Bu durumda kondansatörün yapısının nasıl değişebileceği ve buna bağlı olarak sığanın nasıl etkileneceğini belirten Eşitlik (5.2)'deki formülden yararlanılır:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (5.2)$$

Burada, C simgesi F cinsinden kondansatörün sığasını, A simgesi m² cinsinden tek bir plakanın yüzey alanını, d simgesi m cinsinden levhalar arasındaki uzaklığı, ϵ_0 simgesi F/m cinsinden boşluğun dielektrik katsayısını, ϵ_r ise kullanılan yalıtkanın dielektrik katsayısının havanın dielektrik katsayısına oranlanmasıyla bulunan bağıl dielektrik katsayısını ifade etmektedir. Burada boşluğun dielektrik geçirirliği için $\epsilon_0 = 8,854$ pF/m olarak kullanılır. Eşitlik (5.2) incelendiğinde, kondansatör sığa değerinin

- Plakaların yüzey alanı ile doğru orantılı olduğu,
- Plakalar arası mesafe ile ters orantılı olduğu,
- Bağıl dielektrik malzeme katsayısı ile doğru orantılı

olduğu görülmektedir.

Örnek 5.4: Tek yüzey alanı 2 cm² ve plakalar arası mesafesi 1 mm olan bir kondansatörün dielektrik malzemesi havadır. Bu durumda sığa değerini bulunuz ($\epsilon_r = 1$).

Çözüm: Verilen ifadeler öncelikle ilgili birimlere çevrilmelidir:

$$\begin{aligned} A &= 2 \text{ cm}^2 = 0,0002 \text{ m}^2 \\ d &= 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m} \\ C &= \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = \epsilon_0 = (8,854 \times 10^{-9})(1) \frac{2 \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 1,77 \text{ pF} \end{aligned}$$

Örnek 5.5: Bir kondansatörün tek plaka yüzey alanı iki katına çıkarılıp, plakalar arası mesafe yarıya indirilirse önceki durumuna göre sığası ne kadar değişir?

Çözüm: Kondansatörlerde sığa değeri, plakaların yüzey alanı ile doğru ve plakalar arası mesafe ile ters orantılı şeklindedir. Bu bakımdan, plaka yüzey alanını iki katına çıkarmak sığayı da iki katına çıkarır. Bununla birlikte, plakalar arası mesafe de yarıya indirilirse ters orantıdan dolayı yine sığa iki katına çıkacaktır. Bu iki ifade, çarpım durumunda olduğundan, sığa değeri önceki duruma göre toplamda dört kat artacaktır.

Kapasitif Reaktans

Kondansatöre AC gerilim bağlandığında bir direnç gösterir ve bu direnç *kapasitif reaktans* olarak adlandırılır. Eşitlik (5.3)'de verilen formülden hesaplanır:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (5.3)$$

Burada, X_C Ohm cinsinden kapasitif reaktansı, ω AC devrenin kaynağının rad/sn cinsinden açısal frekansı, C simgesi F cinsinden sığayı ve f ise Hz cinsinden frekansı göstermektedir.

✓ AC gerilim kaynağına bağlı bir kondansatörün akım geçişine gösterdiği direnç kapasitif reaktans olarak isimlendirilir.



dikkat

Kapasitif reaktans, kondansatörün sığası ve kaynağın frekansı ile ters orantılıdır.

Örnek 5.6: 50 Hz frekansa sahip AC bir gerilim kaynağı 1 mF'lık kondansatöre bağlanmıştır. Kapasitif reaktansı hesaplayınız.

Çözüm:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2(3,14)(50)(1 \times 10^{-3})} = 3,2 \text{ Ohm}$$

Örnek 5.7: Bir kondansatöre uygulanan AC gerilimin hem frekansı ve hem de büyüklüğü iki katına çıkarılırsa kapasitif reaktans önceki duruma göre nasıl değişir?

Çözüm: Eşitlik (5.3) incelenirse, kapasitif reaktansın kaynağın frekansına ve kondansatörün sığa değerine bağlı olduğu görülür. Her iki parametre kapasitif reaktansla ters orantılıdır. Dolayısıyla, AC kaynağın frekansı iki katına çıkarılırsa kapasitif reaktans yarıya iner. Bununla birlikte, uygulanan gerilim değeri ile kapasitif reaktans arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Bu örnekte, kapasitif reaktans değeri, sadece uygulanan gerilimin frekans değeri ile ilişkilidir. Bu bakımdan, kapasitif reaktans önceki duruma göre yarıya inecektir.

Kondansatör Enerjisinin Hesaplanması

Yükü bir kondansatörde depolanan enerji, Eşitlik (5.4)'ten yararlanılarak hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (5.4)$$

Burada, E Joule (J) cinsinden enerjiyi, C F cinsinden sığayı ve V simgesi ise V cinsinden gerilimi göstermektedir.



dikkat

Kondansatörde depolanan enerji, kondansatörün sığası ve uçlarındaki gerilimin karesi ile doğru orantılıdır.

Örnek 5.8: 50 V ve 1 F'lık bir kondansatörün tam şarj durumunda depoladığı yükü ve enerjisini hesaplayınız.

Çözüm: Eşitlik (5.1)'de düzenleme yapıldığında toplanan yük, $Q = CV = (1)(50) = 50 \text{ C}$ olarak hesaplanır. Bu durumda ise enerji

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (1)(50)^2 = 1250 \text{ J}$$

olarak elde edilir.

Örnek 5.9: Bir kondansatöre uygulanan gerilim, iki katına çıkarılıp, kondansatörün plakalar arası mesafesi yarıya indirilirse, önceki duruma göre enerjisi nasıl değişir?

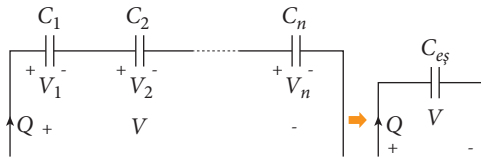
Çözüm: Eşitlik (5.4) incelenirse, kondansatör enerjisinin kaynağın gerilimine ve kondansatörün sığa değerine bağlı olduğu görülür. Enerji, gerilimin karesi ve sığa değeri ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, uygulanan gerilim iki katına çıkarılırsa, enerji, gerilimin karesi ile doğru orantılı olduğu için enerji dört katına çıkar. Öte yandan enerjinin sığa ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Örnekte, sığa ifadesinin doğrudan arttığı söylenmemiştir. Ancak Eşitlik (5.2)'de verildiği üzere, sığayı değiştiren faktörlerden biri, plakalar arası mesafedir. Sığa, plakalar arasındaki mesafe ile ters orantılıdır. O hâlde, plakalar arasındaki mesafeyi yarıya indirmek, önceki duruma göre sığayı iki katına çıkaracaktır. Sığanın iki katına çıkması onunla orantılı olan enerjiyi de iki katına çıkaracaktır. Bu iki parametre, çarpım durumunda olduğundan, enerji değeri, önceki duruma göre toplamda sekiz kat artacaktır.

Kondansatörlerin Devreye Bağlanması

Elektrik devrelerinde genellikle birden fazla kondansatör birbirine bağlanır. Bu kondansatörlerin bağlanış şekillerine göre eşdeğer sığa değişmektedir. Kondansatörler; seri, paralel ya da seri-paralel (karışık) şeklinde birbirine bağlanırlar.

Seri Bağlama

Şekil 5.5'te gösterildiği gibi n sayıda kondansatörün birbirine seri olarak bağlandığını varsayalım.



Şekil 5.5 Seri bağlı kondansatörlerde eşdeğer sığanın hesaplanması

Seri bağlı kondansatörlerde yükler birbirine eşittir:

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \quad (5.5)$$

Kirchhoff'un gerilim yasasına göre, her bir kondansatörün uçları arasındaki gerilimin toplamı, eşdeğer sığaya uygulanan gerilime eşittir:

$$V = V_1 = V_2 + \dots + V_n \quad (5.6)$$

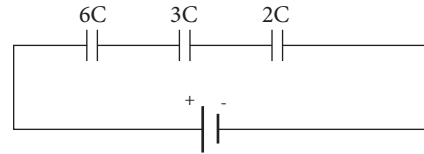
Eşitlik (5.1) ifadesi, Eşitlik (5.6)'da yerine konursa,

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n} \quad (5.7)$$

elde edilir. Eşitlik (5.5)'de yüklerin birbirine eşit olmasından dolayı eşdeğer sığa aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (5.8)$$

Örnek 5.10: Şekil 5.6'daki devre için eşdeğer sığayı hesaplayınız.



Şekil 5.6 Örnek 5.10 için devre şeması

Çözüm:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{6C} + \frac{1}{3C} + \frac{1}{2C} = \frac{1}{C}$$

$$C_{eq} = C$$

Örnek 5.11: Birbirine seri olarak bağlanmış beş adet özdeş kondansatörün sığa değeri 5 F olup, her birinde 5V gerilim bulunmaktadır. Bu durumda eşdeğer sığayı ve toplam gerilimi hesaplayınız.

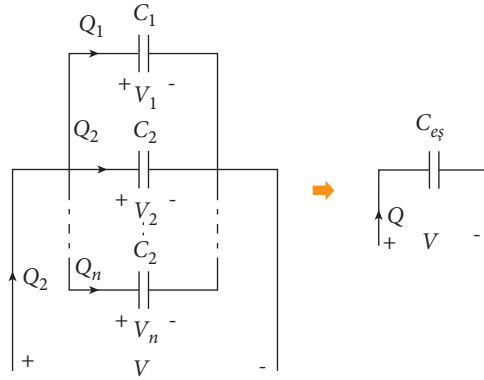
Çözüm:

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} = \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} \rightarrow C_{eş} = 1F$$

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_5 = 5 + 5 + 5 + 5 + 5 = 25V$$

Paralel Bağlama

Şekil 5.7’de gösterildiği gibi n sayıda kondansatörün birbirine paralel olarak bağlandığını varsayalım.



Şekil 5.7 Paralel bağlı kondansatörlerde eşdeğer sığanın hesaplanması

Paralel bağlı kondansatörlerin yükleri toplamı, eşdeğer sığanın yüküne eşittir.

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (5.9)$$

Paralel kollardaki gerilimler eşittir:

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (5.10)$$

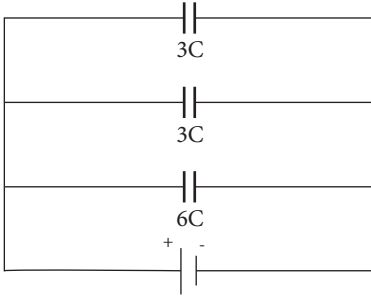
Eşitlik (5.1) ifadesi, Eşitlik (5.9)’da yerine konursa,

$$C_{eş}V = C_1V_1 + C_2V_2 + \dots + C_nV_n \quad (5.11)$$

eşitliği bulunur. Eşitlik (5.10)’da, gerilimlerin birbirine eşit olmasından dolayı eşdeğer sığa aşağıdaki gibi elde edilir:

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (5.12)$$

Örnek 5.12: Şekil 5.8'deki devre için eşdeğer sığayı hesaplayınız.

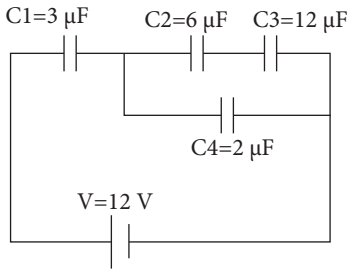


Şekil 5.8 Örnek 5.12 için devre şeması

Çözüm:

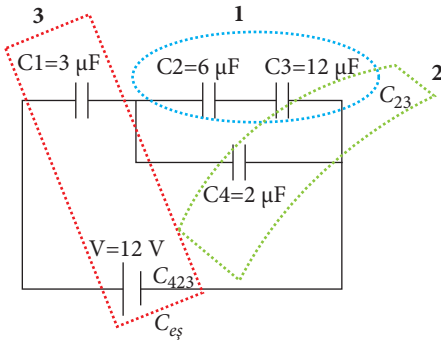
$$C_{es} = C_1 + C_2 + C_3 = 3C + 3C + 6C = 12C$$

Örnek 5.13: Şekil 5.9'daki devre için eşdeğer sığayı hesaplayınız.



Şekil 5.9 Örnek 5.13 için devre şeması

Çözüm:



Şekil 5.10 Örnek 5.13 için çözüm adımları

Nasıl ki bir karmaşık verilen toplama, çıkarma ve bölme içeren bir matematik sorusunda önce parantez içindekiler, sonra çarpmalar ve bölmeler, sonra toplanlar yapılıyorsa hem seri hemde paralel bağlantısı olan devrelerde benzer adımlar izlenir. Öncelikle, düğüm noktalarını matematiksel işlemdeki parantezler olarak düşünürüz ve öncelikle bunları yapmaya başlarız. Düğüm noktası içinde ise önce seri olanlar, sonra bunlara bağlı olan paraleller şeklinde devam edilir. Bu bakımdan aşağıda, işlem adımları şeklinde (Şekil 5.10) çözüme gidilmiştir:

1. adım: Devrede C_2 ve C_3 ile gösterilen kondansatörler birbirine seridir. Bu durumda iki kondansatörün eşdeğer sığası $\frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{6\mu} + \frac{1}{12\mu}$ eşitliğinden $C_{23} = 4\mu F$ olarak bulunur.

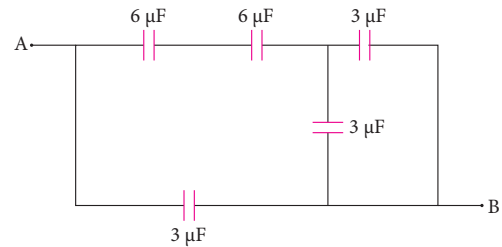
2. adım: Hesaplanan C_{23} , C_4 kondansatörüne paraleldir.

$$C_{423} = C_4 + C_{23} = 2\mu + 4\mu = 6\mu F.$$

3. adım: Hesaplanan C_{423} , C_1 kondansatörüne seridir.

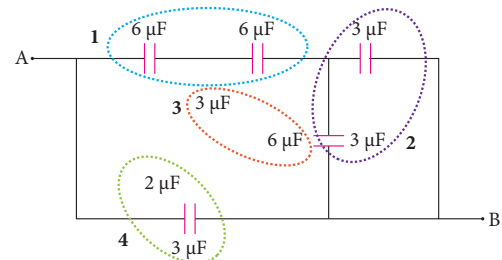
$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{423}} = \frac{1}{3\mu} + \frac{1}{6\mu} = \frac{1}{2\mu}$ eşitliğinden $C_{es} = 2\mu F$ olarak hesaplanır.

Örnek 5.14: Şekil 5.11'deki devre için eşdeğer sığayı hesaplayınız.



Şekil 5.11 Örnek 5.14 için devre şeması

Çözüm:



Şekil 5.12 Örnek 5.14 için çözüm adımları

Önceki örnekteki benzer şekilde işlem adımları şeklinde çözüme gidilmiştir:

1. adım: $6 \mu F$ lık iki kondansatör seri bağlıdır.

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{6\mu} + \frac{1}{6\mu} \rightarrow C_1 = 3\mu F$$

2. adım: $3 \mu F$ lık iki kondansatör paralel bağlıdır.

$$C_2 = 3\mu F + 3\mu F = 6\mu F.$$

3. adım: 1. ve 2. adımda bulunan kondansatörler birbirlerine seri bağlıdır.

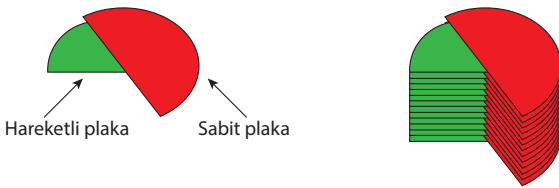
$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{3\mu} + \frac{1}{6\mu} \rightarrow C_3 = 2\mu F$$

4. adım: 3. adımda bulunan kondansatör ve $3 \mu F$ lık kondansatör birbirine paralel bağlıdır.

$$C_{\text{çş}} = 2\mu F + 3\mu F = 5\mu F$$

Değişken Değerli Kondansatörler

Değişken değerli kondansatörler, sığa değeri belirlenen aralıklar arasında değiştirilebilen kondansatörlerdir. Şekil 5.13'te değişken tip bir kondansatörün yapısı görülmektedir. Hareketli plakalar açıldığında, toplam etkin yüzey alanı artar. Böylece kondansatörün Eşitlik (5.2)'ye göre yüzey alanı arttığı için kapasitesi artar. Şekilde görüldüğü gibi, çok sayıda hareketli ve sabit plaka da kullanılabilir. Plakalar hareket ettirilerek, plakaların yüzey alanı ve aynı zamanda plakalar arası mesafeler değişir. Buna bağlı olarak da kondansatörün sığası değişir.



Şekil 5.13 Değişken kondansatörün yapısı

Günümüzde 3 farklı değişken değerli kondansatör yaygın olarak kullanılmaktadır:

- Varyabil kondansatör
- Trimer kondansatör
- Varikap

Varyabil kondansatör, sığanın sıklıkla değişmesi istenen devrelerde kullanılan bir ayarlı kondansatör tipidir. Plakalarından birisi hareketli, diğeri ise sabittir. Şekil 5.14'te, varyabil tipi kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü görülmektedir.



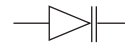
Şekil 5.14 Varyabil kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü

Trimer tipi kondansatör, sığanın nadiren değişmesi istenen devrelerde kullanılan ayarlı bir kondansatör tipidir. Trimer kondansatörün sığa ayarı bir tornavida ile yapılır. Şekil 5.15'te, trimer kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü görülmektedir.



Şekil 5.15 Trimer kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü

Varikap tipi ise, diğer kondansatör çeşitlerinden farklı olarak, yarı iletkenler kullanılarak elde edilir. Gerilime bağlı olarak sığa değerini değiştirirler. Şekil 5.16'da, varikap sembolü görülmektedir.



Şekil 5.16 Varikap kondansatörün devre uygulamalarındaki sembolü

Öğrenme Çıktısı



- 1 Kondansatörün yapısı ve doğru gerilim kaynağı altında şarj olmasını açıklayabilme
- 2 Eşdeğer sığa (kapasite) ve eşdeğer kapasitif reaktans hesaplayabilme

Araştır 1

Kondansatörlerin kullanım alanları nerelerdir ve kondansatör seçiminde nelere dikkat edilmelidir?

İlişkilendir

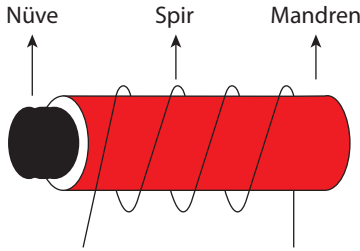
Kondansatörlerin sığalarını nasıl değiştirebiliriz?

Anlat/Paylaş

Kondansatörler şarj edilirken üzerlerine düşen gerilim ve üzerinden akan akım zamanla nasıl değişmektedir?

BOBİN

İçerisinde hareketli ya da sabit bir nüve bulunan mandren üzerine, dışı izole edilmiş iletken telin sarılmasıyla elde edilen pasif devre elemanına *bobin* denir. Bobindeki her bir sarım ise, spir olarak isimlendirilir. Şekil 5.17'de bobinin yapısı ve Şekil 5.18'de ise, bobinin devre uygulamalarındaki sembolü görülmektedir.



Şekil 5.17 Bobinin yapısı



Şekil 5.18 Bobinin devre uygulamalarındaki sembolü

✓ Dışi izole edilmiş bir iletken telin bir nüve üzerine sarılmasıyla elde edilen devre elemanına bobin denir.

Bobinin Çalışma Prensipleri

Bobin, DC gerilim kaynağı ve AC gerilim kaynağı altında farklı davranış özelliği gösterir. Bobin bir DC kaynağına bağlandığında, sabit bir manyetik alan meydana gelir. İdeal bir bobin, DC gerilim kaynağına bağlandığında ise kısa devre özelliği gösterir. Ancak pratikte, bobinin sarımında kullanılan tel düşük de olsa bir direnç gösterecektir.



dikkat

İdeal bir bobin bir DC gerilim bağlandığında kısa devre gibi davranır, pratikte ise bobinin sarımında kullanılan telin direnci kadar omik direnç gösterir.

Bobin bir AC gerilim kaynağına bağlandığı zaman ise, bobinin içinde bir AC akım oluşur. Oluşan bu AC akım, değişken bir manyetik alan oluşturur. Çünkü alternatif akımdan dolayı, sürekli olarak akım yönü ve büyüklüğü değişmektedir. İndüksiyon yasasına göre, bu değişken manyetik alan, bobinin iki ucu arasında bir gerilim meydana getirir ve bobin üzerinde bir gerilim indüklenmesi olur. İndüklenen bu gerilim, elektromotor kuvveti (emk) olarak isimlendirilir. Bu emk'nin yönü, kendisini meydana getiren gerilim değişimine zıttır ve dolayısıyla indüksiyon akımı olarak isimlendirilen zıt yönlü bir akıma sebep olur. Lenz yasasına göre,

oluşan zıt yönlü bu akım, artmakta olan devre akımını azaltıcı, azalmakta olan devre akımını arttırıcı yönde bir etki oluşturur.

Bobinlerin elektrik akımının değişimine karşı gösterdikleri tepki indüktans olarak isimlendirilir ve L simgesiyle gösterilir. SI birim sisteminde indüktans birimi Henry (H)'dir. Henry, büyük bir indüktans değeri olduğundan, uygulamalarda çoğunlukla alt katları kullanılır:

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}, 1 \text{ } \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}, 1 \text{ nH} = 10^{-9} \text{ H}, 1 \text{ pH} = 10^{-12} \text{ H}$$

✓ Bobinin elektrik akımı değişimine karşı gösterdiği tepki indüktans olarak isimlendirilir, L ile gösterilir ve birimi Henry (H)'dir.

İndüktansı Etkileyen Faktörler

Bir bobinin indüktansı, Eşitlik (5.13)'de verilen formülle hesaplanır:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad (5.13)$$

Burada, L bobinin H cinsinden indüktansını, μ simgesi H/cm cinsinden manyetik geçirgenliği, N sarım sayısını, A simgesi cm^2 cinsinden nüvenin kesit alanını ve l ise cm cinsinden tel uzunluğunu göstermektedir.

Eşitlik (5.13) incelendiğinde, bobin indüktans değerinin

- Nüvenin manyetik geçirgenliği ile doğru orantılı olduğu,
- Sarım sayısının karesi ile doğru orantılı olduğu,
- Bobinin kesit alanı ile doğru orantılı olduğu,
- Kullanılan telin uzunluğu ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Örnek 5.15: Manyetik geçirgenliği $\mu = 251 \times 10^{-4}$ H/cm, sarım sayısı 40, nüvenin kesit alanı 5 cm^2 ve tel uzunluğu 10 cm olan bir bobinin indüktansı nedir?

Çözüm:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} = \frac{(251 \times 10^{-4})(40)^2 (5)}{10} = 20,1 \text{ H}$$

Örnek 5.16: Bir bobindeki sarım sayısı ve kesit alanı iki katına çıkarılırsa, önceki duruma göre indüktans değeri nasıl değişir?

Çözüm: Bobinlerde indüktans değeri, sarım sayısının karesi ve kesit alanı ile doğru orantılı şeklindedir. Bu bakımdan, sarım sayısı iki katına çıkarılırsa, indüktans, sarım sayısının karesi ile doğru orantılı olduğundan dört kat artacaktır. Bununla birlikte indüktans, kesit alanı ile de doğru orantılı olduğundan, kesit alanı iki katına çıkarılırsa, indüktans da iki katına çıkar. Bu iki parametre, çarpım durumunda olduğundan, indüktans değeri önceki duruma göre toplamda sekiz kat artacaktır.

İndüktif Reaktans

Bir bobine AC gerilim uygulandığında gösterdiği zorluk indüktif reaktans olarak tanımlanır:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (5.14)$$

Burada, ω AC gerilim kaynağının rad/s biriminden açısal frekansı, L bobinin H biriminden indüktansı ve f ise Hz cinsinden frekansı göstermektedir.



dikkat

İndüktif reaktans, bobinin indüktansı ve kaynağın frekansı ile doğru orantılıdır.

Örnek 5.17: Frekansı 50 Hz olan bir AC gerilim kaynağı 20 mH'lik bobine bağlandığında indüktif reaktansı hesaplayınız.

Çözüm:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2(3,14)(50)(20 \times 10^{-3}) = 6,28 \text{ Ohm}$$

Örnek 5.18: Bir bobine uygulanan AC gerilimin hem frekansı ve hem de büyüklüğü iki katına çıkarılırsa, indüktif reaktans önceki duruma göre nasıl değişir?

Çözüm: Eşitlik (5.14) incelenirse, indüktif reaktansın kaynağın frekansına ve bobinin indüktans değerine bağlı olduğu görülür. Her iki parametre ile de doğru orantılıdır. Dolayısıyla, AC kaynağın frekansı iki katına çıkarılırsa indüktif reaktans da iki katına çıkar. Bununla birlikte, uygulanan gerilim değeri ile indüktif reaktans arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Bu örnekte, indüktif reaktans değeri, sadece uygulanan gerilimin frekans değeri ile ilişkilidir. Bu bakımdan indüktif reaktans önceki duruma göre iki katına çıkacaktır.

Bobin Enerjisinin Hesaplanması

Bobinde depolanan enerji Eşitlik (5.15)'den yararlanılarak hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2} Li^2 \quad (5.15)$$

Burada, E enerjiyi Joule (J) cinsinden, L indüktansı H cinsinden ve i akımı Amper (A) cinsinden göstermektedir.



dikkat

Bobinde depolanan enerji, bobinin indüktansı ve uçlarından geçen akımın karesi ile doğru orantılıdır.

Örnek 5.19: İndüktansı 10 mH olan bobin üzerinden 1 mA akım aktığına göre bobinin enerjisini bulunuz.

Çözüm:

$$E = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} (10 \times 10^{-3}) (1 \times 10^{-3})^2 = 5 \times 10^{-9} \text{ J}$$

Örnek 5.20: Bir bobine uygulanan hem akım ve hem de bobin sarım sayısı iki katına çıkarılırsa önceki duruma göre bobin enerjisi nasıl değişir?

Çözüm: Eşitlik (5.15) incelenirse bobin enerjisinin bobinden geçen akıma ve bobinin indüktans değerine bağlı olduğu görülür. Enerji, akımın karesi ve indüktans değeri ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, uygulanan akım iki katına çıkarılırsa, enerji, akımın karesi ile doğru orantılı olduğu için enerji

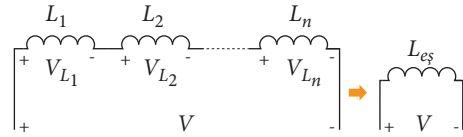
dört katına çıkar. Öte yandan enerjinin indüktans ile de doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Örnekte, indüktans ifadesinin doğrudan arttığı söylenmemiştir. Ancak Eşitlik (5.13)'de verildiği üzere, indüktansı değiştiren faktörlerden biri, bobin sarım sayısıdır. İndüktans, sarım sayısının karesi ile doğru orantılıdır. O hâlde sarım sayısını iki katına çıkarmak, önceki duruma göre indüktansı dört katına çıkaracaktır. Bu iki ifade çarpım durumunda olduğundan, enerji değeri, önceki duruma göre toplamda on altı kat artacaktır.

Bobinlerin Devreye Bağlanması

Elektrik devrelerinde genellikle birden fazla bobin birbirine bağlanır. Bu bobinlerin bağlanış şekillerine göre eşdeğer indüktans değişmektedir. Bobinler; seri, paralel ya da seri-paralel (karışık) şeklinde birbirine bağlanırlar.

Seri Bağlama

Şekil 5.19'da gösterildiği gibi n sayıda bobinin birbirine seri olarak bağlandığını varsayalım.



Şekil 5.19 Seri bağlı bobinlerde eşdeğer indüktansın hesaplanması

Kirchhoff'un gerilim yasasına göre, her bir bobin uçları arasındaki gerilimlerin toplamı, eşdeğer indüktansa uygulanan gerilime eşittir:

$$V = V_{L_1} + V_{L_2} + \dots + V_{L_n} \quad (5.16)$$

Seri bağlanmış bobinlerin toplam indüktansı, her birinin cebirsel toplanması ile bulunur. Buna göre n adet seri bağlı bobinin eşdeğer indüktif reaktansı

$$X_{L_{eq}} = X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_{L_n} \quad (5.17)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik (5.14) ifadesi Eşitlik (5.17)'de yerine yazılırsa

$$2\pi fL_{eş} = 2\pi fL_1 + 2\pi fL_2 + \dots + 2\pi fL_n \quad (5.19)$$

olarak elde edilir. Denklemden ortak çarpan durumunda olan her iki tarafa bölünürse,

$$L_{eş} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (5.19)$$

olarak eşdeğer indüktans seri bağlı devreler için elde edilmiş olur.

Örnek 5.21: Büyüklükleri 3 mH ve 6 mH'lik iki bobin birbirine seri bağlanmıştır. Eşdeğer indüktansı bulunuz.

Çözüm:

$$L_{eş} = L_1 + L_2 = 3mH + 6mH = 9mH$$

Örnek 5.22: Birbirine seri olarak bağlanmış beş adet özdeş bobinin indüktans değeri 5 mH olup uygulanan gerilimin frekans değeri ise 100 Hz'dir. Bu durumda, eşdeğer indüktansı ve eşdeğer indüktif reaktansı hesaplayınız.

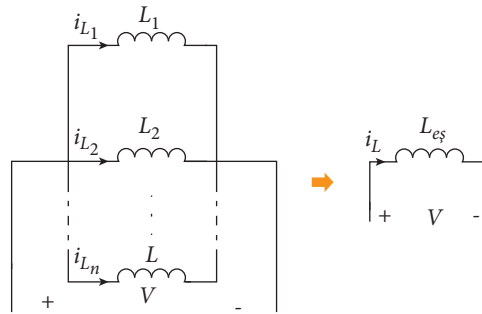
Çözüm:

$$L_{eş} = L_1 + L_2 + \dots + L_5 = 5mH + 5mH + 5mH + 5mH + 5mH = 25mH$$

$$X_{L_{eş}} = 2\pi fL_{eş} = 2(3,14)(100)(25 \times 10^{-3}) = 15,7 \text{ Ohm}$$

Paralel Bağlama

Şekil 5.20'de gösterildiği gibi n sayıda bobinin birbirine paralel olarak bağlandığını varsayalım.



Şekil 5.20 Paralel bağlı bobinlerde eşdeğer indüktansın hesaplanması

Bobinlerin üzerinden geçen akımların toplamı ise uygulanan akıma eşittir:

$$i_L = i_{L_1} + i_{L_2} + \dots + i_{L_n} \quad (5.20)$$

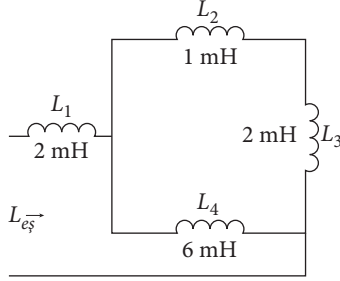
Eşdeğer indüktif reaktans ise şu şekilde hesaplanır:

$$\frac{1}{X_{L_{eş}}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \quad (5.21)$$

Buradan da eşdeğer indüktans, Eşitlik (5.22)'deki gösterildiği şekilde elde edilir:

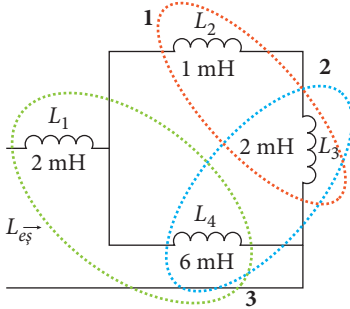
$$\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (5.22)$$

Örnek 5.23: Şekil 5.21'de verilen devrenin eşdeğer indüktansı ($L_{eş}$) nedir?



Şekil 5.21 Örnek 5.23 için devre şeması

Çözüm:



Şekil 5.22 Örnek 5.23 için çözüm adımları

1. adım: L_2 ve L_3 bobinleri birbirine seri bağlıdır.

$$L_{23} = 1mH + 2mH + 3mH$$

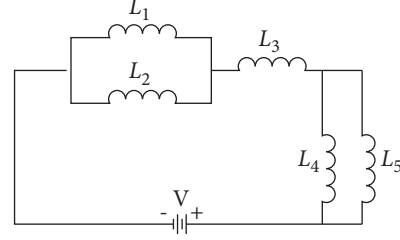
2. adım: 1. Adımda bulunan ve L_4 birbirine paralel bağlıdır.

$$\frac{1}{L_{234}} = \frac{1}{3m} + \frac{1}{6m} \rightarrow L_{234} = 2mH$$

3. adım: 2. adımda bulunan L_{234} ve L_1 bobinleri birbirine seri bağlıdır.

$$L_{eş} = 2mH + 2mH = 4mH$$

Örnek 5.24: Şekil 5.23'te verilen devrede $L_1 = L_2 = 400$ mH, $L_3 = 500$ mH ve $L_4 = L_5 = 200$ mH olduğuna göre devrenin eşdeğer indüktansını hesaplayınız.



Şekil 5.23 Örnek 5.24 için devre şeması

Çözüm:

1. adım: L_1 ve L_2 bobinleri birbirine paralel bağlıdır.

$$\frac{1}{200m} + \frac{1}{400m} \rightarrow L_{12} = 200mH$$

2. adım: L_4 ve L_5 bobinleri birbirine paralel bağlıdır.

$$\frac{1}{200m} + \frac{1}{200m} \rightarrow L_{45} = 100mH$$

3. adım: 1. ve 2. adımda bulunan değerler ile L_3 birbirine seri bağlıdır.

$$L_{eş} = 200mH + 100mH + 500mH = 800mH$$

Bobin Çeşitleri

Bobinler, genel olarak nüve olarak kullanılan malzemeye göre sınıflandırılır. Aşağıda nüve olarak kullanılan malzemeye göre bobin çeşitlerine yer verilmiştir:

- Hava nüveli bobin
- Demir nüveli bobin
- Sac nüveli bobin
- Ferrit nüveli bobin

Şekil 5.24'te, farklı malzeme kullanılan bobinlerin devre uygulamalarındaki sembolleri görülmektedir.

			
Hava Nüveli Bobin	Demir Nüveli Bobin	Saç Nüveli Bobin	Ferrit Nüveli Bobin

Şekil 5.24 Farklı malzeme kullanılan bobinlerin devre uygulamalarındaki sembolü

Trimer ayarlı bobin ise, indüktansın nadiren değişmesi istenen devrelerde kullanılan bir ayarlı bobin tipidir. Trimer ayarlı bobinin indüktans ayarı, tornavida ile yapılır. Şekil 5.26'da trimer ayarlı bobin sembolü görülmektedir.



Şekil 5.26 Trimer ayarlı bobinin devre uygulamalarındaki sembolü

Ayarlı Bobinler

Ayarlı bobinler, indüktansın sıklıkla değişmesi istenen devrelerde kullanılan bobin tipidir. Şekil 5.25'te ayarlı bobin sembolü görülmektedir.



Şekil 5.25 Ayarlı bobinin devre uygulamalarındaki sembolü

Öğrenme Çıktısı



- 3 Bobinin yapısı ve çalışma prensibini açıklayabilme
4 Eşdeğer indüktans ve eşdeğer indüktif reaktans hesaplayabilme

Araştır 2

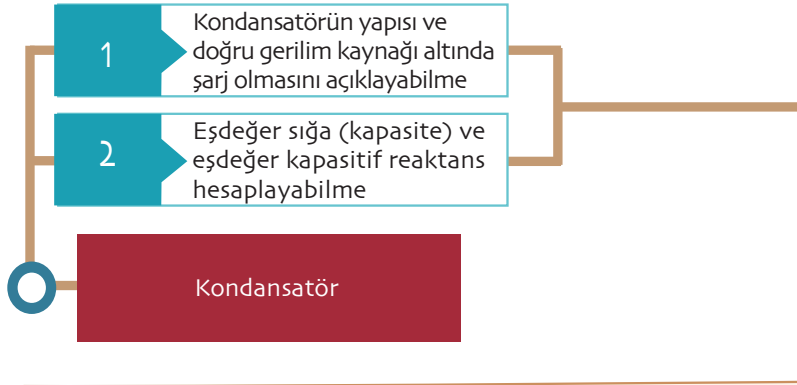
Bobinlerin kullanım alanları nelerdir?

İlişkilendir

Bobinlerin indüktanslarını nasıl değiştirebiliriz?

Anlat/Paylaş

İndüksiyon akımı nasıl oluşur?



Kondansatör, iki iletken plaka arasına bir yalıtkan malzeme konarak (hava, mika, seramik, cam, mumlu kâğıt vb.) elde edilen ve elektrik enerjisini depolayabilen pasif bir devre elemanıdır. Kondansatöre DC gerilim uygulandığında, elektrik kaynağının pozitif kutbu elektronları çekmeye, negatif kutbu ise elektronları itmeye başlar. Bu esnada elektronlar hareket etmekte, yani elektron akışı gerçekleşmektedir. Kondansatörün ortasında bulunan yalıtkan malzeme ise elektronların bir levhadan diğerine geçmesine izin geçmez. Elektronlarını kaybeden plaka, pozitif elektrik yükü ile yüklenirken elektron kazanan plaka ise, negatif elektrik yükü ile yüklenir. Böylelikle her iki levhada farklı elektrik yükleri oluşur. Plakalar, kondansatörün kapasitesi doluncaya kadar yüklenmeye devam eder ve plakalar dolunca, elektron akışı da durur. Bu durumda, yüklenen plakalar arasında farklı elektrik yüklerinin oluşmasından dolayı, bir potansiyel fark yani gerilim meydana geldiğinden, kondansatörde yüklenmiş olur. Bu duruma “kondansatörün şarjı” denir. Elektrik kaynağı devreden çıkarıldığında ise, kondansatör sahip olduğu gerilimi, devrenin tamamlanması hâlinde devreye verir. Bu duruma “kondansatöründeşarjı” denir. Deşarj sırasında, devrede geçen akım, gerilim kaynağı bağlı iken geçen akım ile zıt yöndedir. Kondansatörün elektrik yükü yüklenebilme yeteneğine sığa ya da kapasite adı verilir. Sığa değeri uygulanan gerilim veya yük miktarı ile değişmez. Değeri sabittir. Kondansatördeki yük miktarı $Q = VC$ eşitliğinden hesaplanır.

Birden fazla kondansatör seri ya da paralel bağlanması durumunda eşdeğer sığa ya da kapasite hesaplanabilir. Eğer n adet kondansatör seri bağlandıysa, bu durumda

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

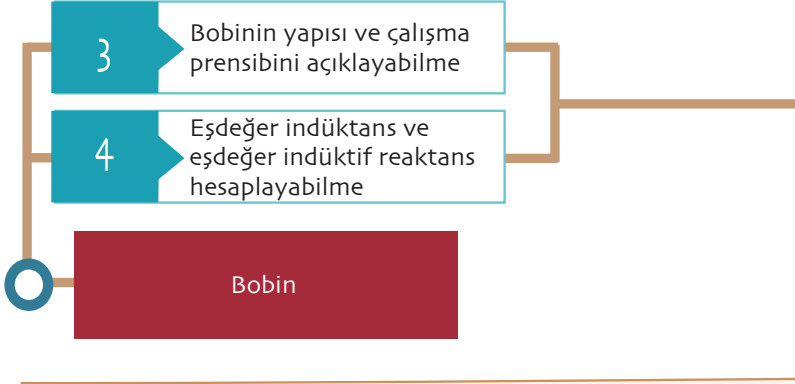
eşitliğinden $C_{eş}$ çekilerek eşdeğer sığa hesaplanır. Eğer n adet kondansatör paralel bağlınırsa, bu durumda ise

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

eşitliğinden eşdeğer sığa hesaplanır. Devrede çok sayıda kondansatörün seri, paralel (karışık) bağlanması durumunda, birbirine doğrudan seri ya da paralel bağlı gruplar tespit edilip, adım adım sığa hesaplamaları yapılarak eşdeğer sığa hesabı yapılır. Kapasitif reaktans, AC gerilim altında kondansatörün gösterdiği dirençtir. Kapasitif reaktans

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.



Bobin, içerisinde hareketli ya da sabit bir nüve bulunan mandren üzerine, dışı izole edilmiş iletken telin sarılmasıyla elde edilen pasif bir devre elemanıdır. Bobindeki her bir sarıma ise spir adı verilir. DC kaynağa bağlanan bir bobinde sabit bir manyetik alan oluşur. Bu durumda da ideal bir bobin, DC gerilim kaynağına bağlandığında kısa devre olur. Ancak pratikte, bobinin sarımında kullanılan tel, düşük de olsa bir direnç gösterecektir. AC gerilim kaynağına bağlanan bir bobinde ise AC bir akım oluşur. Oluşan bu AC akım ise sürekli olarak yön ve büyüklüğünün değişmesinden dolayı, değişken bir manyetik alan oluşturur. İndüksiyon yasasına göre, bu değişken manyetik alan, bobinin iki ucu arasında bir potansiyel fark meydana getirir ve bobin üzerinde bir gerilim indüklenmesi olur. İndüklenen bu gerilim, elektromotor kuvveti (emk) olarak adlandırılır ve yönü, kendisini meydana getiren gerilim değişimine zıt yöndedir. Dolayısıyla da indüksiyon akımı olarak adlandırılan zıt yönlü bir akım oluşur. Lenz yasasına göre oluşan zıt yönlü bu akım, artmakta olan devre akımını azaltıcı etkide bulunurken azalmakta olan devre akımına ise arttırıcı yönde etki eder.

Birden fazla bobin seri ya da paralel bağlanması durumunda eşdeğer indüktans hesaplanabilir. Eğer n adet bobin seri bağlandıysa, bu durumda

$$L_{eş} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

eşitliğinden eşdeğer indüktans hesaplanır. Eğer n adet kondansatör paralel bağlandıysa, bu durumda eşdeğer indüktans,

$$\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

eşitliğinden çekilerek bulunur. Devrede çok sayıda bobin seri, paralel (karmaşık) bağlanması durumunda, birbirine doğrudan seri ya da paralel bağlı gruplar tespit edilip, adım adım sığa hesaplamaları yapılarak eşdeğer indüktans hesabı yapılır. İndüktif reaktans ise AC gerilim altında bobinin gösterdiği dirençtir. İndüktif reaktans,

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

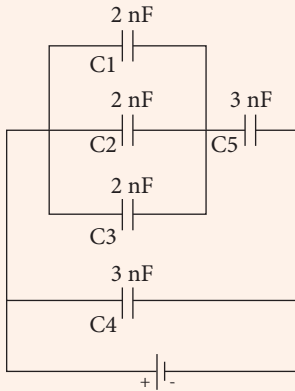
1 Bir Q elektrik yükü ile yüklenmiş kondansatöre, V gerilimi uygulanmaktadır. Uygulanan gerilim iki katına çıkarılırsa kondansatörün sığa değeri nasıl değişir?

- A. İki katına çıkar.
- B. Yarıya iner.
- C. Değişmez.
- D. Dört katına çıkar.
- E. Dörtte birine iner.

2 Bir kondansatörün tek plaka yüzey alanı iki katına çıkarılıp, levhalar arası uzaklık yarıya indirilirse önceki duruma göre sığa değeri nasıl değişir?

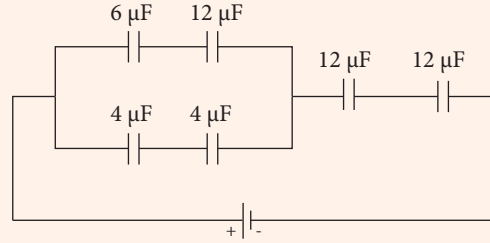
- A. İki katına çıkar.
- B. Yarıya iner.
- C. Değişmez.
- D. Dört katına çıkar.
- E. Dörtte birine iner.

3 Şekildeki devrede eşdeğer sığa kaç nF'dir?



- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5

4 Şekildeki devrede eşdeğer sığa kaç μF 'dir?



- A. 3
- B. 6
- C. 9
- D. 12
- E. 15

5 Bir kondansatöre uygulanan AC gerilim iki katına çıkarsa kapasitif reaktans nasıl değişir?

- A. İki katına çıkar.
- B. Yarıya iner.
- C. Değişmez.
- D. Dört katına çıkar.
- E. Dörtte birine iner.

6 Sarım sayısı iki katına çıkarılan bir bobinin önceki duruma göre indüktansı nasıl değişir?

- A. İki katına çıkar.
- B. Yarıya iner.
- C. Değişmez.
- D. Dört katına çıkar.
- E. Dörtte birine iner.

7 50 Hz frekansa sahip bir AC gerilim kaynağı 10 mH'lik bobine bağlandığında elde edilen indüktif reaktans kaç Ohm'dur? ($\pi = 3$ alınız.)

- A. 3
- B. 6
- C. 9
- D. 12
- E. 15

8 İndüktansı 2 mH olan bobin üzerinden 1 A akım aktığına göre, bu bobinin enerjisi kaç mJ'dür?

- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5

9 Bir bobinin alternatif akıma gösterdiği zorluk aşağıdakilerden hangisidir?

- A. Kapasitif reaktans
- B. İndüktif reaktans
- C. Empedans
- D. Direnç
- E. Henry

10 Bir devrede paralel bağlanan bobinler için aşağıdaki formüllerden hangisi ile eşdeğer indüktansı bulunur?

A. $L_{eş} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

B. $\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$

C. $L_{eş} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$

D. $\frac{1}{L_{eş}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

E. $\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + L_2 + \dots + \frac{1}{n}$

1. C	“Kondansatörün Şarj Olması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	6. D	Yanıtınız yanlış ise, “İndüktans Etkileyen Faktörler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
2. D	Yanıtınız yanlış ise, “Kondansatörün Sığasına Etki Eden Faktörler” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	7. A	Yanıtınız yanlış ise, “İndüktif Reaktans” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
3. E	Yanıtınız yanlış ise, “Kondansatörlerin Devreye Bağlanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	8. A	Yanıtınız yanlış ise, “Bobin Enerjisinin Hesaplanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
4. A	Yanıtınız yanlış ise, “Kondansatörlerin Devreye Bağlanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	9. B	Yanıtınız yanlış ise, “İndüktif Reaktans” konusunu yeniden gözden geçiriniz.
5. C	Yanıtınız yanlış ise, “Kapasitif Reaktans” konusunu yeniden gözden geçiriniz.	10. B	Yanıtınız yanlış ise, “Bobinlerin Devreye Bağlanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

5

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

Kondansatörler, elektronik dünyasında farklı amaçları yerine getirmede kullanılır. Örneğin fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde kondansatörler kullanılabilir. Ölçülmek istenen fiziksel büyüklük ile kondansatörün kapasitesini etkileyen faktörlerin birbiriyle ilişkilendirilmesiyle ölçüm gerçekleştirilir. Örnek olarak ivme, yer değiştirme, miktar ölçümü kondansatörün kapasitif etkisi ile ölçülebilen büyüklüklerden birkaçıdır. Kondansatörün bu alandaki kullanımına bir başka örnek olarak araçlardaki yakıt miktarının belirlenmesi verilebilir. Ayrıca, özellikle kapasitif reaktansın frekansa bağlı olarak değişmesi nedeniyle kondansatörler, filtre devrelerinde de kullanılır. Filtre devreleri, istenmeyen frekans ya da frekans aralıklarındaki sinyallerin genliğini zayıflatarak çıkışa vermez. Son bir örnek olarak da kondansatörlerin, alternatif akıma izin verirken doğru akımda şarj olduktan sonra akıma izin vermemelerinden dolayı devrelerin ayrılmasında ya da devrelerin bağlanmasında kullanılması verilebilir. Böylece, devrenin çalışması için gereken elektrik enerjisi ile devrede işlenecek işaretin birbirinden ayrılması sağlanır.

Bir devrede kullanılacak kondansatörün seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınır:

- Kondansatörün sığası
- Kondansatörün dayanma gerilimi
- Kondansatörde kullanılan yalıtkanın cinsi.

Kondansatörün sığası ve dayanma gerilimi kondansatör üzerinde belirtilir. Örneğin üzerinde 1 μF 20 V yazan bir kondansatörün, sığasının 1 μF olduğu ve dayanma geriliminin ise 20 V olduğu anlaşılır. Bu kondansatöre 20 V'un üstünde bir gerilim uygulanmamalıdır. Düşük kapasiteli veya düşük dayanma gerilimine sahip bir kondansatörün devrede kullanılması; devrenin ya da kullanılan diğer elemanların zarar görmesine neden olabilir. Kullanılan yalıtkanın cinsi de kondansatörün sığasına ve dayanma gerilimine doğrudan etki eder. Bu nedenle devrelerde bu faktörler dikkate alınarak gereksinime uygun olan kondansatörün kullanılması gerekir.

Araştır 2

Bobinler, elektronik dünyasında farklı amaçları yerine getirmede kullanılır. Bobinlerin kullanım alanlarına bazı örnekler şu şekildedir: Üzerinden elektrik akımı geçmesi durumunda, üzerinde manyetik alan oluşması sebebiyle, bobin güçlü bir mıknatıslık özelliği kazanır ve röle olarak kullanılabilir. Bu sayede, otomat, kapı zili vb. açma-kapama işleminin gerektiği devrelerde kullanılır. Ayrıca, bobinin üzerinde oluşan manyetik alanın bobin üzerinde bir indüksiyon geriliminin oluşmasına neden olması prensibi, transformatör ve jeneratörlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Jeneratörler, elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Transformatörler ise, bobinlerin karşılıklı etkileşiminden yararlanarak mevcut elektrik enerjisini artırmak ya da azaltmakta kullanılmaktadır. Bobinler, özellikle filtre devrelerinde kondansatör ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kaynakça

- Alexander, C. ve Matthew Sadiku, M. (2017). *Elektrik Devrelerinin Temelleri*. U. S. Selamioğulları (çev.) Palme Yayıncılık.
- Anday, F. (2004). *Devre ve Sistem Analizi - Çözümlü Problemler*. Birsen Yayınevi.
- Arifoğlu, U. (2013). *Elektrik-Elektronik Devrelerinin Analizi*. Alfa Yayınları.
- Balabanian, N. (1994). *Electric Circuits*. New York: McGraw-Hill.
- Boylestad, R. L. (2010). *Introductory Circuit Analysis*. Prentice Hall.
- Crowell, B. (2011). *Light and Matter*. California: Fullerton.
- Demirel, H. (2017). *DC - AC Devre Analizi*. Birsen Yayınevi.
- Demirel, H. (2017). *Devre Analizi*. Birsen Yayınevi.
- Edminister, J. A. ve Nahvi, M. (2014). *Elektrik Devreleri*. M. T. Aydemir, K.C. Nakiboğlu (çev.) Nobel Yayın Dağıtım.
- Efe, M. Ö. (2016). *Devre Analizi - 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Gökbulut, M. (2017). *Elektrik Devre Analizi 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Hayt, W., Kemmerly, J. ve Durbin, S. (2007). *Engineering Circuit Analysis*. McGraw Hill.
- İkiz, T. (2016). *Elektrik Devreleri Çözümlü Problemler*. Papatya Yayıncılık.
- Moura L., Darwazeh I. (2005). *Introduction to Linear Circuit Analysis and Modelling*. Elsevier.
- Nilsson, J. W. ve Riedel, S. A. (2015). *Elektrik Devreleri*. Palme Yayıncılık.
- Özbey, Ş. (2016). *Elektrik Devre Analizi 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Özdemir, A. (2014). *DC Devre Analizi*. Gece Kitaplığı Yayıncılık.
- Özger, A. (2014). Kondansatör ve Bobin. E. Kıyak (ed.). *Devre Analizi*. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2520. Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1491.
- Özkan, H. A. (2015). Kondansatör ve Bobin. A. Aybar (ed.). *Devre Analizi*. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3224. Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2093.
- Selek, H. S. (2019). *Meslek Yüksekokulları ve Fakülteler İçin Doğru Akım (DC) Devre Analizi*. Seçkin Yayıncılık.
- Şahin, M. E. (2018). *Devre Analizi ve Ölçme Bilgisi Laboratuvarı Deneyleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ünal, A. (2015). *Çözümlü Elektrik Devre Problemleri*. Birsen Yayınevi.
- Yağımlı, M., Akar, F. (2020). *Doğru Akım Devreleri & Problem Çözümleri*. Beta Basım Yayın.

Bölüm 6

RL ve RC Devreleri

öğrenme çıktıları

1

RL Devrelerinin Doğal Tepkisi

- 1 RL devrelerinin doğal tepki analizlerini gerçekleştirebilme

2

RC Devrelerinin Doğal Tepkisi

- 2 RC devrelerinin doğal tepki analizlerini gerçekleştirebilme

3

RL Devrelerinin Basamak Tepkisi

- 3 RL devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme

4

RC Devrelerinin Basamak Tepkisi

- 4 RC devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme

Anahtar Sözcükler: • Doğal Tepki • Zaman Sabiti • Anahtar • Basamak Tepki

REPAIR ELECTRONICS



GİRİŞ

RL devreleri, direnç ve bobinden meydana gelmiş elektrik devreleridir. Bu devrelerde, aynı zamanda bir anahtarlama mekanizması da kullanılır. Anahtarlama öncesinde, DC gerilim veya akım kaynağının etkisiyle devrenin başlangıç koşulları oluşur ve anahtarın konum değiştirmesi göz önüne alınarak devre üzerindeki akım davranışının doğal tepkisi belirlenebilir.

RC devreleri ise, direnç ve kondansatörden meydana gelmiş elektrik devreleridir. Bu devrelerde de RL devrelerinde olduğu gibi bir anahtar mekanizması kullanılır. Anahtarlama öncesinde, DC gerilim veya akım kaynağının etkisiyle devrenin başlangıç koşulları oluşur ve anahtarın konum değiştirmesi göz önüne alınarak devre üzerindeki gerilim davranışının doğal tepkisi belirlenebilir.

RL devrelerinin basamak tepkisi ise devreye bağlı DC kaynaklardaki ani değişiklikler sonucu ortaya çıkan akımlardır. Ani değişiklikler esnasında, devrede bobin üzerinde önceden depolanmış enerji olabilir veya olmayabilir. RL devrelerinin basamak tepkisini bulmak için söz konusu akımın başlangıç ve son değeri ile devrenin zaman sabiti hesaplanmalıdır.

RC devrelerinin basamak tepkisi ise RL devrelerinin basamak tepkisine benzer şekilde, devreye bağlı DC kaynaklardaki ani değişiklikler sonucu ortaya çıkan gerilimdir. Ani değişiklikler esnasında, devrede kondansatör üzerinde önceden depolanmış enerji olabilir veya olmayabilir. RC devrelerinin basamak tepkisini bulmak için söz konusu gerilimin başlangıç ve son değeri ile devrenin zaman sabiti hesaplanmalıdır.

RL ve RC devrelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle, önceki bölümde verilen bobin ve kondansatörün DC devrelerdeki davranışı, eşdeğer indüktans hesaplama ve eşdeğer kapasitans hesaplama gibi konuların tekrar gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Bölüm sonunda verilen neler öğrendik testi ile bu konuların ne kadar pekiştirildiğinin belirlenmesi sağlanabilir. Ayrıca kaynakça kısmında verilen veya konuyla ilişkili farklı kitaplarda bulunan problemlerin çözülmesi söz konusu konuların çok daha iyi pekişmesini sağlayacaktır.

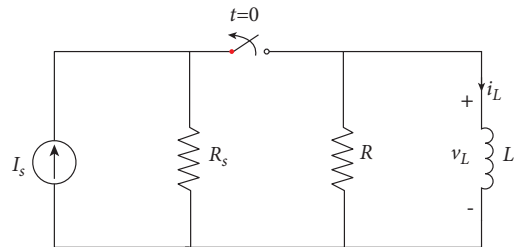
RL DEVRELERİNİN DOĞAL TEPKİSİ

Önceki ünite, bobinin en önemli özelliğinin enerjiyi depolama olduğu belirtilmişti. Bu özelliğinden yola çıkarak bir DC gerilim veya akım kaynağı ile beslenen bir RL devresinin bobin üzerinden enerjisini kaybetmesi esasında oluşan akım analizi bu konunun özünü oluşturmaktadır. Bu analiz, kaynaksız RL devreleri incelemeleri olarak da bilinir.

Kaynaksız RL devrelerinin analizi, devreyi karakterize eden akıma yönelik diferansiyel denklemin oluşturulması ve bu denklemin çözümü ile ilişkilidir. Denklemin oluşturulmasında, üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında bobinin üzerinden geçen akım belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında, anahtar konumunu değiştirmekte ekseriyetle de kapalı konumdan açık konuma getirilmektedir. Bazı uygulamalarda ise devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise, bobinin akım değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise, anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi göz önüne alınarak durgun durum analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem, homojen doğrusal bir diferansiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan akım denklemi, devrenin *doğal tepkisi*ni verir.

Şekil 6.1'deki RL devresini ele alalım. Burada DC bir akım kaynağı şeklindeki gibi devreye bağlanmış olup, devrede ayrıca başlangıç koşulunu oluşturan bir anahtar da yer almaktadır ve $t = 0$ anında, kapalı olan bu anahtar, açık konuma getirilmektedir.

✓ Anahtarlama sonrası tüm kaynaklarla bağlantısı kesilmiş devrelerin tepkisi, doğal tepki olarak adlandırılır.



Şekil 6.1 Anahtarın kapalı olduğu RL devresi

RL devresi analizinde, ilk zaman evresi olarak $t < 0$ durumu göz önüne alınır. Analizlerde, önce-likli varsayım olarak devrenin yeterli süre, $t < 0$ durumunda kaldığı varsayılır. Böylelikle $t < 0$ durumu incelendiğinde, $(-\infty < t < 0)$ zaman aralığında, anahtarın kapalı olduğu görülmektedir. Çok uzun bir süre anahtarın kapalı olması ve DC kaynağın etkisiyle bobin, bu durumda kısa devre olacaktır. Dolayısıyla R_s ve R dirençleri üzerinden akım geçmeyecek yani bobinin kısa devre olması sebebiyle, tüm akım bobin üzerinden geçecektir. Bu durumda, bobin üzerinden negatif zaman aralığındaki (anahtar kapalıyken) akan akım, Eşitlik (6.1)'deki gibi gösterilebilir:

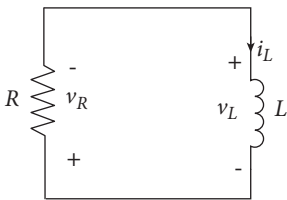
$$i_L(t) = I_s, t < 0 \quad (6.1)$$

Eşitlik (6.1)'de, parantez içindeki t gösterimi, ilgili akım değerinin zamanın bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir. Bu ifadede, tüm negatif değerler için $i_L(t)$ akımının I_s akımına eşit olduğu görülmektedir.

İkinci zaman evresi olan $t = 0$ anında, devrede bulunan anahtar açılmaktadır. Bobinin üzerindeki akımın bir anda değişmeyeceği kabulü altında bu değer, başlangıç akım değeri olarak kullanılır ve Eşitlik (6.2)'deki gibi gösterilir:

$$i_L(0) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = I_s \quad (6.2)$$

Üçüncü ve aynı zamanda son zaman evresi olan $t > 0$ durumu göz önüne alındığında devrede bulunan anahtar artık açıktır ve kapalı RL gözü sebebiyle devrede bobinin depoladığı enerji direnç üzerinden harcanacaktır. Anahtarın açılma anından sonraki incelenecek devre Şekil 6.2'de verilmektedir.



Şekil 6.2 Anahtar açıldıktan sonraki RL devresi

Kirchhoff'un gerilim yasası Şekil 6.2'de verilen devre için uygulanırsa,

$$V_L(t) + V_R(t) = 0, t \geq 0 \quad (6.3)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik (6.3)'teki gerilim ifadeleri yerine, göz içinde dolaşan $i_L(t)$ akımı cinsinden eşitlik yazılırsa,

$$L \frac{di_L(t)}{dt} + Ri_L(t) = 0, t \geq 0 \quad (6.4)$$

elde edilir. Eşitlik (6.4)'de verilen diferansiyel denkleminin çözümü ise,

$$i_L(t) = i_L(0)e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} = I_s e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t}, t \geq 0 \quad (6.5)$$

şeklindedir. Eşitlik (6.5)'e göre, bobinin üzerinden akan akım negatif üs değerine sahip eksponansiyel terimden dolayı zaman geçtikçe sıfırlanacaktır. İfade-deki t teriminin katsayısı olan R/L , akımın sıfıra yaklaşma hızını belirlemektedir. Bu oranın tersi, zaman sabiti olarak isimlendirilir. Birimi s'dir ve Eşitlik (6.6)'daki gibi ifade edilir:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (6.6)$$



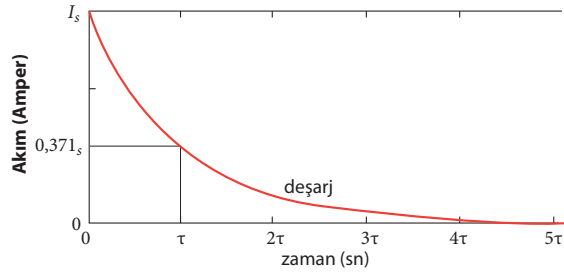
dikkat

Kaynaksız RL devrelerinde, depolama elemanının deşarj hızını etkileyen parametre devrenin zaman sabiti olarak adlandırılır ve hesap kolaylığı açısından bu değer 5 katı sürede akımın sıfırlandığı kabul edilir.

Eşitlik (6.6), Eşitlik (6.5)'de verilen ifadede yerine yazılırsa,

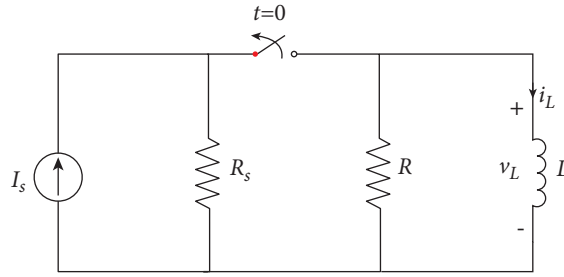
$$i_L(t) = i_L(0)e^{-\frac{t}{\tau}} = I_s e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0 \quad (6.7)$$

elde edilir. Denklemin sadece pozitif zaman aralığında geçerli olduğu unutulmamalıdır. Eşitlik (6.7)'de verilen ifadedeki zamana bağlı akım değişimi Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Değişim eğrisinden de görüldüğü üzere, devrenin zaman sabiti kadar geçen sürede akım başlangıçtaki değerinin %37'sine gelmiştir yani akım ilk değerinden %63 oranında azalmıştır. Pratik hesaplama kolaylığı sağlaması açısından 5τ kadar geçen sürede akımın sıfırlandığı kabul edilir.



Şekil 6.3 Anahtar açıldıktan sonra RL devresinde akım grafiği

Örnek 6.1: Şekil 6.4'te verilen devrede $I_s = 2\text{ A}$, $R = R_s = 1\text{ Ohm}$, $L = 2\text{ mH}$ olup, $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $i_L(t)$ eşitliğini elde ediniz.



Şekil 6.4 Örnek 6.1 devresi

Çözüm: $i_L(t)$ bağıntısının yazılması için Eşitlik (6.7)'de verilen denklemde gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak akımın başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zaman için $t < 0$ durumu göz önüne alındığında devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır. Dolayısıyla R_s ve R dirençleri üzerinden akım geçmeyecek yani bobinin kısa devre olması sebebiyle tüm akım bobinin üzerinden geçecektir. Bu durumda bobinin başlangıçtaki akım değeri

$$i_L(0) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = I_s = 2\text{ A}$$

olarak elde edilir.

Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır. Bu durumda, devrede kapalı göz olarak sadece $R=1\text{ Ohm}$ 'luk direnç ve $L = 2\text{ mH}$ 'lik bobin bulunmaktadır. Bu durumda devrenin zaman sabiti

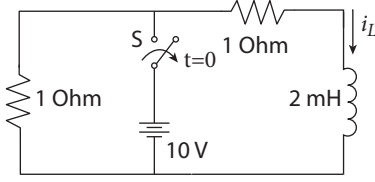
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2 \times 10^{-3}}{1} = 2\text{ ms ve } \frac{1}{\tau} = 500\text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu iki değer, Eşitlik (6.7)'de yerine yazılırsa, bobin üzerinden geçen akımın zamana bağlı ifadesi

$$i_L(t) = i_L(0)e^{-\frac{t}{\tau}} = I_s e^{-\frac{t}{\tau}} = 2e^{-\frac{t}{2 \times 10^{-3}}} = 2e^{-500t}\text{ A}, t \geq 0$$

olarak elde edilir. Buradaki terimi, son eşitlikte görüldüğü üzere üstel ifadenin payda kısmında bulunduğundan üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.

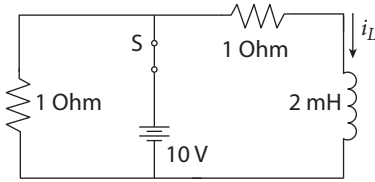
Örnek 6.2: Şekil 6.5'te verilen devrede $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $i_L(t)$ denklemini elde ediniz.



Şekil 6.5 Örnek 6.2 devresi

Çözüm: $i_L(t)$ bağıntısının yazılması için Eşitlik (6.7)'de gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak akımın başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zamanın $t < 0$ durumu göz önüne alındığında devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır ve devre Şekil 6.6'da verildiği gibidir.

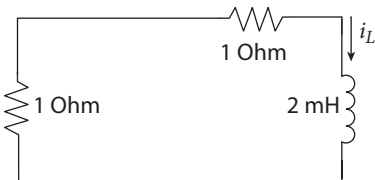


Şekil 6.6 Örnek 6.2 devresinin anahtar kapalı durumu

Şekil 6.6 incelendiğinde ($-\infty < t < 0$) zaman aralığında, 2 mH'lik bobin kısa devredir. Bu durumda, her iki direnç üzerine de 10 V gerilim düşer. Buradan da sağ tarafta tanımlanmış akımının başlangıç değeri bulunur:

$$i_L(0) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = \frac{10}{1} = 10 \text{ A}$$

Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise Şekil 6.7'de verildiği gibi devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır.



Şekil 6.7 Örnek 6.2 devresinin anahtar açık durumu

Bu durumda, devrede bulunan 1'er Ohm'luk dirençler seri hâle gelmektedir ve bu durumda devrenin zaman sabiti hesabında eşdeğer direnç kullanılmalıdır:

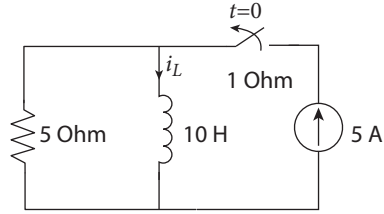
$$\tau = \frac{L}{R_{\text{eş}}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{2} = 1 \text{ ms ve } \frac{1}{\tau} = 1000 \text{ s}^{-1}$$

Hesaplanan bu iki değer, Eşitlik (6.7)'de yerine yazılırsa, bobin üzerinden geçen akımın zamana bağlı ifadesi

$$i_L(t) = i_L(0) e^{-\frac{1}{\tau} t} = 10 e^{-1 \times 10^3 t} = 10 e^{-1000 t} \text{ A, } t \geq 0$$

olarak elde edilir. Eşitlikteki τ terimi, üstel ifadenin payda kısmında bulunduğundan üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.

Örnek 6.3: Şekil 6.8'de verilen devrede $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $i_L(t)$ denklemini elde ediniz.



Şekil 6.8 Örnek 6.3 devresi

Çözüm: $i_L(t)$ bağıntısının yazılması için Eşitlik (6.7)'de gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak akımın başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zamanın $t < 0$ durumu göz önüne alındığında, devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır ve çok uzun bir zaman geçtiği için bobin kısa devredir. Dolayısıyla 5 Ohm'luk direnç üzerinden akım geçmeyecek yani bobinin kısa devre olması sebebiyle, tüm akım bobinin üzerinden geçecektir. Bu durumda bobinin başlangıçtaki akım değeri

$$i_L(0) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = 5 \text{ A}$$

olarak elde edilir.

Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır. Bu durumda, devrede kapalı göz olarak sadece $R = 5 \text{ Ohm}$ 'luk direnç ve $L = 10 \text{ H}$ 'lik bobin kalmaktadır. Bu durumda devrenin zaman sabiti,

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ s ve } \frac{1}{\tau} = 0,5 \text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu iki değer, Eşitlik (6.7)'de yerine yazılırsa, bobin üzerinden geçen akımın zamana bağlı ifadesi

$$i_L(t) = i_L(0) e^{-\frac{t}{\tau}} = 5 e^{-\frac{t}{2}} = 5 e^{-0,5t} \text{ A, } t \geq 0$$

olarak elde edilir. Eşitlikteki terimi, son denklemde görüldüğü üzere üstel ifadenin payda kısmında bulunduğu üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.



Öğrenme Çıktısı

1 RL devrelerinin doğal tepki analizlerini gerçekleştirebilme

Araştır 1

Kaynaksız RL devrelerinde hangi zaman evrelerinde hangi incelemeler gerçekleştirilir?

İlişkilendir

RL devrelerinde zaman sabiti bize hangi konu hakkında nasıl bir bilgi verir?

Anlat/Paylaş

Kaynaksız RL devrelerinde anahtar elemanı nasıl çalışır?

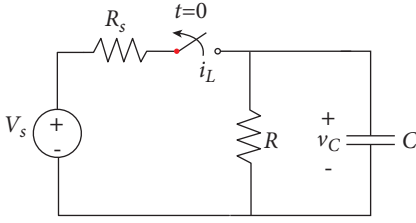
RC DEVRELERİNİN DOĞAL TEPKİSİ

Önceki ünite de kondansatörün en önemli özelliğinin enerjiyi depolama olduğu belirtilmiştir. Bu özelliğinden yola çıkarak bir DC gerilim veya akım kaynağı ile beslenen bir RC devresinin kondansatör üzerinden enerjisini kaybetmesi esnasında oluşan gerilim analizi bu konunun özünü oluşturmaktadır. Bu analiz, kaynaksız RC devreleri incelemeleri olarak da bilinir.

RC devrelerinin analizi, devreyi karakterize eden gerilime yönelik diferansiyel denklemin oluşturulması ve bu denklemin çözümü ile ilişkilidir. Denklemin oluşturulmasında, üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında kondansatörün üzerinde oluşan gerilim belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında, anahtar ko-

numunu değiştirmekte ekseriyetle de kapalı konumdan açık konuma getirilmektedir. Bazı uygulamalarda ise, devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise kondansatörün üzerinde oluşan gerilim değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi göz önüne alınarak durgun durum analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem, homojen doğrusal bir diferansiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan gerilim denklemi devrenin doğal tepkisini verir.

Şekil 6.9'daki RC devresini ele alalım. Burada DC bir gerilim kaynağı şeklindeki gibi devreye bağlanmış olup devrede ayrıca başlangıç koşulunu oluşturan bir anahtar da yer almaktadır ve $t = 0$ anında, kapalı olan bu anahtar açık konuma getirilmektedir.



Şekil 6.9 Anahtarın kapalı olduğu RC devresi

RC devresi analizinde ilk zaman evresi olarak $t < 0$ durumu göz önüne alınır. Analizlerde bir kabul olarak devrenin yeterli süre, $t < 0$ durumunda kaldığı varsayılır. Zamanın $t < 0$ durumu incelendiğinde, $(-\infty < t < 0)$ zaman aralığında anahtarın kapalı olduğu görülmektedir. Çok uzun bir süre anahtarın kapalı olması ve DC kaynağın etkisiyle, kondansatör artık açık devre gibi davranır. Bu durumda, kondansatör üzerine düşen negatif zaman aralığındaki (anahtar kapalıyken) gerilim, Eşitlik (6.8)'deki gibi gerilim paylaşımı kullanılarak bulunur:

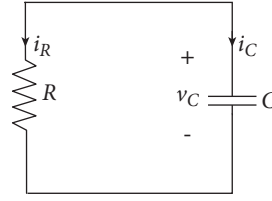
$$V_c(t) = \frac{R}{R+R_s} V_s, t < 0 \quad (6.8)$$

Eşitlik (6.8)'de, gerilim değeri zamanın bir fonksiyonudur.

İkinci zaman evresi olan $t=0$ anında devrede bulunan anahtar açılmaktadır. Kondansatör üzerine düşen gerilimin bir anda değişmeyeceği kabulü altında bu değer başlangıç gerilim değeri olarak kullanılır ve Eşitlik (6.9)'daki gibi gösterilir:

$$V_c(0) = V_c(0^-) = V_c(0^+) = \frac{R}{R+R_s} V_s \quad (6.9)$$

Üçüncü ve aynı zamanda son zaman evresi olan $t > 0$ durumu göz önüne alındığında devrede bulunan anahtar artık açıktır ve kapalı RC gözü sebebiyle devrede kondansatörün depoladığı enerji direnç üzerinden harcanacaktır. Anahtarın açılma anından sonraki incelenecek devre Şekil 6.10'da verilmektedir.



Şekil 6.10 Anahtar açıldıktan sonraki RC devresi

Kirchhoff'un akım yasası Şekil 6.10'da verilen devre için uygulanırsa,

$$i_c(t) + i_R(t) = 0, t \geq 0 \quad (6.10)$$

elde edilir. Eşitlik (6.10)'da verilen akım ifadeleri yerine, her iki elemanın üzerine düşen $V_c(t)$ gerilimi cinsinden denklem yazılırsa,

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} + \frac{V_c(t)}{R} = 0, t \geq 0 \quad (6.11)$$

elde edilir. Eşitlik (6.11)'de verilen diferansiyel denkleminin çözümü ise

$$V_c(t) = V_c(0) e^{-t/RC}, t \geq 0 \quad (6.12)$$

şeklinde dir. Eşitlik (6.12)'ye göre, kondansatör üzerinde düşen gerilim, negatif üs değerine sahip eksponansiyel terimden dolayı zaman geçtikçe sıfırlanacaktır. İfadedeki t teriminin katsayısı olan $1/RC$, gerilimin sıfıra yaklaşma hızını belirlemektedir. Bu oranın tersi, zaman sabiti olarak isimlendirilir. Birimi s'dir ve Eşitlik (6.13)'deki gibi ifade edilir:

$$\tau = RC \quad (6.13)$$



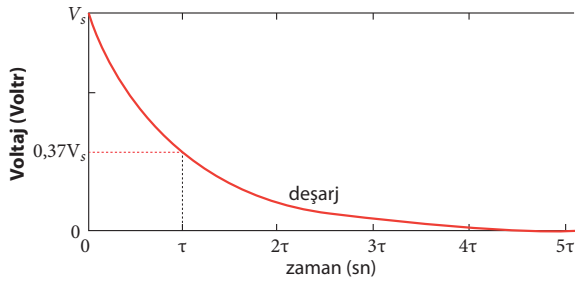
dikkat

Kaynaksız RC devrelerinde, depolama elemanının deşarj hızını etkileyen parametre devrenin zaman sabiti olarak adlandırılır ve hesap kolaylığı açısından bu değer 5 katı sürede gerilimin sıfırlandığı kabul edilir.

Eşitlik (6.13), Eşitlik (6.12)'de verilen ifadede yerine yazılırsa,

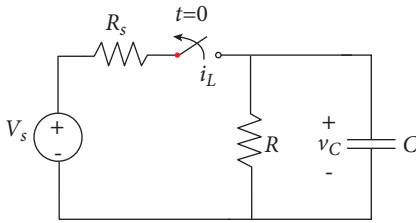
$$V_c(t) = V_c(0) e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0 \quad (6.14)$$

elde edilir. Denklemin sadece pozitif zaman aralığında geçerli olduğu unutulmamalıdır. Eşitlik (6.14)'de verilen ifade Şekil 6.11'de çizilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere devrenin zaman sabiti kadar geçen sürede gerilim başlangıçtaki değerinin %37'sine gelmiştir yani gerilim, ilk değerinden %63 oranında azalmıştır. Pratik hesaplama kolaylığı sağlaması açısından 5τ kadar geçen sürede gerilimin sıfırlandığı kabul edilir.



Şekil 6.11 Anahtar açıldıktan sonra RC devresinde gerilim grafiği

Örnek 6.4: Şekil 6.12'de verilen devrede $V_s = 10$ V, $R = R_s = 2$ Ohm, $C = 1$ mF ve $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda denklemini elde ediniz.



Şekil 6.12 Örnek 6.4 devresi

Çözüm: $V_c(t)$ denkleminin yazılması için Eşitlik (6.14)'de verilen denklemde gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak gerilimin başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zamanın $t < 0$ durumu göz önüne alındığında, devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır. Dolayısıyla kondansatör üzerine düşen negatif zaman aralığındaki (anahtar kapalıyken) gerilim, Eşitlik (6.8)'deki gibi gerilim paylaşımı kullanılarak bulunur. Bu durumda kondansatörün başlangıçtaki gerilim değeri

$$V_c(0) = V_c(0^-) = V_c(0^+) = \frac{2}{2+2} 10 = 5V$$

olarak elde edilir.

Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır. Bu durumda, devrede kapalı göz olarak sadece $R = 2$ Ohm'luk direnç ve $C = 1$ mF'lık kondansatör bulunmaktadır. Bu durumda devrenin zaman sabiti

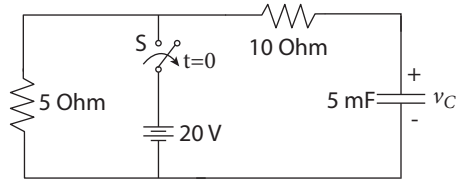
$$\tau = RC = 2(1 \times 10^{-3}) = 2ms \text{ ve } \frac{1}{\tau} = 500s^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu iki değer Eşitlik (6.14)'de yerine yazılırsa, kondansatör üzerindeki gerilimin zamana bağlı ifadesi

$$V_c(t) = V_c(0) e^{-\frac{t}{\tau}} = 5e^{-\frac{t}{2 \times 10^{-3}}} = 5e^{-500t} V, t \geq 0$$

olarak elde edilir. Burada τ terimi, son denklemde görüldüğü üzere üstel ifadenin payda kısmında bulunduğundan üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.

Örnek 6.5: Şekil 6.13'te verilen devrede $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $V_c(t)$ denklemini elde ediniz.



Şekil 6.13 Örnek 6.5 devresi

Çözüm: $V_c(t)$ denkleminin yazılması için Eşitlik (6.14)'de verilen denklemde gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak gerilimin başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zamanın $t < 0$ durumu göz önüne alındığında, devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır. Bu durumda, kondansatör açık devre özelliği göstereceğinden başlangıçtaki gerilim değeri kaynak gerilim değerine eşit olur:

$$V_c(0) = V_c(0^-) = V_c(0^+) = 20 \text{ V}$$

Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır. Bu durumda, devrede kapalı göz olarak 5 Ohm ve 10 Ohm'luk dirençler ve $C = 5 \text{ mF}$ 'lık kondansatör bulunmaktadır. Bu durumda dirençler birbirine seri bağlı olduğundan $R_{eş} = 15 \text{ Ohm}$ olacaktır. Devrenin zaman sabiti ise eşdeğer direnç kullanılarak

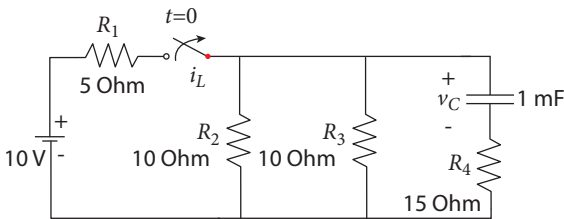
$$\tau = R_{eş} C = 15(5 \times 10^{-3}) = 75 \text{ ms ve } \frac{1}{\tau} = 13,33 \text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu iki değer, Eşitlik (6.14)'de yerine yazılırsa kondansatör üzerindeki gerilimin zamana bağlı ifadesi

$$V_c(t) = V_c(0) e^{-\frac{t}{\tau}} = 20 e^{-13,33t} \text{ V}, \quad t \geq 0$$

olarak elde edilir. Burada τ terimi, son denklemde görüldüğü üzere üstel ifadenin payda kısmında bulunduğundan üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.

Örnek 6.6: Şekil 6.14'te verilen devrede $t = 0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $V_c(t)$ denklemini elde ediniz.



Şekil 6.14 Örnek 6.6 devresi

Çözüm: $V_c(t)$ denkleminin yazılması için Eşitlik (6.14)'de verilen denklemde gösterildiği gibi, $t < 0$ durumunu göz önüne alarak gerilimin başlangıçtaki değerinin bulunması ve $t > 0$ durumunu göz önüne alarak devrenin zaman sabiti değerinin bulunması yeterlidir.

Zamanın $t < 0$ durumu göz önüne alındığında, devrede bulunan anahtar henüz kapalı durumdadır. Bu durumda, R_2 ve R_3 dirençleri birbirine paraleldir ve R_1 direnci ise R_2 ve R_3 'ün oluşturduğu dirence seridir. Paralel bağlı 10 Ohm'luk dirençlerin eşdeğeri $\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{5}$ olup $R_{23} = 5 \text{ Ohm}$

olarak hesaplanır. Yani R_1 direnci ve R_{23} direnci, 10 V gerilimi paylaşacaktır ve kondansatörün uçları R_{23} ile temas ettiğinden, kondansatör üzerine düşen negatif zaman aralığındaki (anahtar kapalıyken) gerilim, Eşitlik (6.8)'deki gibi gerilim paylaşımı kullanılarak bulunur. Bu durumda kondansatörün başlangıçtaki gerilim değeri

$$V_c(0) = V_c(0^-) = V_c(0^+) = \frac{5}{5+5} 10 = 5 \text{ V}$$

olarak verilir. Zamanın $t > 0$ durumu göz önüne alındığında ise devrede bulunan anahtar artık açık durumdadır. Bu durumda, devrede kapalı göz olarak R_2 ve R_3 dirençlerinin eşdeğeri olan ve ona seri bağlı olan $R_4 = 15 \text{ Ohm}$ 'luk direnç ve $C = 1 \text{ mF}$ 'lık kondansatör bulunmaktadır. Bu durumda $R_{eş} = 20 \text{ Ohm}$ olacaktır. Devrenin zaman sabiti ise

$$\tau = R_{eş} C = 20(1 \times 10^{-3}) = 20 \text{ ms ve } \frac{1}{\tau} = 50 \text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu iki değer Eşitlik (6.14)'de yerine yazılırsa kondansatör üzerindeki gerilimin zamana bağlı ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$V_c(t) = V_c(0) e^{-\frac{t}{\tau}} = 5 e^{-50t} \text{ V}, \quad t \geq 0$$

Burada τ terimi, son denklemde görüldüğü üzere üstel ifadenin payda kısmında bulunduğundan üstel ifadenin pay kısmına geçirmek için çarpmaya göre tersi yazılmıştır.

Öğrenme Çıktısı

2 RC devrelerinin doğal tepki analizlerini gerçekleştirebilme



Araştır 2

Kaynaksız RC devrelerinde hangi zaman evrelerinde hangi incelemeler gerçekleştirilir?

İlişkilendir

RC devrelerinde zaman sabiti bize hangi konu hakkında nasıl bir bilgi verir?

Anlat/Paylaş

Kaynaksız RC devrelerinde anahtar elemanı nasıl çalışır?

RL DEVRELERİNİN BASAMAK TEPKİSİ

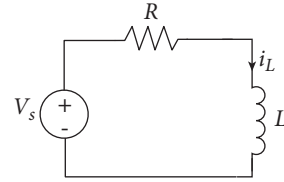
RL devrelerinin doğal tepki analizi, devrenin kaynaksız olduğu durum için gerçekleştirilirken, devreye ani olarak bir DC kaynağın bağlanması durumunda ise basamak tepki analizi gerçekleştirilir. RL devrelerinin basamak tepkileri, tıpkı kaynaksız RL devrelerinde olduğu gibi üç zaman evresi göz önüne alınarak gerçekleştirilir.

RL devrelerinin basamak tepkisi analizi, devreyi karakterize eden akıma yönelik diferansiyel denklemin oluşturulması ve bu denklemin çözümü ile ilişkilidir. Denklemin oluşturulmasında, üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında bobinin üzerinden geçen akım belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında anahtar konumunu değiştirmektedir. Bazı uygulamalarda ise, devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise bobinin akım değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi ve devrede bulunan gerilim kaynağı etkisini de göz önüne alarak basamak tepkisi analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem, bir di-

feransiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan akım denklemi devrenin *basamak tepkisini* verir.

✓ Anahtarlama sonrası devrede hâlâ DC gerilim veya DC akım kaynakları ile beslenen devrelerin tepkisi, basamak tepki olarak adlandırılır.

Şekil 6.15'teki kaynaklı RL devresini ele alalım. Burada DC bir gerilim kaynağının devreye $t = 0$ anında bağlanmış olduğunu kabul edelim.



Şekil 6.15 Kaynaklı RL devresi

Kirchhoff'un gerilim yasası, Şekil 6.15'te verilen devre için uygulanırsa

$$V_s = L \frac{di_L(t)}{dt} + Ri_L(t) \quad (6.15)$$

elde edilir. Eşitlik (6.15)'de verilen diferansiyel denkleminin çözümü ise

$$i_L(t) = \frac{V_s}{R} + \left(i_L(0) - \frac{V_s}{R} \right) e^{-\left(\frac{R}{L}\right)t} = \frac{V_s}{R} + \left(i_L(0) - \frac{V_s}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0 \quad (6.16)$$

şeklinde. İfadedeki t teriminin katsayısı olan R/L , akımın hızını belirlemektedir. Bu oranın tersi, zaman sabiti olarak isimlendirilir. Birimi s'dir ve Eşitlik (6.17)'deki gibi ifade edilir:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (6.17)$$

Eğer bobinin başlangıç anında enerji depolamadığı düşünülürse, bu durumda $i_L(0)$ olarak kullanılır. Bu uygulamada bu şekilde kabul edilmiştir. Eşitlik (6.16)'ya göre, bobinin üzerinden geçen akım, $t=0$ anından itibaren sıfır değerinden başlayıp, zaman geçtikçe eksponansiyel olarak

artacak ve t sonsuza giderken ulaşabileceği son değer ise $\frac{V_s}{R}$ olacaktır. Bu durumun tespiti için denklemden t görülen yere 0 konarak başlangıçtaki durumu 0 olarak hesaplanır. Burada

t yerine sonsuz konduğunda ise $e^{-\infty}$ sıfır olacağından denklem t sonsuza giderken $\frac{V_s}{R}$ olarak elde edilir.

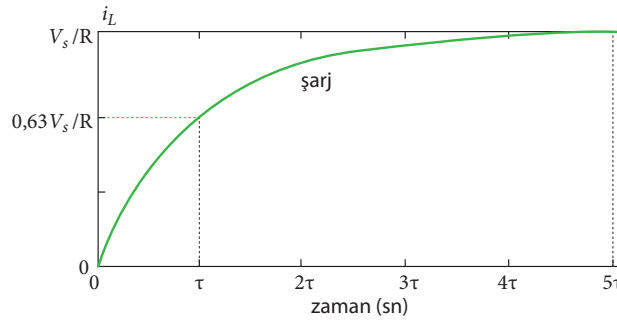
Denklemin sadece pozitif zaman aralığında geçerli olduğu unutulmamalıdır. Eşitlik (6.16)'da verilen ifade, Şekil 6.16'da çizdirilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, devrenin zaman sabiti kadar geçen sürede, akım $0,63 \frac{V_s}{R}$ değerine gelmiştir. Pratik hesaplama kolaylığı sağlaması açısından 5τ kadar geçen sürede ise

akımın $\frac{V_s}{R}$ değerine geldiği kabul edilir.



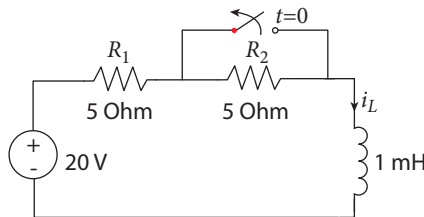
dikkat

Kaynaklı RL devrelerinde, depolama elemanının şarj hızını etkileyen parametre devrenin zaman sabiti olarak adlandırılır ve hesap kolaylığı açısından bu değer 5 katı sürede akımın maksimize olduğu kabul edilir.



Şekil 6.16 Anahtar kapatıldıktan sonra kaynaklı RL devresinde akım grafiği

Örnek 6.7: Şekil 6.17'de verilen devrede $t=0$ anında kapalı olan anahtar açılmaktadır. Bu durumda $i_L(t)$ denklemini elde ediniz.



Şekil 6.17 Örnek 6.7 devresi

Çözüm: İlk olarak, devrede anahtarın kullanılmasına dikkat ederek bobinin ilk anda enerjili olup olmadığına bakılmalıdır. $t < 0$ durumu göz önüne alındığında anahtarın henüz kapalı olduğu görülür. Bu durumda, DC gerilim kaynağı çok uzun bir sürede devrede olduğundan bobin kısa devre olacaktır. Anahtarın paralel olduğu R_2 direncinden ise anahtarın oluşturduğu kısa devre yüzünden akım geçmeyecektir. Bu durumda bobinin başlangıç akım değeri

$$i_L(0) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = \frac{20}{5} = 4 \text{ A}$$

$t = 0$ anında anahtar açıldığı an göz önüne alındığında bobinin üzerinden geçen akımın bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır.

$t > 0$ durumu göz önüne alındığında, anahtar artık açık olduğu için R_2 direnci, R_1 direncine seri olarak bağlıdır. Bu durumda eşdeğer direnç kullanılarak devrenin zaman sabiti

$$\tau = \frac{L}{R_{eş}} = \frac{1 \times 10^{-3}}{10} = 0.1 \text{ ms ve } \frac{1}{\tau} = 10000 \text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değerler, akım denkleminde yerine konulursa

$$i_L(t) = \frac{V_s}{R_{eş}} + \left(i_L(0) - \frac{V_s}{R_{eş}} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{20}{10} + \left(4 - \frac{20}{10} \right) e^{-10000t} \text{ A} = 2 + 2e^{-10000t} \text{ A}, t \geq 0$$

şeklinde elde edilir.



Öğrenme Çıktısı

3 RL devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme

Araştır 3

Kaynaklı RL devrelerinde hangi zaman evrelerinde hangi incelemeler gerçekleştirilir?

İlişkilendir

RL devrelerinde doğal tepki ile basamak tepki arasındaki farklılık nedir?

Anlat/Paylaş

Kaynaklı RL devrelerinde anahtar elemanı nasıl çalışır?

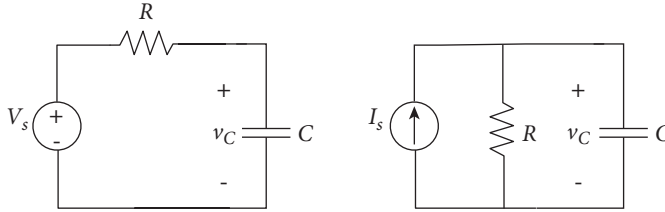
RC DEVRELERİNİN BASAMAK TEPKİSİ

RC devrelerinin doğal tepki analizi, devrenin kaynaksız olduğu durum için gerçekleştirilirken, devreye ani olarak bir DC kaynağın bağlanması durumunda ise basamak tepki analizi gerçekleştirilir. RC devrelerinin basamak tepkileri, tıpkı kaynaksız RC devrelerinde olduğu gibi üç zaman evresi göz önüne alınarak gerçekleştirilir.

RC devrelerinin basamak tepkisi analizi, devreyi karakterize eden akıma yönelik diferansiyel denklemin oluşturulması ve bu denklemin çözümü ile ilişkilidir. Denklemin oluşturulmasında, üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında kondansatör üzerinde oluşan gerilim belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında anahtar konumunu değiştirmektedir. Bazı uygulamalarda ise devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise kondansatör üzerinde oluşan gerilim değerinin bir anda değişmeyeceği

kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi ve devrede bulunan gerilim kaynağı etkisini de göz önüne alarak basamak tepkisi analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem, bir diferansiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan gerilim denklemi devrenin basamak tepkisini verir.

Şekil 6.18'deki sol taraftaki kaynaklı RC devresini ele alalım. Burada DC bir gerilim kaynağının $t=0$ anında bağlanmış olduğunu kabul edelim. Matematiksel olarak daha iyi anlamak için devrenin Norton eşdeğeri ise sağ tarafta gösterilmiştir.



Şekil 6.18 Kaynaklı RC devresi

Kirchhoff'un akım yasası, Şekil 6.18'de verilen devrenin Norton eşdeğeri için uygulanırsa

$$I_s = C \frac{dV_c(t)}{dt} + \frac{V_c(t)}{R} \quad (6.18)$$

elde edilir. Eşitlik (6.18)'de verilen diferansiyel denkleminin çözümü ise,

$$V_c(t) = I_s R + (V_c(0) - I_s R) e^{-\frac{t}{RC}} = I_s R + (V_c(0) - I_s R) e^{-\frac{t}{\tau}}, t \geq 0 \quad (6.19)$$

şeklinde dir. İfade de ki t teriminin katsayısı olan $1/RC$, gerilimin hızını belirlemektedir. Bu oranın tersi, zaman sabiti olarak isimlendirilir. Birimi s'dir ve Eşitlik (6.20)'de ki gibi ifade edilir:

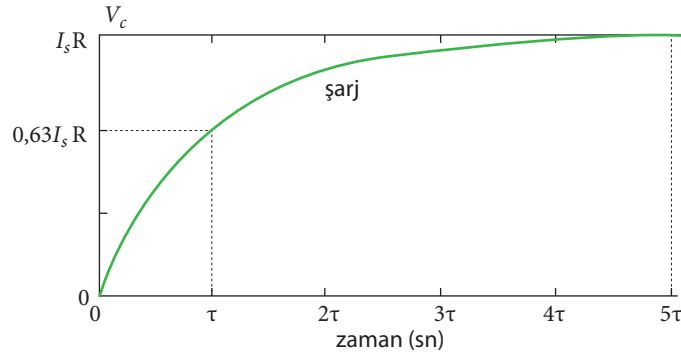
$$\tau = RC \quad (6.20)$$



dikkat

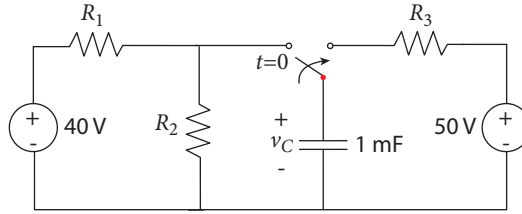
Kaynaklı RC devrelerinde, depolama elemanının şarj hızını etkileyen parametre devrenin zaman sabiti olarak adlandırılır ve hesap kolaylığı açısından bu değerin 5 katı sürede kondansatörün şarj olduğu kabul edilir.

Eğer kondansatörün başlangıç anında enerji depolamadığı düşünülürse, bu durumda $V_c(0) = 0$ olarak kullanılır. Bu uygulamada bu şekilde kabul edilmiştir. Eşitlik (6.19)'a göre, kondansatör üzerine düşen gerilim, $t=0$ anından itibaren sıfır değerinden başlayıp, zaman geçtikçe eksponansiyel olarak artacak ve t sonsuza giderken ulaşabileceği son değer ise $I_s R$ olacaktır. Bu durumun tespiti için denklemde t görülen yere 0 konarak başlangıçtaki durumu 0 olarak hesaplanır. Bununla birlikte t yerine sonsuz konduğunda ise, $e^{-\infty}$ sıfır olacağından denklem t sonsuza giderken $I_s R$ olarak elde edilir. Denklemin sadece pozitif zaman aralığında geçerli olduğu unutulmamalıdır. Eşitlik (6.19)'da verilen ifade, Şekil 6.19'da çizdirilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, devrenin zaman sabiti kadar geçen sürede, gerilim, $0,63 I_s R$ değerine gelmiştir. Pratik hesaplama kolaylığı sağlaması açısından 5τ kadar geçen sürede ise gerilimin $I_s R$ değerine geldiği kabul edilir.



Şekil 6.19 Anahtar kapatıldıktan sonra RC devresinde gerilim grafiği

Örnek 6.8: Şekil 6.20’de verilen devrede $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ohm}$ ’dur. Anahtar $t=0$ anında ok yönünde konum değiştirmektedir. Bu durumda denklemini elde ediniz.



Şekil 6.20 Örnek 6.8 devresi

Çözüm: İlk olarak, devrede anahtarın kullanılmasına dikkat ederek kondansatörün ilk anda enerjili olup olmadığına bakılmalıdır. $t < 0$ durumu göz önüne alındığında, anahtarın konumu itibarıyla 40 V’luk kaynak, R_1 , R_2 ve kondansatörün devrede olduğu görülmektedir. Bu durumda DC gerilim kaynağı çok uzun bir sürede devrede olduğundan kondansatör açık devre olacaktır ve R_2 direncine düşen gerilim değerine şarj olacaktır. Bu durumda kondansatörün başlangıç gerilim değeri şu şekildedir:

$$V_c(0) = V_c(0^-) = V_c(0^+) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} 40 = \frac{10}{10 + 10} 40 = 20 \text{ V}$$

$t=0$ anında anahtar açıldığı an göz önüne alınarak kondansatörün üzerine düşen gerilimin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır.

$t > 0$ durumu göz önüne alındığında, anahtarın konumu değişmiş ve yeni konumu itibarıyla 50 V’luk kaynak, R_3 ve kondansatörün devrede olduğu görülmektedir. Bu durumda devrenin zaman sabiti

$$\tau = R_3 C = 10(1 \times 10^{-3}) = 10 \text{ ms} \text{ ve } \frac{1}{\tau} = 100 \text{ s}^{-1}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değerler, gerilim denkleminde yerine konulursa

$$V_c(t) = I_s R + (V_c(0) - I_s R) e^{-\frac{t}{\tau}} = 50 + (20 - 50) e^{-100t} \text{ V} = 50 - 30 e^{-100t} \text{ V}, t \geq 0$$

şeklinde elde edilir. Bu gösterimde $I_s R$ ifadesi, kondansatörün t sonsuza giderken şarj olabileceği maksimum gerilimi göstermektedir.

Öğrenme Çıktısı

4 RC devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme



Araştır 4

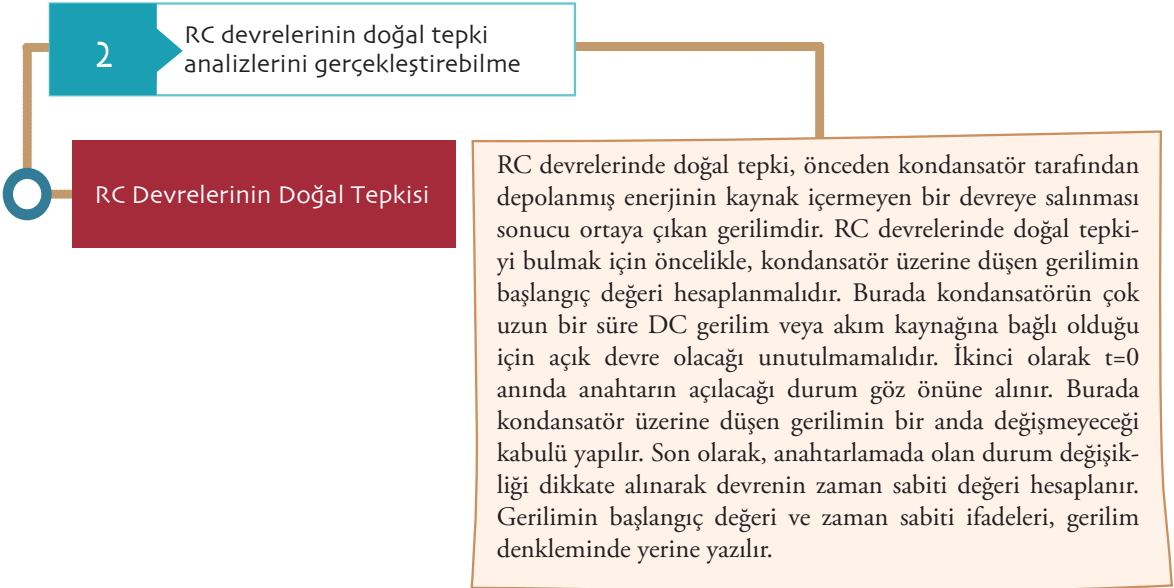
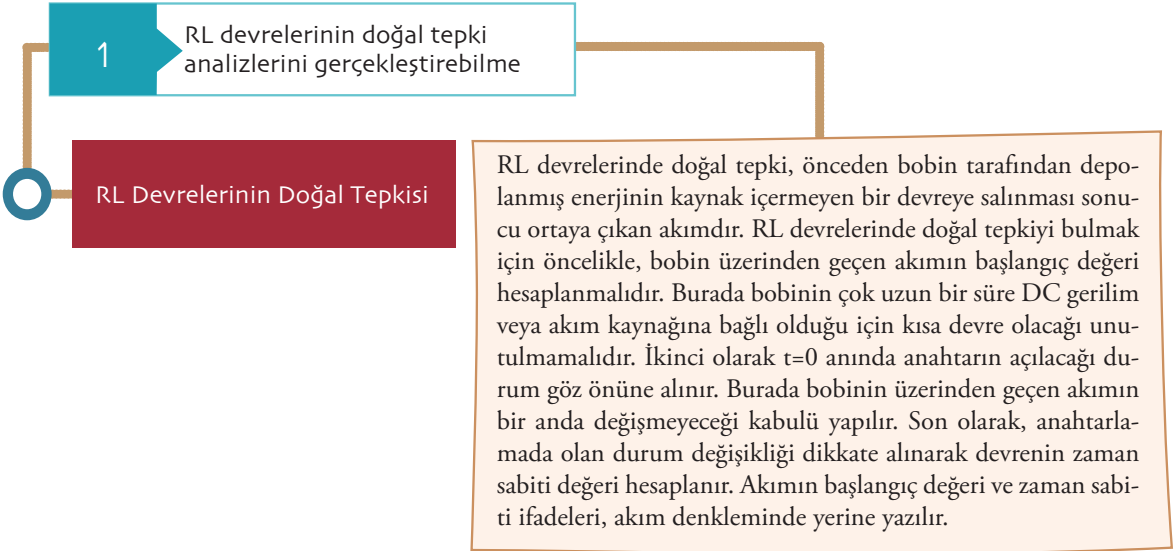
Kaynaklı RC devrelerinde hangi zaman evrelerinde hangi incelemeler gerçekleştirilir?

İlişkilendir

RC devrelerinde doğal tepki ile basamak tepki arasındaki farklılık nedir?

Anlat/Paylaş

Kaynaklı RC devrelerinde anahtar elemanı nasıl çalışır?



3

RL devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme

RL Devrelerinin Basamak Tepkisi

RL devrelerinin basamak tepkisi, devreye bağlı DC kaynaklardaki ani değişiklikler sonucu ortaya çıkan akımlardır. Ani değişiklikler esnasında, devrede bobin üzerinde önceden depolanmış enerji olabilir veya olmayabilir. RL devrelerinin basamak tepkisini bulmak için söz konusu akımın başlangıç ve son değeri ile devrenin zaman sabiti hesaplanmalıdır.

4

RC devrelerinin basamak tepki analizlerini gerçekleştirebilme

RC Devrelerinin Basamak Tepkisi

RC devrelerinin basamak tepkisi, RL devrelerinin basamak tepkisine benzer şekilde, devreye bağlı DC kaynaklardaki ani değişiklikler sonucu ortaya çıkan gerilimdir. Ani değişiklikler esnasında, devrede kondansatör üzerinde önceden depolanmış enerji olabilir veya olmayabilir. RC devrelerinin basamak tepkisini bulmak için söz konusu gerilimin başlangıç ve son değeri ile devrenin zaman sabiti hesaplanmalıdır.

1 Kaynaksız RL devrelerinde bobinin üzerinden geçen akımın başlangıç değeri hangi zaman aralığı göz önüne alınarak hesaplanır?

- A. $t < 0$
- B. $t = 0$
- C. $t > 0$
- D. $t \rightarrow \infty$
- E. $t \rightarrow -\infty$

2 Kaynaksız RL devrelerinde bobinin üzerinden geçen akımın değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü hangi zaman göz önüne alınarak hesaplanır?

- A. $t < 0$
- B. $t = 0$
- C. $t > 0$
- D. $t \rightarrow \infty$
- E. $t \rightarrow -\infty$

3 Kaynaksız RL devrelerinde bobinin üzerinden geçen akımın durgun durum analizi hangi zaman aralığı göz önüne alınarak hesaplanır?

- A. $t < 0$
- B. $t = 0$
- C. $t > 0$
- D. $t \rightarrow \infty$
- E. $t \rightarrow -\infty$

4 Kaynaksız RL devrelerinde akımın sıfıra gitme hızını aşağıdakilerden hangisi belirler?

- A. Direnç değerinin çarpmaya göre tersi
- B. İndüktans değerinin toplamaya göre tersi
- C. Kaynak değerinin çarpmaya göre tersi
- D. Zaman sabiti değerinin çarpmaya göre tersi
- E. Zaman sabiti değerinin türevi

5 Kaynaksız RL devrelerinde bobinin ne kadar sürede tamamen sıfır olacağı kabul edilir?

- A. τ
- B. 2τ
- C. 3τ
- D. 4τ
- E. 5τ

6 Kaynaksız RC devrelerinde kondansatör üzerindeki gerilimin başlangıç değeri hangi zaman aralığı göz önüne alınarak hesaplanır?

- A. $t < 0$
- B. $t = 0$
- C. $t > 0$
- D. $t \rightarrow \infty$
- E. $t \rightarrow -\infty$

7 Kaynaksız RC devrelerinde kondansatör üzerindeki gerilim değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü hangi zaman göz önüne alınarak hesaplanır?

- A. $t < 0$
- B. $t = 0$
- C. $t > 0$
- D. $t \rightarrow \infty$
- E. $t \rightarrow -\infty$

8 Kaynaklı RL devrelerinde genel itibarıyla bobin üzerinden geçen akım nasıl değişir?

- A. Doğrusal azalan
- B. Doğrusal artan
- C. Exponansiyel artan
- D. Exponansiyel azalan
- E. Parabolik

9 Kaynaklı RC devrelerinde genel itibarı ile kondansatör üzerindeki gerilim nasıl değişir?

- A. Doğrusal azalan
- B. Doğrusal artan
- C. Exponansiyel artan
- D. Exponansiyel azalan
- E. Parabolik

10 Kaynaksız RC devrelerinde kondansatörün ne kadar sürede tamamen sıfır olacağı kabul edilir?

- A. τ
- B. 2τ
- C. 3τ
- D. 4τ
- E. 5τ

1. A

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

2. B

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

3. C

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

4. D

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

5. E

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

6. A

Yanıtınız yanlış ise “RC Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

7. B

Yanıtınız yanlış ise “RC Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

8. C

Yanıtınız yanlış ise “RL Devrelerinin Basamak Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

9. C

Yanıtınız yanlış ise “RC Devrelerinin Basamak Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

10. E

Yanıtınız yanlış ise “RC Devrelerinin Doğal Tepkisi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

6

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

Kaynaksız RL devrelerinde üç zaman evresi dikkate alınır. RL devrelerinde doğal tepkiyi bulmak için ilk zaman incelemesi olan $t < 0$ durumunda, bobinin üzerinden geçen akımın başlangıç değeri hesaplanır. Burada, bobinin çok uzun bir süre DC gerilim veya akım kaynağına bağlı olduğu için kısa devre olacağı unutulmamalıdır. İkinci zaman evresi olan $t = 0$ anında ise, anahtarın açılacağı durum göz önüne alınır. Burada ise, bobinin üzerinden geçen akımın bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son zaman evresi olan $t > 0$ durumunda ise, anahtarlama olan durum değişikliği dikkate alınarak devrenin zaman sabiti değeri hesaplanır. Son olarak, akımın başlangıç değeri ve zaman sabiti ifadeleri akım denkleminde yerine yazılır.

Araştır 2

Kaynaksız RC devrelerinde üç zaman evresi dikkate alınır. RC devrelerinde doğal tepkiyi bulmak için ilk zaman incelemesi olan $t < 0$ durumunda, kondansatör üzerine düşen gerilimin başlangıç değeri hesaplanır. Burada, kondansatörün çok uzun bir süre DC gerilim veya akım kaynağına bağlı olduğu için açık devre olacağı unutulmamalıdır. İkinci zaman evresi olan $t = 0$ anında ise anahtarın açılacağı durum göz önüne alınır. Burada ise kondansatör üzerine düşen gerilimin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son zaman evresi olan $t > 0$ durumunda ise anahtarlama olan durum değişikliği dikkate alınarak devrenin zaman sabiti değeri hesaplanır. Son olarak, gerilimin başlangıç değeri ve zaman sabiti ifadeleri, gerilim denkleminde yerine yazılır.

Araştır 3

Kaynaklı RL devrelerinde, denklemin oluşturulmasında üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında bobinin üzerinden geçen akım belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında, anahtar konumunu değiştirmektedir. Bazı uygulamalarda ise, devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise bobinin akım değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi ve devrede bulunan gerilim kaynağı etkisini de göz önüne alarak basamak tepkisi analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem, bir diferansiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan akım denklemin devrenin basamak tepkisini verir.

Araştır 4

Kaynaklı RC devrelerinde, denklemin oluşturulmasında üç zaman evresi dikkate alınır. Bu zaman evrelerinden birincisi olan $t < 0$ durumunda, anahtarın konum değiştirmeden önceki zaman dilimi göz önüne alınarak devrenin başlangıç koşullarında kondansatör üzerinde oluşan gerilim belirlenir. İkinci evrede, yani $t = 0$ anında anahtar konumunu değiştirmektedir. Bazı uygulamalarda ise devrede başka bir kolu tetikleme amacıyla örneğin A konumundan B konumuna getirilerek konum değiştirmesi de sağlanabilir. İkinci evrede ise kondansatör üzerinde oluşan gerilim değerinin bir anda değişmeyeceği kabulü yapılır. Son evre olan $t > 0$ durumunda ise anahtarın konum değiştirdikten sonraki zaman dilimi ve devrede bulunan gerilim kaynağı etkisini de göz önüne alarak basamak tepkisi analizi gerçekleştirilir. Analizler sonucu elde edilen denklem bir diferansiyel denklemdir. Bu diferansiyel denklemin çözümü olan gerilim denklemin devrenin basamak tepkisini verir.

Kaynakça

- Alexander, C. ve Matthew Sadiku, M. (2017). *Elektrik Devrelerinin Temelleri*. U. S. Selamioğulları (çev.). Palme Yayıncılık.
- Anday, F. (2004). *Devre ve Sistem Analizi - Çözümlü Problemler*. Birsen Yayınevi.
- Arifoğlu, U. (2013). *Elektrik-Elektronik Devrelerinin Analizi*. Alfa Yayınları.
- Balabanian, N. (1994). *Electric Circuits*. New York: McGraw-Hill.
- Boylestad, R. L. (2010). *Introductory Circuit Analysis*. Prentice Hall.
- Crowell, B. (2011). *Light and Matter*. California: Fullerton.
- Demirel, H. (2017). *DC - AC Devre Analizi*. Birsen Yayınevi.
- Demirel, H. (2017). *Devre Analizi*. Birsen Yayınevi.
- Edminister, J. A. ve Nahvi, M. (2014). *Elektrik Devreleri*. M. T. Aydemir, K.C. Nakiboğlu (çev.). Nobel Yayın Dağıtım.
- Efe, M. Ö. (2016). *Devre Analizi - 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Gökbulut, M. (2017). *Elektrik Devre Analizi 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Hayt, W., Kemmerly, J. ve Durbin, S. (2007). *Engineering Circuit Analysis*. McGraw Hill.
- İkiz, T. (2016). *Elektrik Devreleri Çözümlü Problemler*. Papatya Yayıncılık.
- Moura, L. ve Darwazeh, I. (2005). *Introduction to Linear Circuit Analysis and Modelling*. Elsevier.
- Nilsson, J. W. ve Riedel, S. A. (2015). *Elektrik Devreleri*. Palme Yayıncılık.
- Özbey, Ş. (2016). *Elektrik Devre Analizi 1*. Seçkin Yayıncılık.
- Özdemir, A. (2014). *DC Devre Analizi*. Gece Kitaplığı Yayıncılık.
- Özger, A. (2014). Kondansatör ve Bobin. E. Kıyak (ed.). *Devre Analizi*. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2520. Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1491.
- Özkan, H. A. (2015). Kondansatör ve Bobin. A. Aybar (ed.). *Devre Analizi*. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3224. Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2093.
- Selek, H. S. (2019). *Meslek Yüksekokulları ve Fakülteler İçin Doğru Akım (DC) Devre Analizi*. Seçkin Yayıncılık.
- Şahin, M. E. (2018). *Devre Analizi ve Ölçme Bilgisi Laboratuvarı Deneyleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ünal, A. (2015). Çözümlü Elektrik Devre Problemleri. Birsen Yayınevi.
- Yağımlı, M. ve Akar, F. (2020). *Doğru Akım Devreleri & Problem Çözümleri*. Beta Basım Yayın.



Bölüm 7

Alternatif Akım

öğrenme çıktıları

1 Alternatif Akımda Temel Kavramlar

- 1 Alternatif akımla ilgili periyot, frekans, faz farkı gibi kavramları tanımlayabilme

2 Empedans

- 2 Seri ve paralel devre elemanlarının empedanslarını hesaplayabilme

Anahtar Sözcükler: • Devir • Periyot • Frekans • Değer • Faz • Genlik • Empedans • Fazör

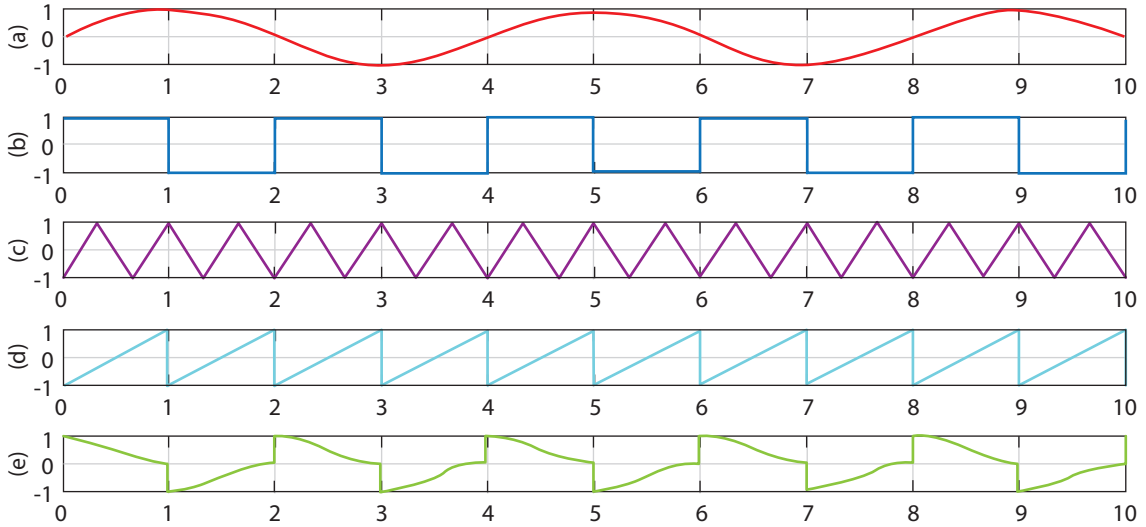


GİRİŞ

Doğru akım, yönü ve şiddeti sabit olan akım türüdür. Doğru akım kaynaklarında “+” ve “-” olmak üzere 2 adet uç bulunur. Doğru akım uygulanmış devrelerde, akım kaynağın “+” kutbundan çıkıp “-” kutbuna yön ve büyüklük değiştirmeden ulaşır. *Alternatif akımın* ise yönü ve şiddeti zamana bağlı olarak değişir. Bu değişim periyodik özellik gösterir. Periyodik değişim, alternatif akım üzerinde beliren herhangi bir değerin belirli bir süre sonra kendini tekrar etmesi olarak tanımlanır. Bu süre tüm değerlerin tekrarı için sabittir. Alternatif akım kaynağında iki uç bulunur. Bunlara faz (canlı uç) ve nötr adı verilir. Alternatif akım kaynağının nötr ucu referans değer olan toprak hattına göre sıfır potansiyele sahiptir (0 Volt). Kaynağın faz ya da canlı ucu ise referans değere göre sürekli olarak “+” ve “-” değerler olarak değişmektedir. Alternatif akım kısaca AA ile ya da AC ile gösterilir. Alternatif akım devrelerinde gerilime *AA gerilimi* ve akıma ise *AA akımı* denir. Şehir şebekelerinde kullanılan alternatif akımın dalga şekli sinüstür (sinüzoidal). Bununla birlikte, sinüs dalgası dışında periyodik özellik gösteren diğer dalga türleri de alternatif akım sınıfına girer. Bunlara örnek olarak kare dalga, üçgen dalga, testere dişi dalga ve karmaşık yapıli dalga verilebilir. Şekil 7.1’de yukarıda bahsedilen farklı AA dalga türleri verilmiştir. Burada koordinat düzleminin yatay eksen

✓ Yönü ve büyüklüğü zamana bağlı ve periyodik olarak değişen akım türüne *alternatif akım* denir.

(x – eksen) zamanı, dikey eksen ise (y – eksen) AA akımını ya da gerilimini göstermektedir. Şekil 7.1(a)’da, sinüs dalga şekline sahip AA gerilimi, Şekil 7.1(b)’de kare dalga AA akımı, Şekil 7.1(c)’de üçgen dalga AA gerilimi, Şekil 7.1(d)’de testere dişli AA akımı ve son olarak Şekil 7.1(e)’de ise karmaşık yapıli bir AA gerilimi görülmektedir.



Şekil 7.1 Çeşitli alternatif akım dalga türleri

Elektrik enerjisi hem alternatif akım hem de doğru akım olarak üretilebilir. İki üretim yönteminin de avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bununla birlikte, alternatif akım ile elektrik enerjisi üretimi günümüzde oldukça yaygındır. Bunun temel sebepleri arasında alternatif akımın üretim, dağıtım ve işletme maliyetleri gösterilebilir. Şekil 7.2’den görüldüğü gibi elektrik enerjisinin, üretildiği noktadan son kullanıcıya ulaştırılması işlemi iletim hatları ile sağlanmaktadır. İletimin ekonomik olması gerekir. Maliyetleri en aza indirmek için de iletim kayıpları azaltılmalıdır. Bir iletim hattında meydana gelen kayıplar, iletilen enerjinin gerilim seviyesi ile ilişkilidir. İletim hattı boyunca taşınan elektrik enerjisinin gerilim değerini artırmak (yüksek gerilim hattı) kayıpların azalmasını sağlar.

Doğru akım üreteçleri (dinamo) yapıları gereği yüksek seviye gerilim üretemezler. Doğru akım gerilim seviyesi, doğru akım üreteçleri ile 1500 V’a kadar üretilebilmektedir. Fakat alternatif akım üreteçleri

(alternatör) ile 20000 V gibi yüksek gerilimler elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, alternatif akım transformatörler aracılığıyla 100 kV ve daha yüksek gerilim seviyelerine çıkartılabilir. Yükseltilebilir gerilim sayesinde akım düşürülür. Akımın düşürülmesi ise iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin çaplarını küçültür. Yüksek gerilim ile iletilen elektrik enerjisi, son kullanıcıya (ev, iş yeri vb.) transformatörler aracılığıyla düşürülerek verilir. Evlerde kullandığımız şehir şebekesi de denilen elektrik enerjisi bir alternatif akım kaynağıdır. Elektrikli ev aletlerinin çoğu alternatif akımla beslenir. Bunlara örnek olarak buzdolabı, çamaşır makinesi, ütü ve aydınlatma verilebilir. Fakat evlerde kullandığımız elektronik aletler ile bazı elektrikli ev aletlerinin kontrol kartları vb. doğru akımla çalışır. Bunlara örnek olarak telefon, bilgisayar verilebilir. Bu tarz aletlerde, alternatif akımı doğru akıma çeviren dönüştürücülere (adaptör) ihtiyaç duyulur.



Şekil 7.2 Alternatif akım iletimi, dağıtımı ve kullanımı

Alternatif akım ile ölçüm ve hesap yapabilmek için alternatif akım ile ilgili bazı temel kavramların bilinmesi gerekmektedir. Bu kavramlar devir, frekans, değer, genlik, faz olarak tanımlanabilir.

ALTERNATİF AKIMDA TEMEL KAVRAMLAR

Alternatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir alternatif akım üreticidir. Üretim yerine göre mekanik enerjinin elde edilmesi değişmektedir. En yaygın örnekleri, termik ve hidroelektrik santrallerdir. Mekanik enerji, termik santrallerde buharın, hidroelektrik santrallerde ise suyun dönürme etkisi ile elde edilir. AA üreteçleri genelde iki çeşittir. İlk türü sabit bir sargı ve içte dönen hareketli bir mıknatıstan oluşmaktadır. İkinci türü ise

sabit bir mıknatısın içinde dönen bir sargıdan oluşmaktadır. Üretim maliyeti ve basitliğinden dolayı ilk tür üreteç daha çok tercih edilmektedir. Şekil 7.3'te bir hidroelektrik santralin içinde bulunan ve suyun dönme kuvvetini alternatif akıma dönüştüren AA üreticinin türbinleri görülmektedir.

✓ Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirip alternatif akım elde eden üretece *alternatör* denir.



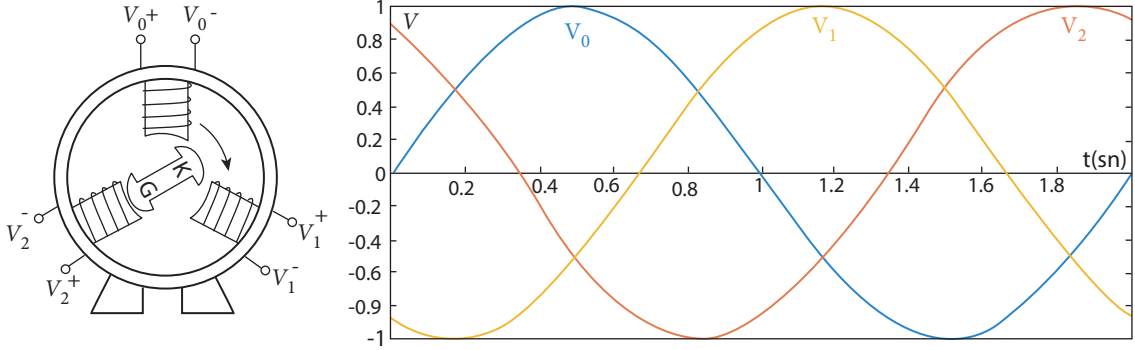
Şekil 7.3 Hidroelektrik güç üretim santrali alternatif akım üreteç türbinleri

Devir

Şekil 7.4'te üç sarımdan oluşan alternatörün basit bir şeması verilmiştir. Alternatörün dış kısmında sabit duran ve birbirine göre 120° açı ile konumlandırılmış sargıları içeren kısım statordur. İç kısımda ise merkezi etrafında döneabilen ve mıknatıs özelliği gösteren rotor vardır. Rotorun üzerindeki *K* işareti mıknatısın kuzey kutbunu (*N*) gösterirken *G* işareti ise mıknatısın güney kutbunu (*S*) göstermektedir. Rotorun dönüşüyle beraber, elektromanyetik etki-leşim ile sargılar üzerinde AA indüklenir. Rotorun *K* kutbu, stator üzerindeki sargılara yaklaşırken AA sinüs dalgasının üst yarısı, *G* kutbu yaklaşırken de AA sinüs dalgasının alt yarısı oluşmaktadır. Rotorun dönüşüyle beraber, her bir sargıda oluşan AA gerilimi Şekil 7.4'te görülmektedir.

Rotor tam bir turu tamamladığında, sargılarda oluşan AA gerilim ya da AA akımına *devir* adı verilir. *Devir*, bazen saykıl (İngilizce karşılığı olan cycle kelimesinin okunuşu) olarak da tanımlanır. Rotorun hareketi ile sargıda (V_1) oluşan AA bileşeni, sıfır değerinden başlayıp artmakta ve sonra tekrar

sıfır değerine ulaşır azalmasını negatif yönde sürdürmekte ve devamında artış gösterip sıfır noktasına geri dönmektedir. Bu noktada rotor 1 turu tamamlamış olur ve AA bileşeninde 1 devir oluşur. Rotor, ikinci turuna başlarken sargılarda oluşan AA gerilimi ya da AA akımı da yenilenir. Rotor, dönmeye devam ettikçe oluşan devirler de tekrar eder. Her bir sargı üzerinde oluşan AA geriliminin devirleri Şekil 7.4'te görülmektedir. Rotorun dönüşüyle, önce V_1 gerilimi, sonra V_2 ve en son V_3 gerilimi oluşmaktadır. Sargılar, stator üzerinde 120° lik açılarla konumlandırıldıklarından dolayı oluşan gerilimler arasında da 120° lik farklar oluşmaktadır.



Şekil 7.4 Alternatör ve AA gerilim üretimi

✓ Döner mıknatısın (rotor) bir tur dönmesiyle üretilen AA gerilim ya da akımına devir denir.



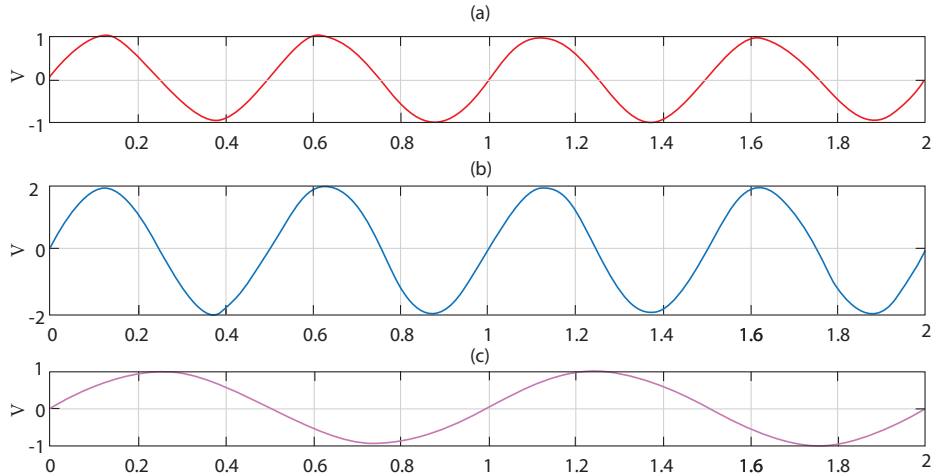
dikkat

AA üreteçlerinden (alternatör) elde edilen AA geriliminin dalga şekli sinüstür. Kare, üçgen, testere dişi ve karmaşık yapıllı dalga formlarında da periyodik olarak tekrarlayan dalga parçaları devir adını alır.

Periyot

AA gerilimi ya da akımında bir devir tamamlanıncaya kadar geçen süreye *periyot* denir. Periyodun birimi saniye (s)'dir. Periyot, T harfi ile gösterilir. Bir dalga şeklinde periyot sabittir yani AA dalganın başladığı noktaya tekrar gelmesi için her seferinde eşit bir süre geçmesi gerekir.

Örnek 7.1: Şekil 7.5'te verilen sinyallerin periyodunu bulunuz.



Şekil 7.5 AA sinyalin periyodu

Çözüm: Şekil 7.5(a)'da verilen AA dalgasının 2 devri için geçen süre 1 s ve böylece 1 devri için geçen süre 0.5 s'dir. Bu süre sinyalin hareketini kendini yinelediği başlama ve bitiş noktaları arasındaki farktan hesaplanmaktadır. Periyot = $(T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}) = (0.5 - 0) = 0.5$ s olarak bulunur. (b)'de verilen sinyalin periyodu ile (a)'da verilen sinyalin periyodu eşit ve 0.5 s'dir. Fakat (c)'de verilen sinyalin periyodu Periyot = $(T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}) = (1 - 0) = 1$ s'dir. (c) sinyalinin periyodu (a) ve (b)'deki sinyallerin 2 katıdır. Çünkü (c) sinyalinin 1 devrine karşılık diğer sinyallerde 2 devir oluşmaktadır.

Frekans

AA gerilim ya da akımının 1 saniye süresindeki tekrar sayısına *frekans* denir. Frekans, f sembolü ile gösterilir. Birimi Hertz ve birim kısaltması Hz'dir. Verilen herhangi bir AA bileşenin periyodu T olmak üzere frekans

$$f = \frac{1}{T} \quad (7.1)$$

ifadesi ile elde edilir. Eşitlik (7.1)'den görüldüğü üzere, frekansın birimi olan Hertz; $\frac{1}{s}$ ye denk gelmektedir. Frekans biriminin alt katları mevcut değildir. Üst katları ise 1000'in katları ile belirlenmektedir. Frekansın üst katları arasındaki dönüşüm

$$1 \text{ GHz} = 10^3 \text{ MHz} = 10^6 \text{ KHz} = 10^9 \text{ Hz} \quad (7.2)$$

ile verilmektedir. Burada GHz gigahertz, MHz megahertz ve KHz kilohertz olarak tanımlanır.

Örnek 7.2: Örnek 7.1'de periyotları bulunan sinyallerin frekansını hesaplayınız.

Çözüm: Eşitlik (7.1) kullanılarak;

$$f_a = f_b = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ Hz}$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{1} = 1 \text{ Hz}$$

olarak elde edilir. Burada f_a, f_b, f_c sırasıyla (a), (b) ve (c) de verilen sinyallerin frekansını göstermektedir.



dikkat

Şebeke gerilimi elektrik enerji iletim hatları ile son kullanıcıya verilen gerilim demektir. Dünya üzerinde şebeke geriliminin frekansı ise 50–60 Hz arasındadır. Ülkemizde, Elektrik Mühendisleri Odasının (EMO) yayımladığı verilere göre şehir şebekesinin frekansı 50 Hz'dir. Yani, evlerimizde kullandığımız AA gerilim sinyali saniyede 50 sefer tekrar etmektedir.

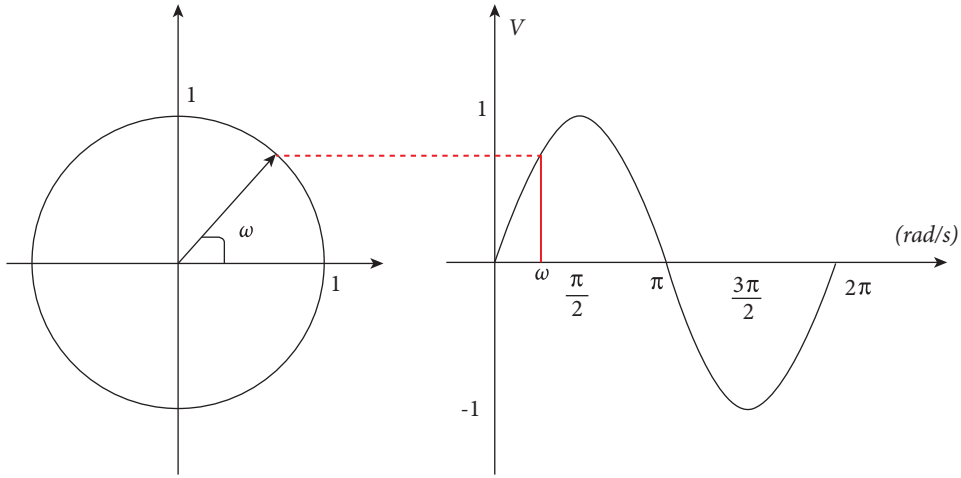
Açısal Frekans

Alternatör içerisindeki rotor, 1 tam tur döndüğünde AA akım ya da gerilim dalgasında bir devir meydana gelmektedir. AA dalga, sıfır noktasından başlayıp pozitif en yüksek değere oradan da sıfır noktasına gider. Sıfır noktasından negatif en küçük noktaya iner ve oradan sıfır noktasına çıkar. Bu işlem sırasında, AA dalga tam bir tur atmış olur. Bir tur 360° dir. Dereceyi radyan cinsinden ifade edersek bir tur 2π radyana denk gelir. *Açısal frekans*, AA akım ya da gerilim dalgasının birim zaman içerisinde taradığı açının radyan karşılığıdır. Açısal frekans ω ile gösterilir. Birimi rad/s veya $\frac{\text{rad}}{s}$ ile gösterilir. Açısal frekans ile frekans arasındaki ilişki

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (7.3)$$

eşitliği ile bulunur. Burada frekans (Hz), periyot (s), ω ise açısal frekanstır (rad/s).

Dönen vektör ile açısal frekans arasındaki ilişki Şekil 7.6'da verilmiştir. Şekilde birim çemberin yarıçap vektörünün başlangıç doğrultusu x-eksenidir (0 rad). Daha sonra vektörün 1 saniye içerisinde taradığı açı ω ile gösterilmiştir. Açısal frekansın AA gerilim ya da akım dalgası üzerinde karşılık geldiği nokta ile ω eşleştirilmiştir.



Şekil 7.6 Dönen vektör ve açısal frekans ilişkisi

✓ Alternatör içerisindeki hareketli mıknatısın (rotor) birim zamanda taradığı açıya *açısal frekans* denir.

Örnek 7.3: Ülkemizdeki şehir şebekesinin açısal frekansını hesaplayınız.

Çözüm: Ülkemizde şehir şebekesinin frekansı 50 Hz'dir. Eşitlik (7.3)'ü kullanarak çözüme ulaşabiliriz.

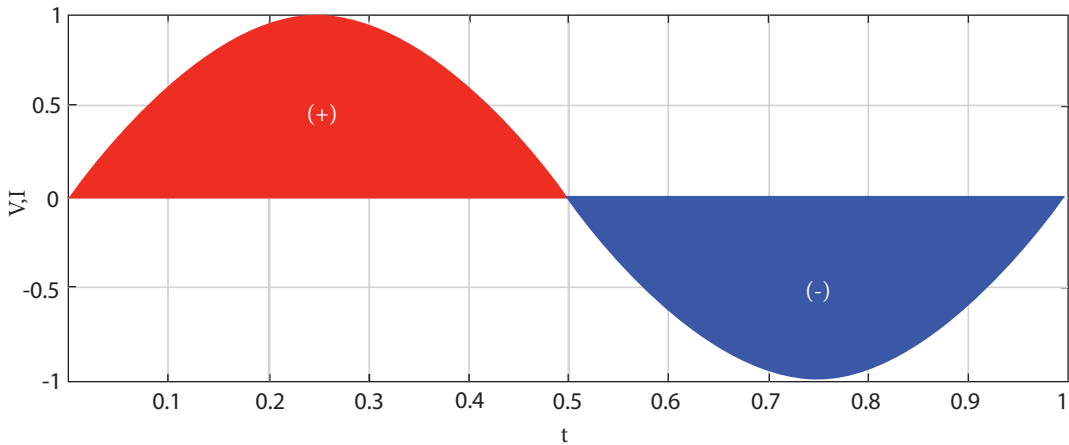
$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi 50$$

$$\omega = 2 \times 3,14 \times 50 = 314 \text{ (rad/s) olarak elde edilir.}$$

Alternans

Şekil 7.7'de verilen AA sinyal şekli incelendiğinde, zaman ekseninin üzerinde kalan yarım periyotluk kısımlara pozitif alternans, zaman ekseninin altında kalan yarım periyotluk kısımlara ise negatif alternans denir. Yani, AA gerilim veya akımlarda, bir periyot birbirini takip eden pozitif ve negatif alternanslardan oluşmaktadır.



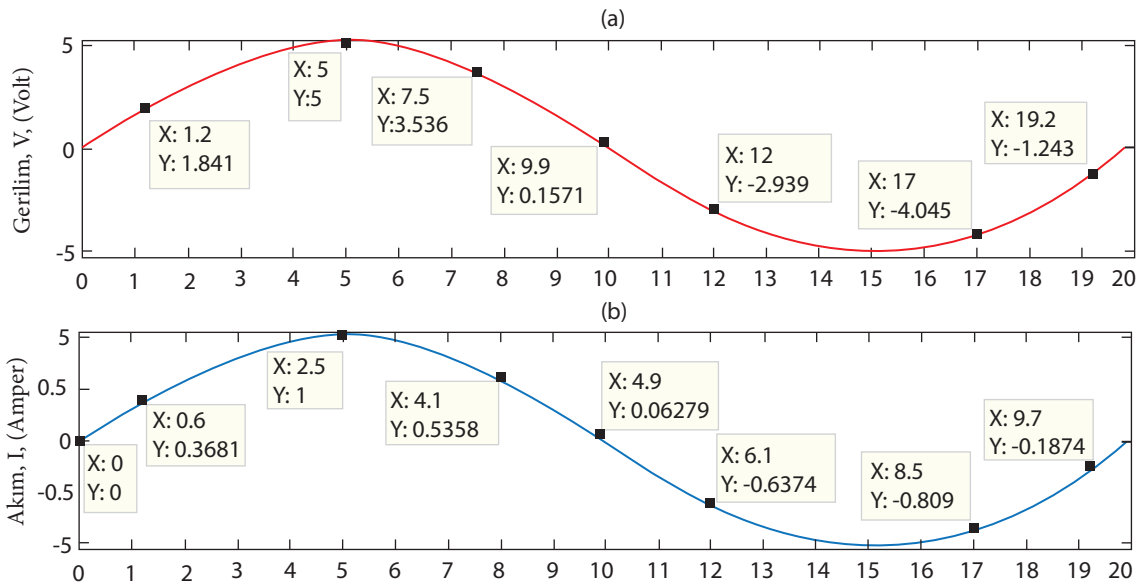
Şekil 7.7 Pozitif ve negatif alternans

Değer

AA akım ya da gerilimde sinyalin büyüklüğü sürekli değişmektedir. Bu sebeple AA ölçümünde anlık (ani) değer, tepe değer, tepeden tepeye değer, ortalama değer ve etkin değer olmak üzere çeşitli genlik büyüklüklerinin bilinmesi gereklidir. Bu değerlerin tanımları aşağıda verilmiştir.

Anlık (Ani) Değer

AA akım ya da gerilim zamana bağlı olarak değişmektedir. AA sinyalinin herhangi bir anda aldığı değere anlık ya da ani değer denir. Anlık değer, t zaman değişkeni olmak üzere gerilim için $v(t)$, akım için $i(t)$ fonksiyonu ile gösterilir. Dolayısıyla AA bileşenlerini zamana bağlı fonksiyon olarak ifade edebiliriz. Şekil 7.8 (a)'da bir AA gerilim sinyali için bazı anlık değerler, (b)'de ise AA akım sinyali için bazı anlık değerler gösterilmiştir. Şekilde 7.8'de x-ekseni zamanı gösterirken y-ekseni gerilim ya da akımın ani değerini göstermektedir.



Şekil 7.8 AA gerilim ve akım sinyallerinde bazı anlık değerlerin gösterimi

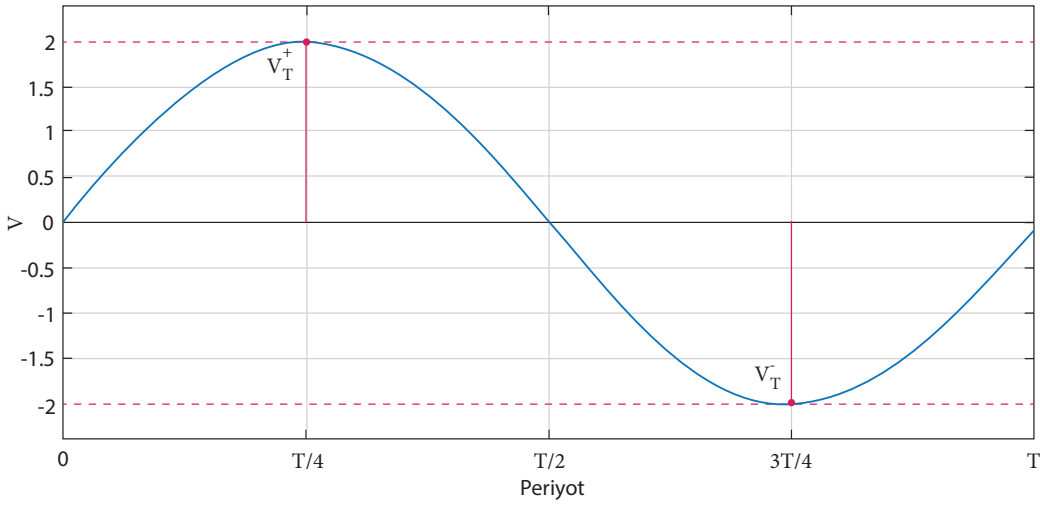


dikkat

Şekil 7.8'de verilen yatay eksen (ms) milisaniye olup bir zaman birimidir.
1000 ms = 1 s'dir.

Tepe Değer

Bir AA dalgasının tepe noktası, ulaştığı en yüksek gerilim ya da akım değeridir. Bu değer alternansa bağlı olarak pozitif ya da negatif olabilir. AA geriliminin *tepe değeri* V_T , AA akımının tepe değeri ise I_T ile gösterilir. Tepe değerın İngilizce karşılığı olan *peak value* ifadesinin ilk harfi ile de gösterim mevcuttur (V_p , I_p).



Şekil 7.9 Alternatif akımda tepe değerlerin gösterimi

✓ Bir AA dalgasının şeklinin alacağı en büyük değere *tepe değer* denir.

Şekil 7.9'da verilen sinüs dalga şekline sahip AA gerilimi, pozitif tepe değerine çeyrek periyotta ($T/4$), 90° 'de ya da $\pi/2$ (rad)'da; negatif tepe değerine ise üç çeyrek periyotta ($3T/4$), 270° 'de ya da $3\pi/2$ (rad)'da ulaşır.

Tepeden Tepeye Değer

Bir AA gerilim ya da akım dalgasının, pozitif tepe değeri ile negatif tepe değeri arasındaki farkına tepeden tepeye değer denir. Tepeden tepeye değer gerilim için V_{TT} , akım için I_{TT} ile gösterilir. İngilizce karşılığı olan *peak-to-peak value* ifadesinden yola çıkılarak V_{pp} , I_{pp} şeklinde gösterimi de mevcuttur. Bir AA dalgasının tepeden tepeye değerini aşağıdaki eşitliklerle bulabiliriz.

$$V_{TT} = V_T^+ - (V_T^-)$$

$$I_{TT} = I_T^+ - (I_T^-)$$

(7.4)

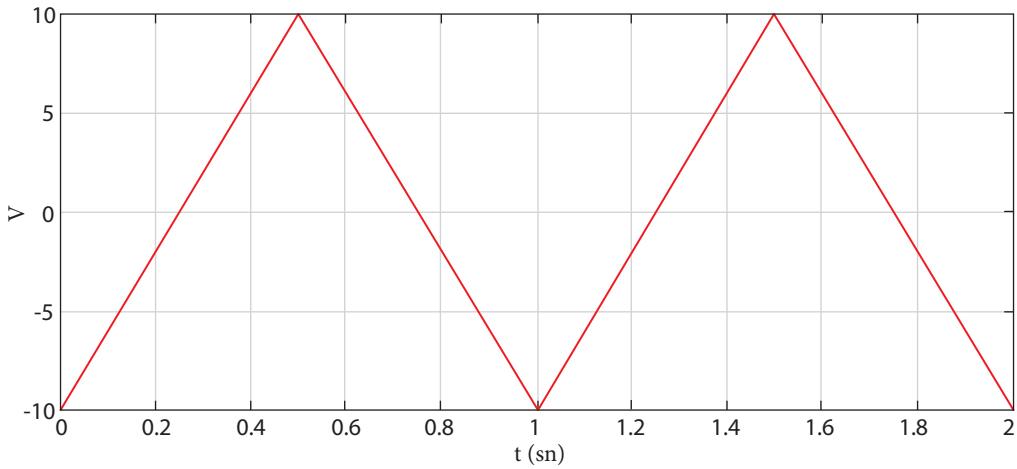
Eşitliklerde V_T^+ AA geriliminin pozitif tepe değerini, V_T^- negatif tepe değerini; I_T^+ AA akımının pozitif tepe değerini, I_T^- ise negatif tepe değerini göstermektedir.



dikkat

Eğer AA dalga şekli sıfır ortalamalı sinüs ise (örneğin şehir şebekesi) pozitif tepe değerinin büyüklüğü ile negatif tepe değerinin büyüklüğü eşittir. Bu durumda $V_T^+ = -V_T^-$ olduğundan $V_{TT} = 2 \times V_T$ ve $I_{TT} = 2 \times I_T$ eşitlikleri elde edilir.

Örnek 7.4: Şekil 7.10'da verilen alternatif akım dalgası için pozitif tepe değeri, negatif tepe değeri ve tepeden tepeye değeri bulunuz.



Şekil 7.10 AA gerilim sinyali

Çözüm: Şekil 7.10'da verilen AA dalgasının pozitif tepe değeri $V_T^+ = 10$ V; negatif tepe değeri ise $V_T^- = -10$ V olarak bulunur. Bu değerleri Eşitlik (7.4)'te yerine yazarsak:

$$\begin{aligned} V_{TT} &= V_T^+ - (V_T^-) \\ V_{TT} &= 10 - (-10) \text{ V} \\ V_{TT} &= 20 \text{ V} \end{aligned}$$

olarak elde edilir.

Ortalama Değer

AA dalgasının bir devrinde bulunan tüm anlık (ani) değerlerin ortalamasına *ortalama değer* denir. Ortalama değer V_{ort} ile gösterilir. Sinüs tabanlı AA dalga şeklinde, pozitif ve negatif anlık değerlerin büyüklüğü eşittir. Bu sebeple ortalama tüm farklı genliğe sahip AA sinüs dalgalarda sıfır çıkacaktır. AA sinüs dalgada ortalama değer hesaplanırken tek bir alternans alınır. Bunun için pozitif alternans tercih edilebilir.

Eğer sıfır ortalı sinüs AA dalganın tepe değeri biliniyorsa, bu dalganın ortalama değeri

$$V_{ort} = 0,636 \times V_T \quad (7.5)$$

ifadesi ile elde edilir.

Örnek 7.5: Tepe değeri 3,7 Volt olan bir AA sinüs geriliminin ortalama değerini hesaplayınız.

Çözüm: $V_T = 3,7$ V olarak verilmiş. Eşitlik (7.5)'i kullanırsak:

$$\begin{aligned} V_{ort} &= 0,636 \times V_T \\ V_{ort} &= 0,636 \times 3,7 \\ V_{ort} &= 2,353 \text{ V} \end{aligned}$$

olarak bulunur.

Etkin Değer

Etkin değer, bir AA kaynağına bağlı bir direncin üzerinde oluşan ısı etkisini bir DA (doğru akım) kaynağı ile oluşturmak istediğimizde DA kaynağından vermemiz gereken gerilim ya da akım değeridir. Diğer bir ifadeyle, bir AA kaynağının alıcı üzerinde yaptığı işe eşit iş yapan DA kaynak değeri denilebilir. Etkin değer, bir AA kaynağını ampermetre, voltmetre ya da multimetre ile ölçtüğümüzde ekranda gördüğümüz değerdir. Etkin değer hesaplanırken önce, AA akım ya da gerilimlerinin anlık (anı) değerlerinin kareleri hesaplanır. Sonra bu hesaplanan karelerin ortalaması alınır. En son olarak bulunan değerın karekökü hesaplanır. Etkin değer, AA gerilimi için V_E ile gösterilirken AA akımı için I_E ile gösterilir.

AA akım ya da gerilim eğer sıfır ortalı sinüs dalga ise etkin değeri hesaplamak için

$$\begin{aligned} V_E &= \frac{V_T}{\sqrt{2}} \approx 0,707V_T \\ I_E &= \frac{E_T}{\sqrt{2}} \approx 0,707E_T \end{aligned} \quad (7.6)$$

eşitliği kullanılır.

Örnek 7.6: Tepe değeri 15 A olan AA kaynağının etkin değeri kaç amperdir?

Çözüm: Bir AA kaynağının etkin değeri Eşitlik (7.6) ile hesaplanabilir. $E_T = 15$ A olmak üzere,

$$I_E = \frac{E_T}{\sqrt{2}} \approx 0,707E_T$$

$$I_E \approx 0,707 \times 15$$

$$I_E \approx 10,605 \text{ A olarak bulunur.}$$



dikkat

! Şebeke gerilimi elektrik enerji iletim hatları ile son kullanıcıya verilen gerilim demektir. Dünyada üzerinde bu gerilimin etkin değeri 110 V ile 250 V arasında değişmektedir. Ülkemizde, Elektrik Mühendisleri Odasının (EMO) yayımladığı verilere göre şehir şebekesinin etkin değeri 220 V'tur.

! AA kaynağının dalga şekli değişirse, bu kaynağın etkin değeri de değişir. Örneğin kare dalga şekline sahip bir AA kaynağında $V_E = V_T$ olacaktır. Aynı şekilde, üçgen dalga şekline sahip bir AA kaynağında $V_E \approx 0,577 V_T$ 'dir.

Faz

Aynı dalga şekillerine ve aynı frekansa sahip olan AA akım ya da gerilimlerin birbirleriyle kıyaslanmasına *faz* denir. AA devrelerinde, yukarıdaki şartları taşıyan AA sinyallerin başlangıçlarının koordinat düzleminin başlangıç noktası olan orijine uzaklığı faz olarak tanımlanır. Bir sinüs dalgasının başlangıç noktası sıfır değerinden tepe değere doğru artış gösterdiği noktadır. Faz açısı derece veya radyan ile gösterilebilir. Karışıklık olmaması açısından, en çok derece gösterimi tercih edilmektedir. Bir AA dalgasında sıfır faz, ileri faz ve geri faz durumları olabilir.

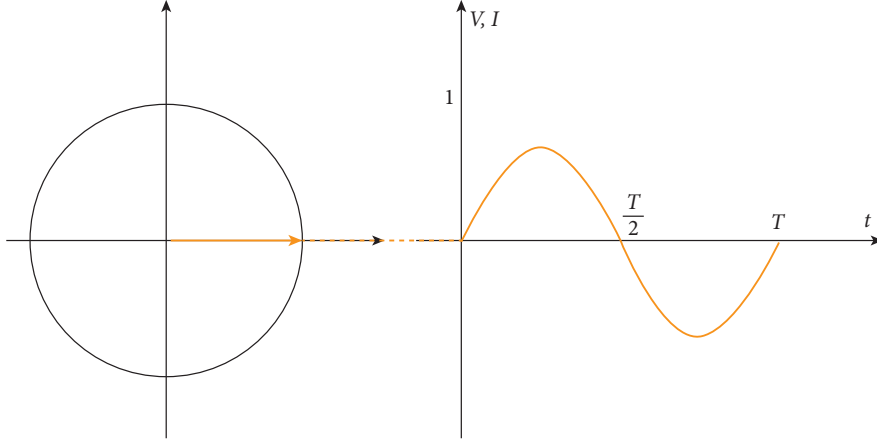


dikkat

DA devrelerinde elemanlar üzerinden geçen akımlarda ya da elemanların üzerine düşen gerilimlerde faz farkı yoktur. Şayet, bir AA devresi sadece dirençlerden oluşuyorsa da faz farkı oluşmaz. Fakat AA devresinde kondansatör, bobin gibi devre elemanları mevcutsa bu elemanların karakteristik özelliklerinden dolayı devrede faz farkı oluşmaktadır.

Sıfır Faz

Eğer t zamanı göstermek üzere $t = 0$ iken sinüs sinyalinin başlangıcı koordinat ekseninin başlangıcı ile çıkıyorsa bu AA dalgasına sıfır fazlıdır denir. Diğer bir deyişle, $t = 0$ anında sinüs sinyalinin değeri de sıfırdır ve t arttıkça sinüs V_T değerine doğru ilerler. Şekil 7.11'de sıfır faz açısına sahip bir AA sinyali verilmiştir. Şekil 7.6'da dönen vektör ile açısal frekans arasındaki ilişki gösterilmiştir. ω (rad/s) açısal frekansına ve V_T tepe değerine sahip AA sinyalinin dönen vektör ile gösterimi Şekil 7.11'de verilmiştir. Bu vektörün $t = 0$ anında referans eksen ile yaptığı açının sıfır derece olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu vektörün faz açısı sıfır derecedir.



Şekil 7.11 Sıfır fazlı bir AA sinyali

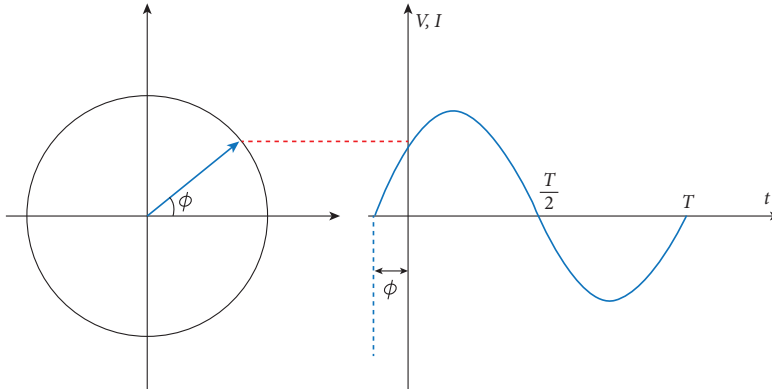


dikkat

Bir AA akım ya da geriliminin kendisiyle olan faz açısı sıfır derecedir.

İleri Faz

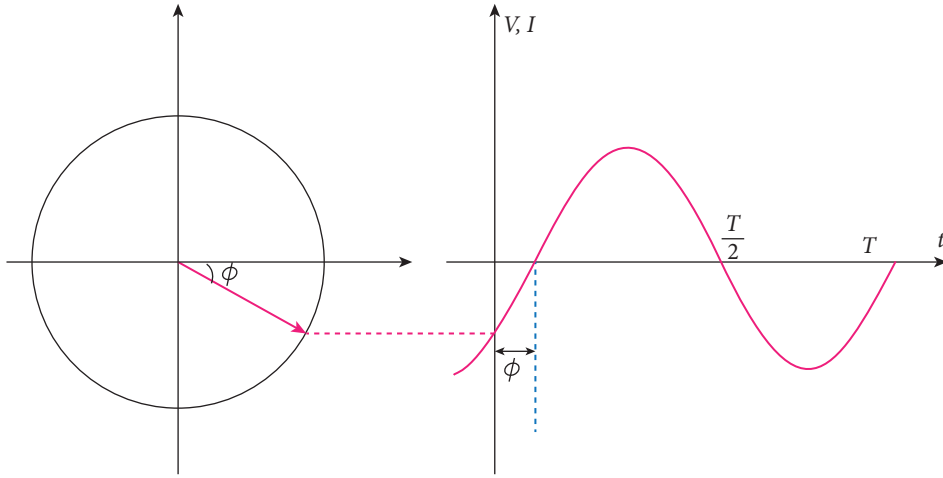
Bir AA akım ya da gerilim sinyalinin başlangıç noktası koordinat ekseninin başlangıcının solunda kalıyorsa, yani $t = 0$ anında sinüs dalgaının genlik değeri sıfırdan büyükse bu dalgaya ileri faza sahiptir denir. İleri faza sahip bir AA sinyali ve bu sinyale karşılık gelen dönen vektör Şekil 7.12'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, sinüs dalgası $t < 0$ anında sıfır değerini almaktadır ve $t = 0$ anında genlik değeri sıfırdan büyük bir değerdir. Dönen vektör gösteriminde ise vektörün referans eksen ile yaptığı açının sıfırdan büyük olduğu görülmektedir. Bu vektöre ileri fazlı vektör denmektedir. Verilen AA sinyali ϕ° kadar ileri faza sahiptir.



Şekil 7.12 İleri fazlı bir AA sinyali

Geri Faz

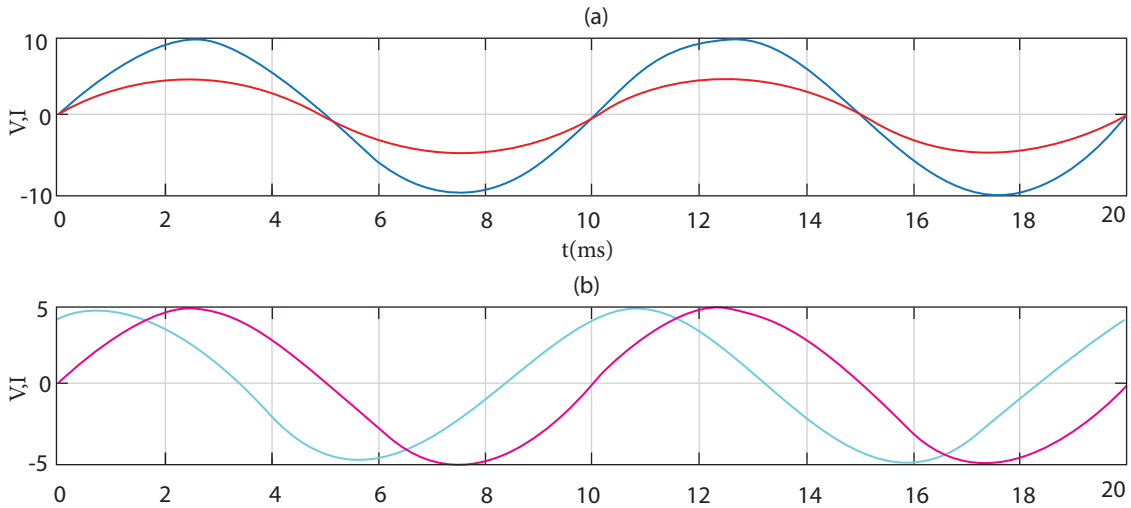
Bir AA akım ya da gerilim sinyalinin başlangıç noktası koordinat ekseninin başlangıcının sağında kalıyorsa, yani $t = 0$ anında sinüs dalgasının genlik değeri sıfırdan küçükse bu dalgaya geri fazlı dalga denir. Geri faza sahip bir sinüs dalgası ve dönen vektör karşılığı Şekil 7.13'te verilmiştir. Şekil 7.13'ten görüldüğü gibi, verilen sinüs dalgası $t > 0$ anında sıfır değerini almaktadır. $t = 0$ anında ise sinüs dalgasının anlık değeri sıfırdan küçüktür. Dönen vektör gösteriminde ise vektörün referans eksen ile yaptığı açının sıfırdan küçük olduğu görülmektedir. Bu vektöre ise geri fazlı vektör denmektedir. Verilen AA sinyali ϕ° kadar geri faza sahiptir.



Şekil 7.13 Geri fazlı bir AA sinyali

Faz Farkı

İki ya da daha fazla aynı frekans ve dalga şekline sahip AA akım ya da gerilim sinyallerinin fazları arasındaki ilişki faz farkını verir. Başlangıç noktaları farklı olan aynı frekans ve dalga şekline sahip iki AA akım ya da gerilim sinyalinin arasında faz farkı vardır denir. Eğer frekansları eşit iki AA dalga, zaman eksenini aynı anda kesip beraber alçalma ya da yükselme hareketi gerçekleştiriyorlarsa bu dalgaların fazı aynıdır. Fakat bu dalgalar zaman eksenini aynı anda kesmiyor ve bu noktalar arasında sabit bir uzaklık kalıyorsa aynı frekanslı bu dalgaların fazları farklıdır. Şekil 7.14 (a)'da aynı fazda iki AA sinyal görünürken (b)'de farklı fazlardaki iki sinyal görülmektedir.



Şekil 7.14 Aynı ve farklı faza sahip AA dalgaları

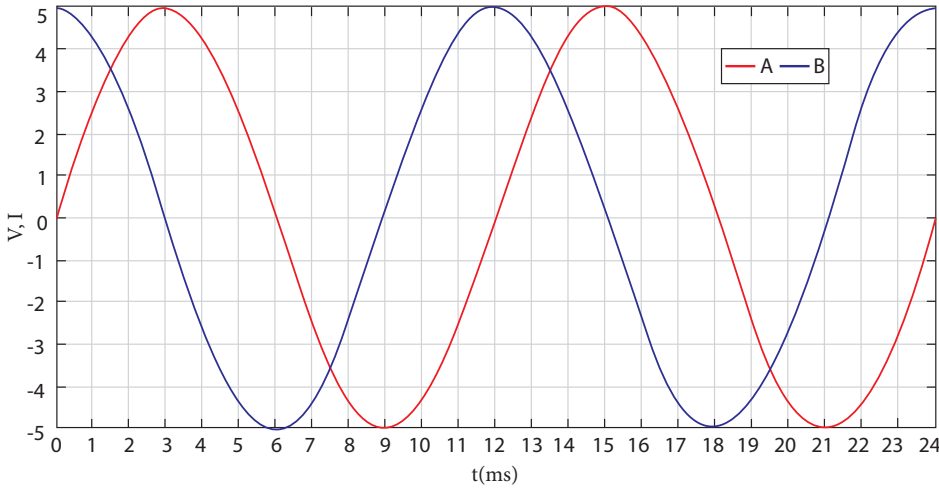
İki AA dalganın arasındaki faz farkının hesabı aşağıdaki gibidir.

1. AA dalgaların frekansları (Hz) hesaplanır. Eğer frekansları eşitse faz farkı araştırılabilir. Eşit değilse faz farkından söz edilemez.
2. AA dalgaların periyotları T (s) hesaplanır (Dalgaların frekansı aynı olduğundan birinin periyodu yeterli olacaktır.)
3. İki AA dalganın yükselirken ya da alçalırken zaman eksenini (0 noktasını) kestikleri yerler belirlenir.
4. Bu noktalar arasındaki fark t_{faz} (s) zaman cinsinden hesaplanır.
5. Bulunanlar Eşitlik (7.7)'de yerine konularak faz farkı hesaplanır.

$$\theta = 360^\circ \times \frac{t_{faz}}{T} \quad (7.7)$$

elde edilen sonuç aynı frekansa sahip iki AA dalga arasındaki faz farkını derece ($^\circ$) cinsinden verecektir.

Örnek 7.7: Şekil 7.15'te verilen AA dalgaların arasında faz farkı var mıdır? Varsa faz farkını bulunuz.



Şekil 7.15 Faz farkı örneği

Çözüm: İki AA dalga arasında faz farkını araştırmak için öncelikle frekanslarını hesaplamalıyız. A sinyalinin frekansı f_A , periyodu T_A ; B sinyalinin frekansı f_B ve periyodu T_B olmak üzere Şekil 7.15'ten $T_A = 12$ (ms) ve $T_B = 12$ (ms) bulunur.

Eşitlik (7.1)'den $f_A = f_B = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{12 \times 10^{-3}} = 83,3$ Hz olarak bulunur. Sinyallerin frekansları eşit

olduğundan ve başlangıç noktaları farklı olduğundan aralarında faz farkı mevcuttur. Sinyallerin zaman eksenini (0 noktasını) kestikleri noktalar arasında $t_{faz} = 3$ (ms) fark bulunmaktadır. Faz farkı Eşitlik (7.7)'den

$\theta = 360^\circ \times \frac{t_{faz}}{T} = 360^\circ \times \frac{3}{12} = 90^\circ$ olarak bulunur. Burada A sinyali B sinyalinden 90° geridedir ya da B sinyali A sinyalinden 90° ileridedir denir.

AA Kaynaklarının Matematiksel Gösterimi

Elektrik devrelerinde kullanılan alternatif akım kaynakları, üreteçlerinin doğası gereği sinüzoidal biçimli dalgalardır. Dolayısıyla, matematiksel olarak sinüs fonksiyonu ile ifade edilebilirler. Bu ifade ile şekiller üzerinde yapılan hesaplamalar kolaylaşabilir ve devre analizi yöntemleri matematiksel olarak uygulanabilir. Herhangi bir AA akım ya da gerilimi genlik, (açısal) frekans ve varsa faz açısı değişkenleri ile matematiksel olarak ifade edebiliriz. Aşağıdaki eşitliklerde AA akım ve gerilim kaynaklarının zamana bağlı matematiksel ifadeleri verilmiştir.

$$V(t) = V_T \times \sin(\omega t + \theta) \quad (7.8)$$

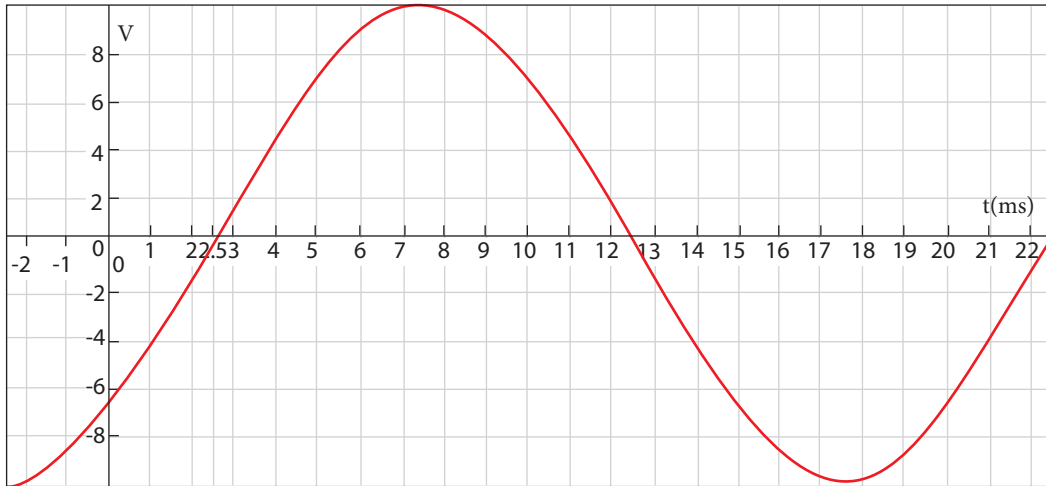
$$I(t) = I_T \times \sin(\omega t + \theta)$$

Burada $V(t)$, $I(t)$ AA gerilim ve akımının zamana bağlı fonksiyonları, V_T, I_T gerilim ve akımın tepe değerleri, $\omega = 2\pi f$ açısal frekans ve θ ise faz açısıdır. Eşitlik (7.8) ile matematiksel ifadesi verilen bir AA akım ya da geriliminin şekli çizilebileceği gibi şekli verilen bir dalgaının matematiksel ifadesi de yazılabilir.

Örnek 7.8: Aşağıdaki verilen AA gerilim dalgasının şeklini çiziniz.

$$V(t) = 10 \times \sin(100\pi t - 45^\circ) \text{ V}$$

Çözüm: Örnekte verilen ifadeden AA dalgaının tepe noktasının 10 V olduğu; frekansının $\omega t = 100\pi t$ 'den $f = 50$ Hz ve faz açısının ise -45° olduğu görülmektedir. Buna göre AA gerilim dalgası Şekil 7.16'daki gibidir.



Şekil 7.16 Matematiksel ifadesi verilen AA gerilimin şekilsel gösterimi

Öğrenme Çıktısı

1 Alternatif akımla ilgili periyot, frekans, faz farkı gibi kavramları tanımlayabilme

Araştır 1

Etkin değer, bir AA kaynağına bağlı bir direncin üzerinde oluşan ısı etkisini bir DA kaynağı ile oluşturmak istediğimizde DA kaynağından vermemiz gereken gerilim ya da akım değeridir. Buna göre kare dalga, üçgen dalga ve sinüs dalgadan hangisi en çok ısıyı oluşturur?

İlişkilendir

Alternatif akımının günlük hayatımızdaki kullanım yerleri ve etkisi nelerdir? Alternatif akım olmasaydı yaşamımız daha mı kolay yoksa daha mı zor olurdu?

Anlat/Paylaş

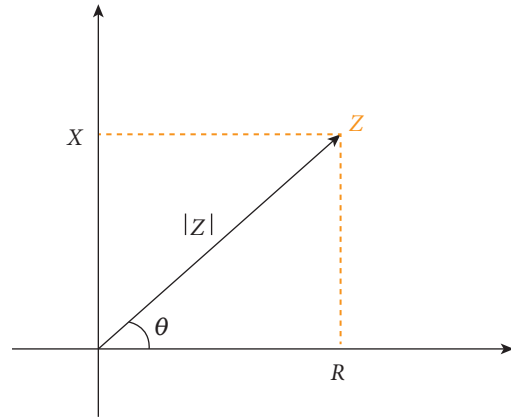
Faz farkı, frekansı eşit olan alternatif akım dalgaları arasında meydana gelir. Frekansı aynı olmayan alternatif akım dalgalarında neden faz farkı aranmaz? Tartışınız.

EMPEDANS

Doğru akım kaynağına bağlı devrelerdeki gerilim ile alternatif akım kaynağına bağlı devrelerdeki *empedans* birbiriyle ilişkilidir. Fakat AA devrelerinde bulunan bobin ve kondansatör gibi elemanların zamana bağlı özelliklerinden dolayı bu elemanlar ile kaynağın arasında bir faz farkı oluşur. Dolayısıyla DA devrelerindeki direnç skaler bir büyüklük iken AA devrelerindeki empedans vektörel bir büyüklüğe karşılık gelmektedir. Empedans genel olarak direnç (R), bobin (L) ve kondansatör (C) içeren devrelerdeki eşdeğer direnç olarak tanımlanabilir.

✓ Alternatif akım kaynağına bağlı bir devre elemanının üzerine düşen potansiyel farkın üzerinden geçen akım oranına *empedans* denir.

dansın vektörel görüntüsü verilmiştir. Z vektörünün büyüklüğü $|Z|$ ve açısı ise θ 'dır. Empedansın x-eksenindeki bileşeni R , y-eksenindeki bileşeni ise X 'tir. Buradaki X bileşenine, reaktans denir. R ise DA devrelerinden bildiğimiz (gerçek) dirence karşılık gelirken X bobin ve kondansatörden dolayı ortaya çıkan (sanal) dirence karşılık gelmektedir.



Şekil 7.17 Vektörel bir büyüklük olarak empedans

Empedansın sembolü Z , birimi ise Ohm (Ω)'dur. Empedans vektörel bir değer olduğundan hem açısı hem de büyüklüğü vardır. Bu tarz sayılara karmaşık sayı denir. Şekil 7.17'de empe-

Şekil 7.17'de verilen empedansı gerçek ve sanal direnç değerleri ile göstermek için Eşitlik (7.9)'u kullanırız.

$$Z = R + jX \quad (7.9)$$

Eşitlikteki j , sanal kısmı göstermektedir. Eşitlik (7.9), eksenlere karşılık gelen değerler ile verildiğinden bu gösterime kartezyen gösterim denir. Empedans büyüklük ve açı ile gösterilirse (Eşitlik (7.10)) bu gösterime kutupsal gösterim denir.

$$Z = |Z| \angle \theta \quad (7.10)$$

Buradaki $| \cdot |$ sembolü vektörün büyüklüğünü $\angle$ sembolü ise vektörün açısını ifade etmektedir. Vektörlerden bilindiği üzere, iki gösterim arasında dönüşüm yapılabilir. Gerçek ve sanal direnç değerlerinden büyüklük ve açıya Eşitlik (7.11) ile tersine ise Eşitlik (7.12) ile geçilebilir,

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (7.11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right)$$

$$\begin{aligned} R &= |Z| \cos \theta \\ X &= |Z| \sin \theta \end{aligned} \quad (7.12)$$



dikkat

! Eşitlik (7.11)'de verilen $\tan^{-1}()$ ifadesi ters tanjant (arctanjant) fonksiyonudur. $\tan()$ fonksiyonu karşı kenarın komşu kenara bölümüdür. Şekil 7.17'de θ açısının tanjantı $\tan(\theta) = \frac{X}{R}$ 'dir. $\tan^{-1}$ ise bölüm değeri verilince açı değerini elde etmek için kullanılır.

! Eşitlik (7.10)'da verilen kutupsal gösterim AA devrelerindeki hesapları kolaylaştırmaktadır. DA devrelerinde verilen akım, gerilim ve direnç arasındaki ilişki (Ohm Kanunu) bu gösterim ile beraber AA devrelerinde de kullanılabilecektir.

Örnek 7.9: Büyüklüğü $100 (\Omega)$ açısı 45° olan empedansın direnç ve reaktans bileşenlerini hesaplayınız.

Çözüm: Soruda empedansın büyüklüğü $|Z| = 100 (\Omega)$ ve açısı $\angle 45^\circ$ olarak verilmiş. Eşitlik (7.12)'den

$$R = |Z| \cos \theta = 100 \times \cos 45 = 100 \times 0,707 = 70,7 (\Omega)$$

$$X = |Z| \sin \theta = 100 \times \sin 45 = 100 \times 0,707 = 70,7 (\Omega) \text{ olarak bulunur.}$$

Direnç, Bobin ve Kondansatör Empedansları



dikkat

Empedans (Z) vektörel bir büyüklüktür.

AA devrelerinde direnç, bobin ve kondansatörün empedansları birbirinden farklıdır. Direnç devrelerinde empedans gerçek dirence eşit olurken bobin veya kondansatör devrelerinde sanal direnç (reaktans) mevcuttur.

Direnç Empedansı

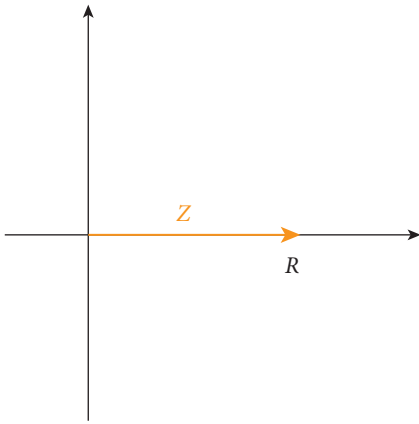
AA kaynağına bağlı bir devre sadece dirençlerden oluşuyorsa DA devrelerinde olduğu gibi faz farkından söz edilemez. Dolayısıyla, empedans gösterimi sadece gerçek direnç değerinden oluşur ve açı 0° 'ye eşit olur. Devrenin direnci R ile gösterilmek üzere, empedansı Z birbirine eşittir. Bu durum Eşitlik (7.13)'te verilmiştir.

$$Z = R + jX = R + j0 = R \quad (7.13)$$

Sanal bileşen $X=0$ olduğundan $Z=R$ olduğu görülür. Eşitlik (7.14) ise direncin empedansını kutupsal biçimde göstermektedir. Burada $X = 0$ olduğundan büyüklüğü R , açısı ise 0° olur,

$$Z = |Z| \angle \theta = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) = \sqrt{R^2 + 0^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{0}{R} \right) = R \angle 0^\circ \quad (7.14)$$

Sadece dirençten oluşan bir AA devresinin empedansı Şekil 7.18'de vektörel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.18 AA direnç devresi empedans vektörü

Bobin Empedansı

AA kaynağına bağlı bir devre sadece bobinlerden oluşuyorsa devrede gerçek dirençten söz edilemez. Dolayısıyla, empedans gösterimi sadece sanal direnç değerinden oluşur ve açı 90° 'ye eşit olur. Böyle devrelerdeki reaktansa bobinin etkisinden dolayı indüktif reaktans denir. Devrenin indüktansı L ile gösterilmek üzere, empedans Z arasındaki ilişki Eşitlik (7.15)'te verilmiştir.

$$Z = R + j\omega L = 0 + j\omega L = j\omega L. \quad (7.15)$$

Burada ω açısal frekanstır. Eşitlik (7.15)'ten görüleceği üzere indüktif reaktansın büyüklüğü frekansa bağlıdır. Frekans arttıkça indüktif reaktans artar. İndüktif reaktansın kutupsal gösterimi Eşitlik (7.16)'da verilmiştir,

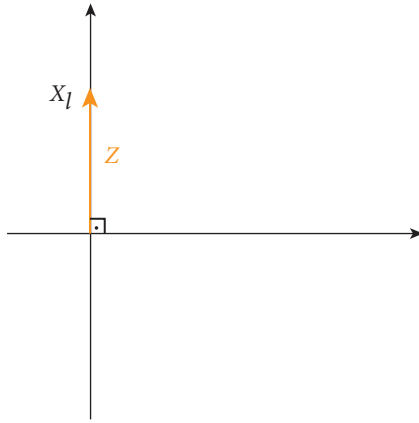
$$Z = |Z| \angle \theta = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) = \sqrt{0^2 + (\omega L)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{\omega L}{0} \right) = \omega L \angle 90^\circ. \quad (7.16)$$

Sadece bobinden oluşan bir AA devresinin empedansı Şekil 7.19'da vektörel olarak verilmiştir.



dikkat

Şekil 7.19'dan görüldüğü gibi bobin devresinde sanal bileşen yukarı yönlüdür. Yani pozitif (+) y-ekseni üzerindedir ve açı pozitif (+) değer alır.

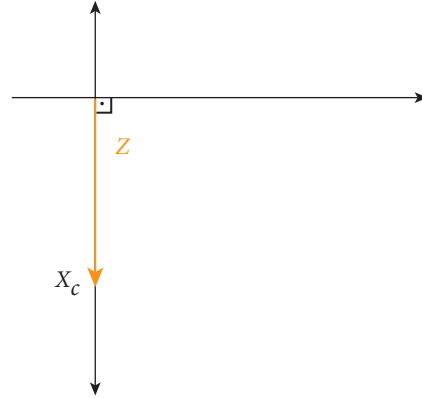
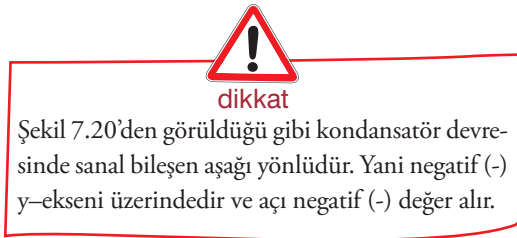


Şekil 7.19 AA bobin devresi empedans vektörü

kansa bağlıdır. Frekans arttıkça kapasitif reaktans azalır. Kapasitif reaktansın kutupsal gösterimi Eşitlik (7.18)'de verilmiştir,

$$Z = |Z| \angle \theta = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) = \sqrt{0^2 + \left(\frac{1}{\omega C} \right)^2} \angle \tan^{-1} \left(\frac{\frac{1}{\omega C}}{0} \right) = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ \quad (7.18)$$

Sadece kondansatörden oluşan bir AA devresinin empedansı Şekil 7.20'de vektörel olarak verilmiştir.



Şekil 7.20 AA kondansatör devresi empedans vektörü

Empedans – Akım – Gerilim İlişkisi

DA devrelerinde akım, gerilim ve direnç arasındaki ilişki Ohm kanunu ile tanımlanmıştır. AA devrelerinde direnç; bobin ve kondansatör elemanlarının zamana bağlı değişimlerinden dolayı farklı bir hâl alır. AA devrelerinde elemanların üzerine düşen gerilim ile geçen akımın oranına empedans denir. DA Ohm kanunundaki direncin (R) yerini AA devrelerinde empedans (Z) alır. AA devrelerde Ohm kanununu (frekansların eşit olması hâlinde) faz açısını kullanarak (kutupsal gösterim) tanımlamak mümkündür. AA devrelerde empedans, akım ve gerilim arasındaki ilişki:

$$V = ZI = |Z| |I| \angle \theta = |Z| I \angle \theta \quad (7.19)$$

eşitliğiyle verilir. Bu denklemdaki değişkenler DA devrelerinin aksine vektörelidir. Buradaki akımın faz açısı 0° 'dir. AA akım ve gerilimlerin faz açısı 0° 'den farklı olabilir. Bu durumda AA gerilim ve akım aşağıdaki ifade ile elde edilir.

$$\begin{aligned} V &= |V| \angle \theta_v \\ I &= |I| \angle \theta_i \end{aligned} \quad (7.20)$$

Burada θ_v gerilimin faz açısı, θ_i ise akımın faz açısıdır. Eşitlik (7.20)'yi (7.19)'da yerine koyarsak

$$V = ZI = |V| \angle \theta_v = |Z| \angle \theta |I| \angle \theta_i \quad (7.21)$$

olarak elde edilir.

Kutupsal formda verilen ifadelerde büyüklükler çarpılırken açılar toplanır (bölme durumundaki açılar ise çıkartılır). Dolayısıyla Eşitlik (7.21)

$$|V| \angle \theta_v = |Z| |I| \angle (\theta + \theta_i) \Rightarrow |V| = |Z| |I| \angle (\theta + \theta_i - \theta_v) \quad (7.22)$$

olarak elde edilir.

Örnek 7.10: Empedansı $Z=10+j10\sqrt{3}$ (Ω) olan bir AA devresinin girişine $V(t) = 5\sin(100\pi + 45^\circ)$ (V) uygulanırsa empedansın üzerinden geçen akımı bulunuz.

Çözüm: Empedansın büyüklüğü:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10^2 + (10\sqrt{3})^2} = \sqrt{400} = 20 \text{ olarak elde edilir.}$$

Empedansın açısı ise:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10\sqrt{3}}{10}\right) = \tan^{-1}(\sqrt{3}) = 60^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

O halde $Z = 20 \angle 60^\circ$ (Ω)'dur.

Devre kaynağının büyüklüğü:

$$|V| = 5 \text{ ve } \theta_v = \frac{\pi}{4} \text{ (rad)} = 45^\circ \text{ dir.}$$

Buradan $V = 5 \angle 45^\circ$ (Volt) olarak yazılır.

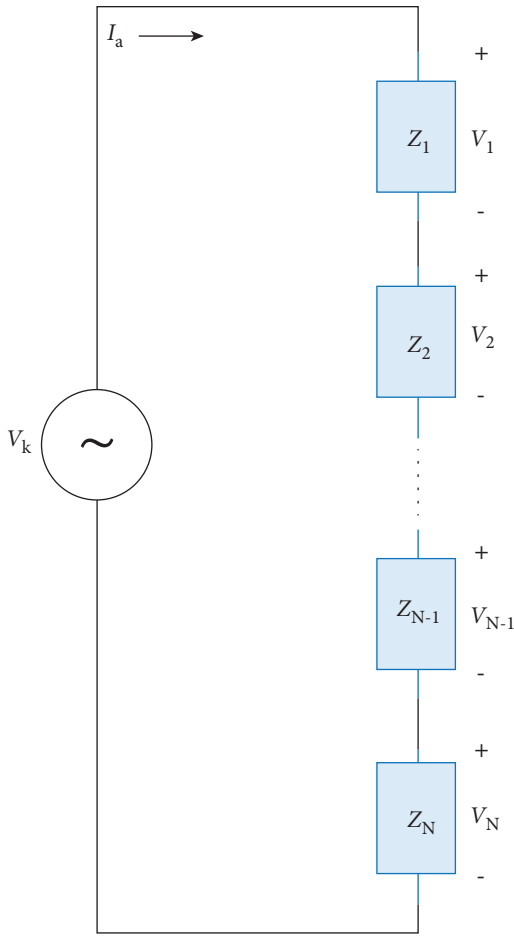
Eşitlik (7.22)'yi kullanarak akımın ifadesi:

$$V = ZI \Rightarrow I = \frac{V}{Z} = \frac{5 \angle 45^\circ}{20 \angle 60^\circ} = \left(\frac{5}{20} \angle (45^\circ - 60^\circ)\right) = 0,25 \angle (-15^\circ) \text{ (A) olarak bulunur.}$$

Buradan $I(t) = 0,25\sin(100\pi t - 15^\circ)$ (A) olarak elde edilir.

Seri Empedans

Seri bir DA devresinde, tüm elemanların üzerinden geçen akım değeri birbirine eşittir. Aynı kural AA devrelerinde de geçerlidir. Fakat AA devrelerinde bobin ve kondansatörden dolayı direnç yerine empedans kavramından söz edilir. Birbirine seri olarak bağlanmış empedanslardan oluşan bir AA devresinde (Şekil 7.21) devrenin eşdeğer empedansı devre üzerine düşen toplam gerilimin devre üzerinden geçen akıma bölünmesiyle bulunur. Dolayısıyla, devrenin eşdeğer empedansı seri bağlı tüm empedansların toplamına eşit olacaktır.



Şekil 7.21 Seri bağlı empedans devresi

Şekil 7.21'de ana kol akımı I_a ve kaynak gerilimi V_k olmak üzere N adet empedansın seri bağlanmasından oluşan AA devresi verilmiştir. Empedansların seri bağlandığı AA devresinde tüm empedanslar üzerinden aynı akım geçtiğine göre gerilimler

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_1 I_a \\ V_2 &= Z_2 I_a \\ &\vdots \\ V_N &= Z_N I_a \end{aligned} \quad (7.23)$$

eşitlikleriyle elde edilirler.



dikkat

Akım, gerilim ve empedans değerleri vektörel büyüklük olduğundan V, I, Z gibi koyu harflerle gösterilmiştir.

Kaynak gerilimi, devredeki elemanların üzerine düşen gerilimin toplamıdır:

$$V_k = V_1 + V_2 + \dots + V_N \quad (7.24)$$

Eşitlik (7.23)'daki gerilim değerlerini Eşitlik (7.24)'de yerlerine yazarsak Eşitlik (7.25)'i elde ederiz.

$$V_k = Z_1 I_a + Z_2 I_a + \dots + Z_N I_a \quad (7.25)$$

Burada akımlar eşit olduğundan ortak paranteze alınırsa:

$$V_k = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_N) I_a \quad (7.26)$$

ve empedanslar yalnız bırakılırsa

$$\frac{V_k}{I_a} = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_N) \quad (7.27)$$

eşitliği elde edilir. Kaynak geriliminin ana kol akımına bölünmesiyle eşdeğer empedans elde edileceğinden seri bağlı devrede eşdeğer empedans Eşitlik (7.28) ile bulunur,

$$Z_{eş} = (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_N) (\Omega). \quad (7.28)$$

Örnek 7.11: $Z_1 = 10 \angle 30^\circ (\Omega)$, $Z_2 = 15 \angle 45^\circ (\Omega)$ ve $Z_3 = 20 \angle 60^\circ (\Omega)$ empedanslarının seri bağlanması ile elde edilen devrenin eşdeğer empedansını bulunuz.

Çözüm: Eşitlik (7.24) gereğince eşdeğer empedans:

$$Z_{eş} = (Z_1 + Z_2 + Z_3) (\Omega)$$

$$Z_{eş} = (10 \angle 30^\circ + 15 \angle 45^\circ + 20 \angle 60^\circ) (\Omega)$$

$$Z_{eş} = (10 \angle 30^\circ + 15 \angle 45^\circ + 20 \angle 60^\circ) (\Omega)$$

Buradan Denklem 7.12 ($R = |Z| \cos \theta$, $X = |Z| \sin \theta$) kullanılarak:

$$Z_{eş} = (10 \cos 30^\circ + j10 \sin 30^\circ + 15 \cos 45^\circ + j15 \sin 45^\circ + 20 \cos 60^\circ + j20 \sin 60^\circ) (\Omega)$$

Burada , $\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\cos 45^\circ = \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ve $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ ve olduğundan:

$$Z_{eş} = (10\frac{\sqrt{3}}{2} + j10\frac{1}{2} + 15\frac{1}{\sqrt{2}} + j15\frac{1}{\sqrt{2}} + 20\frac{1}{2} + j20\frac{\sqrt{3}}{2}) (\Omega)$$

$$Z_{eş} = ((10\frac{\sqrt{3}}{2} + 15\frac{1}{\sqrt{2}} + 20\frac{1}{2}) + j(10\frac{1}{2} + 15\frac{1}{\sqrt{2}} + 20\frac{\sqrt{3}}{2})) (\Omega)$$

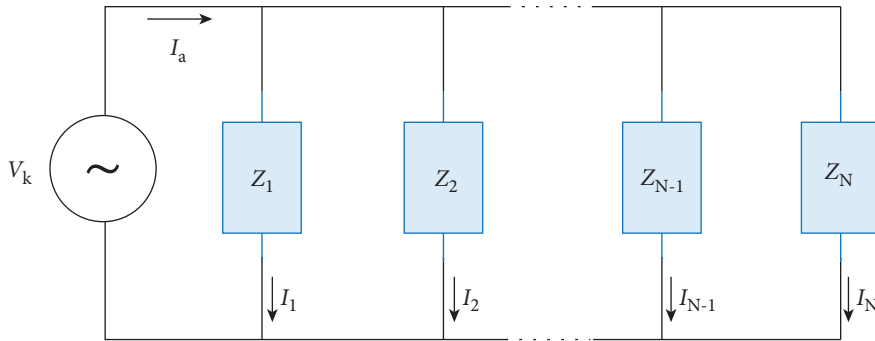
$$Z_{eş} = (29,27 + j(32,93)) (\Omega)$$

$$Z_{eş} = (44\angle 48,4^\circ) (\Omega)$$

olarak bulunur.

Paralel Empedans

Paralel bir DA devresinde tüm paralel kolların üzerine düşen potansiyel farklar birbirine eşittir. Aynı kural AA devrelerinde de geçerlidir. Fakat AA devrelerinde bobin ve kondansatörden dolayı direnç yerine empedans kavramından söz edilir. Birbirine paralel olarak bağlanmış empedanslardan oluşan bir AA devresinde (Şekil 7.22) devrenin eşdeğer empedansı devre üzerine düşen gerilimin, devrenin ana kol akımına bölünmesiyle bulunur.



Şekil 7.22 Paralel bağlı empedans devresi

Şekil 7.22'de ana kol akımı I_a ve kaynak gerilimi V_k olmak üzere N adet empedansın paralel bağlanmasından oluşan AA devresi verilmiştir. Empedansların paralel bağlandığı AA devresinde ana kol akımı tüm kol akımlarının toplamına eşittir.

$$I_a = (I_1 + I_2 + \dots + I_N) \quad (7.29)$$

Eşdeğer empedans, kaynak geriliminin ana kol akımına bölünmesiyle elde edilir,

$$\frac{V_k}{I_a} = Z_{eş} \Rightarrow I_a = \frac{V_k}{Z_{eş}} \quad (7.30)$$

Eşitlik (7.29)'te verilen ifade Eşitlik (7.30)'da yerine yazılırsa:

$$\frac{V_k}{Z_{eş}} = (I_1 + I_2 + \dots + I_N) \quad (7.31)$$

elde edilir. Paralel empedans devresinde her bir empedansın üzerine düşen gerilimler

$$V_1 = Z_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{V_1}{Z_1} = \frac{V_k}{Z_1} \quad (7.32)$$

$$V_2 = Z_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{V_2}{Z_2} = \frac{V_k}{Z_2}$$

⋮

$$V_N = Z_N I_N \Rightarrow I_N = \frac{V_N}{Z_N} = \frac{V_k}{Z_N}$$

aracılığıyla bulunur. Eşitlik (7.32)'den akımlar, Eşitlik (7.31)'de yerine yazılırsa

$$\frac{V_k}{Z_{eş}} = \left(\frac{V_k}{Z_1} + \frac{V_k}{Z_2} + \dots + \frac{V_k}{Z_N} \right) = V_k \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_N} \right) \quad (7.33)$$

eşitliği bulunur. Eşitliğin sağ ve sol tarafındaki lar sadeleştirilirse eşdeğer empedans ifadesi:

$$\frac{1}{Z_{eş}} = \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_N} \right) (\Omega) \quad (7.34)$$

eşitliği ile elde edilir.

Örnek 7.12: Büyüklüğü 10 (Ω) açısı 45° olan empedansa büyüklüğü 100 (Ω) ve açısı 45° olan bir empedans paralel olarak bağlanırsa eşdeğer empedans değeri ne olur?

Çözüm: $Z_1 = 10 \angle 45^\circ$ (Ω), $Z_2 = 100 \angle 45^\circ$ (Ω), dur. Eşitlik (7.30) gereği eşdeğer empedansı bulmak için:

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{10 \angle 45^\circ} = 0,1 \angle -45^\circ \text{ ve } \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{100 \angle 45^\circ} = 0,01 \angle -45^\circ \text{ değerleri hesaplanır.}$$

Sonrasında bulunanlar $\frac{1}{Z_{eş}} = \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) (\Omega)$ ifadesinde yerine konulur:

$$\frac{1}{Z_{eş}} = \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) (\Omega)$$

$$\frac{1}{Z_{eş}} = 0,1 \angle -45^\circ + 0,01 \angle -45^\circ (\Omega)$$

Açılar eşit olduğundan:

$$\frac{1}{Z_{eş}} = 0,101 \angle -45^\circ \Rightarrow Z_{eş} = \frac{1}{0,101 \angle -45^\circ} = 9,9 \angle 45^\circ (\Omega) \text{ olarak bulunur.}$$

Admitans

Alternatif akım kaynağına bağlı bir devre elemanının üzerinden geçen akımın üzerine düşen potansiyel farkına oranına **admitans** denir. Admitans frekans ve faza bağlıdır. Sembolü Y , birimi ise Mho ($\mathcal{U}$) ya da Siemens (S) ile ifade edilir. Empedans ve admitans arasındaki ilişki Eşitlik (7.35) ile bulunur. Empedans AA karşı gösterilen zorluğu ifade ederken admitans iletkenliği ifade etmektedir.

$$Y = \frac{1}{Z} \quad (7.35)$$

Admitans, akım ve gerilim arasındaki ilişki ve kutupsal gösterimi Eşitlik (7.36)'de verilmiştir.

$$Y = \frac{I}{V} = |Y| \angle \varphi^\circ \quad (7.36)$$



dikkat

Admitans vektörel bir büyüklüktür. Bu sebeple Y koyu harfle gösterilmiştir.

Örnek 7.13: Büyüklüğü 0,25 (Mho) açısı 45° olan admitansa büyüklüğü 0,5 (Mho) ve açısı 45° olan bir admitans paralel olarak bağlanırsa eşdeğer admitans değeri ne olur?

Çözüm: Eşitlik (7.35) gereği admitans ve empedans ters ilişkilidir. $Y_1 = 0,25 \angle 45^\circ (\mathcal{U})$, $Y_2 = 0,5 \angle 45^\circ (\mathcal{U})$ olur. Yine Eşitlik (7.35)'den dolayı seri empedanslar ile paralel admitanslar ve paralel empedanslar ile seri admitanslar aynı yöntemle hesaplanır. Buradan:

$$Y_{eş} = 0,25 \angle 45^\circ + 0,5 \angle 45^\circ (\mathcal{U})$$

$$Y_{eş} = 0,75 \angle 45^\circ (\mathcal{U}) \text{ olarak bulunur.}$$

Öğrenme Çıktısı

2 Seri ve paralel devre elemanlarının empedanslarını hesaplayabilme



Araştır 2

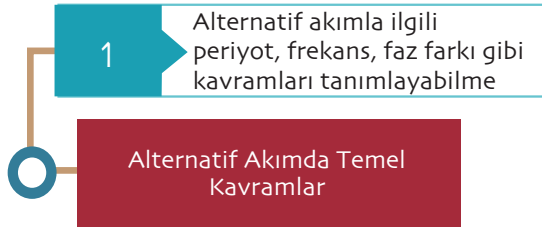
Seri bağlı empedans devresi ile paralel bağlı admitans devresi birbiriyle nasıl ilişkilidir?

İlişkilendir

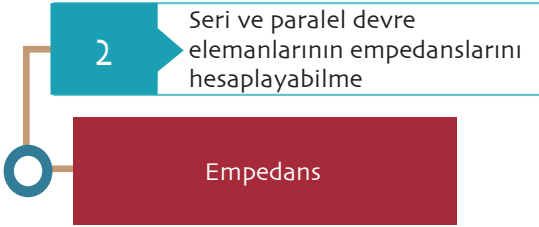
Empedans günlük hayatımızda hangi alanlarda karşımıza çıkmaktadır?

Anlat/Paylaş

Kapasitif reaktans, indüktif reaktans ve direnç arasındaki ilişkiyi anlatınız.



Alternatif akım, genelde alternatör adı verilen mekanik enerjiyi (termik, hidroelektrik vb.) elektrik enerjisine çeviren üreteçler aracılığıyla üretilmektedir. Devir, alternatör içerisinde bulunan döner mıknatısın 1 tam turu ile oluşur. 1 devir sonunda sinyal başladığı noktaya geri gelmiş olur. Alternatif akım dalga türleri çeşitlidir. Örnek olarak sinüs, kare, üçgen, testere dişi ya da karışık yapıda dalga şekilleri verilebilir. Periyot, alternatif akımın bir devrinin tamamlanması için geçen süredir. Alternatif akımın 1 saniye içerisindeki tekrar sayısına frekans denir. Açısal frekans ise alternatif akım dalgasının birim zamanda taradığı açının radyan cinsinden ifadesidir. Bir alternatif akım dalgası, 1 devirde 2 alternans içerir. Bunlardan biri pozitif diğeri ise negatif alternanstır. Bir alternatif akım dalgasının herhangi bir anındaki değerine anlık (ani) değer denir. Bir dalganın en büyük ani değerine tepe değeri, iki tepe değeri arasındaki farka ise tepeden tepeye değer denir. Etkin değer, alternatif akım dalgasının yaptığı işin doğru akım cinsinden karşılığını verir. Aynı dalga şekli ve frekansa sahip iki dalganın başlangıç noktaları arasında fark varsa buna faz farkı denir.



Empedans, doğru akım devrelerindeki direncin alternatif akım devrelerindeki eşdeğeridir. Gerçek direnç ve sanal direnç (reaktans) bileşenlerinden oluşur. Vektörel bir büyüklüktür. Sadece dirençten oluşan bir devrenin empedansı direnç değerine eşit ve açısı 0° 'dir. Sadece bobinden oluşan bir devrenin empedansına endüktif reaktans denir ve açısı 90° 'dir. Endüktif reaktans değeri bobinin değeri ile doğru orantılıdır. Sadece kondansatörden oluşan bir devrenin empedansına kapasitif reaktans değerine eşit ve açısı -90° 'dir. Kapasitif reaktans değeri kondansatörün değeri ile ters orantılıdır. Admitans, bir devre elemanının üzerinden geçen akımın üzerine düşen gerilimin oranıdır. Empedans alternatif akıma karşı gösterilen zorluk iken admitans ise iletkenliği ifade eder. Empedans ve admitans değerleri, akım ve gerilim arasındaki faz ve büyüklük farkını hesaplamaya yardımcı olur.

1 $V(t) = 100\sin(250t+45)$ V ifadesinin tepe değeri, frekansı ve faz açısı aşağıdakilerden hangisinde sırasıyla ve doğru olarak verilmiştir?

- A. $V_T = 10$ V, $f = 100$ Hz, $\theta = 45^\circ$
- B. $V_T = 100$ V, $f = 10$ Hz, $\theta = 135^\circ$
- C. $V_T = 50$ V, $f = 50$ Hz, $\theta = 45^\circ$
- D. $V_T = 100$ V, $f = 50$ Hz, $\theta = 45^\circ$
- E. $V_T = 100$ V, $f = 100$ Hz, $\theta = -45^\circ$

2 Açısal frekansı 500π (rad/s) olan bir alternatif akım dalgasının periyodu kaç saniyedir?

- A. 4 (ms) B. 40 (ms)
- C. 4 (s) D. 40 (s)
- E. 400 (s)

3 Sıfır ortalı bir sinüs dalgasının tepe gerilimi $V_T = 1000$ V ise bu dalganın ortalama değeri kaç V olur?

- A. $V_{ort} = 707$ B. $V_{ort} = 2000$
- C. $V_{ort} = 577$ D. $V_{ort} = 1000$
- E. $V_{ort} = 636$

4 Frekansları 100 Hz olan iki alternatif akım dalgası ile ilgili, ilk dalganın başlangıç noktası orijinde iken ikinci dalganın başlangıç noktası orijinden 1 (ms) geride ise bu iki dalga arasındaki faz farkı kaç derece olur?

- A. 9°
- B. 18°
- C. 36°
- D. 72°
- E. 144°

5 $I(t) = 10\sin(200\pi t)$ (mA) ile verilen alternatif akım kaynağının etkin değeri aşağıdakilerden hangisidir?

- A. $I_E = 1$ (mA)
- B. $I_E = 10$ (mA)
- C. $I_E = 7,07$ (mA)
- D. $I_E = 70,7$ (mA)
- E. $I_E = 707$ (mA)

6 Empedans ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

- A. Empedans alternatif akıma karşı gösterilen zorluktur.
- B. Bobin devresinde empedans sadece gerçek direnç değerinden oluşur.
- C. Kondansatör devresinde empedansın açısı $+90^\circ$ 'dir.
- D. Empedans vektörel olarak sadece büyüklükten oluşur.
- E. Empedans ile bir alternatif akım devresinin faz farkı bulunamaz.

7 Empedans değeri $Z = 6+j8$ (Ω) olan bir elemanın açısı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $36,87^\circ$ B. $53,13^\circ$ C. $65,27^\circ$
- D. $24,73^\circ$ E. 45°

8 Bir alternatif akım devresinde kaynak gerilimi $V(t) = 5\sin(50\pi t)$ V ve eşdeğer empedans $Z = 5 \angle -60^\circ$ (Ω) ise devreden geçen ana kol akımının ifadesi aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $5 \angle 60^\circ$ (A) B. $1 \angle -60^\circ$ (A)
- C. $5 \angle 60^\circ$ (A) D. $1 \angle 60^\circ$ (A)
- E. $50 \angle -60^\circ$ (A)

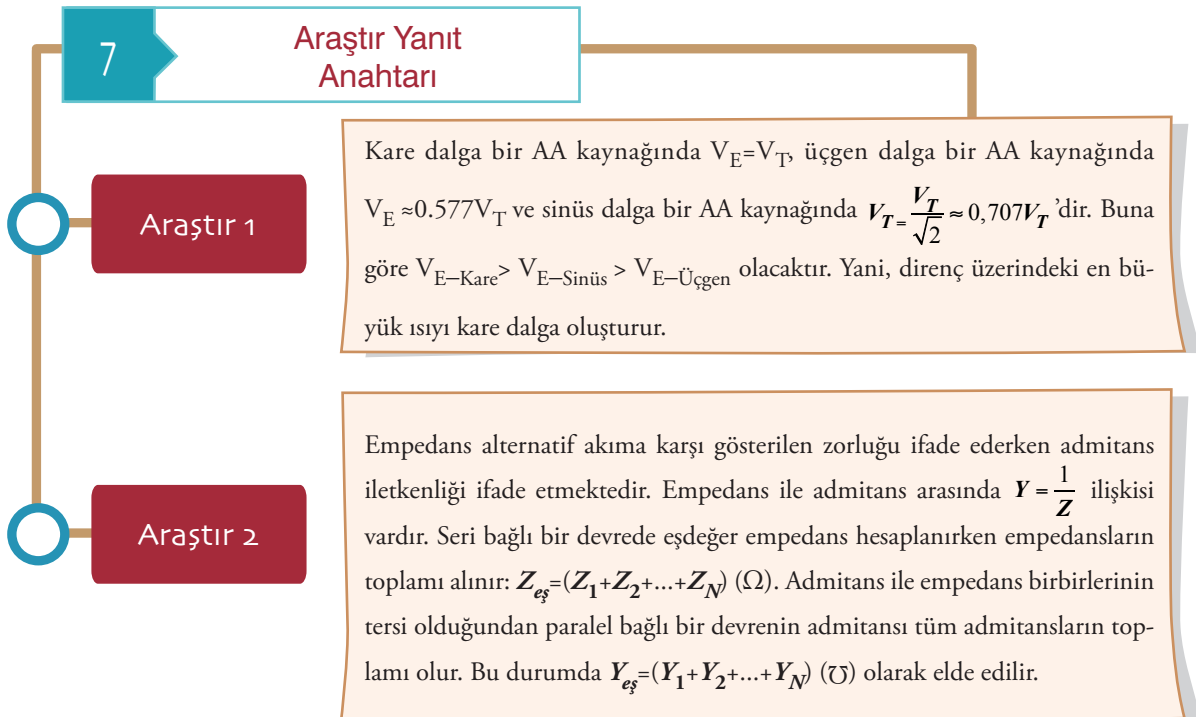
9 Direnci (gerçek) 30 (Ohm) ve reaktansı (sasal) 40 (Ohm) olan bir empedansın büyüklük ve açısı aşağıdakilerden hangisinde sırasıyla ve doğru olarak verilmiştir?

- A. $10 \angle 36,87^\circ$ (Ω) B. $50 \angle 36,87^\circ$ (Ω)
- C. $70 \angle 36,87^\circ$ (Ω) D. $10 \angle 53,13^\circ$ (Ω)
- E. $50 \angle 53,13^\circ$ (Ω)

10 Değeri $L=5 \times 10^{-3}$ H olan bir bobine, alternatif akım kaynağından açısal frekansı 1000 (rad/s) olan bir sinyal uygulanıyorsa devrenin indüktif reaktansı kaç ($\wedge$) olur?

- A. $j3$ (Ω) B. $j5$ (Ω) C. $j7$ (Ω)
- D. $j9$ (Ω) E. $j11$ (Ω)

1. D	Yanıtınız yanlış ise “Alternatif Akımda Temel Kavramlar” konusunu yeniden gözden geçirin.	6. A	Yanıtınız yanlış ise “Empedans” konusunu yeniden gözden geçirin.
2. A	Yanıtınız yanlış ise “Açısal Frekans” konusunu yeniden gözden geçirin.	7. B	Yanıtınız yanlış ise “Empedans” konusunu yeniden gözden geçirin.
3. E	Yanıtınız yanlış ise “Ortalama Değer” konusunu yeniden gözden geçirin.	8. D	Yanıtınız yanlış ise “Empedans – Akım – Gerilim İlişkisi” konusunu yeniden gözden geçirin.
4. C	Yanıtınız yanlış ise “Faz” konusunu yeniden gözden geçirin.	9. E	Yanıtınız yanlış ise “Empedans” konusunu yeniden gözden geçirin.
5. C	Yanıtınız yanlış ise “Etkin Değer” konusunu yeniden gözden geçirin.	10. B	Yanıtınız yanlış ise “Bobin Empedansı” konusunu yeniden gözden geçirin.



Kaynakça

- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, MESEP (2007). *Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Devre Analizi 1*, Ankara.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, MESEP (2011). *Elektrik-Elektronik Teknolojisi Alternatif Akım Esasları* 522EE0014, Ankara.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, MESEP (2011). *Bilişim Teknolojileri Doğru Akım ve Alternatif Akım Devreleri* 522EE0243, Ankara.
- William, H. H., Jack, E. K. ve Steven, N. D. (2007). *Engineering Circuit Analysis* (8th Ed.). New York: McGraw Hill.
- Richard, C. D. ve James, A. S. (2010). *Introduction to Electric Circuits* (8th. Ed.). John Wiley & Sons.
- Ergin, S. (2012). Alternatif Akım. E. Kıyak (Ed.) içinde *Devre Analizi* (s. 148-170). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları.
- Fidan, M. (2018). Alternatif Akım. A. Aybar (Ed.) içinde *Devre Analizi* (s. 158-184). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi.



Bölüm 8

Alternatif Akım Devrelerinin Analizi ve Güç

öğrenme çıktıları

1 Alternatif Akım Devrelerinin Analizi

- 1 Alternatif akım devrelerinin analizini yapabilme

2 Alternatif Akım Devrelerinde Güç

- 2 Anlık güç, ortalama güç, görünür güç ve güç katsayısı kavramlarını kullanabilme

Anahtar Sözcükler: • Alternatif Akım • Alternatif Akımda Devre Analizi • Anlık Güç • Ortalama Güç • Reaktif Güç • Güç Katsayısı



GİRİŞ

Yönü ve büyüklüğü zamana bağlı olarak değişen akım türüne alternatif akım denmektedir. Alternatif akım içerisinde frekans bileşeni mevcuttur. Bobin ve kondansatör gibi elemanlar özelliklerinden dolayı üzerine düşen potansiyel farkın ya da üzerlerinden geçen akımın frekansından ve frekans değişiminden etkilenir ve buna tepki gösterirler. Böylece devrede bir faz farkı meydana gelir. Alternatif akım devreleri frekans bileşeninden dolayı doğru akım devreleri gibi zaman alanında incelenemez. Alternatif akım devreleri frekans alanında analiz edilmektedirler. Bununla beraber, doğru akım devrelerinin analizinde kullanılan yöntemler alternatif akım analizinde de kullanılır. Bu yöntemlere örnek olarak Kirchhoff yasaları, düğüm noktası analizi ve Thevenin yöntemi verilebilir. Bahsedilen yöntemlerin kullanılması için, verilen büyüklüklerin vektörel olarak ifade edilmesi gerekir. Bu bölümde doğru akım devrelerinin analizinde kullanılan yöntemler alternatif akım devrelerine uygulanacaktır. Uygulama daha çok temel örnekler üzerinde durarak anlaşılmayı artıracak şekilde oluşturulmuştur.

Herhangi bir devre elemanının harcadığı (ya da ürettiği) anlık güç o elemanın üzerine düşen potansiyel fark ile o elemanın üzerinden geçen akımın çarpılmasıyla elde edilir. Anlık gücün ortalamasına ise ortalama güç adı verilir. Doğru akım devrelerinde anlık güç ve ortalama güç kavramları birbirine eşittir. Fakat alternatif akımın zamana bağlı yapısından dolayı böyle bir eşitlikten söz edilemez. Çünkü akım ve gerilim gibi güç kavramları da zamana bağlı bir yapıdadır. Ayrıca bir önceki bölümde bobin ve kondansatörden dolayı görülen reaktans kavramının benzeri güçte de reaktif güç olarak karşımıza çıkmaktadır. Reaktif güç devrenin reaktansından dolayı meydana gelen güçtür. Güç katsayısı, görünür güç ile ortalama güç arasındaki ilişkiyi vermektedir. Güç katsayısının 1'e yakın olması istenilen bir özelliktir. Böylece reaktif güç ve kayıplar en aza indirilir.

ALTERNATİF AKIM DEVRELERİNİN ANALİZİ

Alternatif akım devreleri doğru akım devrelerinden farklı özellikler sergilemektedir. Bu sebeple alternatif akım devreleri frekans alanında analiz edilmektedir. Bu bölümde doğru akım devrelerinin analizinde kullanılan yöntemlerin alternatif akım devrelerine uygulanması ele alınacaktır.

Fazör Gösterimi

Bir alternatif akım (AA) kaynağı (gerilim ya da akım) aşağıdaki eşitlikler aracılığıyla ifade edilmektedir.

$$V(t) = V_T \times \sin(\omega t + \theta_V) \quad (8.1)$$

$$I(t) = I_T \times \sin(\omega t + \theta_I)$$

Bu eşitlikte $V(t)$ ve $I(t)$ AA gerilim ve akım kaynağının zamana bağlı fonksiyonudur. V_T , I_T tepe değerleri, ω açısal frekans, t zaman değişkeni ve son olarak θ_V ve θ_I ise AA gerilim ve akım bileşeninin faz açılarıdır. Eşitlik (8.1)'de açık olarak verilen AA gerilim ve akım kaynaklarının frekansları eşit ve dalga tipleri (sinüs) aynı olduğundan faz farkları incelenebilir. O hâlde bir devrede frekans aynıyken Eşitlik (8.1) ile verilen fonksiyonlar Eşitlik (8.2) ile ifade edilebilir.

$$V = V_T \angle \theta_V^\circ \quad (8.2)$$

$$I = I_T \angle \theta_I^\circ$$

Bir önceki bölümde empedans başlığı altında 'vektörel büyüklük' olarak görülen ve Eşitlik (8.2)'de verilen V ve I değişkenlerine **fazör** adı verilir. Fazör, bir AA gerilim ya da akımının tepe değeri ve faz açısıyla temsil edilmesidir. Bu temsile **fazör gösterimi** denir. Fazör, frekans alanında tanımlıdır. Devre elemanları üzerindeki frekans eşit olduğundan frekans gösterilmez ve bunun yerine fazör gösterimi tercih edilir. Böylece gösterim ve hesaplamalar basitleştirilmiş olur. Zaman alanında verilmiş bir AA akım ya da gerilim ifadesi, frekans alanına fazör gösterimi aracılığıyla dönüştürülmüş olur.

Örnek 8.1: Aşağıda zaman alanında verilen AA gerilim ve akım ifadelerini frekans alanına dönüştürünüz.

$$a. V_1(t) = 10 \sin(20\pi t + 45^\circ) \text{ (V)}$$

$$b. I_1(t) = 0.1 \sin(5t - 30^\circ) \text{ (A)}$$

$$c. V_2(t) = 8 \sin(100t + 60^\circ) \text{ (V)}$$

$$d. I_2(t) = 2 \sin(\pi t) \text{ (mA)}$$

Çözüm: Verilen ifadelerin tepe değerlerini ve faz açılarını kullanarak fazör gösterimi aşağıdaki gibi elde edilir:

- a. $V_1 = 10 \angle 45^\circ$ (V)
- b. $I_1 = 0.1 \angle -30^\circ$ (A)
- c. $V_2 = 8 \angle 60^\circ$ (V)
- d. $I_2 = 2 \angle 0^\circ$ (mA)

Örnek 8.2: Aşağıda verilen fazörleri zaman alanına dönüştürünüz.

- a. $V = 4 \angle 53^\circ$ (V)
- b. $I = 3 \angle -37^\circ$ (A)

Çözüm: Fazör olarak verilen bir gerilim ya da akımın zaman alanına çevrilebilmesi için frekansının bilinmesi gerekir. Burada açılal frekanslar ω_1 ve ω_2 olarak alınırsa zaman alanı fonksiyonları

- a. $V(t) = 4 \sin(\omega_1 t + 53^\circ)$ (V)
- b. $I(t) = 3 \sin(\omega_2 t - 37^\circ)$ (A) şeklinde elde edilir.



dikkat

Fazör ile vektör kavramları eşdeğerdir. Fakat fazörde açı ifadesi zamana bağlıdır. Bölüm boyunca bir AA akım ya da gerilimi koyu harflerle yazılırsa bu fazör anlamına gelecektir.

Direnç, Bobin ve Kondansatörün Frekans Alanı Dönüşümü

Bir AA devresinde fazörler aracılığıyla hesap yapabilmek için zaman ekseninde verilen direnç, bobin ve kondansatör gibi devre elemanlarının empedans karşılıkları hesaplanır.

- Bir direncin empedansı: $Z = R$ (Ω) olarak verilir. Burada R gerçek direnç değeridir.

Örnek 8.3: Aşağıda verilen direnç, bobin ve kondansatör değerleri için empedans hesaplayınız.

- a. $R = 100$ (Ω)
- b. $C = 10$ (mF), $\omega = 100 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$
- c. $L = 10$ (mH), $\omega = 50 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$

Çözüm:

- a. $Z = R$ (Ω) $\Rightarrow Z = 100$ (Ω) = $100 \angle 0^\circ$ (Ω)
- b. $Z = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C}$ (Ω) $\Rightarrow Z = -j \frac{1}{100 \times 10 \times 10^{-3}} = -j = 1 \angle -90^\circ$ (Ω)
- c. $Z = j\omega L$ (Ω) $\Rightarrow Z = j \times 50 \times 10 \times 10^{-3} = j0.5 = 0.5 \angle 90^\circ$ (Ω)

- Bir bobinin empedansı: $Z = j\omega L$ (Ω) olarak verilir. Buradaki empedans indüktif reaktanstan oluşmaktadır.

- Bir kondansatörün empedansı: $Z = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C}$ (Ω) olarak verilir. Burada

ki empedans kapasitif reaktanstan oluşmaktadır.

Empedans ile gerilim ve akım fazörleri arasındaki ilişki Eşitlik (8.3) ile verilir. Eğer empedans sadece dirençten oluşuyorsa Eşitlik (8.4), sadece bobinden oluşuyorsa Eşitlik (8.5) ve sadece kondansatörden oluşuyorsa Eşitlik (8.6) geçerlidir.

$$V = ZI \text{ (V)} \quad (8.3)$$

$$V = RI \text{ (V)} \quad (8.4)$$

$$V = j\omega LI \text{ (V)} \quad (8.5)$$

$$V = \frac{1}{j\omega C} I = -j \frac{1}{\omega C} I \text{ (V)} \quad (8.6)$$



dikkat

Direnç, endüktans ve kapasitenin katları aşağıdaki gibidir.

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ K}\Omega = 10^6 \Omega = 10^9 \text{ m}\Omega,$$

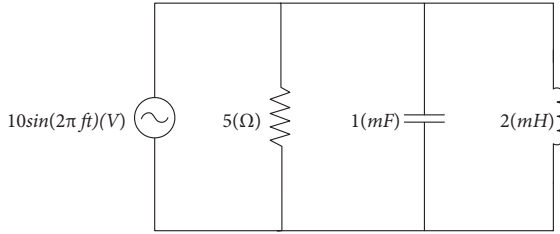
$$1 \text{ F} = 10^3 \text{ mF} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{ nF},$$

$$1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H} = 10^9 \text{ nH}.$$

Alternatif Akım Devresinin Frekans Alanı Dönüşümü

Zaman alanında verilen bir AA devresinin analizini yapabilmek için o devre bileşenlerinin frekans alanına dönüştürülmesi gerekmektedir. Devre kaynakları (frekanslar eşit olmak üzere) AA gerilim ya da AA akımıysa fazör ile direnç, bobin ya da kondansatör ise empedans ile dönüştürülür. Fazör dönüşümleri her bir kaynak için Eşitlik (8.1) ve (8.2) ile yapılırken direnç, bobin ve kondansatör elemanları her biri için yukarıda verildiği gibi dönüştürülür.

Örnek 8.4: Şekil 8.1’de verilen AA devresini frekans alanına dönüştürünüz. $f = \frac{1000}{2\pi}$ Hz alınız.



Şekil 8.1 Bir AA gerilim kaynağına sahip devre

Çözüm: Devrede verilen AA gerilim kaynağı $V(t) = 10\sin(2\pi ft)$ V’tur. $f = \frac{1000}{2\pi}$ Hz’dir. Kaynağın faz açısı 0° , tepe gerilimi ise 10 V’tur.

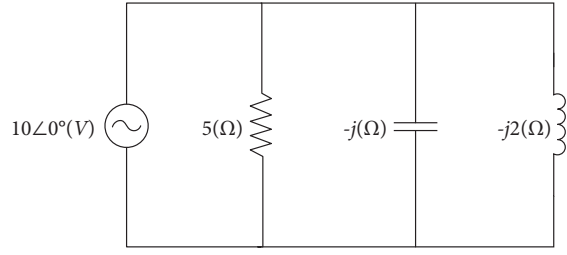
Bu değerleri fazör gösteriminde yerine koyarsak $V = 10\angle 0^\circ$ (V) olarak elde edilir.

Devredeki direncin değeri $R = 5$ (Ω) ’dur. O hâlde direncin empedans karşılığı $Z = R$ (Ω) $\Rightarrow Z = 5$ (Ω) olur.

Devredeki bobinin indüktansı 2 mH’dir. O hâlde bobinin empedansı $Z = j\omega L$ (Ω) $\Rightarrow Z = j \times \pi \times \frac{1000}{2\pi} \times 2 \times 10^{-3} = j2$ (Ω) olur.

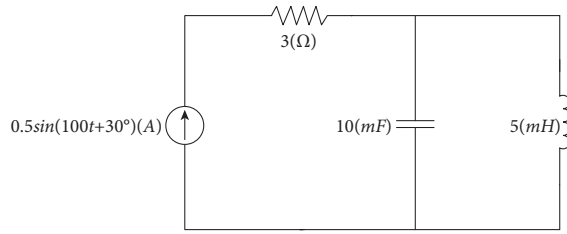
Devredeki kondansatörün kapasitesi 1 mF’tur. Em-pedansı ise $Z = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C}$ (Ω) $\Rightarrow Z = -j \frac{1}{2\pi \times \frac{1000}{2\pi} \times 10^{-3}} = -j$ (Ω) olarak elde edilir.

Bulunan değerlerden yararlanılarak devrenin frekans eşdeğeri Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.2 Frekans alanına dönüştürülmüş AA gerilim devresi

Örnek 8.5: Şekil 8.3’ te verilen AA devresini frekans alanına dönüştürünüz.



Şekil 8.3 Bir AA akım kaynağına sahip devre

Çözüm: Devrede verilen AA akım kaynağı $I(t) = 0,5\sin(100t + 30^\circ)$ A’dır. $\omega = 100$ (rad/s)’dir. Kaynağın faz açısı 30° , tepe akım değeri ise $0,5$ A’dır.

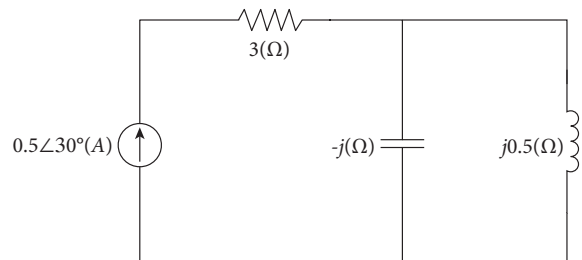
Bu değerleri fazör gösteriminde yerine koyarsak $I = 0,5\angle 30^\circ$ (A) olarak elde edilir.

Devredeki direncin değeri $R = 3$ (Ω) ’dur. O hâlde direncin empedans karşılığı $Z = R$ (Ω) $\Rightarrow Z = 3$ (Ω) olur.

Devredeki bobinin indüktansı 5 mH’dir. O hâlde bobinin empedansı $Z = j\omega L$ (Ω) $\Rightarrow Z = j \times 100 \times 5 \times 10^{-3} = j0,5$ (Ω) olur.

Devredeki kondansatörün kapasitesi 10 mF’tur. Em-pedansı ise $Z = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C}$ (Ω) $\Rightarrow Z = -j \frac{1}{100 \times 10 \times 10^{-3}} = -j$ (Ω) olarak elde edilir.

Bulunan değerlerden yararlanılarak devrenin frekans eşdeğeri Şekil 8.4’ te verilmiştir.



Şekil 8.4 Frekans alanına dönüştürülmüş AA akım devresi

Kirchhoff Yasalarının Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması

Doğru akım devrelerinin analizinde yararlanılan Kirchhoff yasaları, alternatif akım devrelerinin analizinde de kullanılmaktadır. Kirchhoff'un gerilim ve akım olmak üzere iki adet yasası mevcuttur. Kirchhoff gerilim yasası (KGY) kapalı bir devre (yol) üzerindeki gerilimlerin toplamının sıfır olduğunu söylerken Kirchhoff akım yasası (KAY) bir düğüm noktasına giren ve bu düğüm noktasından çıkan akımların toplamının sıfır olduğunu söyler. Diğer bir deyişle, kapalı bir devrede kaynaklardan sağlanan gerilim ile devre elemanları tarafından harcanan gerilim birbirine eşittir. Aynı şekilde, bir düğüm noktasına giren akımlar ile o düğüm noktasından çıkan akımlar birbirine eşittir.

Zaman alanında kullanılan KGY ve KAY frekans alanında fazörler ile de kullanılmaktadır. KGY'nin fazörler ile gösterimi Eşitlik (8.7)'de verilirken KAY'nin fazörler ile gösterimi ise Eşitlik (8.8)'de verilmiştir.

$$V_1 + V_2 + \dots + V_{N-1} + V_N = 0 \quad (8.7)$$

$$I_1 + I_2 + \dots + I_{N-1} + I_N = 0 \quad (8.8)$$

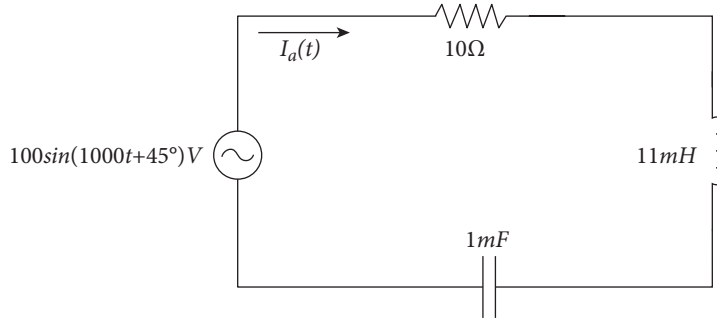
Burada dikkat edilmesi gereken nokta gerilimlerinin ve akımlarının fazör büyüklük olmalarıdır.



dikkat

AA devre analizinde KGY ve KAY yazılırken DA devrelerindeki referanslar aynı kabul edilmiştir. Böylece Eşitlik (8.7) ve (8.8), $V_{K1} + V_{K2} + \dots + V_{KN} = V_1 + V_2 + \dots + V_N$ ve $I_{g1} + I_{g2} + \dots + I_{gN} = I_{f1} + I_{f2} + \dots + I_{fN}$ olarak yazılabilir. Burada V_K kaynak gerilimlerini, V_N devre elemanı gerilimlerini (R, L, C), I_g giren akımları I_f ise çıkan akımları göstermektedir.

Örnek 8.6: Şekil 8.5'te verilen RLC devresinde $I_1(t)$ akımını hesaplayınız.



Şekil 8.5 Seri RLC devresi

Çözüm: Devrede verilen AA gerilim kaynağı $V_K(t) = 100\sin(1000t + 45^\circ)$ V'tur. $\omega = 1000$ (rad/s)'dir. Kaynağın faz açısı 45° , tepe gerilimi ise 100 V'tur.

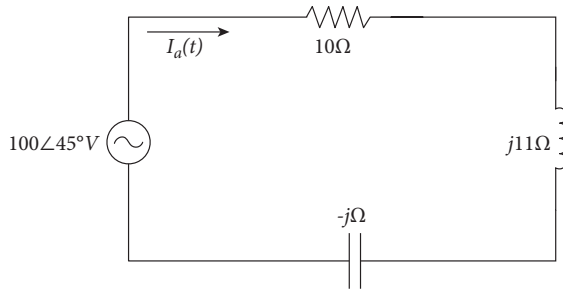
Bu değerleri fazör gösteriminde yerine koyarsak $V = 100\angle 45^\circ$ (V) olarak elde edilir.

Devredeki direncin değeri $R = 10$ (Ω)'dur. $Z_1 = R$ (Ω) $\Rightarrow Z_1 = 10$ (Ω) olur.

Devredeki bobinin indüktansı 11 mH'dir. $Z_2 = j\omega L$ (Ω) $\Rightarrow Z_2 = j \times 1000 \times 11 \times 10^{-3} = j11$ (Ω) olur.

Devredeki kondansatörün kapasitesi 1 mF'tir. $Z_3 = -j\frac{1}{\omega C}$ (Ω) $\Rightarrow Z_3 = -j\frac{1}{1000 \times 1 \times 10^{-3}} = -j$ (Ω) olarak elde edilir.

Devrenin frekans eşdeğeri Şekil 8.6'da verilmiştir.



Şekil 8.6 Seri RLC devresinin frekans alanı eşdeğeri (fazör ve empedans)

Şekil 8.6' da verilen devreye KGY uygulanırsa:

$$V_K = V_1 + V_2 + V_3 \text{ elde edilir.}$$

Burada V_K kaynak gerilimi, V_1 direncin, V_2 bobinin ve V_3 kondansatörün gerilimidir.

Gerilim değerlerini yerine yazarsak:

$V_K = Z_1 I_a + Z_2 I_a + Z_3 I_a$ olur. Burada I_a anakol akımıdır.

Seri devrede akımlar eşit olduğundan:

$$V_K = (Z_1 + Z_2 + Z_3) I_a \text{ elde edilir.}$$

Hesaplanan empedans değerleri ve kaynak gerilimi yerine konulursa:

$$100\angle 45^\circ (V) = (10 (\Omega) + j11 (\Omega) + -j (\Omega)) I_a \text{ elde edilir.}$$

Gerçek kısımlar ve sanal kısımlar toplanırsa:

$$100\angle 45^\circ (V) = (10 + j(11-1)) I_a = (10 + j10) I_a \text{ olur.}$$

Buradan akım:

$$I_a = \frac{100\angle 45^\circ (V)}{10 + j10(\Omega)} = \frac{100\angle 45^\circ}{10 + j10} (A) \text{ elde edilir.}$$

Bölümdeki empedansın büyüklüğü ve açısı hesaplanırsa:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{10}{10} \right) = 45^\circ$$

ve bulunur.

Bulunan değerler yerine konularak:

$$I_a = \frac{100\angle 45^\circ}{10\sqrt{2}\angle 45^\circ} = 5\sqrt{2}\angle 0^\circ (A)$$

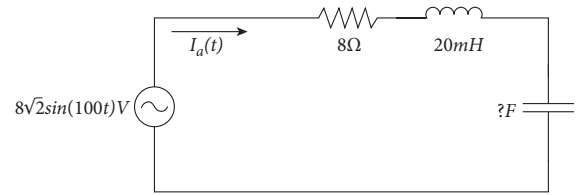
olarak bulunur.

Fazör gösterimi elde edilen akımın zaman alanındaki fonksiyonu:

$$I_a(t) = 5\sqrt{2} \sin(1000t) (A)$$

olarak elde edilir.

Örnek 8.7: Şekil 8.7'de verilen devreden geçen anakol akımının $I_a(t) = \sin(100t + 45^\circ)$ (A) olması için kondansatörün değeri kaç F olmalıdır?



Şekil 8.7 RLC devresi

Çözüm: Devrede verilen AA gerilim kaynağı

$$V_K(t) = 8\sqrt{2} \sin(100t) \text{ V'tur. } \omega = 100(\text{rad/s})' \text{dir.}$$

Kaynağın faz açısı 0° , tepe gerilimi ise $8\sqrt{2}$ V'tur.

Bu değerleri fazör gösteriminde yerine koyarsak $V = 8\sqrt{2} \angle 0^\circ$ (V) olarak elde edilir. Soruda anakol akımı $I_a(t) = \sin(100t + 45^\circ)$ (A) olarak verilmiştir. Akımın fazör gösterimi $I = 1 \angle 45^\circ$ (A)'dir.

KGY uyarınca kapalı bir devredeki elemanların üzerine düşen gerilimlerin toplamı 0 V'tur. Böylece, eşdeğer empedans, anakol akımı ve devre kaynağı arasında bir eşitlik yazılabilir. Devrenin kaynak gerilimi, devrenin anakol akımına bölünürse devrenin eşdeğer empedansı olan $Z_{eş}$ elde edilir.

Buradan olarak hesaplanır.

$$Z_{eş} = \frac{V_K}{I_a} = \frac{8\sqrt{2} \angle 0^\circ (V)}{1 \angle 45^\circ (A)} = 8\sqrt{2} \angle -45^\circ (\Omega)$$

Devredeki direncin değeri $R = 8 (\Omega)$ 'dur. $Z_1 = R (\Omega) \Rightarrow Z_1 = 8 (\Omega)$ olur.

Devredeki bobinin indüktansı 11 mH'dir. $Z_2 = j\omega L (\Omega) \Rightarrow Z_2 = j \times 100 \times 20 \times 10^{-3} = j2 (\Omega)$ olur.

Devredeki kondansatörün empedansı $Z_3 (\Omega)$ olsun. Devre elemanları seri bağlandığından dolayı eşdeğer $Z_{eş} = Z_1 + Z_2 + Z_3$ empedans ile hesaplanır.

$$Z_{eş} = 8\sqrt{2} \angle -45^\circ (\Omega) = 8 - j8 (\Omega)$$

$$Z_{eş} = 8 - j8 (\Omega) = 8 + j2 + Z_3$$

$$Z_3 = (8 - 8) - j(8 + 2) = -j10 (\Omega) \text{ olarak bulunur.}$$

Frekans alanında verilen empedans zaman alanına dönüştürülürse:

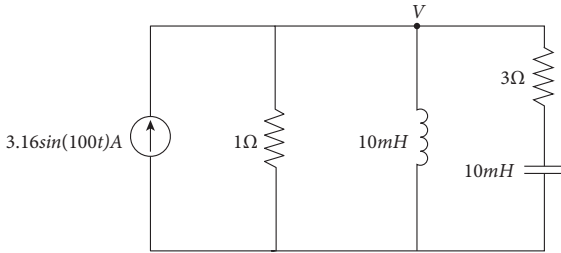
$$Z_3 = -j10 = -j \frac{1}{\omega C} (\Omega) = -j \frac{1}{100C} (\Omega) \Rightarrow C = 1 \times 10^{-3} F = 1mF$$

olarak elde edilir.

Düğüm Noktası Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması

Doğru akım devre devrelerinde analiz yapılırken kullanılan Ohm kanunu ve Kirchhoff kanunları alternatif akım devrelerinin analizinde de geçerlidir. Bu kurallar kullanılarak doğru akım devrelerinde verilen düğüm noktası analizi yöntemini alternatif akım devrelerine de uygulamak mümkündür. Bunun için gerilim değeri bulunmak istenen alternatif akım devresindeki düğüm noktaları isimlendirilir (V_1, V_2 gibi). Daha sonra KAY kullanılarak düğüm üzerindeki bilinmeyen gerilim değeri üzerinden denklemler oluşturulur. Bu denklemler bilinmeyen için çözülerek düğüm gerilimi elde edilir.

Örnek 8.8: Şekil 8.8'de verilen devre V düğümünün gerilim değerini bulunuz.



Şekil 8.8 Karışık RLC devresi

Çözüm: Devrede verilen AA akım kaynağı $I(t) = 3,16 \sin(100t)$ A'dır. $\omega = 100$ (rad/s)'dir.

Kaynağın faz açısı 0° , tepe akımı ise 3,16 A'dır.

Fazör gösterimi $I = 3,16 \angle 0^\circ$ (A) olur.

Dirençlerin empedansı $Z_1 = 1$ (Ω) ve $Z_3 = 3$ (Ω)

Bobinin empedansı $Z_2 = j \frac{100}{10} = j10$ (Ω)

Kondansatörün empedansı

$$Z_4 = -j \frac{1}{100 \times 10 \times 10^{-3}} = -j10 (\Omega)$$

şeklinde elde edilir.

V düğüm noktasında KAY yazılırsa:

$$\frac{V}{1} + \frac{V}{j} + \frac{V}{3-j} = 3,16 \angle 0^\circ. \text{ Burada son terimi}$$

$$\frac{(3+j)}{(3+j)} \text{ ifadesi ile çarparak:}$$

$$V - jV + \frac{V(3+j)}{3-j(3+j)} = 3,16 \angle 0^\circ$$

$$V - jV + \frac{V(3+j)}{9-j3+j3-j^2} = 3,16 \angle 0^\circ \text{ olur, } j^2 = -1$$

eşitliği kullanılarak:

$$V - jV + \frac{V(3+j)}{10} = 3,16 \angle 0^\circ \text{ elde edilir.}$$

$V - jV + 0,3V + j0,1V = 3,16 \angle 0^\circ$ olur. Ortak paranteze alıp V düğüm noktasını çekersek:

$$V(1 + 0,3) + j(0,1 - 1) = 3,16 \angle 0^\circ$$

$V(1,3 - j0,9) = 3,16 \angle 0^\circ$ ifadesine ulaşılır. Buradan düğüm noktasının değeri:

$$V = \frac{3,16 \angle 0^\circ}{1,3 - j0,9}$$

$$V = \frac{3,16 \angle 0^\circ}{1,58 \angle -34,7^\circ}$$

$V = 2 \angle 34,7^\circ$ (V) bulunur. Zaman alanındaki gösterimi ise:

$$V(t) = 2 \sin(100t + 34,7^\circ) \text{ (V) olarak elde edilir.}$$

Süperpozisyon Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması

Süperpozisyon iki ya da daha fazla bağımsız kaynak içeren bir devrede, herhangi bir devre elemanının üzerine düşen gerilimi ya da üzerinden geçen akımı her bir bağımsız kaynağın etkisini ayrı ayrı toplayarak bulan bir yöntemdir. AA devrelerinde bobin ve kondansatörlerin empedansı frekansa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, frekans değeri farklı bağımsız kaynakların etkisi farklı olacaktır. Süper-

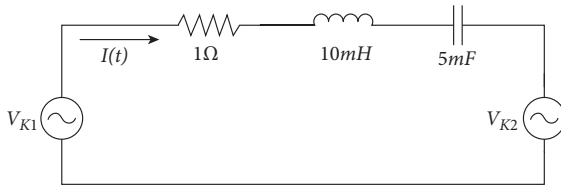
pozisyon yönteminde, her kaynak sırasıyla seçilir ve diğer kaynaklar etkisizleştirilir (akım kaynakları açık devre gerilim kaynakları kısa devre edilir). Sonra, seçilen kaynağın etkisi hesaplanır. Hesaplanan fazör değer, zaman alanına dönüştürülür. Tüm kaynaklar için bu işlem yapıldıktan sonra zaman düzlemindeki etkiler toplanarak sonuca ulaşılır.



dikkat

Eğer bir devredeki bağımsız kaynaklar aynı frekanslara sahipse süperpozisyon yöntemi kullanılabilir fakat bağımsız kaynaklar farklı frekanslara sahipse bu devrede süperpozisyon yöntemi kullanılmalıdır.

Örnek 8.9: Şekil 8.9'da verilen devrede akımın zamana bağlı ifadesini bulunuz. $V_{K1}(t) = 10\sin(100t)$ (V) ve $V_{K2}(t) = 5\sin(200t + 30^\circ)$ (V).



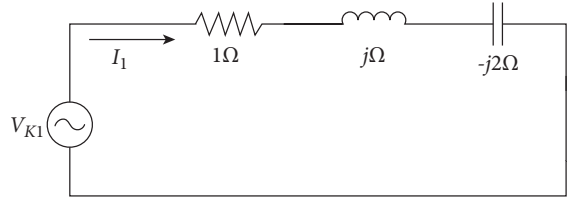
Şekil 8.9 İki bağımsız kaynaklı devre

Çözüm: Devrede verilen AA gerilim kaynaklarının açısal frekansları V_{K1} için $\omega = 100$ (rad/s) ve V_{K2} için $\omega_2 = 200$ (rad/s) dir. Kaynak sayısı iki ve frekansları birbirinden farklıdır. İlk adımda V_{K1} 'in etkisi, ikinci adımda ise V_{K2} 'nin etkisi bulunup son adımda bunların toplamı alınır.

Adım 1: V_{K2} etkisizleştirilir (kısa devre yapılır) ve V_{K1} için hesap yapılarak akım ifadesi $I_1(t)$ bulunur. Devre kaynağının fazör gösterimi $V_{K1} = 10\angle 0^\circ$ (V) olur. V_{K1} için direncin empedansı $Z_1 = 1 \Omega$, bobinin empedansı $Z_2 = j 100 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = j(\Omega)$ ve kondansatörün empedansı

$$Z_3 = -j \frac{1}{100 \times 5 \times 10^{-3}} = -j2(\Omega)$$

olur. Şekil 8.9'un V_{K1} için frekans alanı karşılığı Şekil 8.10' da verilmiştir.



Şekil 8.10 V_{K1} 'in etkisi

Devre elemanları seri bağlı olduklarından I_1 akımı kaynak geriliminin (V_{K1}) eşdeğer empedansa bölünmesiyle elde ($Z_{eş1}$) edilir.

Devrenin eşdeğer empedansı $I_1 = \frac{V_{K1}}{Z_{eş1}}$ ile verilir.

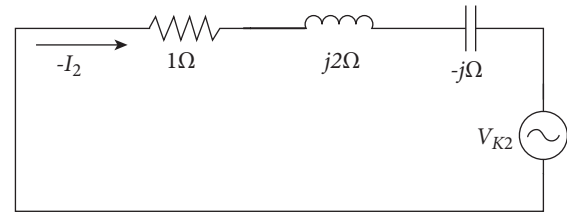
Burada $Z_{eş1} = Z_1 + Z_2 + Z_3$ ile bulunur.

$$I_1 = \frac{V_{K1}}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{10\angle 0^\circ}{1 + j - j2} = \frac{10\angle 0^\circ}{1 - j} = \frac{10\angle 0^\circ}{\sqrt{2}\angle -45^\circ} = 5\sqrt{2}\angle 45^\circ (A)$$

Elde edilen akım değerinin zaman alanı gösterimi ise: $I_1(t) = 5\sqrt{2} \sin(100t + 45^\circ)$ (A) olarak elde edilir.

Adım 2: V_{K1} etkisizleştirilir (kısa devre yapılır) ve V_{K2} için hesap yapılarak akım ifadesi $I_2(t)$ bulunur. Burada I_2 'nin yönü V_{K2} kaynağından dolayı terstir. Bu sebeple (-) yazılmıştır. Devre kaynağının fazör gösterimi $V_{K2} = 5\angle 30^\circ$ (V) olur. V_{K2} için direncin empedansı $Z_1 = 1 \Omega$, bobinin empedansı $Z_2 = j 200 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = j2(\Omega)$ ve kondansatörün empedansı $Z_3 = -j \frac{1}{200 \times 5 \times 10^{-3}} = -j(\Omega)$ olur.

Şekil 8.9'un V_{K2} için frekans alanı karşılığı Şekil 8.11'de verilmiştir.



Şekil 8.11 V_{K2} 'in etkisi

Devre elemanları seri bağlı olduklarından $-I_2$ akımı kaynak geriliminin (V_{K2}) eşdeğer empedansa bölünmesiyle elde ($Z_{eş2}$) edilir.

Devrenin eşdeğer empedansı ile $I_2 = -\frac{V_{K2}}{Z_{eş2}}$ verilir. Burada $Z_{eş2} = Z_1 + Z_2 + Z_3$ ile bulunur.

$$I_2 = -\frac{V_{K1}}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = -\frac{5\angle 30^\circ}{1 + j2 - j} = -\frac{5\angle 30^\circ}{1 + j} = -\frac{5\angle 30^\circ}{\sqrt{2}\angle 45^\circ} = -\frac{5\sqrt{2}}{2}\angle -15^\circ (A)$$

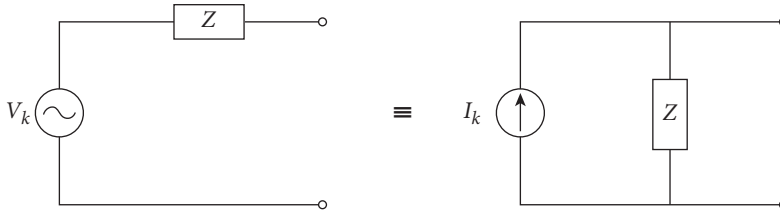
Elde edilen akım değerinin zaman alanı gösterimi ise: $I_2(t) = -\frac{5\sqrt{2}}{2}\sin(200t - 15^\circ)(A)$ olarak elde edilir.

Adım 3: 1. ve 2. adımda elde edilen zaman alanı akım değerleri toplanarak $I(t)$ ifadesine ulaşılır.

$$I(t) = I_1(t) + I_2(t) = 5\sqrt{2}\sin(100t + 45^\circ) - \frac{5\sqrt{2}}{2}\sin(200t - 15^\circ)(A)$$

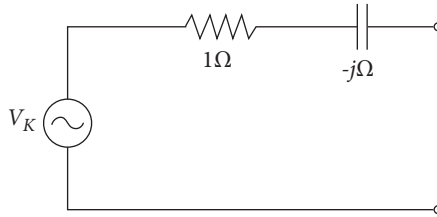
Kaynak Dönüşümü Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması

Alternatif akım devrelerinde analizi kolaylaştırmak için gerilim kaynağına seri bağlı bir empedansı, akım kaynağına bağlı paralel bir empedans hâline ya da akım kaynağına paralel bağlı bir empedansı gerilim kaynağına seri bağlı bir empedans hâline çevirebilmek mümkündür. Bu işleme kaynak dönüşümü denir. Kaynak dönüşümü yapılırken devre analizinin en temel teoremlerinden biri olan Ohm kanunundan yararlanılır. Gerilim ve akım kaynakları arasındaki kaynak dönüşümleri Şekil 8.12' de verilmiştir.



Şekil 8.12 AA devrelerinde kaynak dönüşümü denklilikleri

Örnek 8.10: Şekil 8.13'te verilen devrede kaynak dönüşümünü gerçekleştiriniz. $(V_K(t) = \sqrt{2}\sin(10t - 45^\circ)(V))$.



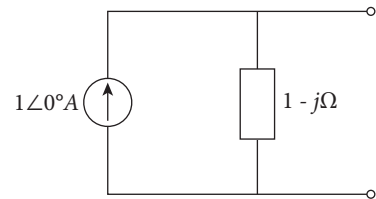
Şekil 8.13 Kaynak dönüşümü

Çözüm: Devrede verilen AA gerilim kaynağının fazör gösterimi $V_K = \sqrt{2}\angle -45^\circ (V)$ 'tur. Devrenin eşdeğer empedansı

$Z_{es} = Z_1 + Z_2 = 1 - j(\Omega) = \sqrt{2}\angle -45^\circ (\Omega)$ olarak bulunur. Devreden geçen akım: olur.

$$I_K = \frac{V_K}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{2}\angle -45^\circ}{\sqrt{2}\angle -45^\circ} = 1\angle 0^\circ \text{ Devrenin akım kaynağı eşde-}$$

ğeri ise Şekil 8.14'te verilmiştir.



Şekil 8.14 Kaynak dönüşümü

Thevenin Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması

Alternatif akım devrelerinde, kaynakların ve empedansların herhangi şekilde birleşimleriyle oluşan (karmaşık) devreleri, seçilen terminal uçlarına göre tek bir kaynak ve bu kaynağa seri bağlı bir empedans hâline dönüştürmek mümkündür. Bir devrenin Thevenin eşdeğeri bulunurken aşağıdaki adımlar izlenir:

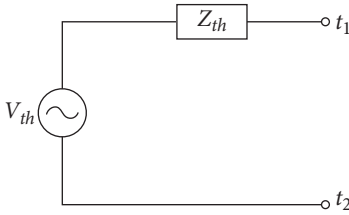
Adım 1: Thevenin eşdeğeri bulunacak uçlar arasında (terminal $t_1 - t_2$) devre elemanı varsa açık devre yapılır.

Adım 2: Eşdeğeri bulunacak açık uçlar (terminal) arasındaki bağımsız kaynaklar etkisizleştirilir.

Adım 3: Uçlar arasındaki eşdeğer empedans değeri hesaplanır (Z_{th}).

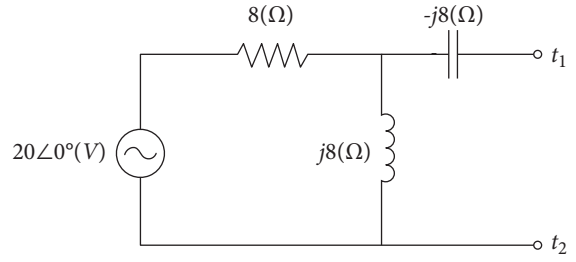
Adım 4: Uçlar arasındaki açık devre gerilimi hesaplanır (V_{th}).

Thevenin eşdeğer devresi Şekil 8.15'te verilmiştir.



Şekil 8.15 Thevenin eşdeğer devresi

Örnek 8.11: Şekil 8.16'da verilen devrenin Thevenin eşdeğerini bulunuz.



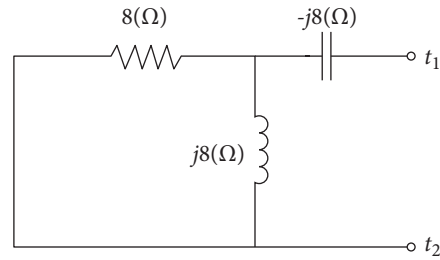
Şekil 8.16 Thevenin eşdeğeri bulunacak devre

Çözüm:

Adım 1: Eşdeğeri istenen uçlar arasında eleman yok ve açık devredir.

Adım 2: Devrede 1 adet bağımsız kaynak mevcuttur.

AA gerilim kaynağının etkisizleştirilmiş hâli Şekil 8.17'de verilmiştir.



Şekil 8.17 Thevenin eşdeğeri 2. adım

Adım 3: Şekil 8.17'de verilen devrenin uçlarından bakıldığında görülen eşdeğer empedans hesaplanır. Devrede bobin ile direnç paralel, kondansatör ise seridir. Eşdeğer empedans hesabı buna göre aşağıdaki gibi yapılır:

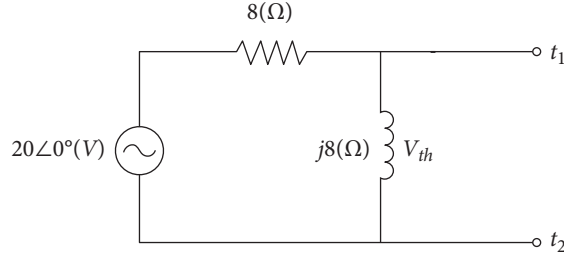
Önce direnç ve bobinden oluşan paralel kolun empedansı hesaplanır (Z_p).

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{Z_R} + \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{8} + \frac{1}{j8} = \frac{1}{8} - j\frac{1}{8} = \frac{1}{8}(1 - j) = \frac{\sqrt{2}}{8} \angle -45^\circ \Rightarrow Z_p = 4\sqrt{2} \angle 45^\circ (\Omega)$$

Thevenin direnci ise:

$$Z_{th} = Z_p + Z_c = 4\sqrt{2} \angle 45^\circ + (-j8) (\Omega) = 4 + j4 - j8 (\Omega) = 4 - j4 (\Omega) = 4\sqrt{2} \angle -45^\circ (\Omega) \text{ 'dur.}$$

Adım 4: Thevenin gerilimi hesaplanır. Şekil 8.16 incelendiğinde $t_1 - t_2$ uçları arası açık devre olduğundan kondansatör üzerinden akım akmadığı görülür. Bu sebeple üzerinde potansiyel fark oluşmaz. O hâlde uçlar arasındaki gerilim bobinin üzerinde oluşan potansiyel farka eşit olacaktır. Böylece Thevenin gerilimi Şekil 8.18'deki gibi hesaplanır.

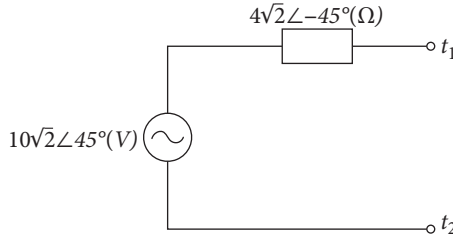


Şekil 8.18 Thevenin eşdeğeri 4. adım

Devrenin anakol akımı $I_a = \frac{V_K}{Z_{eş}} = \frac{20\angle 0^\circ}{8 + j8} = \frac{20\angle 0^\circ}{8\sqrt{2}\angle 45^\circ} = \frac{5\sqrt{2}}{4}\angle -45^\circ (A)$ bulunur. Bulunan akım değeri ile bobinin empedansı çarpılarak Thevenin gerilimi elde edilir:

$$V_{th} = I_a Z_L = \left(\frac{5\sqrt{2}}{4}\angle -45^\circ \right) (j8) = \left(\frac{5\sqrt{2}}{4}\angle -45^\circ \right) (8\angle 90^\circ) = 10\sqrt{2}\angle 45^\circ (V)$$

Elde edilenler Şekil 8.15'te yerine konularak eşdeğer Thevenin devresi Şekil 8.19'daki gibi elde edilir.



Şekil 8.19 Thevenin eşdeğer devresi

Öğrenme Çıktısı

1 Alternatif akım devrelerinin analizini yapabilme

Araştır 1

Seri bağlı bir RLC devresinde bobinin empedansı ile kondansatörün empedansı birbirine eşit olursa devrede neler gözlenir?

İlişkilendir

Fizikteki vektörler ile devre analizindeki fazörler birbiriyle nasıl ilişkilidir?

Anlat/Paylaş

Reaktans kavramını anlatınız. Endüktif reaktans ile kapasitif reaktansı karşılaştırınız. Frekansla olan değişimlerini paylaşınız.

ALTERNATİF AKIM DEVRELERİNDE GÜÇ

Alternatif akım devrelerinde bir elemanın üzerinden geçen akım ya da bir elemanın üzerine düşen potansiyel fark zamana bağlı olarak değişmektedir. Güç kavramı da akım ve gerilime bağlı olduğundan dolayı zamana bağlıdır. Alternatif akım devrelerinin frekans alanına dönüştürülmesi ile devrede bulunan herhangi bir elemanın sağladığı ya da harcadığı gücü hesaplamak mümkündür. AA gerilim ve akımlarının zamana bağlı değişimi, aralarında faz farkı oluşması ve bobin ile kondansatörün etkilerinden dolayı alternatif akım devrelerinde güç için birden fazla kavram (bileşen) mevcuttur. Bunlar anlık güç, ortalama güç, görünür güç, reaktif güç ve kompleks güçtür. Şekil 8.20'de bir kripto para madeninin dijital wattmetre ile harcadığı gücün ölçümü görülmektedir.



Şekil 8.20 Güç tüketimi ölçümü

Anlık Güç

Bir alternatif akım devresinin ya da devre içindeki herhangi bir elemanın harcadığı (ya da sağladığı) anlık gücün değeri o devre ya da elemanın üzerinden geçen akım ile o elemanın üzerine düşen potansiyel farkın zaman alanındaki çarpımları ile bulunur. Anlık gücün birimi Watt'tır ve W ile gösterilir. Bir AA devresinde gerilimin zaman alanındaki gösterimi ve akımın zaman alanındaki gösterimi olmak üzere anlık güç Eşitlik (8.7) ile bulunur.

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad (8.7)$$

Eşitlik (8.7)'de AA gerilim ve akım ifadeleri zamana bağlı olduğundan çarpım sonucunda oluşan güç ifadesi de $P(t)$ zamana bağlıdır. Güç hesaplanırken gerilim ve akımın zaman alanındaki ifadeleri Eşitlik (8.8)'de olduğu gibi $\cos()$ fonksiyonu ile verilir.

$$\begin{aligned} V(t) &= V_T \times \cos(\omega t + \theta_V) \\ I(t) &= I_T \times \cos(\omega t + \theta_I) \end{aligned} \quad (8.8)$$

Eşitlik (8.8)'de açık hâli verilen AA akım ve gerilimleri Eşitlik (8.7)'de yerine yazılırsa anlık gücün açık hâli elde edilir.

$$P(t) = V_T \times \cos(\omega t + \theta_V) \times I_T \times \cos(\omega t + \theta_I) \quad (8.9)$$

Eşitlik (8.9)'da bulunan $\cos()$ ifadelerinin çarpımını Eşitlik (8.10)'daki trigonometrik ifadeyi kullanarak Eşitlik (8.11)'deki gibi oluşturabiliriz.

$$\cos(\alpha) \times \cos(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \quad (8.10)$$

$$P(t) = \frac{V_T \times I_T}{2} [\cos(2\omega t + (\theta_V + \theta_I)) + \cos(\theta_V - \theta_I)] \quad (8.11)$$

Eşitlik (8.11)'deki anlık güç ifadesi AA gerilim ve akım değerlerinin çarpımının yarısı ile iki farklı $\cos()$ fonksiyonundan oluşmaktadır. İlk $\cos()$ ifadesi, akım veya gerilim frekansının 2 katı ile salınmakta iken diğer $\cos()$ ifadesi zamandan bağımsızdır. Anlık güç herhangi bir t anı için hesaplanabilir. Fakat Eşitlik (8.11)'den de görüleceği üzere anlık güç ifadesi zamana bağlı karmaşık bir fonksiyondur.

Örnek 8.12: Bir AA akım devresindeki elemanın üzerinden geçen akım $I(t) = \cos(100\pi t + 15^\circ)$ (A) ve elemanın üzerine düşen potansiyel fark $V(t) = 4\cos(100\pi t + 60^\circ)$ (V) ise bu eleman için anlık güç ifadesini ve $t = 0.1$ (s)'deki değerini bulunuz. Gerilim, akım ve anlık güç fonksiyonlarının zamana bağlı şekillerini çiziniz. Anlık gücün $t = 0.1$ (s)'deki değerini şekil üzerinden gösteriniz.

Çözüm: Örnekte verilen değerler Eşitlik (8.11)'de yerine konulursa:

$$P(t) = \frac{V_T \times I_T}{2} [\cos(2\omega t + (\theta_V + \theta_I)) + \cos(\theta_V - \theta_I)] \quad (W)$$

$$P(t) = \frac{4 \times 1}{2} [\cos(200\omega t + (60 + 15^\circ)) + \cos(60 - 15^\circ)] \quad (W)$$

Güç ifadesi $P(t) = 2[\cos(200\pi t + (75^\circ)) + \cos(45^\circ)]$ (W) olarak elde edilir.

$t = 0.1$ (s) için:

$$P(0.1) = 2[\cos(200\pi(0.1) + (75^\circ)) + \cos(45^\circ)] \quad (W)$$

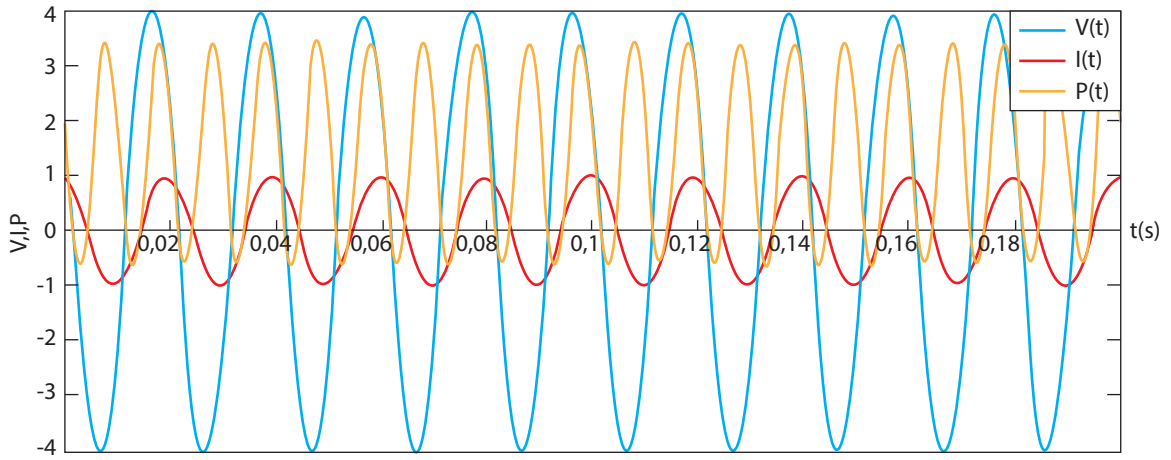
$$P(0.1) = 2[\cos(20\pi + 75^\circ) + \cos(45^\circ)] \quad (W)$$

$$P(0.1) = 2[0,2588 + 0,7071] \quad (W)$$

$$P(0.1) = 1,932 \quad (W)$$

olarak bulunur.

Elde edilen ifadeler Şekil 8.21'de verilmiştir. Şekilde $t = 0.1$ (s) için anlık gücün değerinin 1.932 (W) olduğu görülmektedir. Anlık güç grafiğinin frekansının akım ve gerilim frekansından daha fazla olduğunu (2 kat) gözlemleyiniz.



Şekil 8.21 Gerilim, akım ve anlık güç



dikkat

Sinüs ve kosinüs fonksiyonları faz farkı haricinde benzer ifadelerdir. $\sin()$ fonksiyonu ile $\cos()$ fonksiyonu arasında 90° faz farkı bulunmaktadır.

Ortalama Güç

Alternatif akım ve gerilimlerde olduğu gibi anlık güç kavramı da zamana bağlı ve periyodik bir sınıydır. Periyodik değişimdeki birim zaman sabittir ve T ile gösterilir. Böylece anlık güç dalgası üzerinde seçilen herhangi bir zamana T kadar bir süre eklersek iki noktanın değeri birbirine eşit olacaktır. Ortalama güç, anlık gücün bir periyot boyunca integralinin alınıp periyot değerine bölünmesiyle elde edilmektedir. Ortalama güç Eşitlik (8.12) ile ifade edilir.

$$P = P_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (8.12)$$

Eşitlik 8.11'de açık olarak verilen anlık güç ifadesi Eşitlik (8.12)'de yerine yazılırsa:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_T \times I_T}{2} \left[\cos(2\omega t + (\theta_V + \theta_I)) + \cos(\theta_V - \theta_I) \right] dt \quad (8.13)$$

elde edilir. Zaman değişkenine bağlı olmayan değerler integral dışına alınıp düzenleme yapılırsa:

$$P = \left(\frac{V_T \times I_T}{2} \right) \frac{1}{T} \left(\cos(\theta_V - \theta_I) \right) \int_0^T dt + \left(\frac{V_T \times I_T}{2} \right) \frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t + (\theta_V + \theta_I)) dt \quad (8.14)$$

Bir sinüzoidal dalğanın bir periyot süresince ortalama değeri 0 ve $\int_0^T dt = T$ olduğundan Eşitlik (8.15);

$$P = \frac{V_T \times I_T}{2} (\cos(\theta_V - \theta_I)) \quad (8.15)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik (8.11) ve Eşitlik (8.15)'te bulunan $(\theta_V - \theta_I)$ ifadesi AA devresindeki gerilim ve akım arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Bu fark α ile de gösterilebilir. Sıfır ortalı sinüzoidal bir dalğanın (gerilim ve akım) etkin değeri Eşitlik (8.6)'da verildiği üzere $V_E = \frac{V_T}{\sqrt{2}}$ ve $I_E = \frac{I_T}{\sqrt{2}}$ ile bulunur. Etkin değer ifadeleri Eşitlik (8.15)'te yerine konulursa:

$$P = \frac{V_T}{\sqrt{2}} \times \frac{I_T}{\sqrt{2}} (\cos(\theta_V - \theta_I)) = V_E I_E \cos(\alpha) \quad (8.16)$$

elde edilir. Böylece ortalama güç, etkin değerler üzerinden hesaplanabilir. Ortalama gücün birimi W'tır.

Dirençlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir direnç üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = 0^\circ$ olacaktır. O hâlde, direnç üzerindeki ortalama güç formülü:

$$P = V_E I_E \cos(\alpha) = V_E I_E \cos(0^\circ) = V_E I_E = I_E^2 R = \frac{V_E^2}{R} (W) \quad (8.17)$$

şeklinde bulunur.

Bobinlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir bobin üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = 90^\circ$ olacaktır. O hâlde, bobin üzerindeki ortalama güç formülü:

$$P = V_E I_E \cos(\alpha) = V_E I_E \cos(90^\circ) = 0 (W) \quad (8.18)$$

olur.

Kondansatörlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir kondansatör üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = -90^\circ$ olacaktır. O hâlde, kondansatör üzerindeki ortalama güç formülü:

$$P = V_E I_E \cos(\alpha) = V_E I_E \cos(-90^\circ) = 0 (W) \quad (8.19)$$

olur.

Örnek 8.13: Kaynak gerilimi $V_K(t) = 8\cos(50\pi t + 30^\circ)$ (V) olan bir AA devresinde eşdeğer empedans $Z = 4\angle 60^\circ$ (Ω) ise bu devrede harcanan ortalama gücü bulunuz.

Çözüm: Ortalama güç ifadesi $P = \frac{V_T \times I_T}{2} \cos(\theta_V - \theta_I)$ 'dir. Devrede empedans ve kaynak gerilimi verilmiştir. Akımın ifadesinin bulunarak buradan tepe değeri ve faz açısının alınması gerekir. Kaynak geriliminin fazör gösterimi: $V = 8\angle 30^\circ$ (V) olmak üzere akım:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{8\angle 30^\circ (V)}{4\angle 60^\circ (\Omega)} = 2\angle -30^\circ (A) \text{ olarak bulunur. Böylece ortalama güç:}$$

$$P = \frac{8 \times 2}{2} \left(\cos(30^\circ - (-30^\circ)) \right) = 8\cos(60^\circ) (W) = 4 (W) \text{ olarak elde edilir.}$$

Örnek 8.14: Üzerinden geçen akım $I(t) = 5\sqrt{2}\cos(10\pi t + 45^\circ)$ (A) olan 100 (Ω)'luk bir direncin harcadığı ortalama gücü bulunuz.

Çözüm: Akımın etkin değeri $I_E = \frac{I_T}{\sqrt{2}} = \frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 5$ (A) olur. Eşitlik (8.17) gereğince ortalama güç:

$$P_{ort} = I_E^2 R = 5^2 \times 100 = 2500W \text{ 'tır.}$$

Reaktif Güç

Bir alternatif akım devresinde empedans gerçek ve sanal direnç bileşenlerinden oluşmaktadır. Empedansın gerçek bileşenine direnç, sanal bileşenine ise reaktans denilir. Alternatif akım devrelerinde gücün gerçek kısmı ortalama güç olarak direnç üzerindeki güçtür. Devrenin reaktansı üzerinde oluşan güç ise reaktif güçtür. Reaktif gücün birimi VAR (volt – amper – reaktif) ile sembolü ise Q ile verilir. Reaktif güç, bobin ve kondansatör üzerinde depolanıp kaynağa geri aktarılan güçtür. Reaktif güce kayıp güç de denir. AA gerilim ve akımlarının tepe değerleri kullanılarak reaktif güç Eşitlik (8.20) ile hesaplanır.

$$Q = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(\theta_V - \theta_I) \quad (8.20)$$

Reaktif gücün formülü etkin değerler kullanılarak Eşitlik (8.21) ile ifade edilir.

$$Q = V_E I_E \sin(\theta_V - \theta_I) = V_E I_E \sin(\alpha) \quad (8.21)$$

Eşitlik 8.17 – 8.19'dan görüldüğü üzere ortalama güç sadece direnç üzerinde meydana gelir. Eşitlik 8.22 – 8.24 arasında da direnç, bobin ve kondansatör devrelerindeki reaktif güç hesaplamaları verilmiştir.

Dirençlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir direnç üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = 0^\circ$ olacaktır. O hâlde, direnç üzerindeki reaktif güç formülü:

$$Q = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(\alpha) = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(0^\circ) = 0 (VAR) \quad (8.22)$$

şeklinde bulunur.

Bobinlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir bobin üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = 90^\circ$ olacaktır. O hâlde, bobin üzerindeki reaktif güç formülü:

$$Q = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(\alpha) = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(90^\circ) = \frac{V_T \times I_T}{2} = V_E I_E (VAR) \quad (8.23)$$

olur.

Kondansatörlerden oluşan bir AA devresinde ya da bir kondansatör üzerinde, akım ile gerilim arasındaki faz farkı $\alpha = -90^\circ$ olacaktır. O hâlde, kondansatör üzerindeki reaktif güç formülü:

$$Q = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(\alpha) = \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(-90^\circ) = -\frac{V_T \times I_T}{2} = -V_E I_E (VAR) \quad (8.24)$$

olur. Eşitliklerden görüldüğü üzere direnç üzerinde reaktif güç oluşmamaktadır. Bobin ve kondansatör üzerinde reaktif güç oluşmakla birlikte birbirinin ters işaretlisidir.

Örnek 8.15: Bir alternatif akım devresinde kaynak gerilimi $V_K(t) = 16\cos(10t + 45^\circ)$ (V) ve eşdeğer empedans $Z = 8\angle 30^\circ$ (Ω) ise bu devrede harcanan reaktif gücü bulunuz.

Çözüm: Kaynak geriliminin fazör gösterimi: $V = 16\angle 45^\circ$ (V) olmak üzere akım:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{16\angle 45^\circ}{8\angle 30^\circ} = 2\angle 15^\circ \text{ olarak bulunur. Reaktif güç (Eşitlik (8.20) ile):}$$

$$Q = \frac{16 \times 2}{2} \sin(45^\circ - 15^\circ) = 16\sin(30^\circ) (VAR) = 8(VAR) \text{ olarak elde edilir.}$$

Örnek 8.16: Üzerinden geçen akım $I(t) = 3\cos(50\pi t + 15^\circ)$ (A) olan $1\angle 90^\circ$ (Ω)'luk empedansa sahip bir bobin için harcanan reaktif gücü bulunuz.

Çözüm: Akımın fazör gösterimi $3\angle 15^\circ$ (A) olur. Bobin tarafından harcanan reaktif güç:

$$Q = \frac{3 \times 3}{2} = 4,5(VAR) \text{ olarak elde edilir.}$$

Kompleks Güç

Alternatif akım devrelerinde empedansın direnç bileşeninden dolayı oluşan güce ortalama güç, empedansın reaktans bileşeninden dolayı oluşan güce reaktif güç denilir. Kompleks güç ise bu iki güç bileşenini bir arada gösteren vektörel bir ifadedir. Kompleks güç Eşitlik (8.25) ile ifade edilir ve S ile gösterilir. Kompleks gücün birimi VA (volt – amper)'dir.

$$S = P + jQ \quad (8.25)$$

Kompleks güç aracılığıyla, AA devre ya da devrenin elemanları tarafından sağlanan ya da harcanan güç fazör gösterimi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Eşitlik (8.15) ve (8.20) kullanılarak kompleks güç:

$$S = \frac{V_T \times I_T}{2} \cos(\theta_V - \theta_I) + j \frac{V_T \times I_T}{2} \sin(\theta_V - \theta_I) \quad (8.26)$$

tepe değerlerin yardımıyla tanımlanır. Burada $(\theta_V - \theta_I) = \alpha$ olup akım ve gerilim arasındaki faz farkıdır. Kompleks güç etkin değerler ve faz farkı yardımıyla

$$S = V_E I_E \cos(\alpha) + j V_E I_E \sin(\alpha) \quad (8.27)$$

ile tanımlanır.

Örnek 8.17: Bir AA akım devresinde bir elemanın üzerine düşen gerilimin etkin değeri 7 (V), üzerinden geçen akımın etkin değeri 4 (A) ve akım ile gerilim arasındaki faz farkı 30° ise bu elemanın üzerindeki kompleks gücü hesaplayınız.

Çözüm: Örnekte etkin değerler ve faz farkı verildiği için Eşitlik (8.27) kullanılarak kompleks güç:

$$S = V_E I_E \cos(\alpha) + j V_E I_E \sin(\alpha) \text{ (VA)}$$

$$S = 7 \times 4 \cos(30^\circ) + j 7 \times 4 \sin(30^\circ) \text{ (VA)}$$

$$S = 28 \cos(30^\circ) + j 28 \sin(30^\circ) \text{ (VA)}$$

$$S = 14\sqrt{3} + j 14 \text{ (VA) olarak elde edilir.}$$

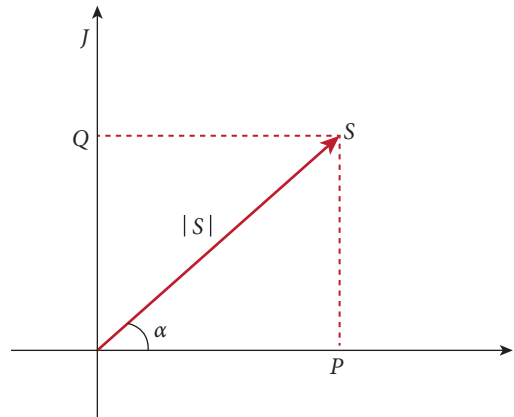
Görünür Güç

Kompleks güç vektörel bir değer olduğundan empedansta olduğu gibi açısı ve büyüklüğü vardır. Kompleks gücün vektörel gösterimi Şekil 8.22'de verilmiştir. Şekilde S kompleks güç, P ortalama güç, Q reaktif güç, j sanal eksen, α vektörün gerçek eksen ile yaptığı açı (faz farkı) ve son olarak $|S|$ ise kompleks gücün büyüklüğüdür.

Kompleks gücün büyüklüğüne görünür güç denir. Görünür güç $|S|$ ile gösterilir ve birimi VA (volt-amper)'dir. Görünür güç, ortalama güç ve reaktif güç arasındaki ilişki Eşitlik (8.28) ile verilmiştir.

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

(8.28)



Şekil 8.22 Bir vektör olarak kompleks güç

Ortalama güç ve reaktif güç eşitlikleri Eşitlik (8.28)'de yerine konulursa:

$$|S| = \sqrt{(V_E I_E \cos(\alpha))^2 + (V_E I_E \sin(\alpha))^2} \quad (8.29)$$

$$|S| = \sqrt{(V_E I_E)^2 \cos^2(\alpha) + (V_E I_E)^2 \sin^2(\alpha)} \quad (8.30)$$

elde edilir. Eşitlik (8.30) $(V_E I_E)^2$ ortak parantezine alınır:

$$|S| = \sqrt{(V_E I_E)^2 (\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha))} \quad (8.31)$$

Burada $\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha) = 1$ eşitliği kullanılırsa:

$$|S| = \sqrt{(V_E I_E)^2} \quad (8.32)$$

elde edilir. Görünür gücün son hâli:

$$|S| = V_E I_E \quad (8.32)$$

ile elde edilir. Burada görünür güç gerilim ve akımın etkin değerlerinin çarpımı olarak karşımıza çıkar.

Örnek 8.18: Bir AA akım devresinde bir empedansın üzerine düşen gerilim $V(t) = 8\cos(10t + 90^\circ)$ (V), üzerinden geçen akım $I(t) = 4\cos(10t + 60^\circ)$ (A) ise bu eleman tarafından harcanan ortalama güç, reaktif güç, kompleks güç ve görünür güç hesaplayınız.

Çözüm: Empedansın üzerine düşen gerilimin tepe değeri $V_T = 8$ (V), üzerinden geçen akımın tepe değeri $I_T = 4$ (A) ve gerilim ile akım arasındaki faz farkı $\alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ 'dir. Empedans tarafından harcanan ortalama güç:

$$P = \frac{V_T \times I_T}{2} (\cos(\alpha)) = \frac{8 \times 4}{2} (\cos(30^\circ)) = 8\sqrt{3} \text{ (W) olarak bulunur.}$$

Empedans tarafından harcanan reaktif güç:

$$Q = \frac{V_T \times I_T}{2} (\sin(\alpha)) = \frac{8 \times 4}{2} (\sin(30^\circ)) = 8 \text{ (VAR) olarak bulunur.}$$

Empedans üzerindeki karmaşık güç:

$$S = P + jQ = 8\sqrt{3} + j8 \text{ (VA) olarak elde edilir.}$$

Son olarak empedans üzerindeki görünür güç:

$$|S| = \sqrt{P + jQ} = \sqrt{(8\sqrt{3})^2 + (8)^2} = 16 \text{ (VA) olarak elde edilir. Ya da}$$

$$|S| = V_E \times I_E = \frac{V_T \times I_T}{2} = \frac{8 \times 4}{2} = 16 \text{ (VA) ile de bulunabilir.}$$

Güç Katsayısı

Ortalama gücün görünür güce oranına güç katsayısı (power factor) denir. Güç katsayısı GK ile ya da İngilizce baş harfleri olan (PF) ile gösterilir. Güç katsayısı Eşitlik (8.34)'te verilmiştir.

$$GK = PF = \frac{\text{Ortalama Güç}}{\text{Görünür Güç}} = \frac{P}{|S|} \quad (8.34)$$

Eşitlik (8.16) ve (8.33) kullanılarak güç katsayısı

$$GK = PF = \frac{P}{|S|} = \frac{V_E I_E \cos(\alpha)}{V_E I_E} = \cos(\alpha) \quad (8.35)$$

ile elde edilir. Bu sebeple α açısına güç faktörü açısı da denir.

Empedansı sadece dirençten oluşan bir AA devresinde, gerilim ile akım arasındaki faz farkı $\alpha = 0^\circ$ olduğundan $GK = \cos(0^\circ) = 1$ olacaktır. Yani bir direnç devresinde ortalama güç ile görünür güç birbirine eşittir. Güç katsayısının en yüksek değeri 1'dir. Güç katsayısının büyük olması istenilen bir özelliktir. Güç katsayısı ortalama gücün görünür güce oranıdır. Bu sebeple güç katsayısı arttıkça reaktif güç azalacaktır. Bu da kayıpları azaltır ve güç kalitesini artırır. Güç katsayısına pozitif faz açısı için empedans indüktif ise geri, kapasitif ise ileri ifadesi eklenir. Güç katsayısının ileri ya da geri olması akımın gerilime göre fazını tanımlamaktadır.

Geri güç katsayısı için faz açısı Eşitlik (8.36) ile ifade edilir.

$$\alpha = \cos^{-1}(GK) \quad (8.36)$$

İleri güç katsayısı için faz açısı Eşitlik (8.37) ile ifade edilir.

$$\alpha = -\cos^{-1}(GK) \quad (8.37)$$

Örnek 8.19: Bir AA akım devresinde bir empedansın üzerine düşen gerilim $V(t) = 5\cos(2\pi 50t + 30^\circ)$ (V), üzerinden geçen akım $I(t) = \cos(2\pi 50t)$ (A) ise bu empedans için güç katsayısını hesaplayınız.

Çözüm: Empedansın üzerine düşen gerilimin fazör gösterimi $V = 5\angle 30^\circ$ (V), üzerinden geçen akımın fazör gösterimi $I = 1\angle 0^\circ$ (A) olur. Gerilim ile akım arasındaki faz farkı $\alpha = 30^\circ - 0^\circ = 30^\circ$ 'dir. Faz farkı pozitif yani empedans indüktif özellik gösterir. O hâlde $GK = \cos(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866$ geri olarak bulunur.



dikkat

$\cos()$ çift bir fonksiyondur. $\cos(\theta) = \cos(-\theta)$ özelliğini sağlar. Bu özellik, güç katsayısında bir karışıklık meydana getirebilir. Bunun sebebi $\cos(\alpha) = \cos(\theta_V - \theta_I) = \cos(\theta_I - \theta_V)$ olmasıdır. GK verilen bir devrenin faz farkı tek olarak bulunamaz. Örneğin, $GK = 0,707$ değeri verilsin. Bu değer in açısı $\cos^{-1}()$ fonksiyonu ile bulunabilir. Fakat $\cos^{-1}(0,707) = 45^\circ = -45^\circ$ olacağından faz farkının 45° mi yoksa -45° mi olduğu bilinemez. Bunun için ayrıca geri ya da ileri ifadesi kullanılır. Pozitif faz açısı için eğer empedans indüktif ise geri, kapasitif ise ileri ifadesi eklenir.

Öğrenme Çıktısı



2 Anlık güç, ortalama güç, görünür güç ve güç katsayısı kavramlarını kullanabilme

Araştır 2

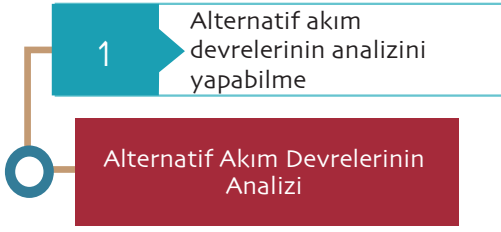
Aşağıda verilenleri güçlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralayınız.
Elektrikli ev tipi ısıtıcı, insan sinir hücresi ve endüstriyel motor. Hangisi en çok güç tüketmektedir?

İlişkilendir

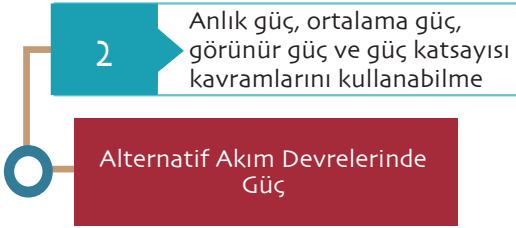
Reaktif güç ile elektrik iletim hatlarındaki kayıplar arasında nasıl bir ilişki vardır?

Anlat/Paylaş

Ortalama güç, reaktif güç ve görünür güç arasındaki ilişkiyi anlatınız.



Üretim, iletim ve dağıtım avantajlarından dolayı alternatif akım ve alternatif akımla çalışan aletler günümüzde çok yaygındır. Evimizde, iş yerlerimizde ve seyahat esnasında (araba, uçak vb.) alternatif akımdan yararlanılır. Alternatif akım zamana bağlı olarak değiştiğinden doğru akıma kıyasla frekans, faz farkı gibi ek özellikleri vardır. Bu özellikler, alternatif akımı vektörel bir büyüklük hâline getirir. Dolayısıyla, alternatif akım devrelerinin analizi, doğru akım devrelerine göre daha zordur. Fakat AA gerilim ve akımları aynı frekansa sahip olmaları durumunda fazörler yardımıyla temsil edilebilir. Ayrıca, doğru akım devrelerinin analizinde kullanılan yöntemler alternatif akım devrelerinin analizinde de kullanılabilir. Bu yöntemler arasında Kirchhoff'un akım ve gerilim yasaları, düğüm noktası analizi, süper pozisyon, kaynak dönüşümü ve Thevenin yasası bu bölümde ele alınmıştır. Bu yöntemler sayesinde farklı tip ve özellikteki alternatif akım devrelerinin analizi yapılabilmektedir. Yöntemler temel seviye örnekler üzerinden verilerek anlaşılabilirliğin artırılması amaçlanmıştır.



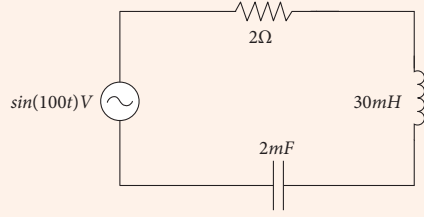
Bir alternatif akım devresinde bir elemanın harcadığı güç ya da kaynağın sağladığı güç analiz edilmesi gereken birer büyüklük olarak karşımıza çıkar. Devre gücü kaynaktan çeker. Kaynak ise başka bir enerji kaynağından (örneğin; hidroelektrik santrali, termik santral vb.). Gücün analizi beraberinde gücün verimli kullanımını getirmektedir. Bu sebeple güç analizi önemli bir konudur. Güç kısaca akım ile gerilimin çarpımı olarak tanımlanabilir. Fakat doğru akım devrelerinin aksine, alternatif akım devrelerinde birden fazla güç kavramı karşımıza çıkar. Bunlar anlık güç, ortalama güç, reaktif güç, görünür güç ve kompleks güçtür. Anlık güç, gücün zaman alanındaki ifadesi olarak tanımlanabilir. Ortalama güç ise, anlık gücün ortalama değeridir ve empedansın direncinden meydana gelir. Reaktif güç, empedansın reaktans kısmından dolayı meydana gelen güçtür. Kayıp güç olarak da adlandırılır. Kompleks güç, bileşenleri ortalama güç ve reaktif güç olan vektörel bir gösterimdir. Görünür güç ise kompleks güç vektörünün büyüklüğüdür. Güç katsayısı, bir kaynaktan çekilen gücün kaybının azaltılması için önemlidir. Kısaca, ortalama gücün reaktif güce oranı olarak verilebilir. Akım ve gerilim arasındaki faz farkının $\cos()$ fonksiyonu ile bulunur. Güç katsayısının en büyük ve ideal değeri 1'dir. Bu katsayı 1'den ne kadar küçük olursa verim o kadar azalır ve kayıplar artar.

1 $V(t) = 10\sin(100t + 30^\circ)$ Volt ifadesinin frekans alanındaki karşılığı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

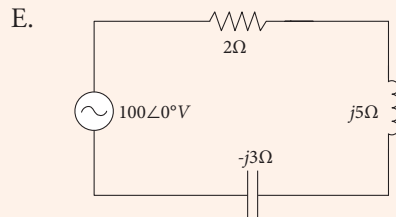
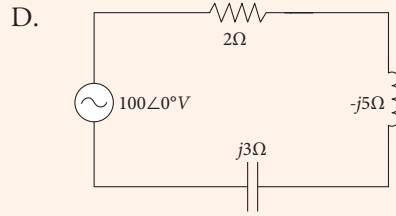
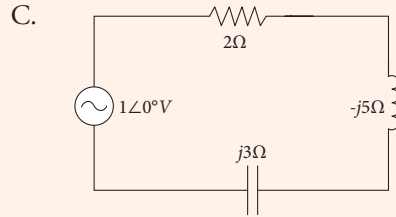
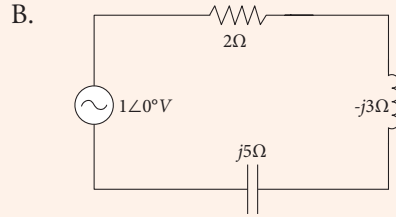
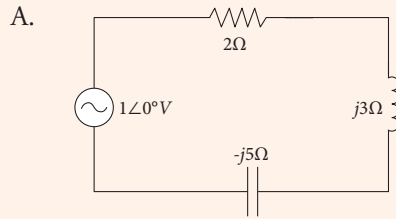
- A. $10 \angle 100^\circ$ (V)
- B. $30 \angle 100^\circ$ (V)
- C. $10 \angle 30^\circ$ (V)
- D. $100 \angle 30^\circ$ (V)
- E. $100 \angle 10^\circ$ (V)

2 Açısal frekansı 1000 (rad/s), kapasitesi $C = 1$ mF olan bir kondansatörün empedansı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

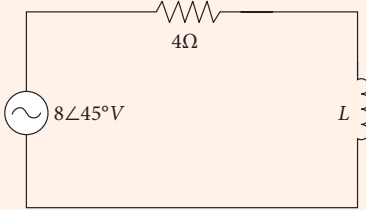
- A. $1 + j$ (Ω)
- B. $j2$ (Ω)
- C. j (Ω)
- D. $-j2$ (Ω)
- E. $-j$ (Ω)



3 Alternatif akım devresinin frekans alanına dönüştürülmüş hâli aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

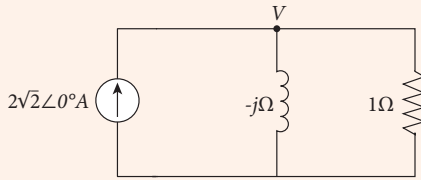


- 4 Aşağıdaki devrede direncin üzerine düşen gerilimin $4\sqrt{2}\angle 0^\circ$ (V) olabilmesi için L kaç olmalıdır?



- A. j
B. j2
C. j3
D. j4
E. j5

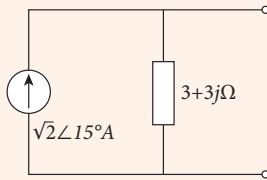
5



Yukarıdaki şekilde verilen devrede V düğümünün gerilim değeri aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. $1 \angle 30^\circ$ (V)
B. $2 \angle 45^\circ$ (V)
C. $3 \angle 60^\circ$ (V)
D. $4 \angle 75^\circ$ (V)
E. $5 \angle 90^\circ$ (V)

6



Yukarıdaki devrede kaynak dönüşümü yapılsa gerilim kaynağının değeri aşağıdakilerden hangisi olur?

- A. $2 \angle 20^\circ$ (V)
B. $3 \angle 35^\circ$ (V)
C. $4 \angle 40^\circ$ (V)
D. $5 \angle 55^\circ$ (V)
E. $6 \angle 60^\circ$ (V)

- 7 Üzerine $5 \angle 70^\circ$ (V) gerilim düşen ve üzerinden $4 \angle 10^\circ$ (A) akım akan bir elemanın ortalama gücü aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. 5 W
B. 6 VA
C. 7 VAR
D. 8 W
E. 9 VA

8

Üzerine düşen potansiyel farkın tepe değeri 5 (V), üzerinden geçen akımın tepe değeri 0,8 (A) olan bir kondansatörün reaktif gücü aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. 2 W
B. 2 VAR
C. 2 VA
D. -2 VAR
E. -2 VA

9

Bir AA akım devresinde bir empedansın üzerine düşen gerilim $V(t) = 2\cos(10t + 60^\circ)$ (V), üzerinden geçen akım $I(t) = 0,4\cos(10t + 15^\circ)$ (A) ise bu eleman tarafından harcanan görünür güç aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. 0,2 VA
B. 0,3 VA
C. 0,4 VA
D. 0,5 VA
E. 0,6 VA

10

Güç katsayısı 0,866 geri olan bir yükün faz açısı kaç derecedir?

- A. 20°
B. 30°
C. 40°
D. 50°
E. 60°

1. C

Yanıtınız yanlış ise “Fazör Gösterimi” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

2. E

Yanıtınız yanlış ise “Direnç, Bobin ve Kondansatörün Frekans Alanı Dönüşümü” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

3. A

Yanıtınız yanlış ise “Alternatif Akım Devresinin Frekans Alanı Dönüşümü” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

4. D

Yanıtınız yanlış ise “Kirchhoff Yasalarının Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

5. B

Yanıtınız yanlış ise “Düğüm Noktası Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

6. E

Yanıtınız yanlış ise “Kaynak Dönüşümü Yönteminin Alternatif Akım Devrelerine Uygulanması” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

7. A

Yanıtınız yanlış ise “Ortalama Güç” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

8. D

Yanıtınız yanlış ise “Reaktif Güç” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

9. C

Yanıtınız yanlış ise “Görünür Güç” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

10. B

Yanıtınız yanlış ise “Güç Katsayısı” konusunu yeniden gözden geçiriniz.

8

Araştır Yanıt Anahtarı

Araştır 1

Seri RLC devresi, direnç, bobin ve kondansatörün seri olarak bağlandığı devre türüdür. Bobinin empedansına endüktif reaktans, kondansatörün reaktansına kapasitif reaktans denir. Seri bir RLC devresinde endüktif reaktans ile kapasitif reaktansın birbirine eşit olmasına rezonans denir. Rezonans durumunu sağlayan frekansa ise *rezonans frekansı* denir. Seri rezonans devresinde, rezonans esnasında endüktif reaktans ile kapasitif reaktans birbirini sıfırlar. Devrenin empedansı sadece dirençten oluşur. Bu durumda, rezonans anında empedans en düşük değerini alır. Devre seri bağlandığı ve empedans en düşük değerini aldığından dolayı anakol akımı en yüksek değerine ulaşır.

Araştır 2

Elektrikli ev tipi bir ısıtıcının ortalama güç değerini 2000 W olarak alabiliriz. Tahmin edileceği üzere insan sinir hücreleri elektrik sinyalleri ilettiğinden güç harcarlar. Fakat bu güç oldukça düşüktür. Endüstriyel tipte motorlara örnek olarak fabrika ve sanayilerde çalışan alternatif akım motorlarını örnek verebiliriz. Bu motorların güç tüketimleri çok farklı olmakla beraber kW mertebesinde yüksek değerlerden bahsedilebilir. Böyle bir durumda güç tüketimleri insan sinir hücresi < elektrikli ev tipi ısıtıcı < endüstriyel motor şeklinde sıralanabilir.

Kaynakça

- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, MEGEP (2011). *Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Devre Analizi 2* 523EO0354, Ankara.
- William, H. H., Jack, E. K. ve Steven, N. D. (2007). *Engineering Circuit Analysis* (8th. Ed.). New York: McGraw Hill.
- Richard, C. D. ve James, A. S. (2010). *Introduction to Electric Circuits* (8th. Ed.). John Wiley&Sons.
- Parlaktuna, O. (2012). Alternatif Akım. E. Kıyak (Ed.) içinde *Devre Analizi* (s. 174-190). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları.
- Fidan, M. (2018). Alternatif Akım. A. Aybar (Ed.) içinde *Devre Analizi* (s. 188-211). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi.