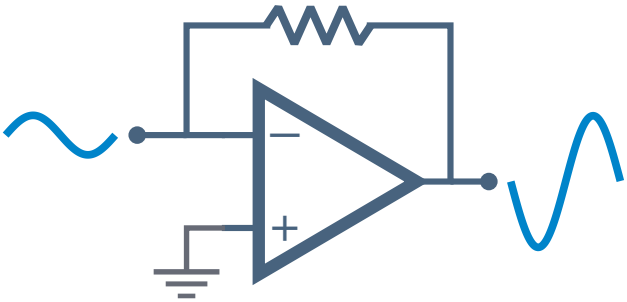
# DEVRE ANALİZİ I

## ÇALIŞMA KİTABI

**ÖRNEK SAYFALAR**

9 ünite · 160 soru · adım adım çözümler



**Ertan Sinan Şahin**

ertansinansahin.com

### Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; her ünite sınav tipi karma sorularla biter.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → s. bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru s. bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır.
- **Birimler ve işaretler:** Soruların yaklaşık yarısı Ω, A ve W ile, yarısı kΩ, mA ve mW ile verilir; sınavlarda ikisi de çıkar. Her yerde pasif işaret kuralı kullanılır: akım bir elemana + ucundan girerse $p = vi$ o elemanın soğurduğu güçtür. Şekillerde akımlar kırmızı, gerilim kutupları mavidir.
- **Vize ve final:** Üniversitelerin çoğunda Devre I (genellikle 2. sınıf güz) bu kitabın tamamını kapsar. Birinci vize çoğunlukla dirençli devreleri ve Thévenin–Norton'u (Ünite 1–5), ikinci vize ya da final op-amp, bobin–kondansatör ve geçici hâli (Ünite 6–9) kapsar. Temel devre konularını 1. sınıfta işleyen okullarda Ünite 1–4 tekrar niteliğindedir; Devre II dersi bobin ve kondansatörle başlayan okullarda Ünite 7–9 o derse aittir. Kendi dersinizin izlencesine göre çalışacağınız üniteleri seçin.

## İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.


1 Devre Değişkenleri, Devre Elemanları ve Kirchhoff Yasaları ..... 16 soru 4

2 Basit Dirençli Devreler ..... 16 soru 15

3 **Düğüm Gerilimleri Yöntemi** ..... 18 soru 24

4 Çevre Akımları Yöntemi ..... 16 soru 40

5 **Kaynak Dönüşümü, Thévenin–Norton, Maksimum Güç, Süperpozisyon** ..... 20 soru 51

6 İşlemsel Kuvvetlendirici ..... 16 soru 61

7 Bobin ve Kondansatör ..... 16 soru 72

8 **Birinci Mertebe RL ve RC Devreleri** ..... 22 soru 81

9 RLC Devrelerinin Doğal ve Basamak Yanıtı ..... 20 soru 94

**Çözümler** ..... 106

# 3. ÜNİTE
# DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ

| | | | |
|---|---|---|---|
| temel düğüm (essential node) | en az üç eleman birleşir | iletkenlik matrisi | $\mathbf{G}\mathbf{v} = \mathbf{i}$ |
| denklem sayısı | $n_e - 1$ KAY, $b_b - (n_e - 1)$ KGY | bağımlı kaynak | kontrol değişkeni düğüm gerilimleriyle yazılır |
| düğüm denklemi | $\sum$(düğümden çıkan akımlar) $= 0$ | süper düğüm | tek KAY + $v_a - v_b = v_s$ |

Bu ünitede $n_e$ temel düğüm sayısıdır. Temel dal (essential branch), iki temel düğüm arasında, başka temel düğüme uğramayan yoldur; $b_e$ temel dal sayısı, $b_b$ de bunlardan akımı bilinmeyenlerin sayısıdır. Döngü (kapalı yol), başladığı düğümde biten yoldur; çevre (göz), içinde başka döngü bulunmayan döngüdür. Düğüm gerilimi, düğümün referans düğüme göre gerilimidir; aksi söylenmedikçe referans alttaki düğümdür. Pasif işaret kuralı kullanılır: akım bir elemana + ucundan girerse $p = vi$ elemanın *soğurduğu* güçtür. Dirençler kΩ, akımlar mA olunca güç doğrudan mW; Ω ve A olunca W çıkar.

## Düğüm gerilimleri yöntemi

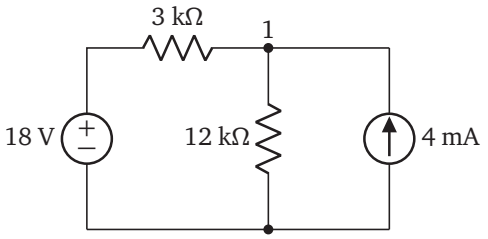
**3.3**

★☆☆ Çözüm → s. 10

Şekildeki devrede

a. 1 düğümünün gerilimini düğüm gerilimleri yöntemiyle bulunuz;

b. 18 V'luk kaynak güç mü verir, güç mü soğurur? Ne kadar?

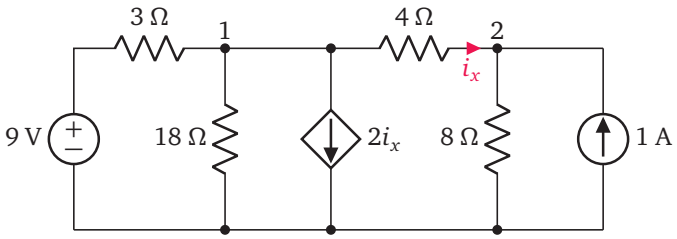


## Bağımlı kaynaklı devrelerde düğüm yöntemi

**3.7**

★☆☆ Çözüm → s. 10

Şekildeki devrede akım kontrollü akım kaynağı 1 düğümünden $2i_x$ akım çeker; $i_x$, 4 Ω'dan 1'den 2'ye geçen akımdır. 1 düğümünün KAY denklemi hangisidir?




**A)** $(9-v_1)/3+v_1/18+(v_1-v_2)/4+2i_x=0$

**B)** $(v_1-9)/3+v_1/18+(v_1-v_2)/4=0$

**C)** $(v_1-9)/3+v_1/18+(v_1-v_2)/4-2(v_1-v_2)/4=0$

**D)** $(v_1-9)/3+v_1/18+(v_1-v_2)/4+2v_1/4=0$

**E)** $(v_1-9)/3+v_1/18+(v_1-v_2)/4+2(v_1-v_2)/4=0$

## Özel durumlar ve süper düğüm

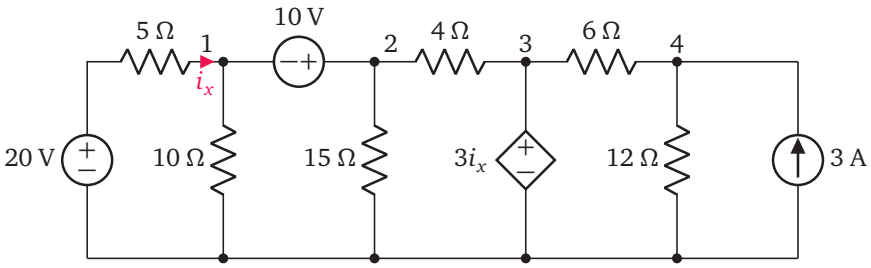
**3.15** ★★★ Çözüm → s. 10

Şekildeki devrede 10 V'luk kaynak 1–2 düğümleri arasında, akım kontrollü gerilim kaynağı ($3i_x$; volt, $i_x$ amper; $i_x$, 5 Ω'un akımı) 3 düğümü ile referans arasındadır.

a. Hangi düğüm gerilimi doğrudan kontrol değişkenine bağlıdır? Bilinmeyenleri $v_1$, $v_2$, $v_4$, $i_x$ alarak dört denklemi matris biçiminde yazınız.

b. Düğüm gerilimlerini bulunuz.

c. Bütün kaynakların gücünü bulunuz ve güç korunumunu gösteriniz.



# 5. ÜNİTE

# KAYNAK DÖNÜŞÜMÜ, THÉVENIN–NORTON, MAKSİMUM GÜÇ, SÜPERPOZİSYON

kaynak dönüşümü $v_s = i_s R$ ($R$ seri $\longleftrightarrow$ $R$ paralel)

Thévenin $V_{\text{Th}} = v_{\text{aç}}, \quad R_{\text{Th}} = \dfrac{v_{\text{aç}}}{i_{\text{kd}}}$

Norton $I_{\text{N}} = i_{\text{kd}} = \dfrac{V_{\text{Th}}}{R_{\text{Th}}}$

test kaynağı $R_{\text{Th}} = \dfrac{v_t}{i_t}$ (bağımsız kaynaklar sıfır)

maksimum güç $R_L = R_{\text{Th}}, \quad P_{\text{maks}} = \dfrac{V_{\text{Th}}^2}{4R_{\text{Th}}}$

süperpozisyon

bağımsız kaynaklar tek tek; bağımlılar kalır

Bu ünitede $v_{\text{aç}}$ açık devre gerilimi, $i_{\text{kd}}$ kısa devre akımıdır. Pasif işaret kuralı kullanılır: akım bir elemana + ucundan girerse $p = vi$ elemanın *soğurduğu* güçtür. Bir kaynağı sıfırlamak, gerilim kaynağını kısa devre, akım kaynağını açık devre yapmaktır. Dirençler kΩ, akımlar mA olunca güç doğrudan mW; Ω ve A olunca W çıkar.

## Thévenin ve Norton eşdeğerleri

**5.6**

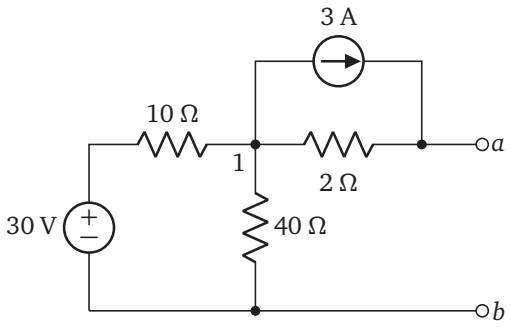
★★☆ Çözüm → s. 11

Şekildeki devrede 3 A'lik akım kaynağı 2 Ω'a paralel bağlıdır.

a. $a$–$b$ uçlarının Thévenin eşdeğerini bulunuz.

b. Uçlara 14 Ω bağlanırsa bu direncin akımı ne olur?

c. Bu durumda 3 A'lik kaynak güç mü verir, güç mü soğurur? Ne kadar?

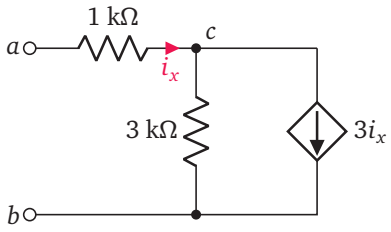


## Bağımlı kaynaklı devrelerde Thévenin eşdeğeri

**5.11**

★★★ Çözüm → s. 11

Şekildeki devrede bağımsız kaynak yoktur; akım kontrollü akım kaynağının akımı $3i_x$'tir.




a. $a$–$b$ uçlarının Thévenin eşdeğerini bulunuz.

b. Uçlara 6 V'luk bir kaynak bağlanıyor: + ucu 2 kΩ üzerinden $a$'ya, − ucu $b$'ye. Kaynaktan $a$'ya giren akımı ve kaynağın gücünü bulunuz.

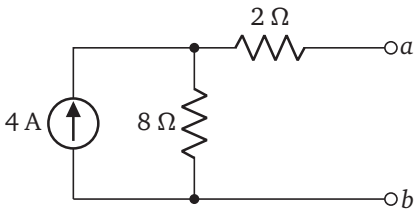
c. (b)'de kaynağın soğurduğu güç nereden gelir?

## Maksimum güç aktarımı

**5.13**

★★☆ Çözüm → s. 11

Şekildeki devrenin $a$–$b$ uçlarına ayarlanabilir bir $R_L$ yükü bağlanacak.




a. Yükün gücünün en büyük olması için $R_L$ ne olmalıdır? Bu güç kaç W'tır?

b. Bu durumda akım kaynağının verdiği gücü bulunuz. Kaynağın gücünün yüzde kaçı yüke aktarılır?

# 8. ÜNİTE

# BİRİNCİ MERTEBE RL VE RC DEVRELERİ

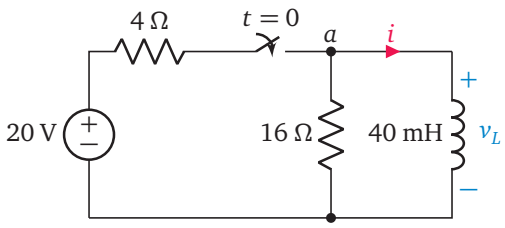
| | | | |
|---|---|---|---|
| zaman sabiti | $\tau = R_{\text{Th}}C, \quad \tau = \dfrac{L}{R_{\text{Th}}}$ | süreklilik | $v_C(0^+) = v_C(0^-), \quad i_L(0^+) = i_L(0^-)$ |
| doğal yanıt | $x(t) = x(0^+)\,e^{-t/\tau}$ | DC kararlı hâl | $C$ açık devre, $L$ kısa devre |
| genel çözüm | $x(t) = x(\infty) + \left[x(t_0^+) - x(\infty)\right]e^{-(t-t_0)/\tau}$ | enerji | $w_C = \frac{1}{2}Cv^2, \quad w_L = \frac{1}{2}Li^2$ |

Bu ünitede $R_{\text{Th}}$, kondansatörün ya da bobinin uçlarından görülen Thévenin direncidir. "Uzun süredir" sözü devrenin DC kararlı hâlde olduğunu söyler: kondansatör açık devre, bobin kısa devre gibi davranır. $t = 0^-$ anahtarlamadan hemen önceki, $t = 0^+$ hemen sonraki andır. Pasif işaret kuralı kullanılır: akım bir elemana + ucundan girerse $p = vi$ elemanın *soğurduğu* güçtür. Zaman ifadelerinde $t$ milisaniye cinsindendir; Ω ile mH ya da mF ve kΩ ile μF birlikte kullanılınca $\tau$ doğrudan ms çıkar. Enerji Ω–A–mH (ya da mF) ile mJ, kΩ–mA–μF ile μJ olur.

## Basamak yanıtı

**8.9** ★☆☆ Çözüm → s. 12

Şekildeki anahtar uzun süredir açıktır ve $t = 0$'da kapanıyor.




a. Bobinden görülen Thévenin eşdeğerini ve zaman sabitini bulunuz.

b. $t \geq 0$ için $i(t)$'yi ve $t \geq 0^+$ için bobin gerilimini ($v_L(t)$) bulunuz.

c. Akım hangi anda 4 A'e ulaşır?

## Ardışık anahtarlama

**8.19** ★★☆ Çözüm → s. 12

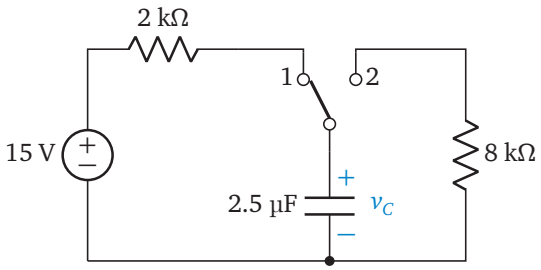
Şekildeki anahtar uzun süredir 1 konumundadır. $t = 0$'da 2 konumuna geçiyor, $t = 20$ ms'de yeniden 1 konumuna dönüyor.

a. $0 \le t \le 20$ ms ve $t \ge 20$ ms için $v_C(t)$'yi bulunuz.

b. 8 kΩ'un $t = 0^+$'daki ve 2 kΩ'un $t = 20^+$ ms'deki akımını bulunuz.

c. $v_C$ hangi anda yeniden 14 V'a ulaşır?

d. $v_C(t)$'nin grafiğini çiziniz; zaman sabitlerini işaretleyiniz.



# ÇÖZÜMLER

## 3 DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ

### 3.3

← Soru s. 3

**a.** Temel düğümler 1 ve alttaki düğümdür; alttaki referans seçilir, tek denklem yeter. 1'den çıkan akımların toplamı sıfırdır (akım kaynağı 1'e 4 mA sokar):

$$\frac{v_1-18}{3}+\frac{v_1}{12}-4=0.$$

12 ile çarpılırsa $4v_1-72+v_1-48=0$, $5v_1=120$:

$$v_1=24.0\ \text{V}.$$

**b.** 3 kΩ'dan 1'den kaynağa doğru $(24-18)/3=2$ mA akar. Bu akım kaynağa + ucundan girer; kaynak güç soğurur:

$$P=18(2)=36.0\ \text{mW}.$$

**Kontrol:** Akım kaynağı $24(4)=96$ mW verir. Soğurulan: 3 kΩ $2^2(3)=12$ mW, 12 kΩ $24^2/12=48$ mW, kaynak 36 mW; toplam 96 mW.

**Sık yapılan hata:** Gerilim kaynağının her zaman güç verdiğini sanmak. Burada 18 V'luk kaynak, şarj edilen bir akü gibi akım kaynağından enerji alır.

**CEVAP** a. $v_1=24.0$ V b. 36.0 mW soğurur

### 3.7

← Soru s. 4

1'den çıkan dört akım: 3 Ω'dan kaynağa $(v_1-9)/3$, 18 Ω'dan $v_1/18$, 4 Ω'dan $i_x=(v_1-v_2)/4$ ve bağımlı kaynaktan $2i_x$. Bağımlı kaynak bir bağımsız kaynak gibi yazılır, sonra kontrol değişkeni düğüm gerilimleriyle ifade edilir (kısıt denklemi):

$$i_x=\frac{v_1-v_2}{4}\implies 2i_x=\frac{2(v_1-v_2)}{4}.$$

- (A): 3 Ω'un terimi giren akım olarak yazılmış; öteki terimler çıkan akım. İşaretler karışık.
- (B): Bağımlı kaynak unutulmuş.
- (C): Bağımlı kaynak akımı 1'e giriyormuş gibi yazılmış; ok aşağı, yani 1'den çıkış yönündedir.
- (D): Kontrol değişkeni yanlış: $i_x$, 4 Ω'un akımıdır, $v_1/4$ değil.

**CEVAP** E

### 3.15

← Soru s. 5

**a.** Bağımlı kaynak 3 ile referans arasındadır: $v_3=3i_x$; 3 için KAY yazılmaz. 1, 2 ve 10 V bir süper düğümdür. Denklemler: süper düğümün KAY denklemi, kısıtı, 4 düğümü ve kontrol değişkeni $i_x=(20-v_1)/5$:

$$\frac{v_1-20}{5}+\frac{v_1}{10}+\frac{v_2}{15}+\frac{v_2-3i_x}{4}=0,$$

$$v_2-v_1=10,\qquad v_1+5i_x=20,$$

$$4:\ \frac{v_4-3i_x}{6}+\frac{v_4}{12}=3.$$

Süper düğüm denklemi 60, 4'ünki 12 ile çarpılınca:

$$\begin{pmatrix}18&19&0&-45\\-1&1&0&0\\0&0&3&-6\\1&0&0&5\end{pmatrix}\begin{pmatrix}v_1\\v_2\\v_4\\i_x\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}240\\10\\36\\20\end{pmatrix}.$$

**b.** Son iki kısıttan $v_1=20-5i_x$, $v_2=30-5i_x$; 1. satıra konunca $930-230i_x=240$:

$$i_x=3.00\ \text{A},\qquad v_1=5.00\ \text{V},$$

$$v_2=15.0\ \text{V},\qquad v_3=9.00\ \text{V}.$$

3. satırdan $3v_4=36+18$:

$$v_4=18.0\ \text{V}.$$

**c.** Kaynaklar:

- 20 V: $20(3)=60.0$ W verir.
- 10 V: 1'e 5 Ω'dan 3 A girer, 10 Ω'dan 0.5 A çıkar; kalan 2.5 A kaynağa − ucundan girer: $10(2.5)=25.0$ W verir.
- 3 A: akımı 18 V'luk düğüme verir: 54.0 W verir.
- $3i_x=9$ V: 3'e 4 Ω'dan $(15-9)/4=1.5$ A, 6 Ω'dan $(18-9)/6=1.5$ A gelir; bu 3 A kaynağa + ucundan girer: $9(3)=27.0$ W soğurur.

Dirençler: 5 Ω 45, 10 Ω 2.5, 15 Ω 15, 4 Ω 9, 6 Ω 13.5, 12 Ω 27 W; toplam 112 W.

ertansinansahin.com

**Kontrol:** Soğurulan $112+27=139$ W, verilen $60+25+54=139$ W.

**Sık yapılan hata:** Referansa bağlı bağımlı gerilim kaynağının düğümü için de KAY denklemi yazmak. O düğümün gerilimi kısıttan gelir; kaynağın akımı ancak çözümden sonra KAY ile bulunur.

**CEVAP** a. $v_3 = 3i_x$; yukarıdaki matris
b. $v_1 = 5.00$, $v_2 = 15.0$, $v_3 = 9.00$, $v_4 = 18.0$ V
c. 20 V 60.0 W, 10 V 25.0 W, 3 A 54.0 W verir; $3i_x$ 27.0 W soğurur; 139 W = 139 W

## 5 KAYNAK DÖNÜŞÜMÜ, THÉVENIN–NORTON, MAKSİMUM GÜÇ, SÜPERPOZİSYON

### 5.6

← Soru s. 6

**a.** Uçlar açıkken 3 A, 1'den $a$'ya kaynağın içinden gider ve 2 Ω üzerinden 1'e geri döner; 1 düğümüne net akım girmez. Bu yüzden $v_1$ yalnız gerilim bölücüden gelir:

$$v_1 = 30\cdot\frac{40}{10+40} = 24\text{ V}, \qquad V_{\text{Th}} = v_1 + 2(3) = 30.0\text{ V}.$$

Kaynaklar sıfırlanınca (30 V kısa, 3 A açık):

$$R_{\text{Th}} = (10 \parallel 40) + 2 = 8 + 2 = 10.0\ \Omega.$$

**b.** $i_L = 30/(10+14) = 1.25$ A.

**c.** $v_a = 14(1.25) = 17.5$ V. 2 Ω'dan $a$'dan 1'e $3 - 1.25 = 1.75$ A akar; $v_1 = 17.5 - 2(1.75) = 14$ V. Kaynak akımını 1'den $a$'ya, yani düşük potansiyelden yüksek potansiyele iter:

$$P = (v_a - v_1)3 = 3.5(3) = 10.5\text{ W (verir)}.$$

**CEVAP** a. 30.0 V, 10.0 Ω b. 1.25 A c. 10.5 W verir

### 5.11

← Soru s. 7

**a.** Bağımsız kaynak olmadığından $V_{\text{Th}} = 0$'dır. $R_{\text{Th}}$ için $a$'ya $i_t$ test akımı verilir; $i_x = i_t$ olur. $c$ düğümünde (çıkan akımlar):

$$-i_x + 3i_x + \frac{v_c}{3} = 0 \implies v_c = -6i_x.$$

$$v_t = 1\,i_x + v_c = i_x - 6i_x = -5i_x,$$

$$R_{\text{Th}} = \frac{v_t}{i_t} = -5.00\text{ k}\Omega.$$

**b.** Eşdeğer devre, 6 V, 2 kΩ ve −5 kΩ'dan oluşan tek bir çevredir:

$$i = \frac{6}{2+(-5)} = -2.00\text{ mA}.$$

Akım, kaynağın + ucuna 2 mA olarak geri girer: 6 V'luk kaynak $6(2) = 12.0$ mW *soğurur*. $v_a = 6 - 2(-2) = 10$ V, kaynağın kendi geriliminden büyüktür.

**c.** 2 kΩ da $2^2(2) = 8$ mW soğurur. Toplam 20 mW'ı devre verir; dirençler güç veremeyeceğine göre kaynak bağımlı akım kaynağıdır. Negatif direnç ancak güç veren (aktif) bir eleman içeren devrede çıkabilir.

**CEVAP** a. $V_{\text{Th}} = 0$, $R_{\text{Th}} = -5.00$ kΩ b. 2.00 mA kaynağa geri akar; kaynak 12.0 mW soğurur
c. bağımlı kaynak

### 5.13

← Soru s. 7

**a.** Thévenin eşdeğeri: Uçlar açıkken 2 Ω'dan akım geçmez, 4 A'in tamamı 8 Ω'dan geçer: $V_{\text{Th}} = 4(8) = 32$ V. Akım kaynağı açık devre yapılınca $R_{\text{Th}} = 8 + 2 = 10\ \Omega$.

$$R_L = R_{\text{Th}} = 10.0\ \Omega, \qquad P_{\text{maks}} = \frac{32^2}{4(10)} = 25.6\text{ W}.$$

**b.** $R_L = 10\ \Omega$ iken yük kolu $2 + 10 = 12\ \Omega$'dur. Akım bölücü:

$$i_L = 4\cdot\frac{8}{8+12} = 1.6\text{ A}, \qquad i_8 = 2.4\text{ A}.$$

Kaynağın gerilimi 8 Ω'unkidir: $v = 8(2.4) = 19.2$ V; verdiği güç $19.2(4) = 76.8$ W.

$$\frac{P_{\text{maks}}}{P_{\text{kaynak}}} = \frac{25.6}{76.8} = \frac{1}{3} \approx \%33.3.$$

Eşdeğer devrede oran %50 olurdu. Asıl devrede ise kaynağa paralel 8 Ω, yüke aktarılandan fazla güç harcar.

ertansinansahin.com

**Kontrol:** 8 Ω'luk direnç $2.4^2(8) = 46.08$ W, 2 Ω'luk direnç $1.6^2(2) = 5.12$ W, yük ise 25.6 W soğurur. Bunların toplamı 76.8 W'tır ve kaynağın verdiği güce eşittir.

**CEVAP** a. $R_L = 10.0\ \Omega$, $P_{\text{maks}} = 25.6$ W
b. 76.8 W; %33.3

## 8 BİRİNCİ MERTEBE RL VE RC DEVRELERİ

### 8.9

← Soru s. 8

**a.** $a$–toprak uçlarından:

$$V_{\text{Th}} = 20 \cdot \frac{16}{4+16} = 16.0\ \text{V}, \quad R_{\text{Th}} = 4 \parallel 16 = 3.20\ \Omega,$$

$$\tau = \frac{40}{3.2} = 12.5\ \text{ms}.$$

**b.** $i(0^-) = 0$, sürekli; $i(\infty) = 16/3.2 = 5$ A (bobin kısa devre olunca 16 Ω akım çekmez, $20/4 = 5$ A):

$$i(t) = 5.00\left(1 - e^{-t/12.5}\right)\ \text{A}, \qquad t \geq 0,$$

$$v_L(t) = L\frac{di}{dt} = 40 \cdot \frac{5}{12.5}\, e^{-t/12.5},$$

$$v_L(t) = 16.0\, e^{-t/12.5}\ \text{V}, \qquad t \geq 0^+.$$

$v_L(0^+) = V_{\text{Th}} = 16$ V: akımı sıfır olan bobin $t = 0^+$'da açık devre gibi davranır.

**c.** $5(1 - e^{-t/12.5}) = 4$ ise $e^{-t/12.5} = 0.2$, buradan $t = 12.5 \ln 5 = 20.1$ ms.

**CEVAP** a. 16.0 V, 3.20 Ω, $\tau = 12.5$ ms
b. $i = 5.00(1 - e^{-t/12.5})$ A $(t \geq 0)$,
$v_L = 16.0\, e^{-t/12.5}$ V $(t \geq 0^+)$ c. 20.1 ms

### 8.19

← Soru s. 9

**a.** $v_C(0^-) = 15$ V (1 konumunda kararlı hâl, 2 kΩ'dan akım yok). 2 konumunda kondansatör 8 kΩ üzerinden boşalır: $\tau_b = 8(2.5) = 20.0$ ms.

$$v_C(t) = 15.0\, e^{-t/20}\ \text{V}, \qquad 0 \leq t \leq 20\ \text{ms},$$

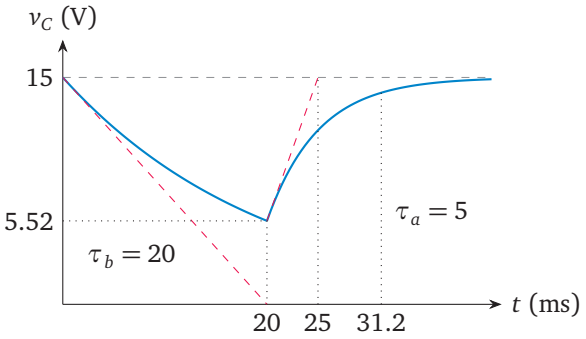
$v_C(20) = 15\, e^{-1} = 5.52$ V. 1 konumunda 2 kΩ üzerinden 15 V'a doğru dolar: $\tau_a = 2(2.5) = 5.00$ ms.

$$v_C(t) = 15.0 - 9.48\, e^{-(t-20)/5}\ \text{V}, \qquad t \geq 20\ \text{ms}.$$

**b.** $i_8(0^+) = 15/8 = 1.88$ mA (aşağı).
$i_2(20^+) = (15 - 5.52)/2 = 4.74$ mA (kaynaktan kondansatöre).

**c.** $15 - 9.482\, e^{-(t-20)/5} = 14$ ise
$t - 20 = 5 \ln 9.482 = 11.2$, yani $t = 31.2$ ms.

**d.** Boşalma yavaş ($\tau_b = 20$ ms), dolma dört kat hızlıdır ($\tau_a = 5$ ms). Kesikli doğrular her aralığın başlangıç teğetidir; teğet, son değer çizgisini bir zaman sabiti sonra keser.




**CEVAP** a. $15.0\, e^{-t/20}$ V ($\tau_b = 20.0$ ms);
$15.0 - 9.48\, e^{-(t-20)/5}$ V ($\tau_a = 5.00$ ms)
b. 1.88 mA; 4.74 mA c. 31.2 ms

ertansinansahin.com

# KİTABIN TAMAMINDA

- 9 ünite, 160 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.

ertansinansahin.com