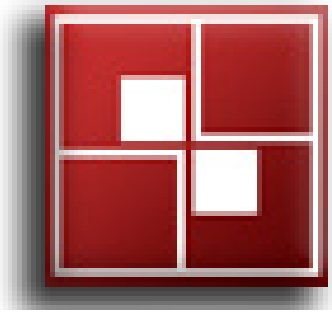


FIRAT ÜNİVERSİTESİ

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EET351 GÜÇ ELEKTRONİĞİ LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

Deney-1: MATLAB/Simulink Ortamının Tanıtılması ve Temel Uygulamalar

Deney-2: Diyotun Akım-Gerilim Karakteristiğinin MATLAB/Simulink Modelinin Oluşturulması

Deney-3: Basit DC-DC Kıyıcı Devresinin MATLAB/Simulink Uygulaması

Deney-4: Kontrolsüz (Denetimsiz) Yarım Dalga Doğrultucu

Deney-5: Kontrollü (Denetimli) Yarım Dalga Doğrultucu

Deney-6: Kontrolsüz (Denetimsiz) Tam Dalga Doğrultucu

Deney-7: Kontrollü (Denetimli) Tam Dalga Doğrultucu

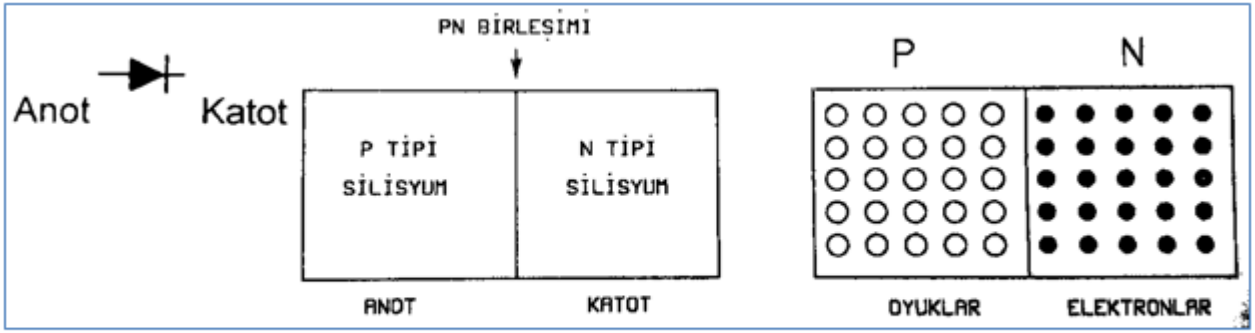
Deney-8: Kontrollü Tam Dalga Doğrultucunun R-L Yükü ile İncelenmesi

Deney-9: AC-AC Kıyıcı Devresinin MATLAB/Simulink Uygulaması

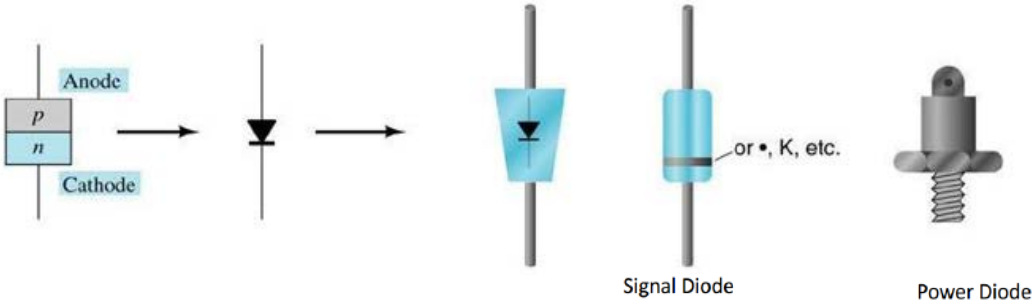
Deney-10: Üç Fazlı Kontrolsüz Tam Köprü Doğrultucu

Deney-11: Üç Fazlı Kontrollü Tam Köprü Doğrultucu

- Akımı bir yönde geçiren, P ve N birleşimine diyot denir.
- Diyodun P maddesi Anot, N maddesi katot olarak adlandırılır.
- Semboldeki okun yönü N maddesini gösterir. Şekilde Diyodun PN birleşimi ve sembolü verilmiştir.



Şekil : Diyodun sembolü ve PN yapısı

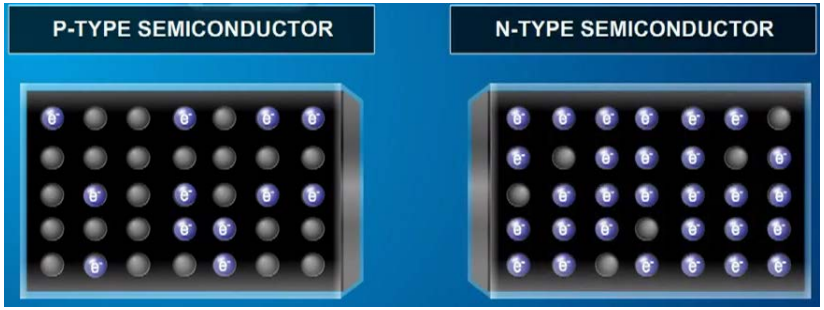


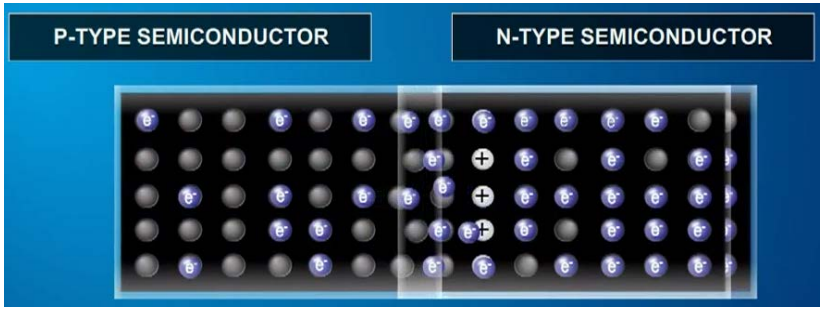


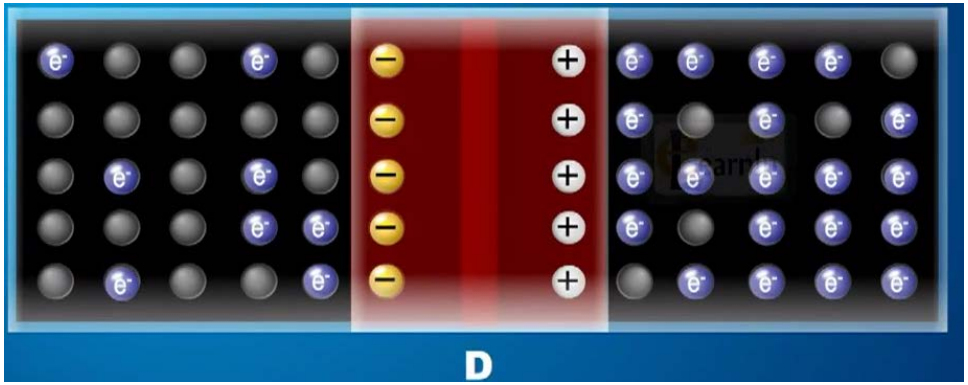
Polarmasız PN Birleşimi

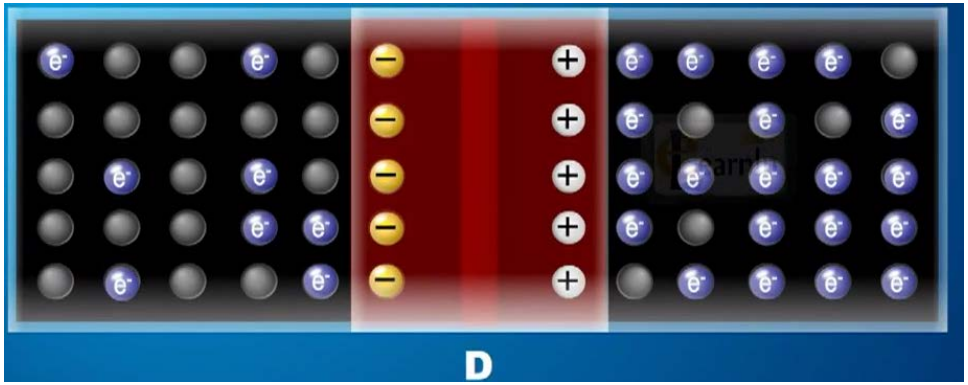
- P ve N tipi maddeler birleştirildiğinde; N maddesinin birleşim yüzeyine yakın serbest elektronlar P maddesinin birleşim yüzeyine yakın oyuklarını doldurur. N maddesi elektron verdiğinden " + " iyon ve P maddesi elektron aldığından " - " iyon durumuna geçer.

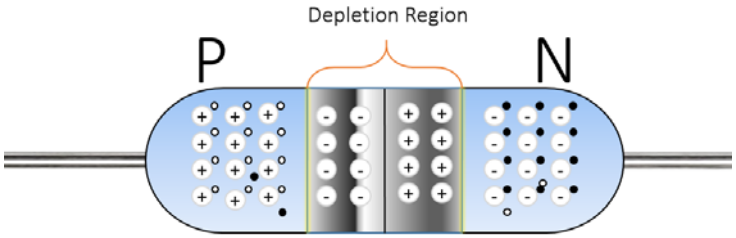
- Bunun sonucunda çok sayıda + ve – iyon PN birleşim yüzeyinde kümelenir. N maddesinin birleşim yüzeyine uzak elektronları hareketsiz kalır. Böylece Şekilde görüldüğü gibi jonksiyonun her iki tarafında elektron ve boşluk bulunmayan boş bir bölge meydana gelir.











Şekil: Polarmasız PN birleşimi

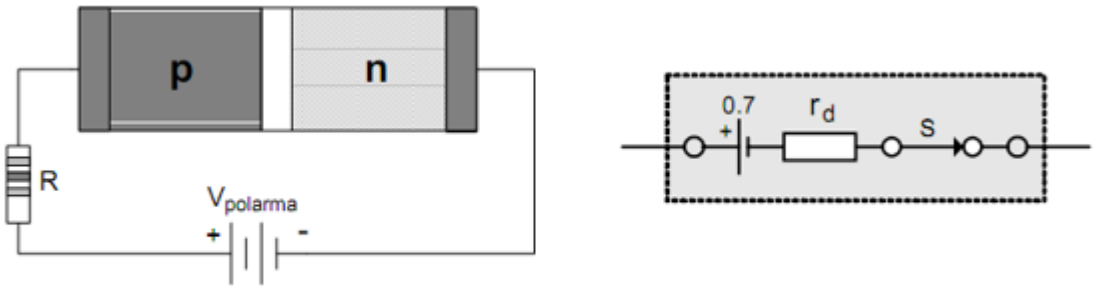
- Şekildeki birleşim bölgesinde potansiyel bir fark oluşur. Bu potansiyel fark oyuk-elektron birleşimine engel olduğu için " Engel Gerilimi " veya " Eşik Gerilimi " olarak adlandırılır.

- Bu değer 25 Cº oda sıcaklığında

  Silisyum diyotta 0.7 Volt ve

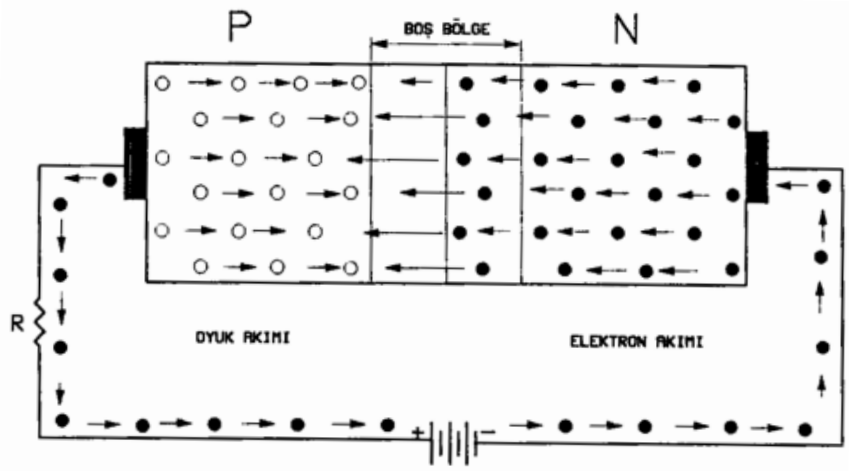
  Germanyum diyotta 0.3Volt tur.

- Polarma: bir yarı iletken devre elemanını istenilen durumda çalıştırmak için, sabit bir DC gerilimle beslemektir.
- İleri yönde polarma diyottan akım geçtiği durumdur.
- Bataryanın pozitif ucu P bölgesine ve negatif ucu N bölgesine bağlanmıştır



Şekil : İleri yönde polarma

İleri Yönde Polarma



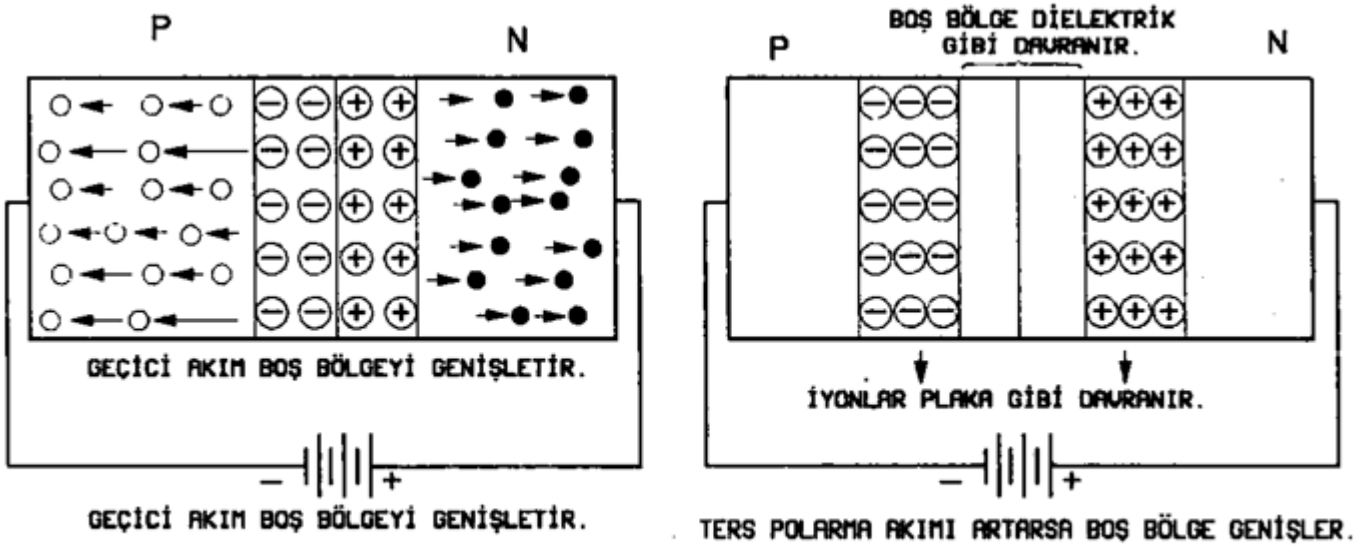
Şekil : İleri yönde polarmada elektron-oyuk hareketi

- Güç kaynağının negatif terminali N maddesinin elektronlarını birleşim yüzeyine doğru iterken , pozitif terminalde P maddesindeki oyukları birleşim yüzeyine doğru iter.
- Elektronlar güç kaynağının sağladığı enerji ile eşik gerilimini aşıp oyuklarla birleşirler.
- N maddesinden çıkan elektron miktarı kadar güç kaynağının negatif terminalinden elektron girişi olur. Bu elektronlar oyuktan oyuğa geçerek güç kaynağının pozitif terminaline kadar gider.

Ters Yönde Polarma

- Ters polarmada bataryanın negatif ucu P bölgesine, pozitif ucu ise N bölgesine bağlanmıştır. Ters polarmada PN birleşiminden akım akmaz.

- Bataryanın negatif terminali P maddesindeki boşlukları ve pozitif terminali ise N maddesindeki elektronları kendine doğru çeker. Elektron ve oyukların birleşim yüzeyinden uzaklaşmasıyla boş bölge genişler.

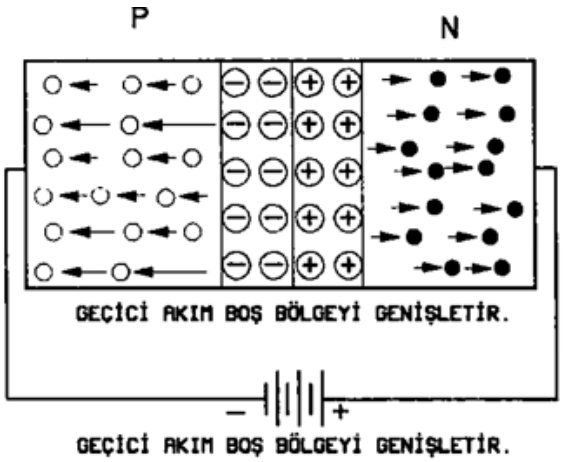


Şekil: Ters polarmada eşik gerilimi

- Ters polarmada, azınlık akım taşıyıcıları çok küçük bir akım meydana getirirler. Bu akım µA (Ge) veya nanoAmper (Si) seviyesindedir. Sıcaklık yükselirse ters akım (Sızıntı Akımı) artar

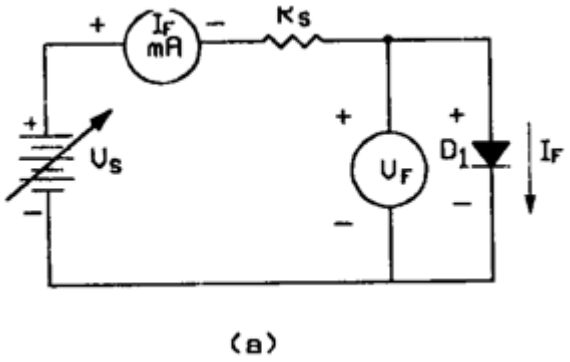
Çığ Olayı ve Çığ Akımı

- Ters polarmada gerilim çok büyürse, P tipi yarı iletkenin iletim bandındaki bir azınlık elektronu yeterli enerjiyi alarak kaynağın pozitif ucuna doğru hızla hareket ederek önce bir ve daha sonra diğer elektronlara çarparak çığ akımı olarak adlandırılan büyük bir akım meydana getiriler. Bu olayı meydana getiren gerilime kırılma gerilimi veya zener gerilimi de denir. Normal diyotlar çığ akımı geçtiğinde bozulur.

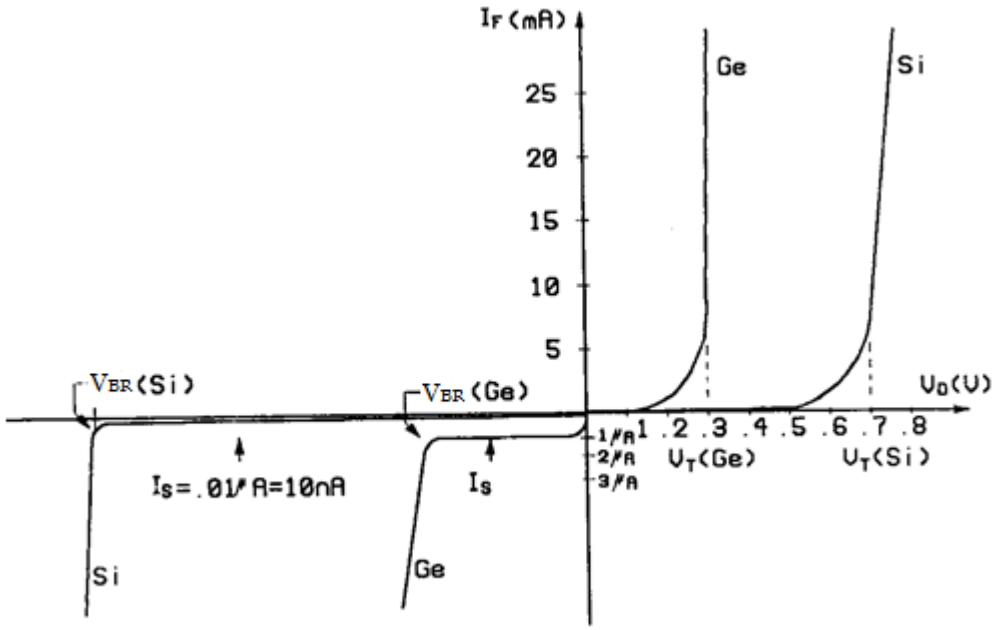


Diyot Karakteristiğinin çıkarılması

İleri Yön Polarmada



(a)

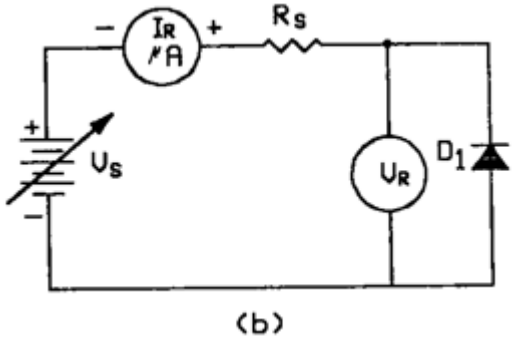


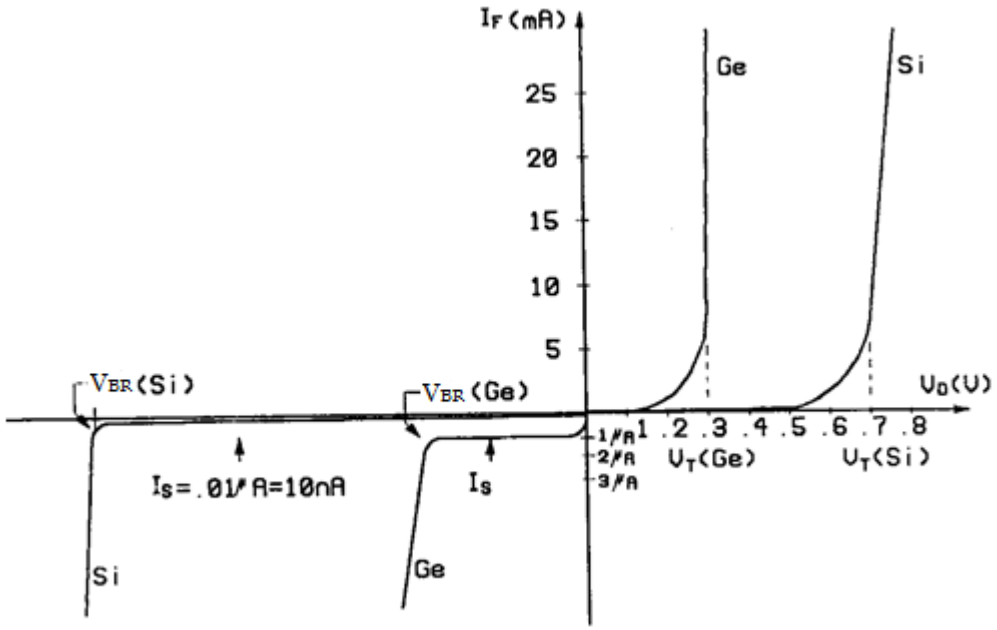
- Diyodun ileri yönde polarmada akım-gerilim ilişkisini elde etmek için, Şekil(a)'daki gibi diyot bir akım sınırlama direnci üzerinden güç kaynağına bağlanır.

- V_s gerilimi artırılarak V_F voltmetresinde 0.1 volt aralıklarla diyota uygulanan gerilim arttırılır. Her gerilim artışında diyottan geçen akım ampermetreden okunur. Gerilimler yatay eksene, akımlar dikey eksene işaretlenir.

Diyot Karakteristiğinin çıkarılması

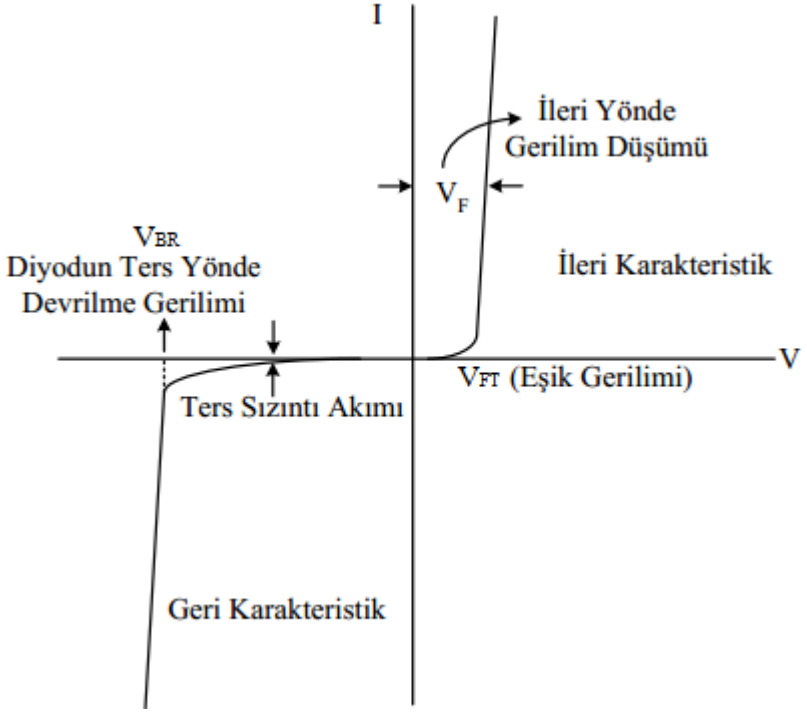
Ters Yön Polarmada

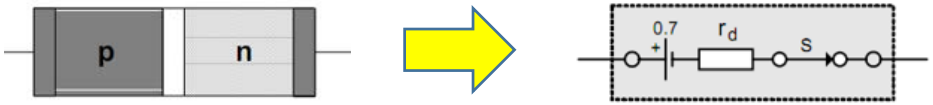




- Diyodun ters polarmada akım-gerilim ilişkisini elde etmek için, Şekil(b)'deki gibi diyot bir akım sınırlama direnci üzerinden kaynağa bağlanır.
- Diyota uygulanan ters gerilim artırılarak V_F voltmetresinde 10 volt aralıklarla diyota uygulanan gerilim arttırılır.
- Her gerilim artışında diyottan geçen akım ampermetreden okunur. Gerilimler yatay eksene, akımlar dikey eksene işaretlenir.

Diyot'un Gerilim düşümü





r_d : Diyotun iç direnci

V_{FT} : Eşik Gerilimi

V_{BR} : Ters Yönde devrilme gerilimi

I_F : İletim akımı

V_F : İletim gerilim düşümü

⇒ Diyot

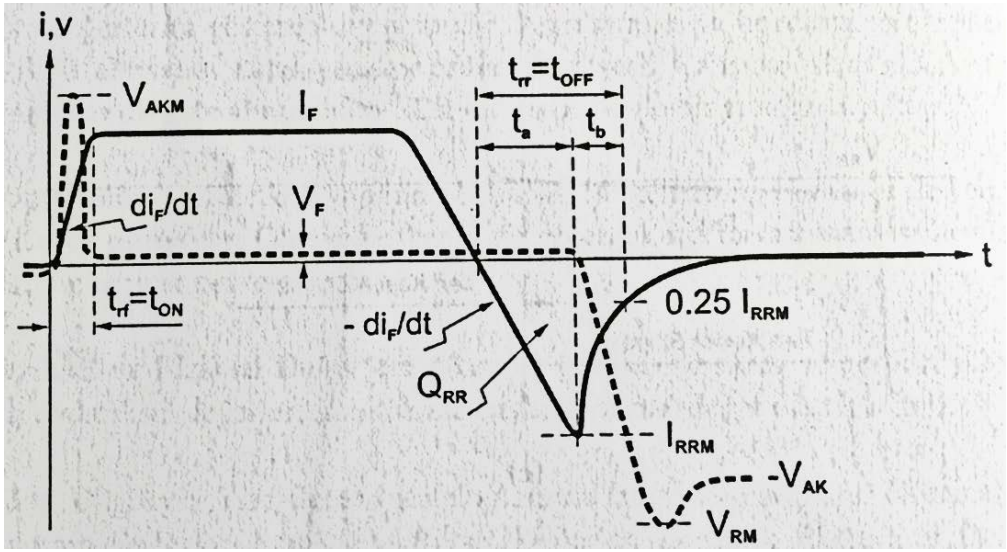
İleri Yönde Eşik geriliminin (V_{FT}) üzerinde çok küçük bir dirence (r_d) sahip bir iletken

Ters yönde Devrilme gerilimine (V_{BR}) kadar çok büyük iç dirence sahip bir yalıtkandır.

İletimde olan bir diyotun gerilim düşümü

$$V_F = V_{FT} + r_d I_F$$

Diyot'un Anahtarlama Karakteristiği



I_F : İletim akımı,

I_{RRM} : Maksimum ters toparlanma akımı,

V_F : İletim gerilim düşümü,

V_{RM} : Maksimum ters gerilim,

$\pm di_F/dt$: Diyot akımının yükselme ve düşme hızı,

Q_{RR} : Ters toparlanma elektrik yükü,

t_{ON} : İletime girme süresi,

t_{OFF} : Kesime girme süresi ya da ters toparlanma süresidir.

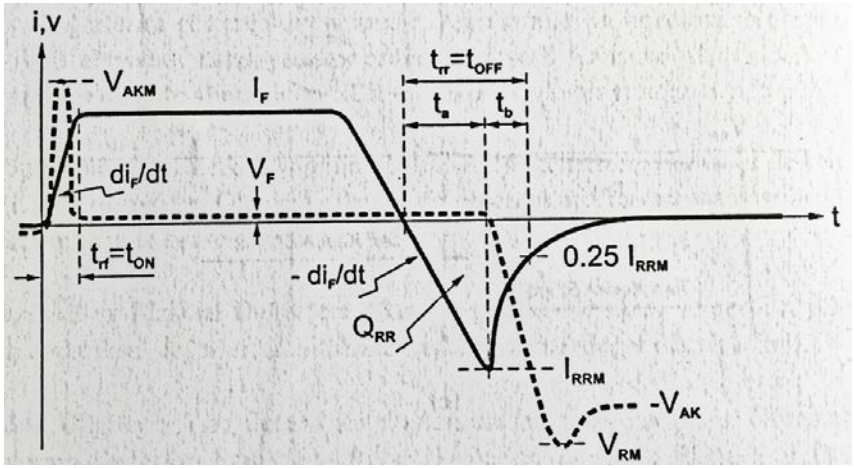
- Şekilde verilen anahtarlama karakteristiğinde, diyodun iletim ve kesime girme işlemleri görülmektedir.

İletime Girme İşlemi,

- Kesimdeki bir diyoda ileri yönde bir gerilim uygulanmasıyla başlar, çok kısa süreli bir gerilim piki oluşur ve gerilimin V_F değerine düşmesiyle tamamlanır.

- Bu süre (t_{on}) genellikle ihmal edilir.

Diyot'un Anahtarlama Karakteristiği



I_F : İletim akımı,

I_{RRM} : Maksimum ters toparlanma akımı,

V_F : İletim gerilim düşümü,

V_{RM} : Maksimum ters gerilim,

$\pm di_F/dt$: Diyot akımının yükselme ve düşme hızı,

Q_{RR} : Ters toparlanma elektrik yükü,

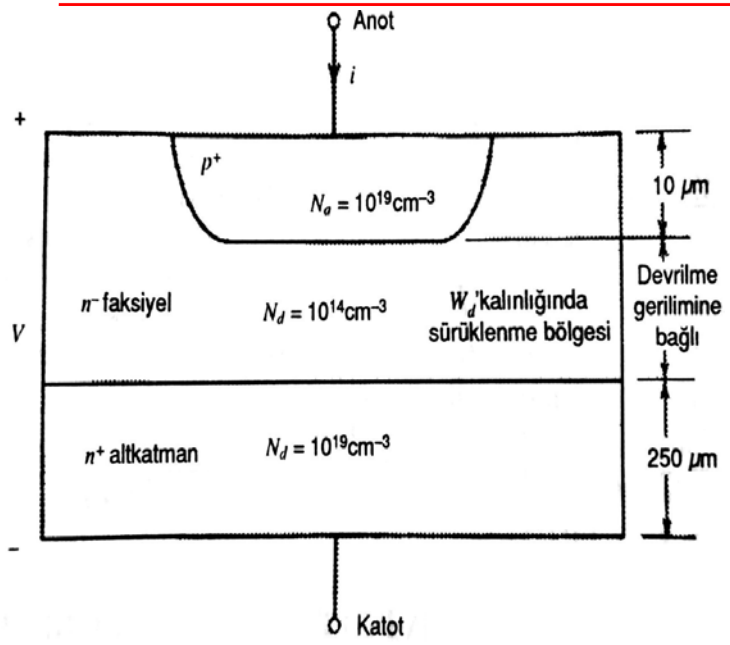
t_{ON} : İletime girme süresi,

t_{OFF} : Kesime girme süresi ya da ters toparlanma süresidir.

Kesime Girme İşlemi,

- İletimde olan bir diyoda ters yönde bir gerilim uygulanmasıyla başlar.
- Önce akımı sıfır olan diyot, jonksiyon ve tabakalarda biriken elektrik yükünden (Q_{RR}) dolayı, bir süre ters akım geçirir. Bu ters akım, bir maksimum değer (I_{RRM}) aldıktan sonra , biriken yükün iyice azalması nedeniyle hızlıca sıfıra iner.
- Ters Toparlanma Süresi (t_{rr}) kadar ters akım geçiren diyot, toparlanarak kesime girer. Bu süre, elemanın anahtarlama güç kaybı ve maksimum çalışma frekansı açısından önemlidir. Bu süreçte ters akımın ani olarak sıfıra düşmesi, aşırı gerilimlerin endüklenmesine ve sorunlara yol açabilmektedir.
- Bu sorunun çözümü amacıyla, Yumuşak Toparlanmalı Diyotlar geliştirilmiştir..

GÜÇ Diyotu



Sinyal diyota göre çok fazla katkılanmış P^+ ve N^+ katmana sahiptir.

① Fazla katkılanmış N^+ katman üzerine ilave bir N^- malzeme katmanı yerleştirilmiştir.

② Bu N^- katmanı Daha az katkılanır.

③ Bu bölge Sinyal diyotta yoktur.

TERS YÖNDE POLARMA:

① Daha az katkılanmış N^- katmandan dolayı, ters polarmada Geçiş Bölgesinin genişliği artar. Yani büyük potansiyelli bir bariyer oluşur.

② Bu durum diyotun; sinyal diyotuna göre daha fazla Ters Gerilimlere dayanmasını sağlar.

③ Kısacası Sürüklenme Bölgesi (N^-); ters Devrilme Geriliminin ne olacağını belirler.

Deney-3: Basit DC-DC Kıyıcı Devresinin MATLAB/Simulink Uygulaması

- Anahtarları sadece isim olarak tanımak yeterli değildir aynı zamanda bu anahtarları kullamnak önemlidir. Anahtar kayıplarını azaltmamız, soğutmayı, yüksek akım ve gerilime karşı korumayı ve anahtarları sürmeyi (tetiklemeyi) iyi yapmamız gerekir.

- Anahtarlarda güç kayıpları iki grupta incelenir. Bunlar
  1. İletim Kayıpları
  2. Anahtarlama Kayıpları ⇒ a) İletime girme kayıpları b) Kesime girme kayıpları

1. İLETİM KAYIPLARI

Anahtar sürekli rejimde iletimde iken, iletim süresince ortaya çıkan kayıplardır. Her anahtar için ayrı ayrı hesap yapılır.

⇒ Diyot , Tristör ve GTO gibi Anahtarların İletim Kayıpları

Pratikte bir diyotta eşik gerilimi ve ileri yönde bir R_f direnci mevcuttur.



$$\Rightarrow P_{iletim} = I_{ort} \times V_T + I_{eff}^2 \times R_f$$ Watt

NOT : Eğer akımın ortalama ve efektif sayısal değerleri yerine anahtar içinden geçen akımın dalga şekli mevcut ise, ortalama ve efektif değer dalga şeklinden hesaplanmalıdır.

⇒ Transistör ve IGBT gibi Anahtarların İletim Kayıpları

$$\Rightarrow P_{iletim} = V_{C_sat} \times I_{ort}$$ Watt

- Saturasyon bölgesinde çalışan elemanın akımının gerilim düşümündeki etkisi ihmal edilir ve gerilim düşümünün V_{C_sat} değerinde sabit olduğu düşünülür.

- Tipik olarak Küçük güçlü transistörlerde V_{C_sat} = 0.2 Volt ve
  Büyük güçlü transistörlerde V_{C_sat} = 0.5 Volt olarak alınır.

⇒ MOSFET ve SIT gibi Anahtarların İletim Kayıpları

$$\Rightarrow P_{iletim} = R_{DS(on)} \times I_{eff}^2$$ Watt

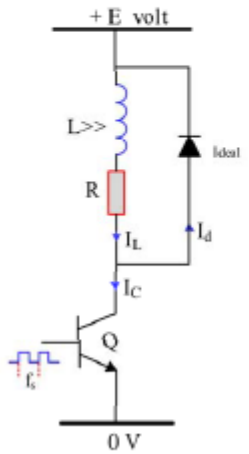
- MOSFET'in Drain ile Source uçları arasındaki iletim direncinden dolayı bir kayıp oluşur. $R_{DS(on)}$ sabit olmadığından güç kaybıda sabit olmaz.

- $R_{DS(on)}$ MOSFET'in kataloğunda verilir. Çünkü değeri sıcaklıkla değişir. Hangi jonksiyon sıcaklığında çalışılacaksa o değere bakılır.

2.ANAHTARLAMA KAYIPLARI

Anahtarın iletime ve kesime geçerken (anında) oluşan kayıplardır. Bütün anahtarlar için aynı şekilde hesaplanır. İletim ve kesime girme kayıpları diye ikiye ayrılır.

➢ Anahtarlama kayıplarını hesaplamak için bir TRANSİSTÖRÜ göz önüne alalım



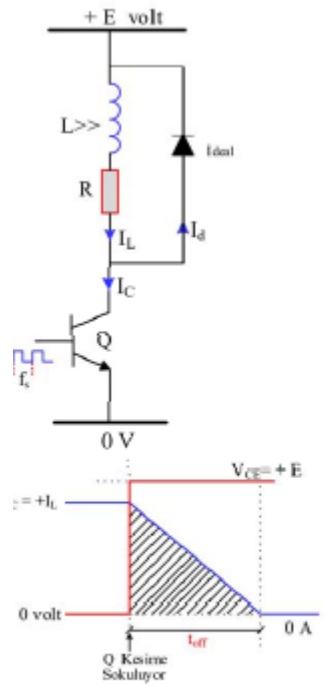
➢ Şekilde devrede bir RL yükü; Transistör anahtarlanarak bir gerilim kaynağı tarafından beslenmektedir.

➢ Hesaplama kolaylığı için: Transistör akımının, anahtar iletimde ve kesimde iken lineer değiştiği kabul edilir.

➢ Bunu sağlamak için **L>>** seçilmiştir.

➢ Devrede akımın ters akmasını sağlayacak yük üzerine bağlı bir boşluk diyodu mevcuttur.

Anahtarlama Kayıpları
a) İletime girme kayıpları
b) Kesime girme kayıpları



Kesime Girme kayıpları:

➢ Q anahtarı kesime girmeden önce iletimdedir.

Anahtar iletimde iken $I_C=I_L$ dir ve

Uçlarındaki gerilim saturasyonda yaklaşık olarak sıfıra yakındır.

➢ Kesime girme komutundan sonra,

⇒ I_C düşmeye başlar. Yük akımı $I_L=I_C + I_D$ sabit olduğundan I_C azaldığı için I_D'nin artması gerekir.

⇒ Diyot; akımı hemen üzerine aldığı için anahtar gerilimi de ani olarak artar ve $V_{CE}=E$ 'ye eşit olur.

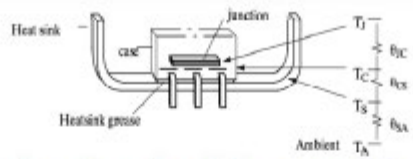
⇒ $I_C=0$ olduğu anda $I_L=I_D$ olacaktır.

⇒ Kesime girme anındaki enerji kaybı E_{off}

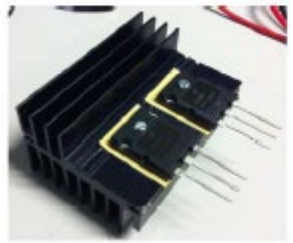
$$\Rightarrow E_{off} = \int_0^{t_{off}} V_{ce} . I_c \, dt = E . \frac{I}{2} . t_{off} \quad (Joule)$$

⇒ Kesime girme anındaki Güç kaybı P_{off}

$$\Rightarrow P_{off} = E_{off} \times f_s = \frac{1}{2} \times E \times I \times t_{off} \times f_s \quad (Watt)$$



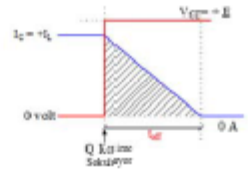
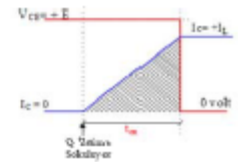
- Anahtarlama ve iletim kayıplarından dolayı yarı iletken anahtar içerisinde ısınma meydana gelir.
- Anahtarın en sıcak noktası Jonksiyondur.
- Jonksiyonun çalışma sıcaklığını güvenilir bir aralıkta tutmak için bu ısının; joksiyondan anahtarın dış kılıfına ve daha sonra bir soğutma ortamındaki soğutucuya transfer edilmesi gerekir.
- Bir anahtar için kullanılacak soğutucunun değeri hesaplanıp daha sonra satın alınması gerekir






SNUBBER DEVRELERİ

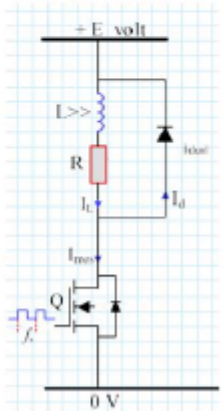
- Anahtar iletime geçerken yüksek akıma karşı ve kesime girerken yüksek gerilime karşı korumak için kullanılan devrelerdir.
- Akım ve gerilimin büyük değerlere ulaşması hem büyük güç kayıplarına neden olur hem de bu akım ve gerilim spike'ları anahtarı bozabilir.
- Temelde 3 tane Snubber devresi vardır.
  1. Turn-off Snubber (Kesime girme)
  2. Turn-on Snubber (İletime girme)
  3. Overvoltage Snubber (Aşırı gerilimde)

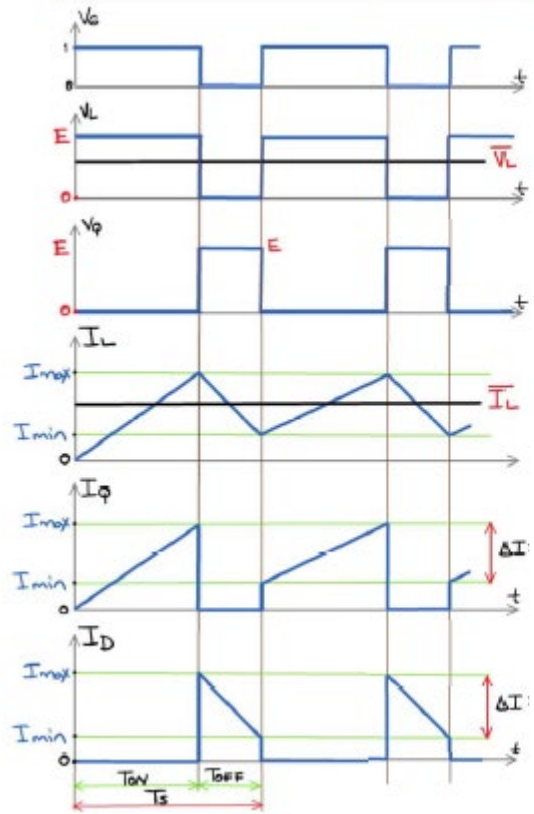



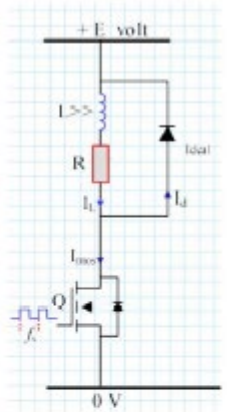
NOT: Bir anahtar bir defaya mahsus güvenli bölge (SOA) dışına çıkabilir, yani bir defaya mahsus yüksek akım/gerilime dayanabilir. Ama ikinci defa maruz kaldığında arızalanır.

Aşağıdaki şekilde verilen düşürücü moddaki DC-DC Kıyıcı **d=0.5-0.9** görev peryotları arasında çalıştırılmaktadır. MOSFET iletime geçerken içerisinden geçen akım **50A/µs** ile yükselmekte ve kesime geçerken bu akım **10A/µs** ile düşmektedir.

- MOSFET'in **165 °C** jonksiyon sıcaklığındaki $R_{DS(on)}$**=0.08Ω** dur.
- Boşluk Diyotu ise: iletim yönünde 1V'luk bir gerilim kaynağına seri bağlı r_d**= 0.10Ω** 'luk bir direnç ile temsil edilmektedir.
- Yük indüktansı çok büyük olduğuna göre (**L>> R**)



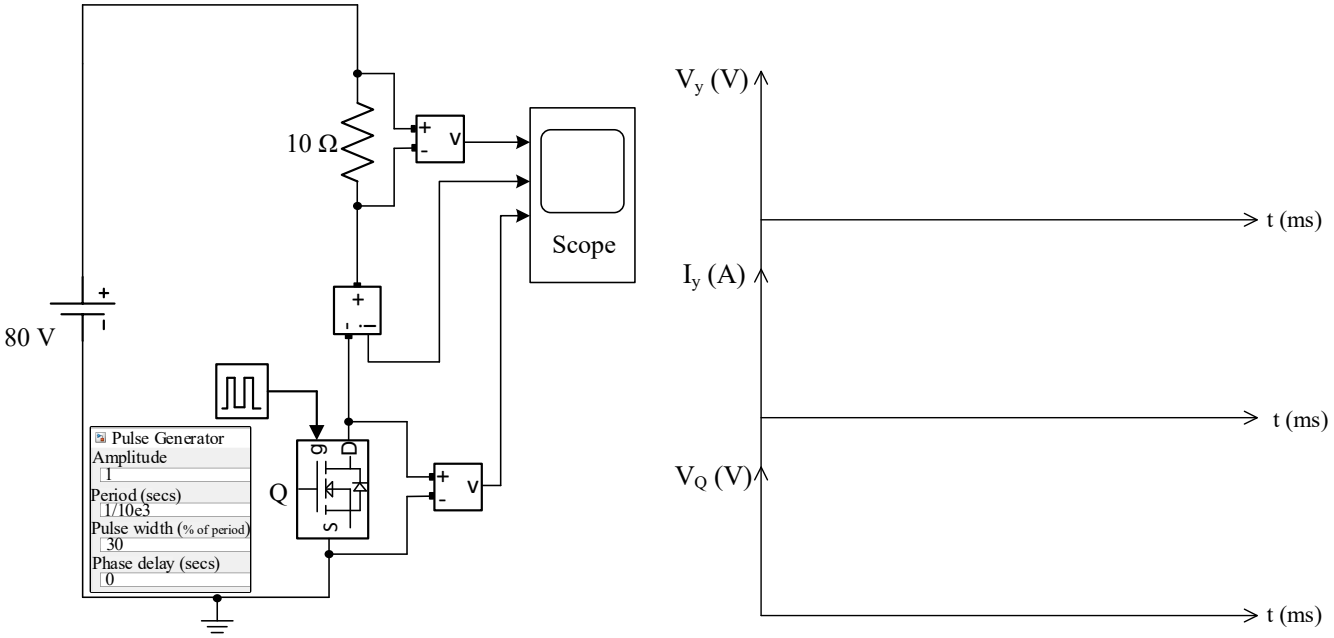




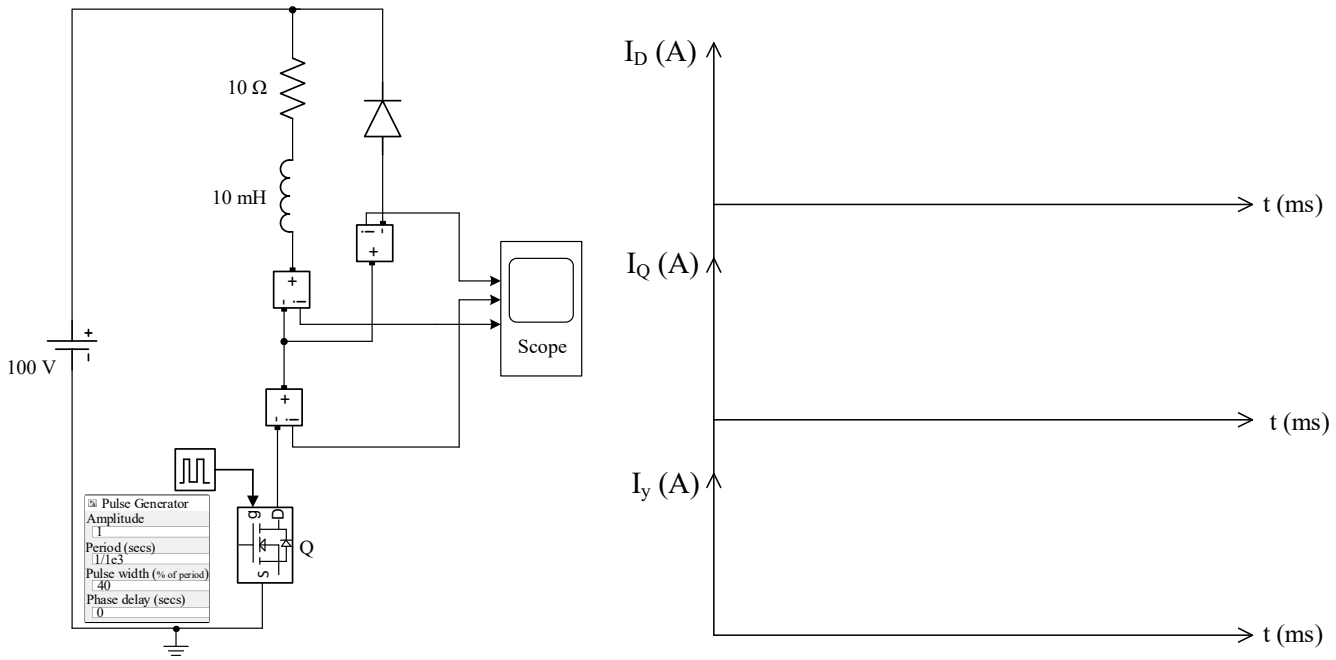
E = 250V
R = 25Ω
fs = 20 kHz

Çalışma Soruları

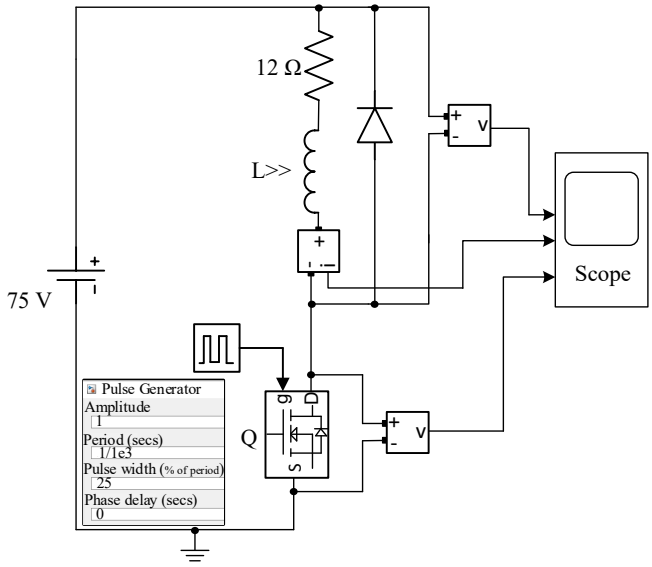
Aşağıda DC-DC kıyıcı devresinin Matlab/Simulink modeli verilmiştir. Buna göre; 2 anahtarlama peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. Ayrıca yük geriliminin ve akımının ortalama değerlerini hesaplayınız. (Anahtar idealdir.)

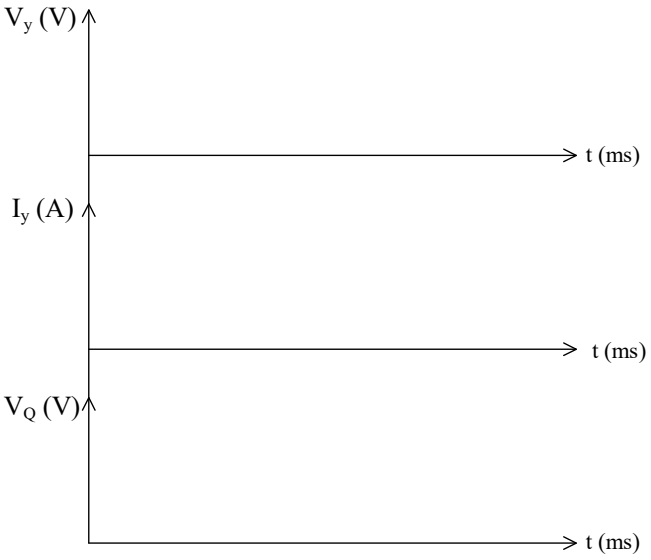


Aşağıda DC-DC kıyıcı devresinin Matlab/Simulink modeli verilmiştir. Buna göre; sürekli durumda ve 2 anahtarlama peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. Ayrıca yük akımındaki tepeden tepeye dalgalanmayı (ΔI) hesaplayarak grafik (I_y) üzerinde gösteriniz. (Anahtar ve diyot idealdir.)



Aşağıda DC-DC kıyıcı devresinin Matlab/Simulink modeli verilmiştir. Buna göre; sürekli durumda ve 2 anahtarlama peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. Ayrıca yük geriliminin ve akımının ortalama değerlerini hesaplayınız. (Anahtar ve diyot idealdir.)





Deney-4: Kontrolsüz (Denetimsiz) Yarım Dalga Doğrultucu

Güç Elektroniği devrelerinin analiz ve tasarımı için güç hesaplamaları çok önemlidir.

- **Anlık Güç:** Herhangi bir anahtar veya devre için Anlık Güç onun üzerindeki gerilim ve içinden geçen akımdan hesaplanır. Anlık güç; $p(t) = v(t)i(t)$

- **Enerji veya İş**; Anlık gücün integralidir. $W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)\,dt$

$v(t)$ = volt $i(t)$ = Amper
$p(t)$ = watt
W = joule

- **Ortalama Güç** : Periyodik gerilim ve akım fonksiyonları periyodik bir ortalama güç üretir. Ortalama güç; bir veya daha fazla periyot için $p(t)$'nin zaman ortalamasıdır.

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} p(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} v(t)i(t)\,dt$$

T : güç dalga şeklinin periyodudur.

Güç ayrıca birim periyot başına enerjiden hesaplanır. $P = \frac{W}{T}$

- Ortalama güç özellikle AC devrelerde *Gerçek Güç* veya *Aktif Güç* olarak isimlendirilir.
- "*Güç*" terimi genellikle "*Ortalama Güç*" anlamına gelir.

Efektif Değer (Roots Mean Square = RMS)

Akım veya gerilimin efektif değeri; RMS değer olarak bilinir. Periyodik bir gerilim dalga şeklinin efektif değeri bir dirence aktarılan ortalama güce dayandırılır.

- Bir direnç üzerindeki DC bir gerilim için güç formülü; $P = \frac{V_{dc}^2}{R}$
- Bir direnç üzerindeki periyodik bir AC gerilim için güç formülü; $P = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R}$

⇒ Ortalama direnç gücünün hesaplanması

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{v^2(t)}{R}\,dt = \frac{1}{R}\left[\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt\right]$$

⇒ Ortalama güç eşitliğinden yukarıdaki iki denklem eşitlenirse

$$P = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{1}{R}\left[\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt\right] \quad \Rightarrow \quad V_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt$$

⇒ Sonuç olarak rms veya efektif gerilimin $V_{\text{eff}} = V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt}$

⇒ Benzer şekilde efektif akım ifadesi $\boldsymbol{P = I_{eff}^2 . R}$ formülünden yola çıkılarak bulunabilir. $I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}$

ÖRNEK: Aşağıdaki Sinüs Dalga Şekillerinin RMS değerini bulunuz?

a) $v(t) = V_m \sin(\omega t)$

b) $v(t) = |V_m \sin(\omega t)|$ Tam dalga doğrultucu gerilimi

c) $\begin{matrix} v(t) = V_m \sin(\omega t) & 0 < t < T/2 \\ 0 & T/2 < t < T \end{matrix}$ Yarım dalga doğrultucu gerilimi

a)

$$\Rightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

b Tam dalga doğrultucu gerilimin rms değeri bulunurken; fonksiyonun karesinin integrali alınır. Sinüs dalgasının karesi; tam dalga doğrultulmuş sinüs dalgasının karesine **eşittir.** Bu nedenle iki dalganın RMS değerleri eşittir.

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

ÖRNEK: Aşağıdaki Sinüs Dalga Şekillerinin RMS değerini bulunuz?

a) $v(t) = V_m \sin(\omega t)$

b) $v(t) = |V_m \sin(\omega t)|$ Tam dalga doğrultucu gerilimi

c) $\begin{matrix} v(t) = V_m \sin(\omega t) & 0 < t < T/2 \\ 0 & T/2 < t < T \end{matrix}$ Yarım dalga doğrultucu gerilimi

c)

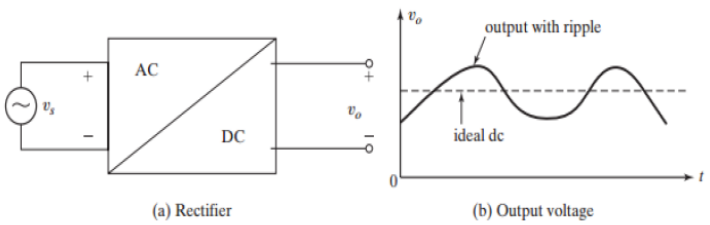
$$\Rightarrow \quad V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\left(\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 0^2\, d(\omega t)\right)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)}$$

Bu fonksiyon (a) ve (b) şıklarındaki fonksiyonun yarısıdır. Dolayısı ile fonksiyonu 1/2 ile çarpmak gerekir.

$$\Rightarrow \quad V_{\text{rms}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)} = \left(\sqrt{\frac{1}{2}}\right)\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)}$$

$\Rightarrow$ Yukarıdaki son denklemin sağ tarafındaki terim (a) şıkkındaki sinüs dalgasının RMS değeridir. Bu nedenle yarım dalga doğrultulmuş sinüsün efeketif değeri aşağıdaki gibi olur.

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2}}\,\frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{V_m}{2}$$



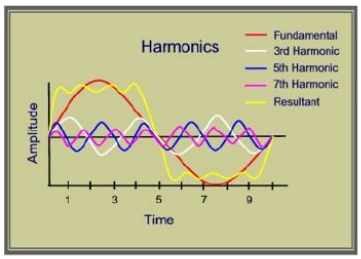
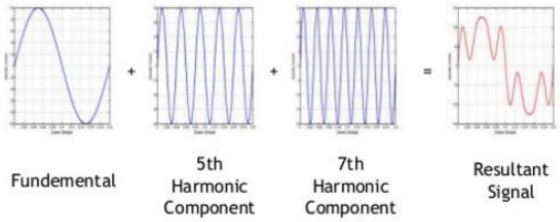
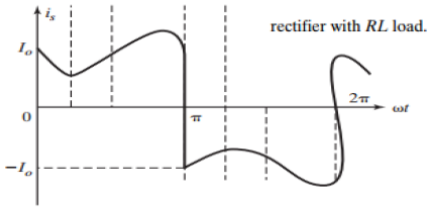


FIGURE 3.1
Input and output relationship of a rectifier.

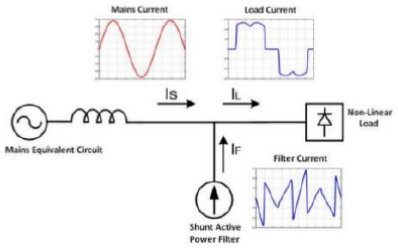


- Şekil 3.1(a)'daki bir doğrultucunun çıkış geriliminin ideal olarak saf bir dc olması gerekirken, pratik bir doğrultucunun çıkışı Şekil 3.1(b)'de gösterildiği gibi harmonikler veya dalgalanmalar içerir.

- Bir doğrultucu minimum miktarda harmonik içerikli bir dc çıkış gerilimi vermesi gereken bir güç işlemcidir.



(c) Supply line current



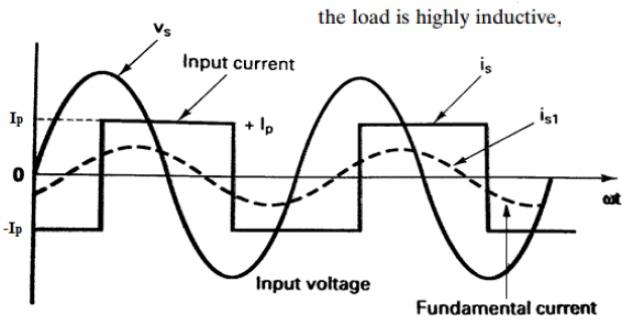


Figure **Waveforms for input voltage and current.**

- Bununla birlikte, **güç faktörü yaklaşık birim olsun diye**, doğrultucu giriş akımını mümkün olduğu kadar sinüzoidal ve giriş gerilimi ile aynı fazda tutmalıdır.

- Bir doğrultucunun güç işlem kalitesi Giriş Akımının, Çıkış Geriliminin ve Çıkış Akımının harmonik içeriklerinin belirlenmesini gerektirir. Biz gerilim ve akımların harmonik içeriklerini bulmak için Fourier Serisi açılımını kullanabiliriz.

➢ Bir doğrultucunun performansı çoğunlukla aşağıdaki parametreler açısından değerlendirilir.

➢ Çıkış Gerilimi ve Akımının 2 bileşenden oluştuğu kabul edilebilir;

(1) DC değer ve (2) AC bileşen veya Ripple.

V_{dc}: Çıkış yük gerilimin ortalama değeri

I_{dc}: Çıkış yük akımının ortalama değeri

P_{dc}: Çıkış dc güç değeri

V_{rms}: Çıkış gerilimin rms değeri

I_{rms}: Çıkış akımının rms değeri

P_{ac}: Çıkış ac güç değeri

Olmak üzere $P_{dc} = V_{dc} I_{dc}$ $P_{ac} = V_{rms} I_{rms}$

➢ Bir doğrultucunun Verimi veya Doğrultma Oranı $\Rightarrow$ $\eta = \dfrac{P_{dc}}{P_{ac}}$

Burada, η; güç verimliliği değildir. Bu çıkış dalga şeklinin kalitesinin bir ölçüsü olan Dönüştürme Verimliliğidir. Saf bir dc çıkış için dönüştürme verimliliği 1 (birim) olacaktır.

➢ Form Faktör : Çıkış geriliminin şeklinin (biçiminin) bir ölçüsüdür. $\Rightarrow$ $\text{FF} = \dfrac{V_{rms}}{V_{dc}}$

➢ Ripple Faktör : Ripple bileşenin bir ölçüsüdür ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\text{RF} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1} = \sqrt{\text{FF}^2 - 1}$$

➢ Transformatör Kullanım Faktörü yan taraftaki gibi tanımlanır. $\Rightarrow$ $\text{TUF} = \dfrac{P_{dc}}{V_s I_s}$

V_s : transformatör sekonder rms gerilimi

I_s : transformatör sekonder rms akımı

➢ Crest Faktör (CF): Is_{rms} değeri ile karşılaştırıldığında Is_{peak} peak giriş akımın bir ölçüsüdür

➢ Giriş akımının CF değeri aşağıdaki gibi tanımlanır. $\text{CF} = \dfrac{I_{s(peak)}}{I_s}$

$\Rightarrow$ Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD); bir dalga şeklinin sinüzoidal olamayan özelliğini belirtmek için kullanılan diğer bir terimdir. THD; akımın ana harmoniği dışındaki bütün terimlerin RMS değerinin, akımın ana harmoniğinin RMS değerine oranıdır.

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_{1,rms}^2}{I_{1,rms}^2}}$$

- Genellikle güç elektroniği devrelerinde gerilim ve akımlar periyodiktir ama sinüzodal değildir. Genel durum için bu bölümün başında açıklanan güç terimleri için temel tanımlar uygulanmalıdır.

- **Güç hesaplamaları yaparken yapılan genel bir hata**; sinüzoidal dalgalar için bazı özel bağlantıları, sinüzoidal olmayan dalga şekilleri için kullanmaya çalışmaktır.

- Fourier serisi; sinüzoidal olmayan periyodik dalgaları sinüs serileri açısından açıklamak için kullanılabilir. Bu devreler için güç bağlantıları Fourier serisinin bileşenleri cinsinden ifade edilebilir.

1) $$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$ veya

2) $$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega_0 t + \theta_n)$$ $$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$ $$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{a_n}{b_n}\right)$$ veya

3) $$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)$$ $$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$ $$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{-b_n}{a_n}\right)$$

- Doğrultucular; sinüzoidal bir gerilim kaynağının lineer olamayan bir yüke uygulanmasıdır.

Gerilim sinüzodal

$$v(t) = V_1 \sin(\omega_0 t + \theta_1)$$

Akım dalga şekli sinüzoidal olamayacaktır

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega_0 t + \phi_n)$$

⇒ Yük tarafından çekilen veya
Kaynak tarafından verilen Ortalama Güç

$$\begin{aligned} P &= V_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{V_{n,\max} I_{n,\max}}{2}\right) \cos(\theta_n - \phi_n) \\ &= (0)(I_0) + \left(\frac{V_1 I_1}{2}\right) \cos(\theta_1 - \phi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(0)(I_{n,\max})}{2} \cos(\theta_n - \phi_n) \\ &= \left(\frac{V_1 I_1}{2}\right) \cos(\theta_1 - \phi_1) = V_{1,\text{rms}} I_{1,\text{rms}} \cos(\theta_1 - \phi_1) \end{aligned}$$

⇒ Yükün Güç Faktörü

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{\text{rms}} I_{\text{rms}}}$$

$$\text{pf} = \frac{V_{1,\text{rms}} I_{1,\text{rms}} \cos(\theta_1 - \phi_1)}{V_{1,\text{rms}} I_{\text{rms}}} = \left(\frac{I_{1,\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}\right) \cos(\theta_1 - \phi_1)$$

Distorsiyon Faktörü (*DF*: *Distortion Factor*)

$$\text{DF} = \frac{I_{1,\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}$$

akımın ana(birinci) harmoniğin rms değerinin toplam akımın rms değerine oranına

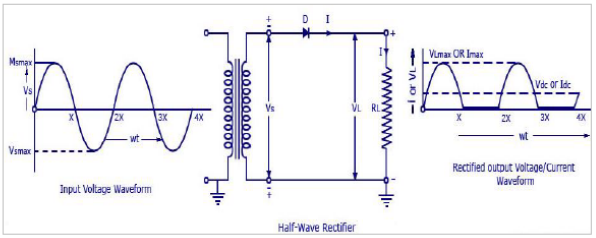
Yer Değiştirme Faktörü (*Displacement Power Factor*)

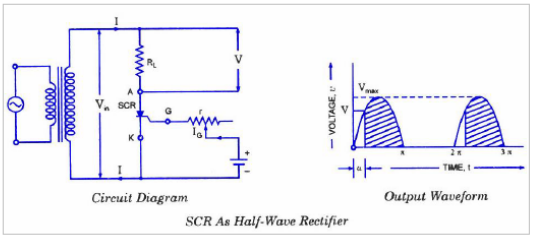
$$\cos(\theta_1 - \phi_1)$$

Güç faktöründeki azalmayı temsil eder.

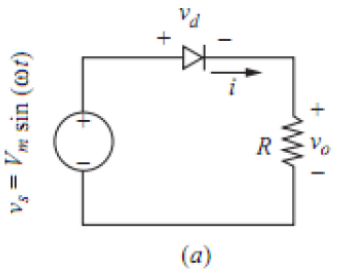
YARIM DALGA DOĞRULTUCULAR

- Doğrultucular ac gerilimi dc gerilime dönüştürür.
- Bir doğrultucunun amacı "düzgün dc çıkış üretmek" veya "belirli bir dc bileşeni olan bir gerilim veya akım dalga şekli üretmek" olabilir.
- Uygulamada yarım-dalga doğrultucular genellikle düşük-güçlü uygulamalarda kullanılır. Çünkü kaynaktaki ortalama akım sıfır değildir ve sıfır olmayan akım transformatör performansında sorunlara neden olabilir.
- Bu devrenin pratik uygulamaları sınırlı olsa da, yarım-dalga doğrultucuyu detaylı olarak analiz etmek çok faydalıdır. Yarım dalga doğrultucu devresinin tam olarak kavranması (anlaşılması); öğrencinin minimum çaba ile daha karmaşık devreleri analiz etmesine yardım edecektir.

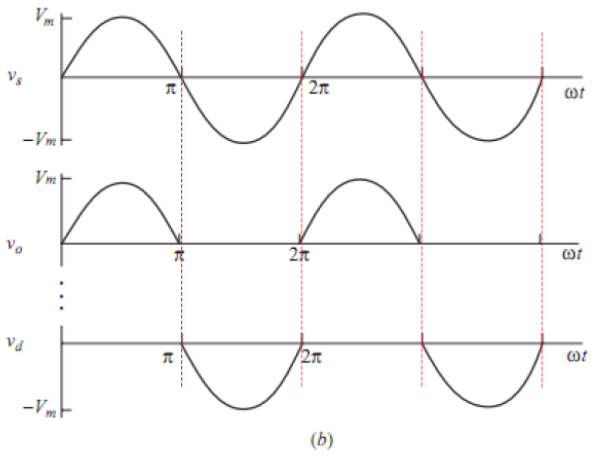




DİRENÇ YÜKÜ için Analiz



Şekil- 3.1(a): Direnç yüklü yarım-dalga doğrultucu, (b): Gerilim dalga şekilleri



- Bir rezistif yüklü temel bir yarım-dalga doğrultucu Şekil-3.1(a)'da gösterilmektedir. Kaynak AC'dir ve amaç sıfırdan farklı dc bileşeni olan bir yük gerilimi meydana getirmektir.
- Biz diyotların ideal olduğunu yani t_{rr} ters düzelme zamanını ve V_D gerilim düşümünü ihmal edildiğini varsayacağız.
- Yatay eksen üzerindeki birimlerin ωt açısı cinsinden olduğuna dikkat ediniz.

DİRENÇ YÜKÜ için Analiz

⇒ Çıkış geriliminin DC bileşeni $\mathbf{V_0}$; yarım-dalga doğrultulmuş sinüsün ortalama değeridir.

$$V_o = V_{avg} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}$$

⇒ Saf direnç yükü için akımın DC bileşeni $\mathbf{I_0}$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{V_m}{\pi R}$$

⇒ Şekil-3.1(a)'da direnç tarafından çekilen ortalama güç yan taraftaki formül kullanılarak hesaplanabilir

$$P = I_{rms}^2 R = V_{rms}^2/R.$$

⇒ Akım ve gerilim yarım-dalga doğrultulmuş sinüs olduğu zaman

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} [V_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{2} \quad \Rightarrow \quad I_{rms} = \frac{V_m}{2R}$$

NOT: Gerçek bir diyot için diyotun gerilim düşümü; yük gerilim ve yük akımının azalmasına neden olacaktır, fakat V_m büyükse bu kayda değer bir azalma olmayacaktır.

ÖRNEK: Şekil-3.1(a)'da ki yarım dalga doğrultucu için, kaynak 60Hz bir frekansta 120V RMS değere sahip bir sinüstür. Yük direnci 5Ω dur. Bu durumda;

a) Ortalama yük akımını, **b)** Yük tarafından çekilen ortalama gücü ve
c) Devrenin güç faktörünü belirleyiniz.

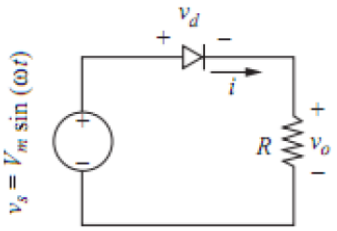
ÇÖZÜM:

a) Direnç üzerindeki gerilim; yarım-dalga doğrultulmuş bir sinüstür. Bu gerilimin maksimum değeri

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7\ \text{V}$$

⇒ Ortalama Gerilim V_m/π dir ve Ortalama Akım aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{V_m}{\pi R} = \frac{\sqrt{2}(120)}{5\pi} = 10.8\ \text{A}$$



---

b) Yarım-dalga doğrultulmuş bir sinüs için direnç üzerindeki RMS gerilim;

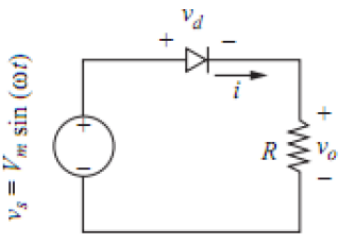
$$V_{rms} = \frac{V_m}{2} = \frac{\sqrt{2}(120)}{2} = 84.9\ \text{V}$$

⇒ Direnç çekilen ortalama güç

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{84.9^2}{4} = 1440\ \text{W}$$

ÖRNEK: Şekil-3.1(a)'da ki yarım dalga doğrultucu için, kaynak 60Hz bir frekansta 120V RMS değere sahip bir sinüstür. Yük direnci 5Ω dur. Bu durumda;

a) Ortalama yük akımını, **b)** Yük tarafından çekilen ortalama gücü ve
c) Devrenin güç faktörünü belirleyiniz.



b) II. Yol

$$I_{\text{rms}} = \frac{V_m}{2R}$$

⇒ Dirençten geçen RMS akım $V_m/(2R) = 17.0$ A

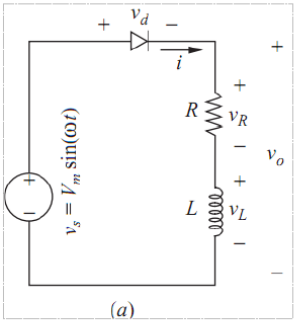
⇒ Direnç çekilen ortalama güç ayrıca hesaplanabilir $I_{\text{rms}}^2 R = (17.0)^2(5) = 1440$ W.

---

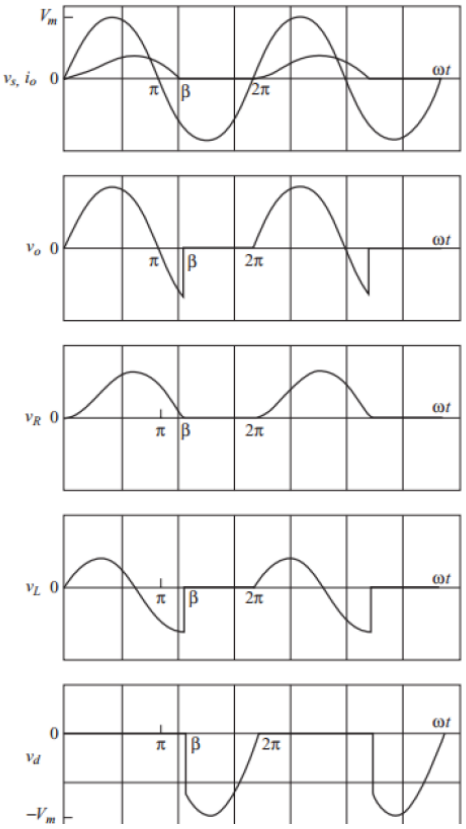
c) Güç Faktörü

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,\text{rms}} I_{s,\text{rms}}} = \frac{1440}{(120)(17)} = 0.707$$

DİRENÇ-İNDÜKTANS (R-L)YÜKÜ için Analiz

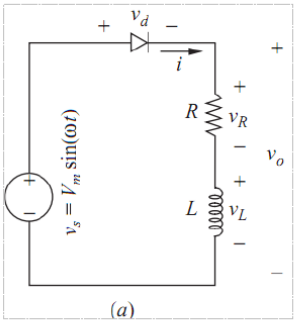


Şekil-3.2 (a) R-L yüklü yarım-dalga doğrultucu, (b) Dalga şekilleri



Diyot kesime girdiğinde akımın sıfıra eriştiği nokta oluşmaktadır. Bu değer β Susma Açısı olarak adlandırılır.

Endüstriyel yükler genellikle direncin yanında indüktansta içerirler. Ör: Motor



⇒ İleri-yönde polarmış ideal diyot için devrede akımı bulmak için Kirchhoff Gerilimler Kanunu denklemini yazalım

$$V_m \sin(\omega t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

⇒ Çözüm; akımın *Zorlanmış Cevabı* ve *Doğal Cevabının* toplamından elde edilebilir;

$$i(t) = i_f(t) + i_n(t)$$

Doğal cevap; **yüke enerji verildiği zaman oluşan geçici durumdur (transient)**. Bu kaynak veya diyot olmayan devre için homojen diferansiyel denklemin çözümüdür.

$$Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} = 0$$

Zorlanmış Cevap; Doğal Cevap sıfıra düştükten sonra var olan akımdır. Bu durumda Zorlanmış Cevap; **diyot devrede olmasaydı devrede var olacak sürekli-durum sinüzodal akımdır**

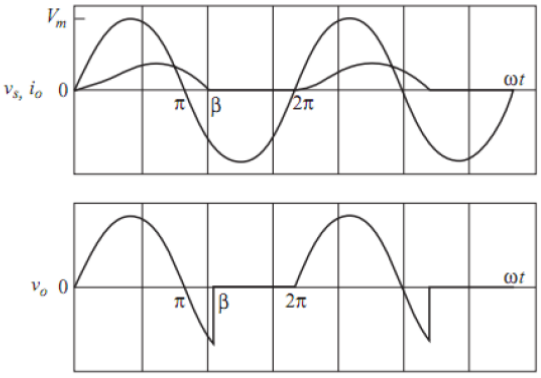
$$i_f(t) = \frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta)$$ ⇒ Burada $$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$ $$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

⇒ RL yükü için yarım-dalga doğrultucu devresinde akım aşağıdaki şekilde açıklanabilir,

$$i(\omega t) = \begin{cases} \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \theta) + \sin(\theta)e^{-\omega t/\omega\tau}\right] & \text{for } 0 \le \omega t \le \beta \\ 0 & \text{for } \beta \le \omega t \le 2\pi \end{cases}$$

where $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$ and $\tau = \frac{L}{R}$

$$\sin(\beta - \theta) + \sin(\theta)e^{-\beta/\omega\tau} = 0$$



⇒ İndüktans tarafından çekilen ortalama güç sıfırdır. Dolayısı ile Yük tarafından çekilen ortalama güç $I_{rms}^2 . R$ dir.

⇒ Akımın RMS değeri

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2(\omega t)\,d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta} i^2(\omega t)\,d(\omega t)}$$

⇒ Akımın Ortalama değeri

$$I_o = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta} i(\omega t)\,d(\omega t)$$

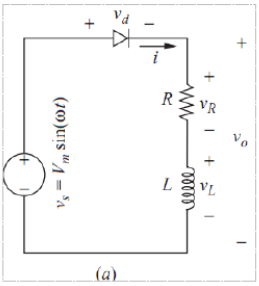
$$\Rightarrow V_o = \frac{V_m}{2\pi}\int_0^{\beta} \sin\omega t\; d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}\left[-\cos\omega t\right]_0^{\beta}$$ $$\Rightarrow V_o = \frac{V_m}{2\pi}\left[1 - \cos\beta\right]$$

ÖRNEK: Şekil-3.2(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, R=100Ω, L=0.1H, ω=377rad/s ve V_m=100Volt 'tur. Bu durumda;

a) Devrenin akım ifadesini, **b)** Ortalama akımı, **c)** RMS akımı,

d) RL yükü tarafından çekilen gücü, **e)** Güç faktörünü bulunuz.

ÇÖZÜM: Verilen parametreler için



$$Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{0.5} = 106.9\,\Omega$$
$$\theta = \tan^{-1}(\omega L/R) = 20.7^\circ = 0.361 \text{ rad}$$
$$\omega\tau = \omega L/R = 0.377 \text{ rad}$$

a) Akım denklemini yazalım

$$\Rightarrow \quad i(\omega t) = \frac{V_m}{Z}\left[\sin(\omega t - \theta) + \sin(\theta)e^{-\omega t/\omega\tau}\right] \qquad \text{for } 0 \le \omega t \le \beta$$

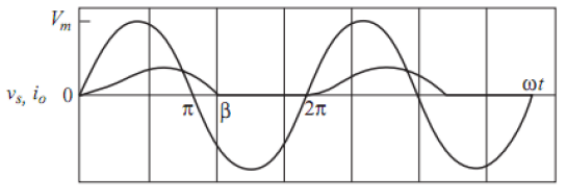
$$\Rightarrow \quad i(\omega t) = 0.936\sin(\omega t - 0.361) + 0.331e^{-\omega t/0.377} \quad \text{A} \qquad \text{for } 0 \le \omega t \le \beta$$

⇒ β Susma açısını bulalım

$$\sin(\beta - \theta) + \sin(\theta)e^{-\beta/\omega\tau} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sin(\beta - 0.361) + \sin(0.361)e^{-\beta/0.377} = 0$$

Nümerik bir kök-bulma programı kullanılarak, β Susma açısı **3.50 rad** veya **210°** olarak bulunur.

ÖRNEK: Şekil-3.2(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, R=100Ω, L=0.1H, ω=377rad/s ve V_m=100Volt 'tur. Bu durumda;



b) Ortalama Akım

$$\Rightarrow \quad I_o = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta} i(\omega t)\,d(\omega t)$$

$$\Rightarrow \quad I_o = \frac{1}{2\pi}\int_0^{3.50}\left[0.936\sin(\omega t - 0.361) + 0.331e^{-\omega t/0.377}\right]d(\omega t) = 0.308 \text{ A}$$

Bu sonuç ancak bir Sayısal İntegral programı kullanılarak hesaplanabilir.

---

c) RMS Akım

$$\Rightarrow \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2(\omega t)\,d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta} i^2(\omega t)\,d(\omega t)}$$

$$\Rightarrow \quad I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{3.50}\left[0.936\sin(\omega t - 0.361) + 0.331e^{-\omega t/0.377}\right]^2 d(\omega t)} = 0.474 \text{ A}$$

ÖRNEK: Şekil-3.2(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, R=100Ω, L=0.1H, ω=377rad/s ve V_m=100Volt 'tur. Bu durumda;

d) ⇒ Direnç tarafından çekilen ortalama güç $P = I_{\text{rms}}^2 R = (0.474)^2(100) = 22.4\ \text{W}$

⇒ İndüktans tarafından çekilen ortalama güç sıfırdır. P ayrıca ortalama güç tanımından hesaplanabilir.

$$P = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p(\omega t)\,d(\omega t) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\omega t)i(\omega t)\,d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_0^{3.50} [100\sin(\omega t)]\left[0.936\sin(\omega t - 0.361) + 0.331e^{-\omega t/0.377}\right]d(\omega t)$$

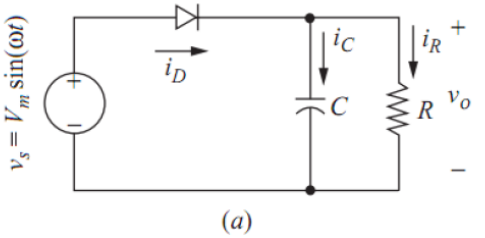
$$= 22.4\ \text{W}$$

---

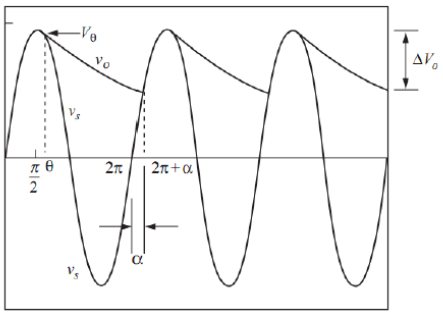
e) Güç Faktörü pf = P/S tanımından hesaplanabilir. **P**; kaynak tarafından verilen güçtür ve yük tarafından çekilen güçle aynı olmalıdır.

$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{s,\text{rms}} I_{\text{rms}}} = \frac{22.4}{(100/\sqrt{2})0.474} = 0.67$$

DİRENÇ-KONDANSATÖR (R-C)YÜKÜ için Analiz (Kondansatör Filtreli)



(a)



(b)

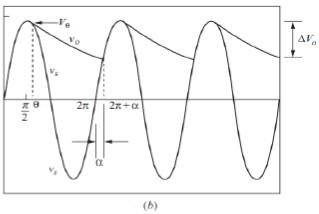
Şekil-3.3 (a) RC yüke sahip bir yarım-dalga doğrultucu, (b) Giriş ve çıkış gerilimi

- Paralel bir RC yüküne sahip yarım-dalga doğrultucunun devre şeması Şekil-3.3(a)'da gösterilmiştir.

- Bu devrede kondansatörün amacı çıkış gerilimindeki değişimleri azaltarak daha düzgün bir DC elde etmektir. Direnç harici bir yükü temsil edebilir ve Kondansatör doğrultucu devresinin bir filtresi olabilir.

- Kondansatörün başlangıçta şarjsız olduğunu ve devreye $\omega t = 0$'da enerji verildiğini varsayarsak, kaynak gerilimi pozitif olduğunda diyot ileri-yönde polarır.
- Diyot iletimde olduğu zaman çıkış gerilimi kaynak gerilimi ile aynı olur ve kondansatör şarj olur. Giriş gerilimi $\omega t = \pi/2$'de pozitif tepe gerilimine eriştiği zaman kondansatör V_m'e şarj olur.
- Kaynak gerilimi $\omega t=\pi/2$'den sonra azaldığı için, kondansatör direnç yüküne deşarj olur.
- Kaynak geriliminin çıkış geriliminden daha az olduğu noktada diyot ters-yönde polarır ve böylece kaynak yükten izole edilmiş olur. Diyot kesimde iken çıkış gerilimi RC zaman sabitli azalan bir exporansiyeldir.
- Diyodun kesime girdiği nokta; kaynak ve kondansatör gerilimlerinin değişim oranları karşılaştırılarak belirlenebilir.
- Şekil-3.3(b)'de, $\omega t=\theta$'açısı diyodun kesime girdiği noktadır.

- Çıkış gerilimi $v_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin \omega t & \text{Diyot İletimde} \\ V_\theta e^{-(\omega t-\theta)/\omega RC} & \text{Diyot Kesimde} \end{cases}$ $\Rightarrow$ Burada $V_\theta = V_m \sin \theta$



- Diyodun kesime girdiği açı $\theta = \tan^{-1}(-\omega RC) = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi$

$\Rightarrow$ Pratik uygulama devrelerinde zaman sabiti büyüktür ve bu nedenle;

$\theta \approx \frac{\pi}{2}$ ve $V_m \sin \theta \approx V_m$ dir.

- Bir sonraki periyotta, kaynak gerilimi çıkış gerilimi değerine geri geldiğinde, diyot ileri-yönde polarır ve çıkış tekrar kaynak gerilimi ile aynı olur. İkinci periyotta diyotun iletime girdiği açı $\omega t = 2\pi + \alpha$; sinüzoidal kaynağın, azalan exporansiyel çıkış ile aynı değere ulaştığı noktadır.

$\Rightarrow$ $V_m \sin(2\pi + \alpha) = (V_m \sin \theta) e^{-(2\pi+\alpha-\theta)/\omega RC}$ düzenlenirse

$\Rightarrow$ $\sin \alpha - (\sin \theta) e^{-(2\pi+\alpha-\theta)/\omega RC} = 0$ $\Rightarrow$ α Açısını bulmak için bu denklem **nümerik yöntemlerle** çözülmelidir.

- Kondansatör filtresinin verimliliği; tepeden-tepeye dalgalanma (ripple) gerilimi olan minimum ve maksimum çıkış gerilimleri arasındaki fark olarak ifade edilir.

- Şekil-3.3(a)'daki kontrolsüz doğrultucu için maksimum çıkış gerilimi V_m' dir. Minimum çıkış gerilimi ise $\omega t = 2\pi + \alpha$' da meydana gelir ve $V_m sin\alpha$' dan hesaplanır.

- Şekil-3.3(a)'daki devre için tepeden-tepeye dalgalanma (ripple)

$$\Delta V_o = V_m - V_m \sin \alpha = V_m(1 - \sin \alpha)$$

- Dalgalanma (ripple) gerilimi ayrıca aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$\Delta V_o = \frac{V_m}{fRC}$$

- Bu denklemden görüldüğü gibi, çıkış gerilimi dalgalanması kondansatör değeri arttırılarak azaltılabilir. **C arttıkça, diyot için iletim aralığı azalır**. Ancak kapasite değerini arttırmak daha büyük bir diyot tepe akımı oluşmasına neden olur.

⇒ peak diyot akımı

$$I_{D,\,\text{peak}} = V_m\left(\omega C \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{R}\right)$$

⇒ Kondansatör akımının ifadesi

$$i_C(\omega t) = \begin{cases} -\left(\dfrac{V_m \sin \theta}{R}\right) e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} & \text{for } \theta \le \omega t \le 2\pi + \alpha \quad \text{Diyot İletimde} \\ \omega C V_m \cos(\omega t) & \text{for } 2\pi + \alpha \le \omega t \le 2\pi + \theta \quad \text{Diyot Kesimde} \end{cases}$$

ÖRNEK: Şekil-3.3(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, **R=500Ω**, **C=100μF** 'tır. AC kaynak 60 Hz'de 120Volt RMS değere sahiptir. Bu durumda;

a) Çıkış gerilimi ifadesini, **b)** Çıkıştaki tepeden-tepeye gerilim değişimini
c) Kondansatör akımın ifadesini **d)** Tepe diyot akımını
e) ΔV_0'ın V_m'nin %1'i olması için C değerini hesaplayınız.

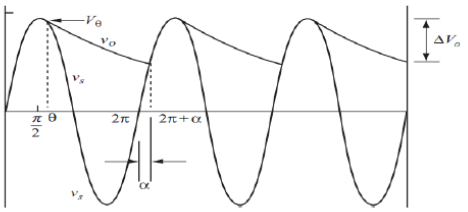
ÇÖZÜM: Verilen parametreler için

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7 \text{ V}$$
$$\omega RC = (2\pi 60)(500)(10)^{-6} = 18.85 \text{ rad}$$

$\Rightarrow$ θ açısını belirleyelim

$$\theta = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi \Rightarrow \theta = -\tan^{-1}(18.85) + \pi = 1.62\,\text{rad} = 93°$$

$$\Rightarrow V_\theta = V_m \sin\theta \Rightarrow V_m \sin\theta = 169.5 \text{ V}$$



$\Rightarrow$ **α** açısı **nümerik çözüm** kullanılarak belirlenir

$$\left.\begin{aligned} &\sin\alpha - (\sin\theta)e^{-(2\pi+\alpha-\theta)/\omega RC} = 0 \\ &\sin\alpha - \sin(1.62)e^{-(2\pi+\alpha-1.62/18.85)} = 0 \end{aligned}\right\} \alpha = 0.843 \text{ rad} = 48°$$

ÖRNEK: Şekil-3.3(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, **R=500Ω**, **C=100μF** 'tır. AC kaynak 60 Hz'de 120Volt RMS değere sahiptir. Bu durumda;

a) Çıkış gerilimi ifadesi

$$v_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin\omega t & \text{Diyot İletimde} \\ V_\theta e^{-(\omega t-\theta)/\omega RC} & \text{Diyot Kesimde} \end{cases} \Rightarrow v_o(\omega t) = \begin{cases} 169.7\sin(\omega t) & 2\pi+\alpha \le \omega t \le 2\pi+\theta \\ 169.5e^{-(\omega t-1.62)/18.85} & \theta \le \omega t \le 2\pi+\alpha \end{cases}$$

b) Çıkıştaki tepeden-tepeye gerilim değişimi

$$\Delta V_o = V_m - V_m \sin\alpha = V_m(1-\sin\alpha) = 169.7(1-\sin 0.843) = 43 \text{ V}$$

c) Kondansatör akımın ifadesi

$$i_C(\omega t) = \begin{cases} -\left(\frac{V_m \sin\theta}{R}\right)e^{-(\omega t-\theta)/\omega RC} & \text{for } \theta \le \omega t \le 2\pi+\alpha \quad \text{Diyot İletimde} \\ \omega C V_m \cos(\omega t) & \text{for } 2\pi+\alpha \le \omega t \le 2\pi+\theta \quad \text{Diyot Kesimde} \end{cases}$$

$$i_C(\omega t) = \begin{cases} -0.339e^{-(\omega t-1.62)/18.85} \text{ A} & \theta \le \omega t \le 2\pi+\alpha \\ 6.4\cos(\omega t) \text{ A} & 2\pi+\alpha \le \omega t \le 2\pi+\theta \end{cases}$$

ÖRNEK: Şekil-3.3(a)'da ki yarım dalga-doğrultucu için, **R=500Ω**, **C=100µF** 'tır. AC kaynak 60 Hz'de 120Volt RMS değere sahiptir. Bu durumda;

d) Tepe diyot akımı

$$I_{D,\text{peak}} = V_m\left(\omega C\cos\alpha + \frac{\sin\alpha}{R}\right) = \sqrt{2}(120)\left[377(10)^{-4}\cos 0.843 + \frac{\sin 8.43}{500}\right]$$

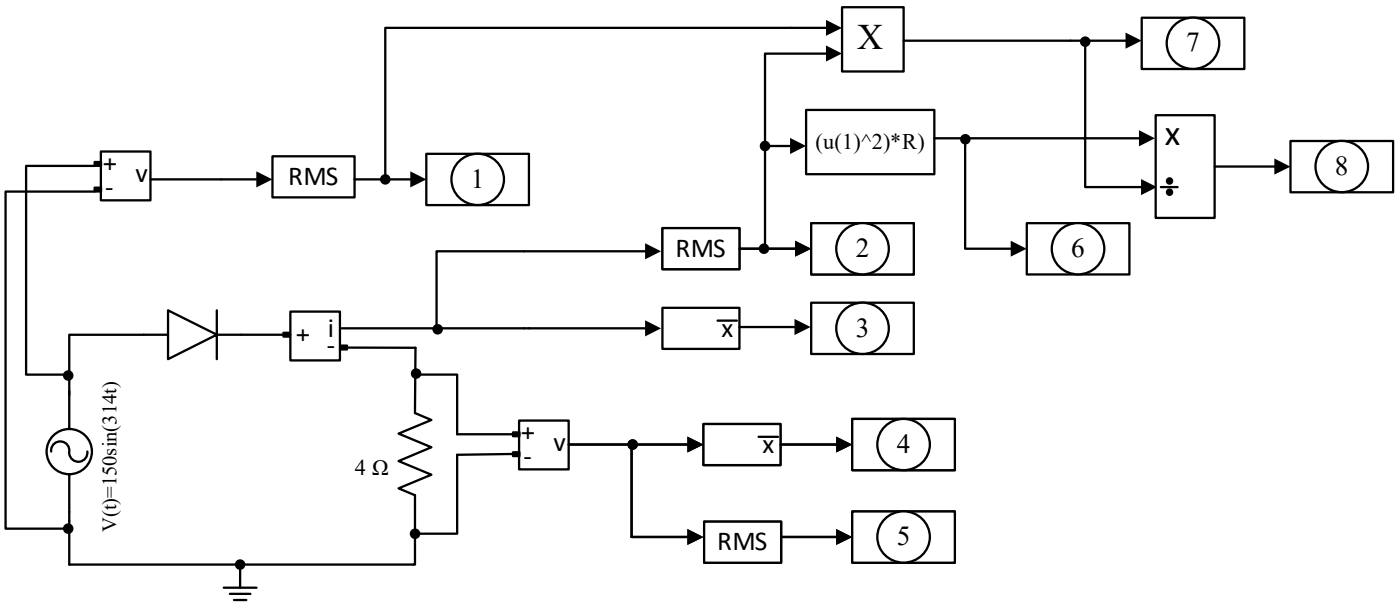
$$I_{D,\text{peak}} = 4.26 + 0.34 = 4.50\ \text{A}$$

e) ΔV_0'ın V_m'nin %1'i olması için C değeri

$$C \approx \frac{V_m}{fR(\Delta V_o)} = \frac{V_m}{(60)(500)(0.01V_m)} = \frac{1}{300}\text{F} = 3333\ \mu\text{F}$$

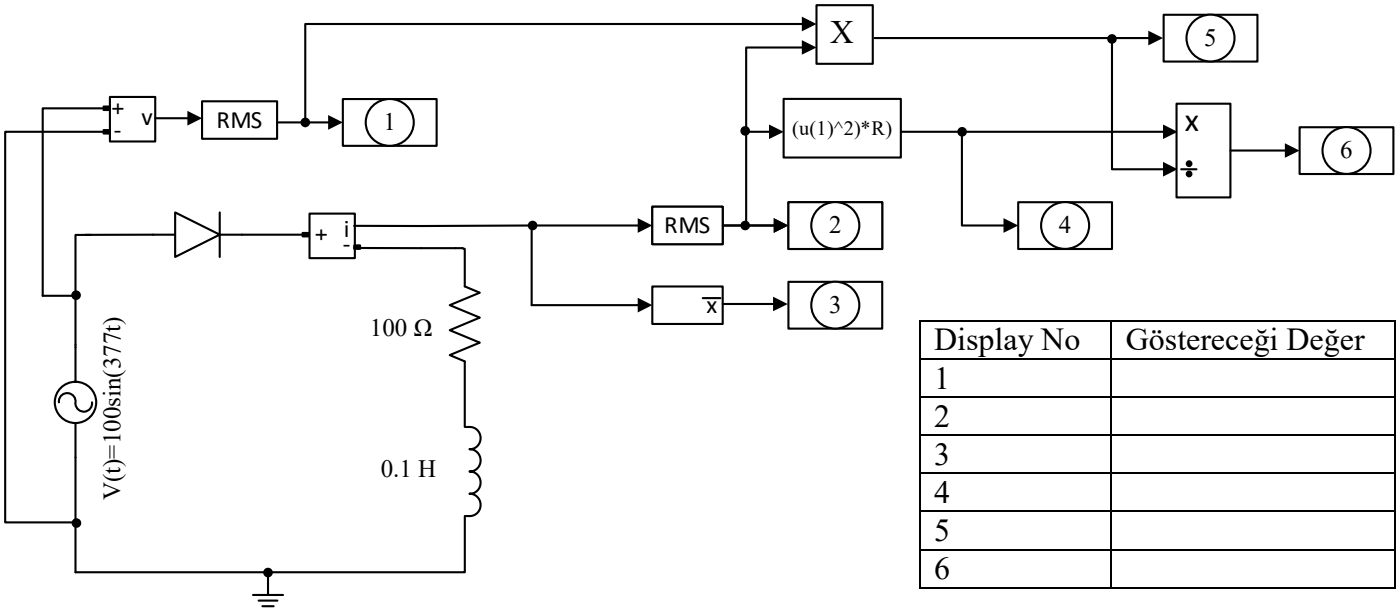
Çalışma Soruları

Kontrolsüz yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Diyot idealdir. Buna göre; 1'den 8'e kadar numaralandırılan Display ekranlarının göstereceği değerleri hesaplayınız ve tabloda belirtilen yerlere yazınız.



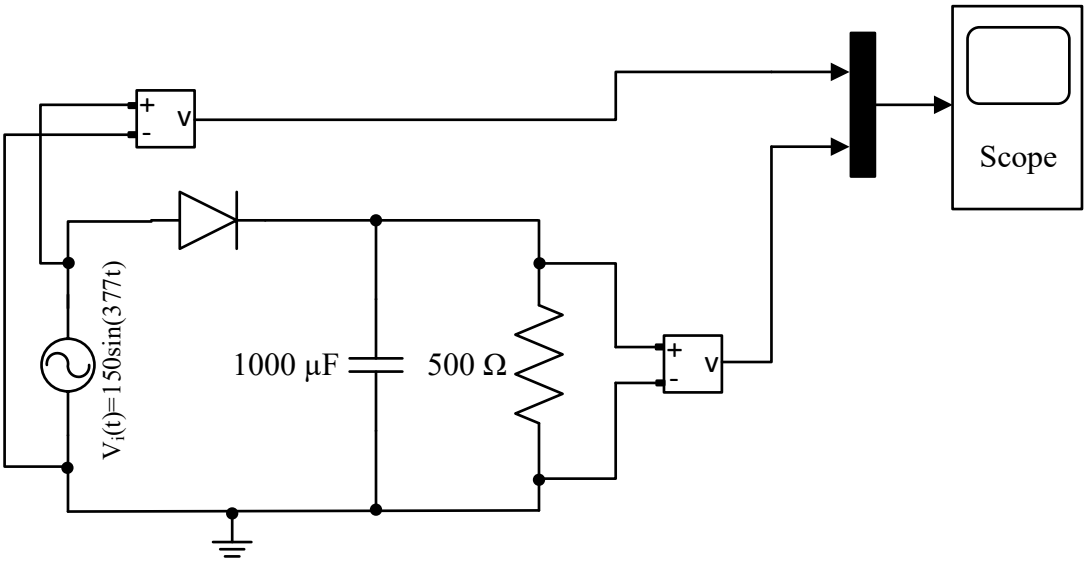
Display No	Göstereceği Değer	Display No	Göstereceği Değer
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

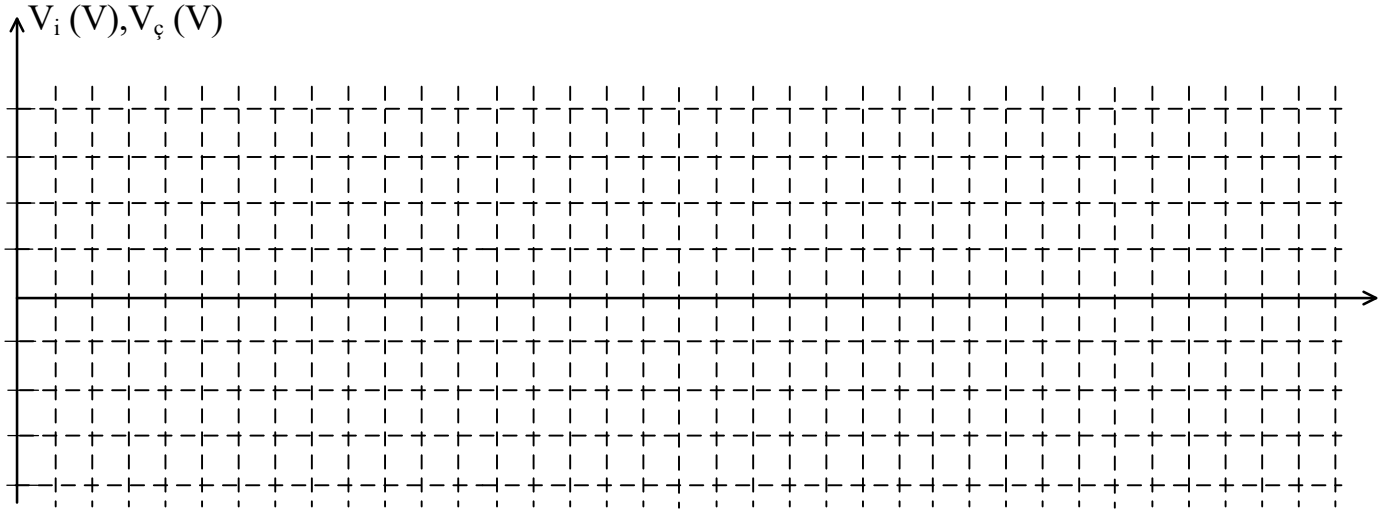
Kontrolsüz yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Diyot idealdir. Buna göre; 1'den 6'ya kadar numaralandırılan Display ekranlarının göstereceği değerleri hesaplayınız ve tabloda belirtilen yerlere yazınız.(β=210°)



Display No	Göstereceği Değer
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Paralel bir RC yüküne sahip tek fazlı kontrolsüz yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 3 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiğe ölçekli bir şekilde çiziniz. Ayrıca tepeden tepeye dalgalanmayı (ΔV_o) ve diyotun kesime girdiği noktadaki açı değerini (θ) hesaplayarak çizdiğiniz grafik üzerinde gösteriniz. ($\alpha=48^o$ ve diyot idealdir.).

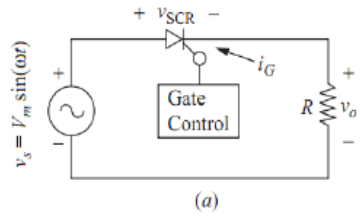


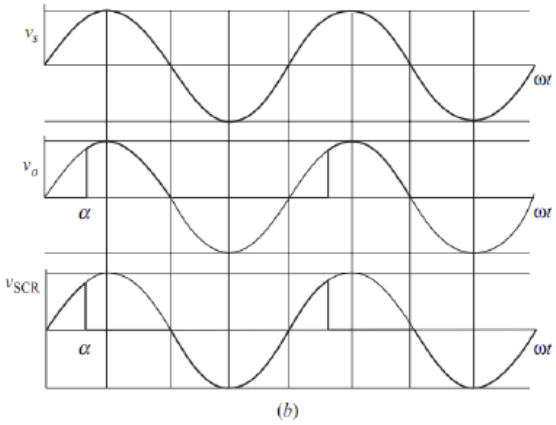


Deney-5: Kontrollü (Denetimli) Yarım Dalga Doğrultucu

- Bir yarım dalga-doğrultucunun çıkışını kontrol etmek için bir yol diyot yerine bir TRİSTÖR kullanmaktır.

- Bir direnç yüküne sahip temel bir kontrollü yarım-dalga doğrultucu Şekil-3.4(a)'da görülmektedir.





Şekil-3.4 (a) Direnç yüklü yarım-dalga doğrultucu, (b) Gerilim dalga şekilleri

- Diyottan farklı olarak, kaynak pozitif olur olmaz, Tristör iletime başlamayacaktır. İletim bir gate akımı uygulanıncaya kadar geciktirilir. Bu durum kontrol için Tristör kullanmanın temelini oluşturur. Tristör bir kez iletime geçerse, gate akımı kaldırılabilir ve akım sıfıra gidene kadar Tristör iletimde kalır.

- Şekil-3.4(b); bir direnç yükünü besleyen kontrollü bir yarım-dalga doğrultucu için gerilim dalga şekillerini göstermektedir.

- $\omega t = \alpha$' noktasında Tristöre bir gate sinyali uygulanır. Burada α gecikme açısıdır.

- Direnç üzerindeki ortalama (dc) gerilim aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\Rightarrow V_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha)$$

⇒ Direnç tarafından çekilen ortalama güç ⇒ V_{rms}^2/R

⇒ Direnç üzerindeki RMS gerilim ise

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} v_o^2(\omega t)\, d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} [V_m \sin(\omega t)]^2\, d(\omega t)} = \frac{V_m}{2}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}}$$

ÖRNEK: 120V RMS, 60Hz bir kaynaktan **100Ω'luk** bir direnç yükü üzerinde **40V'luk bir ortalama gerilim** oluşturmak için bir yarım-dalga kontrollü doğrultucu devresi tasarlayınız. Direnç tarafından çekilen gücü ve güç faktörünü belirleyiniz.

ÇÖZÜM:

Eğer Kontrolsüz (diyotlu) bir doğrultucu kullanılsaydı o zaman ortalama gerilim

$$V_m/\pi = 120\sqrt{2}/\pi = 54 \text{ V}$$

⇒ Ortalama gerilim denkleminden hareketle α gecikme açısını bulalım.

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}(1 + \cos\alpha) \quad \Rightarrow \quad \alpha = \cos^{-1}\left[V_o\left(\frac{2\pi}{V_m}\right) - 1\right] = \cos^{-1}\left\{40\left[\frac{2\pi}{\sqrt{2}(120)}\right] - 1\right\} = 61.2° = 1.07 \text{ rad}$$

⇒ RMS gerilim

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = \frac{\sqrt{2}(120)}{2}\sqrt{1 - \frac{1.07}{\pi} + \frac{\sin[2(1.07)]}{2\pi}} = 75.6 \text{ V}$$

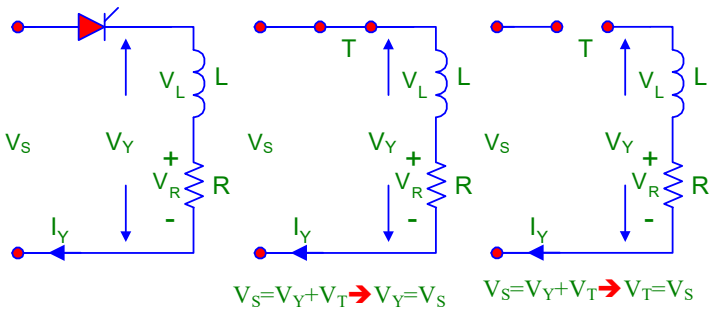
ÖRNEK: 120V RMS, 60Hz bir kaynaktan **100Ω'luk** bir direnç yükü üzerinde **40V'luk bir ortalama gerilim** oluşturmak için bir yarım-dalga kontrollü doğrultucu devresi tasarlayınız. Direnç tarafından çekilen gücü ve güç faktörünü belirleyiniz.

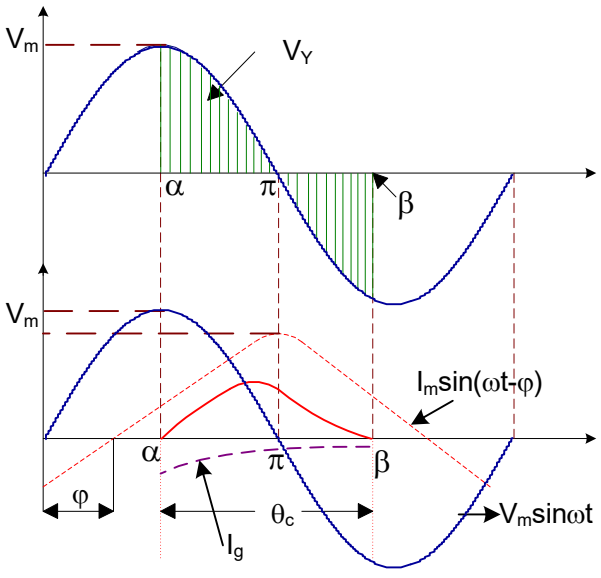
⇒ Yük tarafından çekilen güç $P_R = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{(75.6)^2}{100} = 57.1 \text{ W}$

⇒ Devrenin güç faktörü

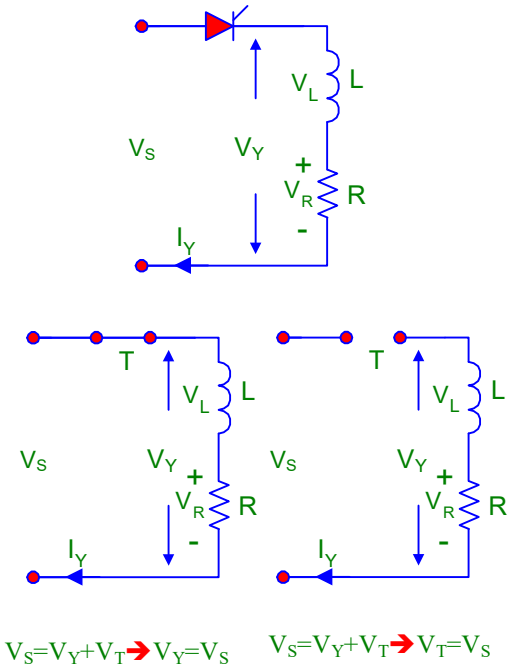
$$\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{S,rms} I_{rms}} = \frac{57.1}{(120)(75.6/100)} = 0.63$$

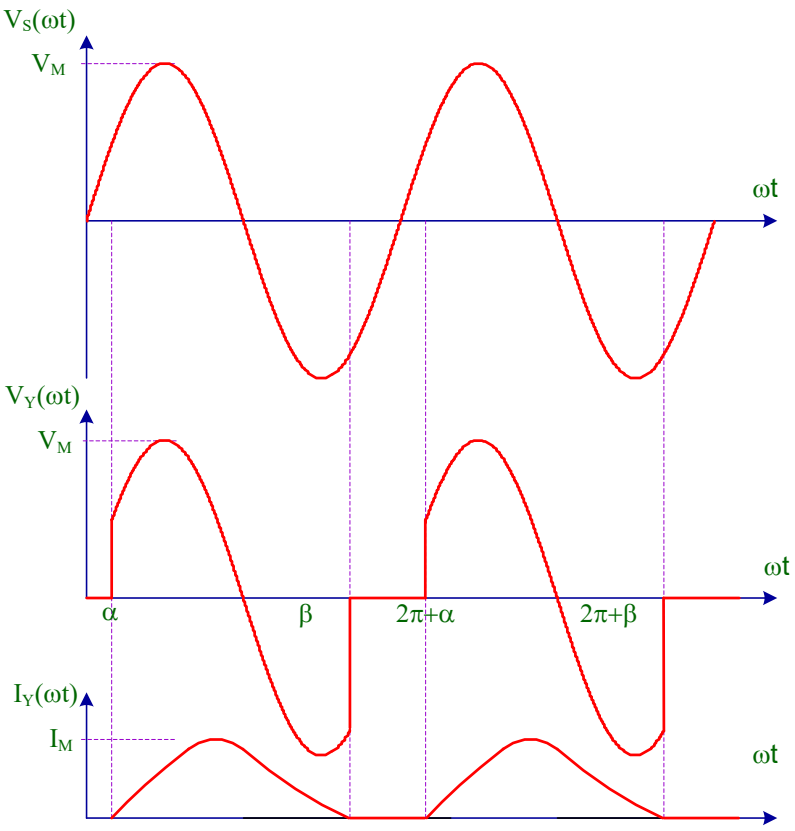
RL Yükü İçin Analiz



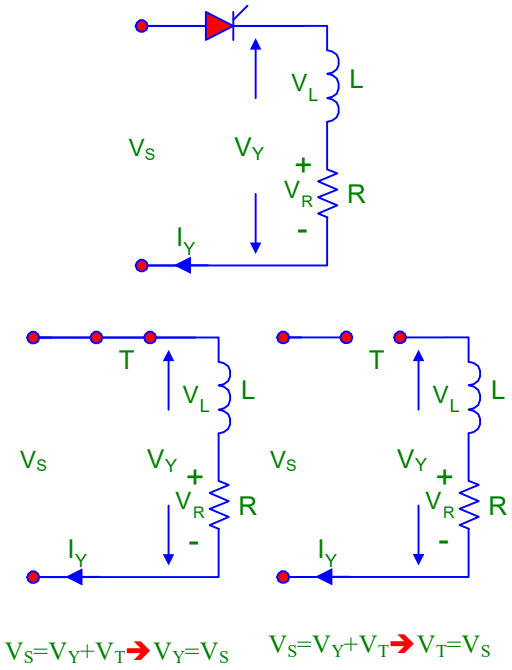


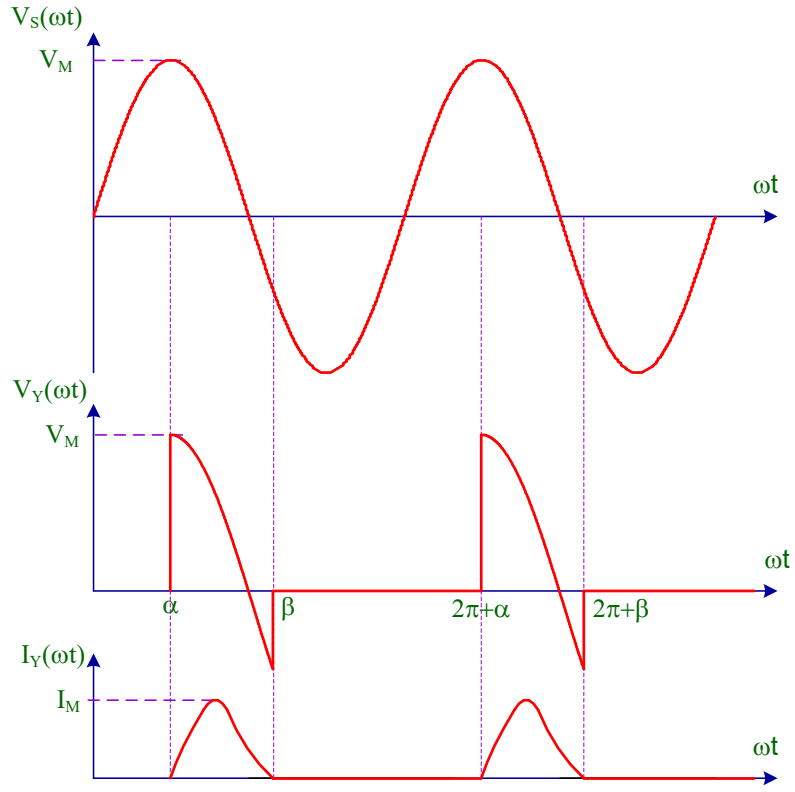
RL Yüklü Tek–Fazlı denetimli devreler: α=30°





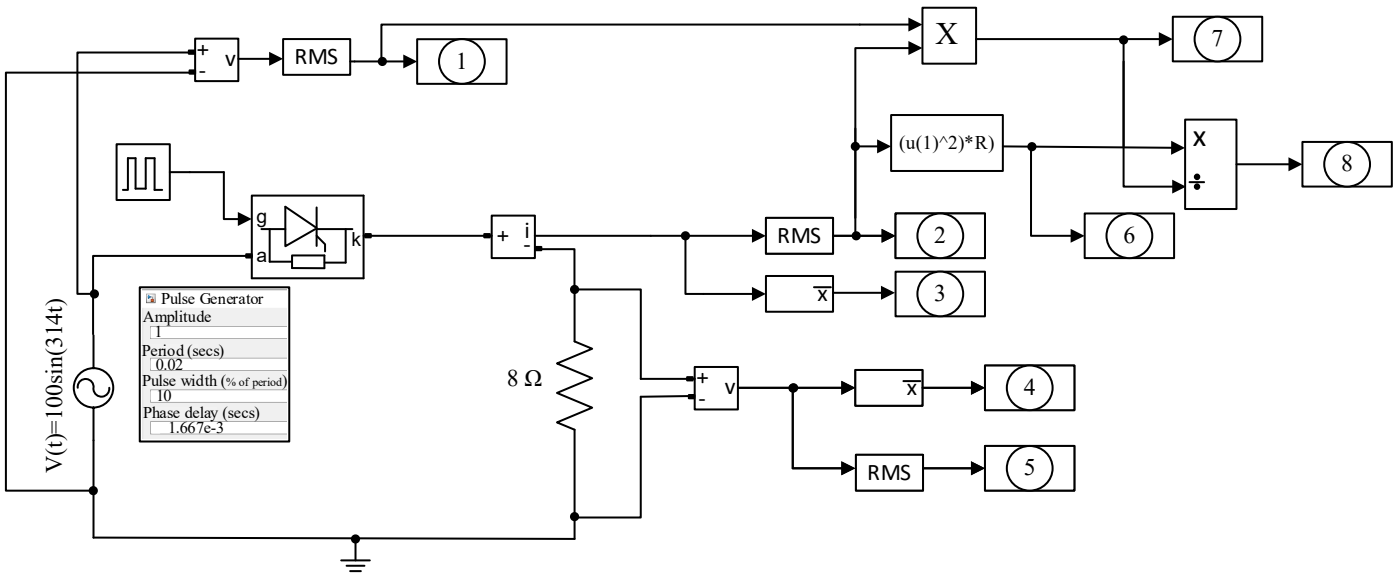
RL Yüklü Tek–Fazlı denetimli devreler: α=30°





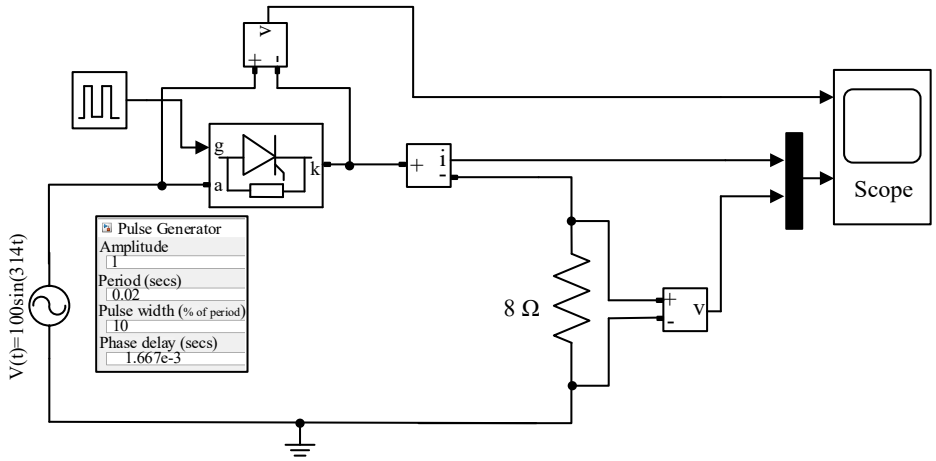
Çalışma Soruları

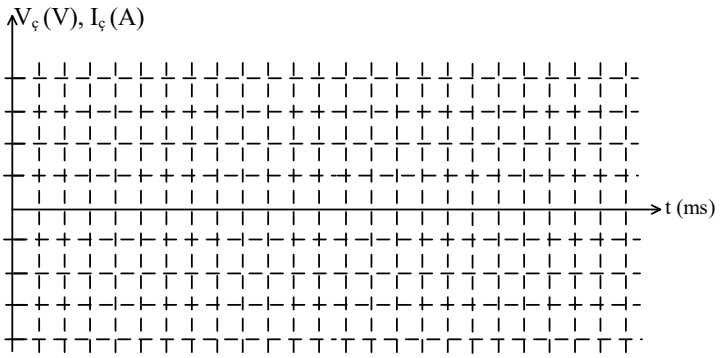
Kontrollü yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Tristörün iletim durumunda gerilim düşümü V_T=0.8V'dur. Buna göre; 1'den 8'e kadar numaralandırılan Display ekranlarının göstereceği değerleri hesaplayınız ve tabloda belirtilen yerlere yazınız.

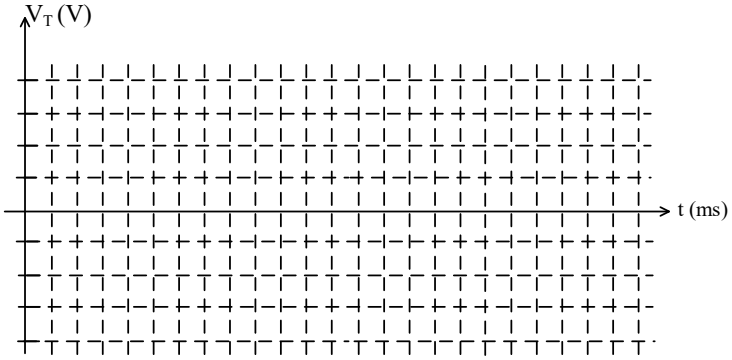


Display No	Göstereceği Değer	Display No	Göstereceği Değer
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

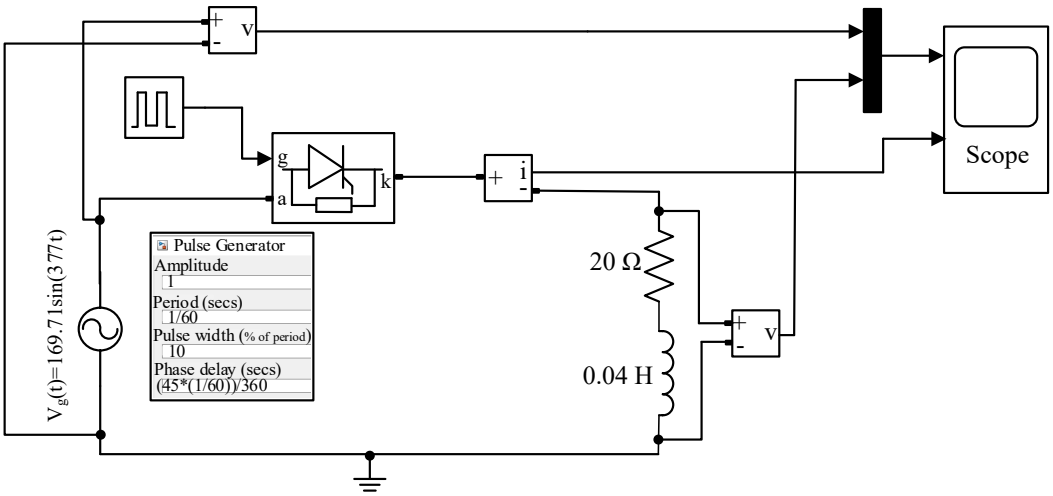
Kontrollü yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Tristörün iletim durumunda gerilim düşümü V_T=0.8V'dur. Giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz.

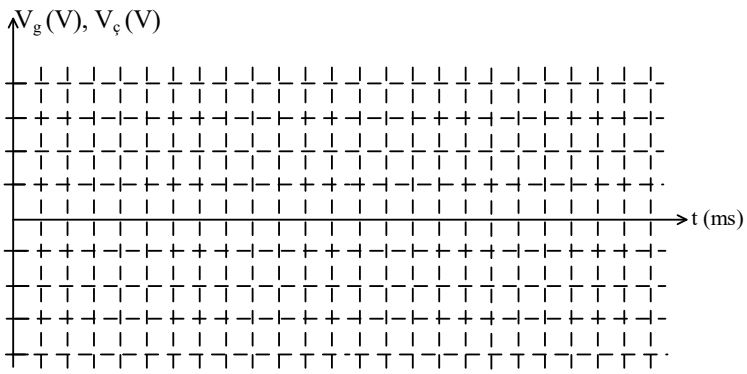


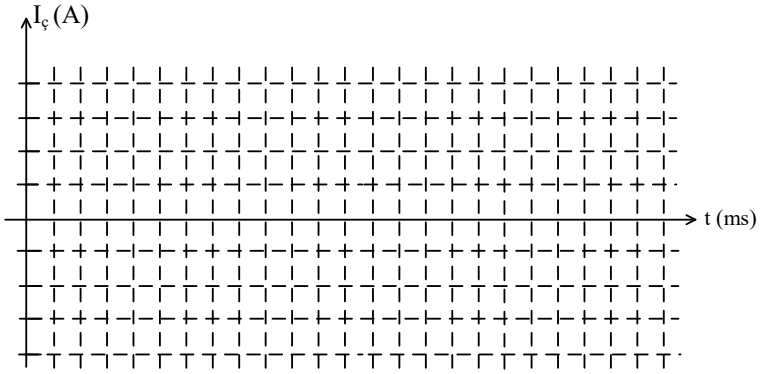




Kontrollü yarım dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiğe ölçekli bir şekilde çiziniz.(β=216°, tristör idealdir.)







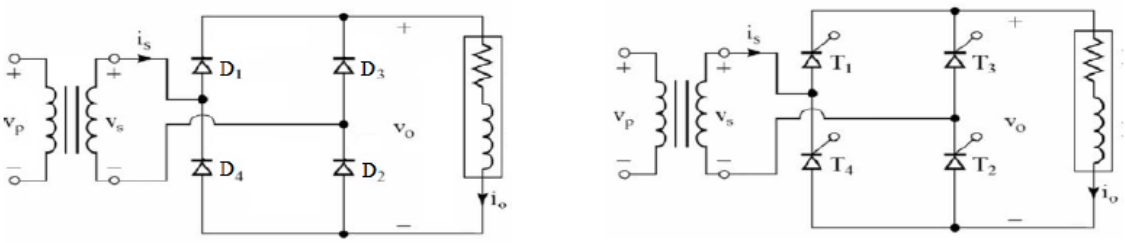
Deney-6: Kontrolsüz (Denetimsiz) Tam Dalga Doğrultucu

- Bir tam-dalga doğrultucunun amacı tamamen DC veya bazı belirli DC bileşenleri olan bir gerilim veya akım üretmektir.

- Tam-dalga doğrultucunun amacı; temelde yarım-dalga doğrultucu ile aynı olsa da, tam-dalga doğrultucunun bazı önemli avantajları vardır.

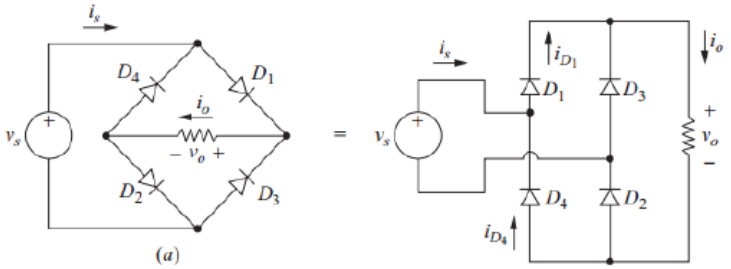
- AC kaynaktaki ortalama akım; tam-dalga doğrultucuda sıfırdır. Böylece, özelikle transformatörlerde sıfır olamayan ortalama kaynak akımları ile ilişkili problemler önlenir.

- Tam-dalga doğrultucunun çıkışında; yarım-dalga doğrultucuya göre daha az dalgalanma vardır.



DİRENÇ YÜKÜ için Analiz

Bir rezistif yükü besleyen temel bir tam-dalga doğrultucu Şekil (a) ve (b)'de gösterilmektedir. Bu devre köprü doğrultucu olarak ta adlandırılır.



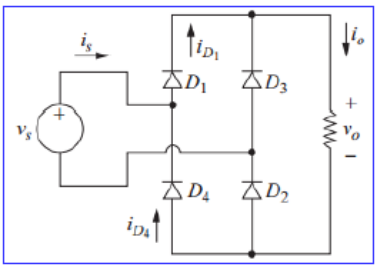
Şekildeki köprü doğrultucu için;

1. D_1 ve D_2 diyotları birlikte ve D_3 ve D_4 diyotları birlikte iletimde olur. Kaynağı da içeren döngü etrafında Kirchhoff'un Gerilim kanununu gösterir ki D_1 ve D_3 diyotları aynı anda iletimde olamaz. Benzer şekilde D_2 ve D_4 diyotları da aynı anda iletimde olamaz. Yük akımımı pozitif veya sıfır olabilir fakat **asla negatif olamaz**.

2. Yük üzerindeki gerilim

   D_1 ve D_2 diyotları iletimde olduğu zaman $+v_s$

   D_3 ve D_4 diyotları iletimde olduğu zaman $-v_s$ dir.



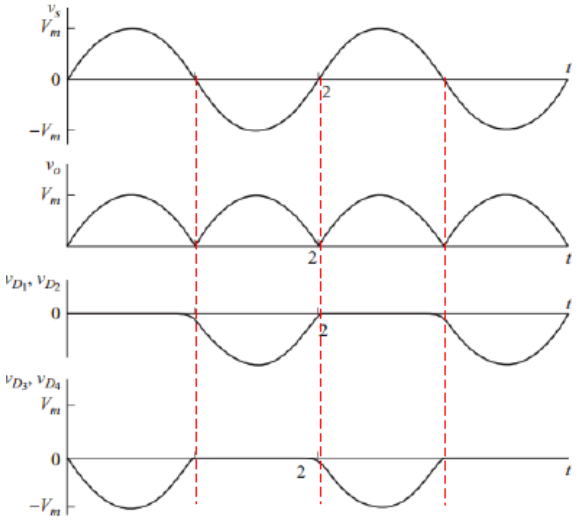
3. Ters polarmış bir diyot üzerindeki maksimum gerilim kaynak geriliminin tepe değeridir. Bu; kaynak, D_1 ve D_3 diyotlarını içeren döngü etrafındaki Kirchhoff'un Gerilim kanunundan görülebilir. D_1 iletime iken, D_3 üzerindeki gerilim $-v_s$ dir.

4. Kaynaktan köprüye giren akım $i_{D1} - i_{D4}$; sıfır civarında simetriktir. Bu yüzden ortalama akım sıfırdır.

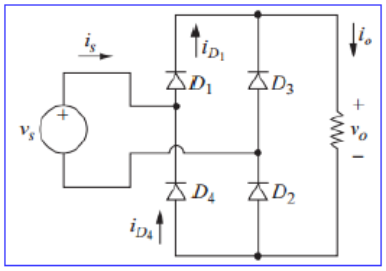
5. RMS kaynak akımı; RMS yük akımı ile aynıdır. Kaynak akımı, kaynak periyodunun ilk yarısı için yük akımı ile aynıdır ve diğer yarısı için yük akımının negatifidir.

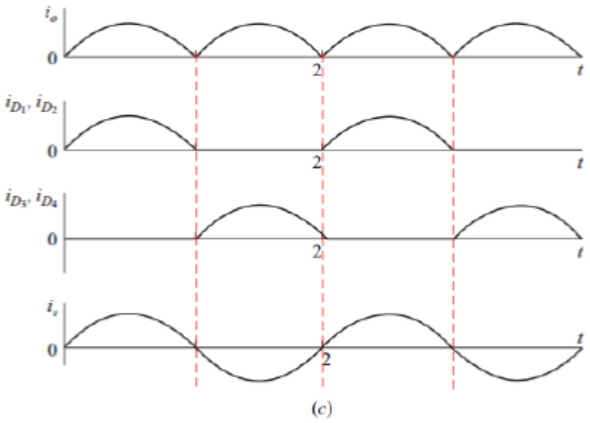
6. Girişin her bir periyodu için çıkış iki periyot oluşturduğu için, AC girişin frekansının ω'olduğu yerde çıkış geriliminin temel frekansı 2ω'dır. Çıkışın Fourier serisi bir DC terim ve kaynak frekansının çift harmoniklerinden oluşur.

DİRENÇ YÜKÜ için Analiz



Şekil:
Direnç yüklü Tam-Dalga kontrolsüz doğrultucuya ait Gerilim ve Akım Dalga Şekilleri





(c)

DİRENÇ YÜKÜ için Analiz

⇒ Direnç yükü üzerindeki GERİLİMİN ifadesi

$$v_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin \omega t & \text{for } 0 \le \omega t \le \pi \\ -V_m \sin \omega t & \text{for } \pi \le \omega t \le 2\pi \end{cases}$$

⇒ Çıkış geriliminin DC bileşeni; ortalama değerdir ⇒

$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}$$

⇒ Yük akımı ise sadece direnç tarafından bölünen direnç gerilimidir. ⇒

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R}$$

⇒ Yük tarafından çekilen güç $P = I_{rms}^2 R$

⇒ Tam-dalga doğrultulmuş akım dalga şekli için I_{rms} ; doğrultulmamış bir sinüs dalgası için olan değerle aynıdır. ⇒

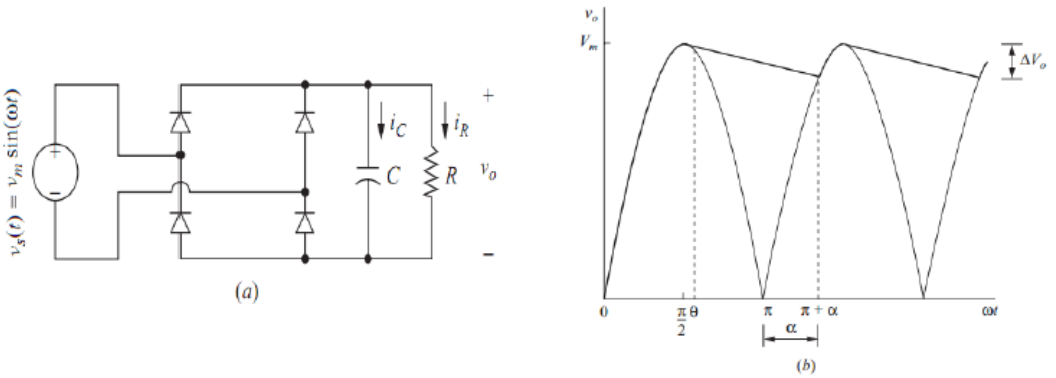
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

⇒ Bir direnç yükünü besleyen tam-dalga doğrultucu için ;

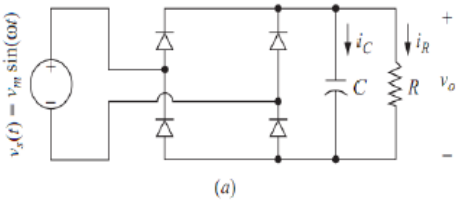
Kaynak akımı ; gerilimle aynı fazda olan bir sinüstür. Bundan dolayı Güç Faktörü 1'dir.

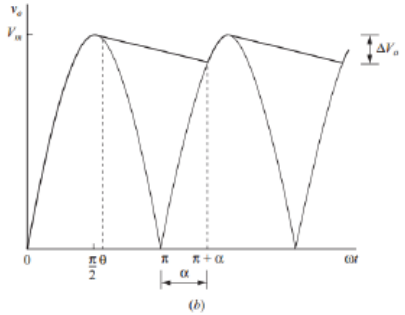
DİRENÇ-KONDANSATÖR (R-C) YÜKÜ için Analiz (Kondansatör Filtreli)

- Direnç yüküne paralel büyük bir kondansatör bağlanarak daha düzgün bir DC çıkış gerilimi elde edilebilir. Direnç harici bir yükü temsil edebilir ve Kondansatör doğrultucu devresinin bir filtresi olabilir.
- Paralel bir RC yüküne sahip tam-dalga doğrultucunun devre şeması Şekil-(a)'da gösterilmiştir. Şekil (a)'daki devrenin analizi; "*Kondansatör filtreli yarım-dalga doğrultucu için yapılan analize*" çok benzemektedir.



Şekil (a): Kondansatör Filtreli Tam-Dalga doğrultucu, (b): Kaynak ve çıkış gerilimi





- Her bir periyodun ikinci yarısındaki doğrultulmuş sinüsten dolayı Tam-dalga doğrultucu devresinde, Kondansatörün deşarj olduğu süre; yarım-dalga doğrultucununkinden daha küçüktür.

- Tam-dalga doğrultucu için çıkış gerilim dalgalanması (ripple) yarım-dalga doğrultucununkinin yarısıdır.

- **Pratikte**; Tam-dalga doğrultucunun çıkış geriliminin tepe değeri **daha az olacaktır** çünkü bir yerine iki tane diyotun gerilim düşümü vardır.

- Devrenin analizi tam olarak yarım-dalga doğrultucu için olduğu gibidir.

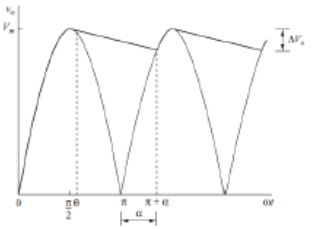
- Diyot çiftlerinden biri **(Diyotların ideal olduğu varsayılırsa)**
  iletimde olduğu zaman çıkış gerilimi pozitif sinüs fonksiyonudur,
  kesimde olduğu zaman çıkış gerilimi azalan üssel fonksiyondur.

$$v_o(\omega t) = \begin{cases} |V_m \sin \omega t| & \text{Diyot Çiflerinden Biri İletimde} \\ (V_m \sin \theta) e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} & \text{Diyotlar Kesimde} \end{cases}$$

- Burada θ ; diyotların kesime girdiği açıdır ve yarım-dalga doğrultucudaki ile aynı olup aynı formülle hesaplanır.

$$\theta = \tan^{-1}(-\omega RC) = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi$$

- İdeal durum için, Maksimum çıkış gerilimi V_m'dir .
- Minimum gerilim 2. çift diyotların (D_3-D_4) iletime girdiği $\omega t = \pi + \alpha$ ' açısında çıkış gerilim V_0 denklemi değerlendirilerek belirlenir.



- Bu nokta ($\omega t = \pi + \alpha$) ; sinüzoidal kaynağın azalan exporansiyel çıkış ile aynı değere ulaştığı noktadır.

➢ Yani bu noktada $(V_m \sin\theta)e^{-(\pi+\alpha-\theta)/\omega RC} = -V_m \sin(\pi+\alpha)$ dır.

$\Rightarrow$ Buradan $(\sin\theta)e^{-(\pi+\alpha-\theta)/\omega RC} - \sin\alpha = 0$

$\Rightarrow$ α Açısını bulmak için yukarıdaki denklem **Nümerik Yöntemlerle** çözülmelidir.

➢ Tepeden-tepeye gerilim değişimi veya dalgalanma (ripple); maksimum ve minimum gerilimler arasındaki farktır.

$$\Delta V_o = V_m - |V_m \sin(\pi+\alpha)| = V_m(1-\sin\alpha)$$

➢ Bu denklem yarım-dalga doğrultucu için verilen denklemle aynıdır. Fakat tam-köprü doğrultucu için ***α*** ' açısı daha büyüktür ve verilen bir yük için gerilimdeki dalgalanma daha küçüktür.

➢ C değerini tasarlamak için ise aşağıdaki Dalgalanma (ripple) gerilimi denklemi kullanılır.

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m \pi}{\omega RC} = \frac{V_m}{2fRC}$$

➢ Kondansatör akımı; yarım-dalga doğrultucu için verilen denklemle aynıdır

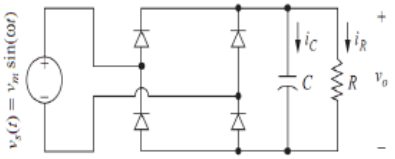
$$i_C(\omega t) = \begin{cases} -\left(\frac{V_m \sin\theta}{R}\right)e^{-(\omega t-\theta)/\omega RC} & \text{for } \theta \le \omega t \le 2\pi+\alpha \quad \text{Diyot İletimde} \\ \omega C V_m \cos(\omega t) & \text{for } 2\pi+\alpha \le \omega t \le 2\pi+\theta \quad \text{Diyot Kesimde} \end{cases}$$

➢ Peak Diyot Akımı yarım-dalga doğrultucu için verilen denklemle aynıdır

$$I_{D,\text{peak}} = V_m\left(\omega C\cos\alpha + \frac{\sin\alpha}{R}\right)$$

➢ Ortalama Kaynak Akımı ise sıfırdır.

ÖRNEK: Şekildeki Tam-Dalga Doğrultucu için, **R=500Ω**, **C=100μF** 'tır. AC kaynak 60 Hz'de 120Volt RMS değere sahiptir. Bu durumda;



a) Çıkışın tepeden-tepeye gerilim değişimini

b) Çıkış gerilim dalgalanmasını; Tepe değerin %1'ne düşürecek C değerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM: Verilen parametreler için

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7 \text{ V}$$
$$\omega RC = (2\pi 60)(500)(10)^{-6} = 18.85 \text{ rad}$$

⇒ θ açısını belirleyelim

$$\theta = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi \quad \Rightarrow \quad \theta = -\tan^{-1}(18.85) + \pi = 1.62 \text{ rad} = 93°$$

⇒ θ noktasındaki gerilim değeri $V_m \sin\theta = 169.5 \text{ V}$

⇒ α açısı nümerik çözüm kullanılarak belirlenir

$$\left.\begin{aligned} (\sin\theta)e^{-(\pi+\alpha-\theta)/\omega RC} - \sin\alpha = 0 \\ \sin(1.62)e^{-(\pi+\alpha-1.62)/18.85} - \sin\alpha = 0 \end{aligned}\right\} \alpha = 1.06 \text{ rad} = 60.6°$$

ÖRNEK: Şekildeki Tam-Dalga Doğrultucu için, **R=500Ω**, **C=100μF** 'tır. AC kaynak 60 Hz'de 120Volt RMS değere sahiptir. Bu durumda;

---

a) Çıkışın tepeden-tepeye gerilim değişimi

$$\Delta V_o = V_m(1 - \sin\alpha) = 169.7[1 - \sin(1.06)] = 22 \text{ V}$$

Bu değer Yarım-dalga doğrultucu için 3. Bölümde $\Delta V_0 = 43V$ olarak hesaplanmıştı

---

b) Çıkış gerilim dalgalanmasını; Tepe değerin %1'ne düşürecek C değerini hesaplayalım.

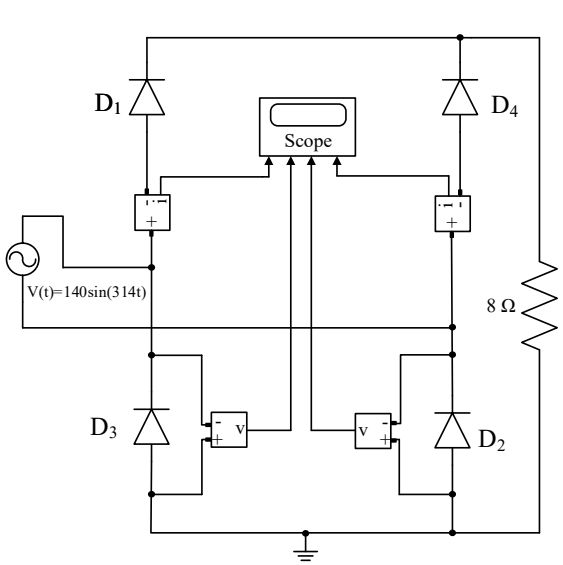
Dalgalanmanın %1'e sınırlanması ile, çıkış gerilimi V_m'ye yakın tutulacaktır.

⇒ $$\frac{\Delta V_o}{V_m} = 0.01 \approx \frac{1}{2fRC}$$

⇒ $$C \approx \frac{1}{2fR(\Delta V_o/V_m)} = \frac{1}{(2)(60)(500)(0.01)} = 1670 \ \mu\text{F}$$

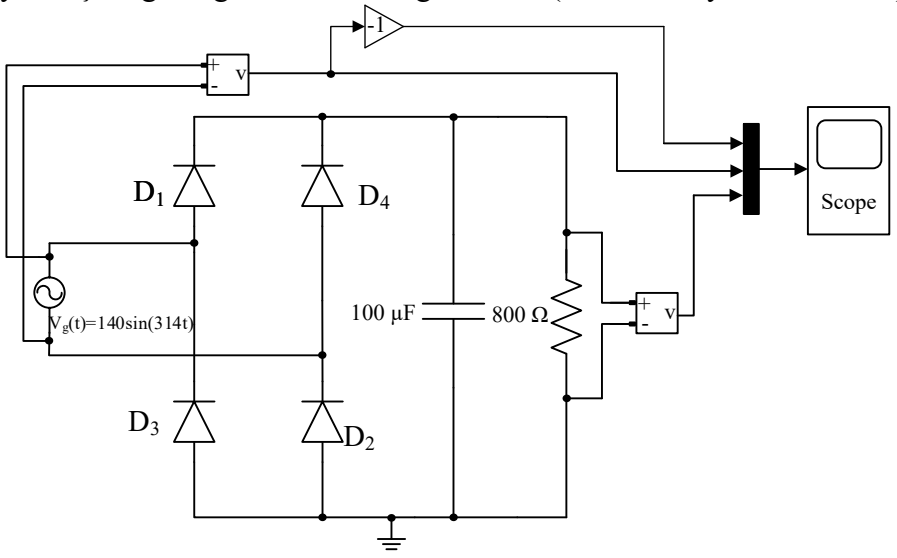
Çalışma Soruları

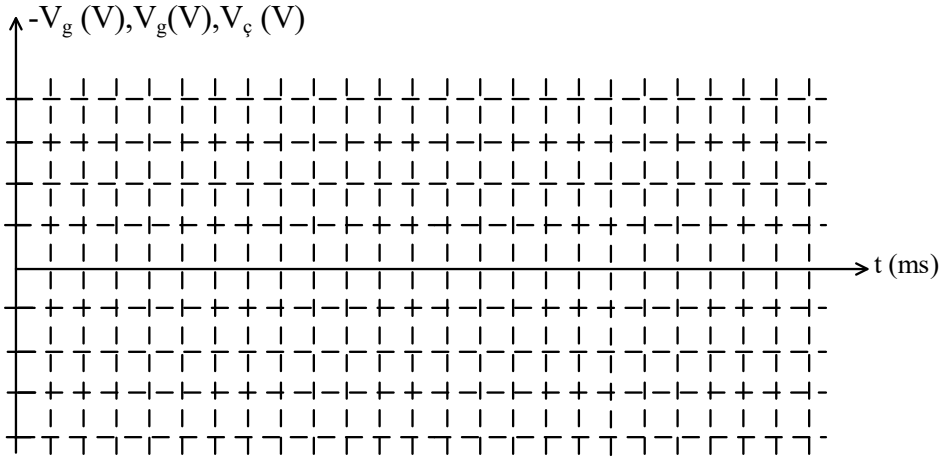
Kontrolsüz tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüyü verilen grafiğe ölçekli bir şekilde çiziniz. (Diyotların iletim durumunda gerilim düşümü V_D=0.8V'dur.)





Paralel bir RC yüküne sahip tek fazlı kontrolsüz tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiğe ölçekli bir şekilde çiziniz. Ayrıca tepeden tepeye dalgalanmayı (ΔV_o) ve diyotun kesime girdiği noktadaki açı değerini (θ) hesaplayarak çizdiğiniz grafik üzerinde gösteriniz.(α=72° ve diyotlar idealdir.)





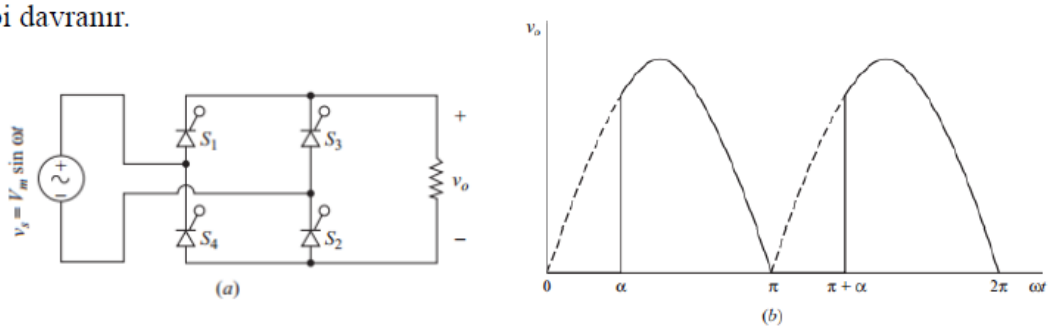
Deney-7: Kontrollü (Denetimli) Tam Dalga Doğrultucu

- Tam-dalga köprü doğrultucunun çıkışını kontrol etmenin bir metodu; diyotlar yerine Tristör gibi kontrollü anahtarlar kullanmaktır. Tristörün Tetikleme Açısı (gecikme açısı) kontrol edilerek çıkış kontrol edilir.

- Kontrolü Tam-dalga köprü doğrultucunun devre şeması Şekil-(a)'da gösterilmektedir. **Kaynak pozitif olduğu zaman**, köprü doğrultucudaki S_1 ve S_2 Tristörleri ileri yönde polaracak, ancak gate sinyalleri uygulanana kadar iletime girmeyeceklerdir.

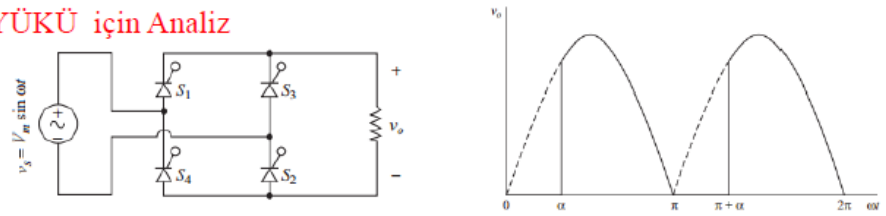
- **Kaynak negatif olduğu zaman**, köprü doğrultucudaki S_3 ve S_4 Tristörleri ileri yönde polaracak, ancak gate sinyalleri uygulanana kadar iletime girmeyeceklerdir.

- **Gecikme açısı;** Tristörün ileri yönde polarması ve gate (kapı) sinyalinin uygulanması arasındaki açıdır. Eğer açı sıfırsa, doğrultucu tam olarak diyotlu kontrolsüz doğrultucu gibi davranır.



Şekil : (a) Kontrollü Tam-Dalga doğrultucu, (b) Direnç yükü için çıkış gerilimi

DİRENÇ YÜKÜ için Analiz



⇒ Yukarıdaki gerilim dalga şeklinin ortalama değeri $V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}(1 + \cos\alpha)$

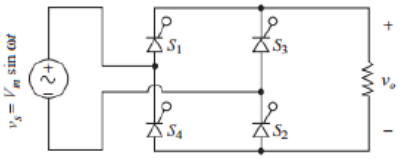
⇒ Ortalama çıkış akımı ise $I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{V_m}{\pi R}(1 + \cos\alpha)$

⇒ Bir Direnç yükündeki güç; $P = I_{rms}^2 R$ kullanılarak belirlenir.

⇒ Burada; $I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\left(\frac{V_m}{R}\sin\omega t\right)^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{R}\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$

⇒ Kaynaktaki RMS akım ; Yükteki RMS akım ile aynıdır.

ÖRNEK: Şekildeki Kontrollü Tam-dalga doğrultucu, 60 Hz'de 120Volt RMS değerde bir AC kaynağa ve **R=20Ω** bir direnç yüküne sahiptir. Bu durumda;



a) Yükteki ortalama akımı

b) Yük tarafından çekilen gücü ve

c) Kaynağın gücünü Volt-Amper olarak bulunuz.

ÇÖZÜM:

a) ⇒ Ortalama çıkış gerilimi $V_o = \frac{V_m}{\pi}\left(1 + \cos\alpha\right) = \frac{\sqrt{2}\,(120)}{\pi}\left(1 + \cos 40°\right) = 95.4\ \text{V}$

⇒ Yükteki Ortalama akım $I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{95.4}{20} = 4.77\ \text{A}$

---

b) Yük tarafından çekilen güç

$\Rightarrow I_{\text{rms}} = \frac{V_m}{R}\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}}$ ⇒ $I_{\text{rms}} = \frac{\sqrt{2}(120)}{20}\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{0.698}{2\pi} + \frac{\sin[2(0.698)]}{4\pi}} = 5.80\ \text{A}$

ÖRNEK: Şekildeki Kontrollü Tam-dalga doğrultucu, 60 Hz'de 120Volt RMS değerde bir AC kaynağa ve **R=20Ω** bir direnç yüküne sahiptir. Bu durumda;

c) Kaynağın gücünü Volt-Amper olarak bulunuz.

ÇÖZÜM:

b) Yük tarafından çekilen güç $P = I_{\text{rms}}^2 R = (5.80)^2(20) = 673\ \text{W}$

---

c) Kaynağın gücü

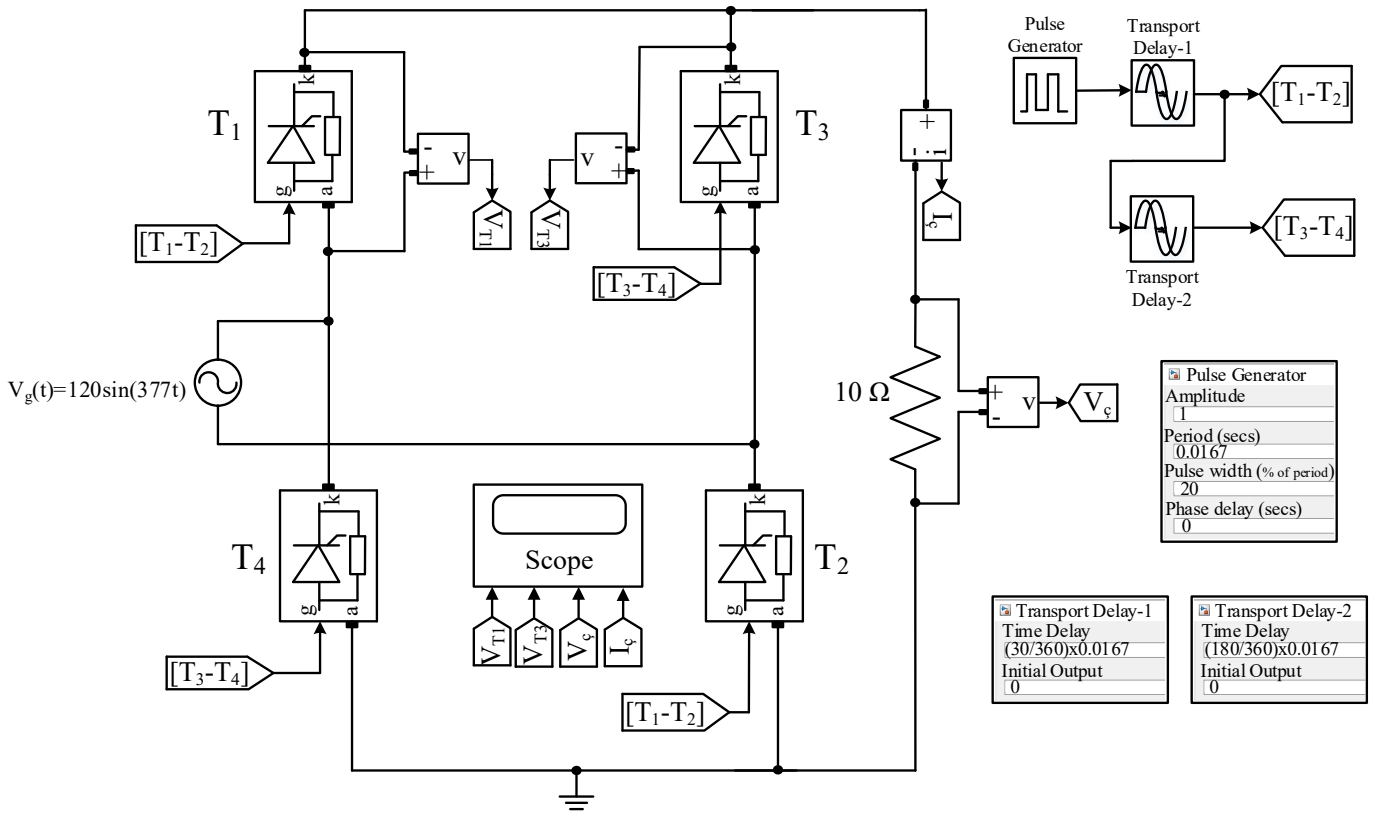
Kaynaktaki RMS akım Yükteki RMS akım ile aynı yani **5.80A**'dir.

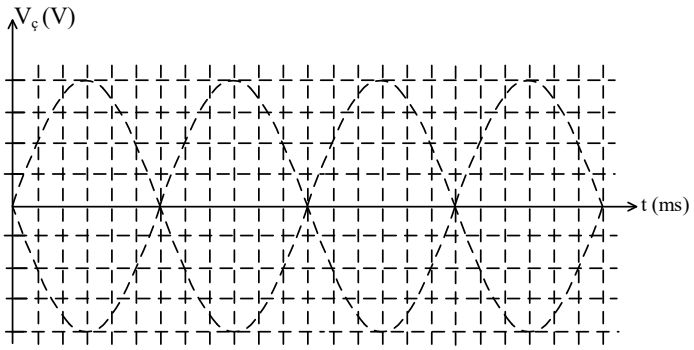
⇒ Bu durumda kaynağın Görünür Gücü; $S = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} = (120)(5.80) = 696\ \text{VA}$

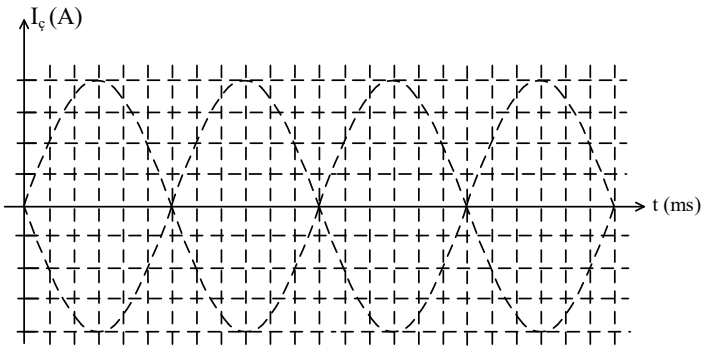
⇒ Güç Faktörü ise; $\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{673}{696} = 0.967$

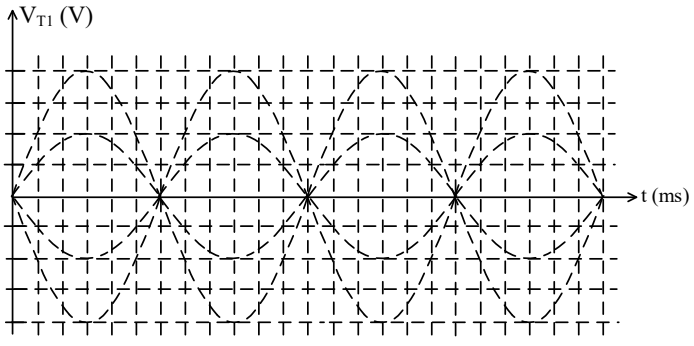
Çalışma Soruları

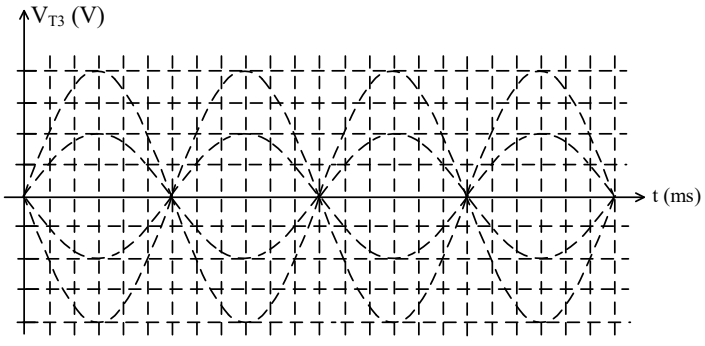
Kontrollü tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüyü verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (Tristörlerin iletim durumunda gerilim düşümü V_T=1V'dur.)



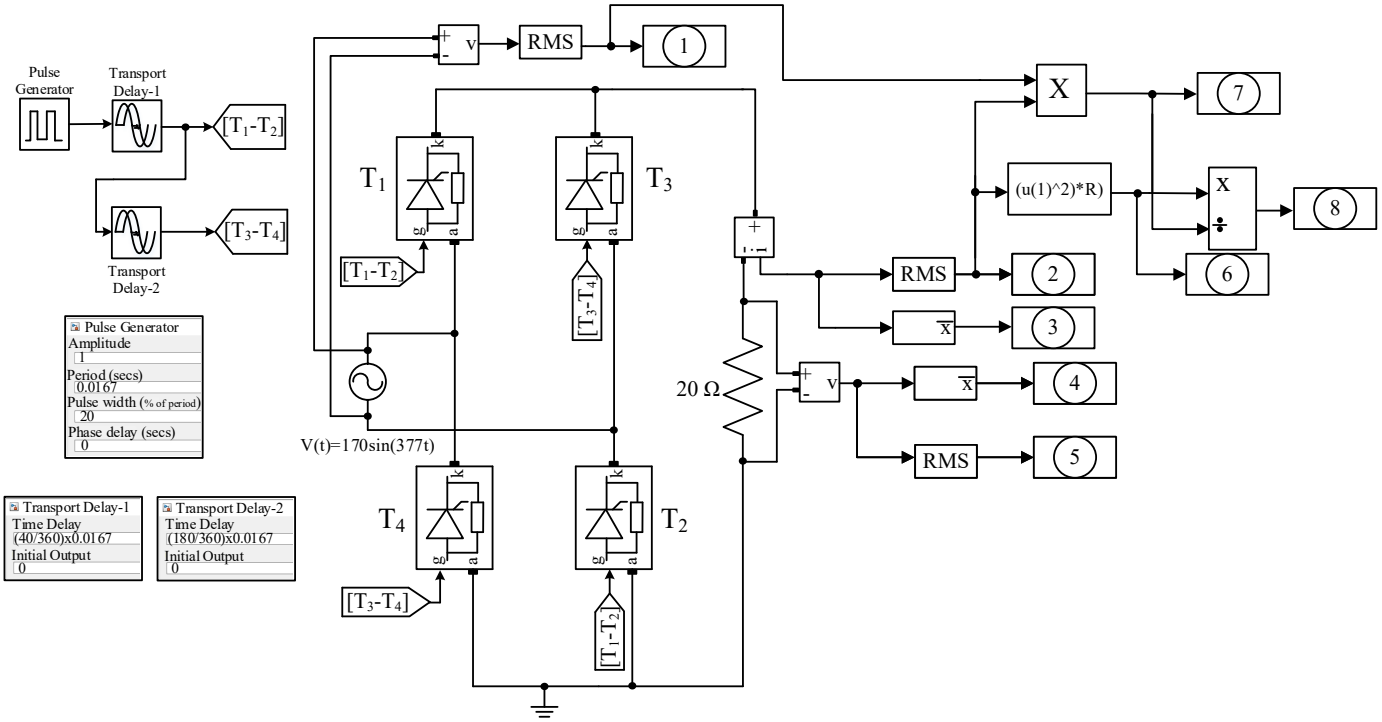








Kontrollü tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; 1'den 8'e kadar numaralandırılan Display ekranlarının göstereceği değerleri hesaplayınız ve tabloda belirtilen yerlere yazınız. (Tristörler idealdir.)



Display No	Göstereceği Değer	Display No	Göstereceği Değer
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

Deney-8: Kontrollü Tam Dalga Doğrultucunun R-L Yükü ile İncelenmesi

DİRENÇ-İNDÜKTANS (R-L)YÜKÜ için Analiz

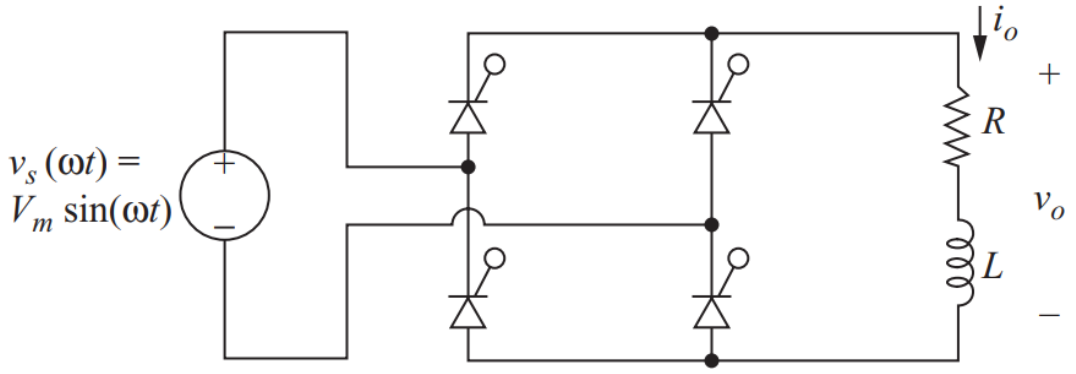
(Süreksiz Yük Akımı Durumu - RL Yükü)

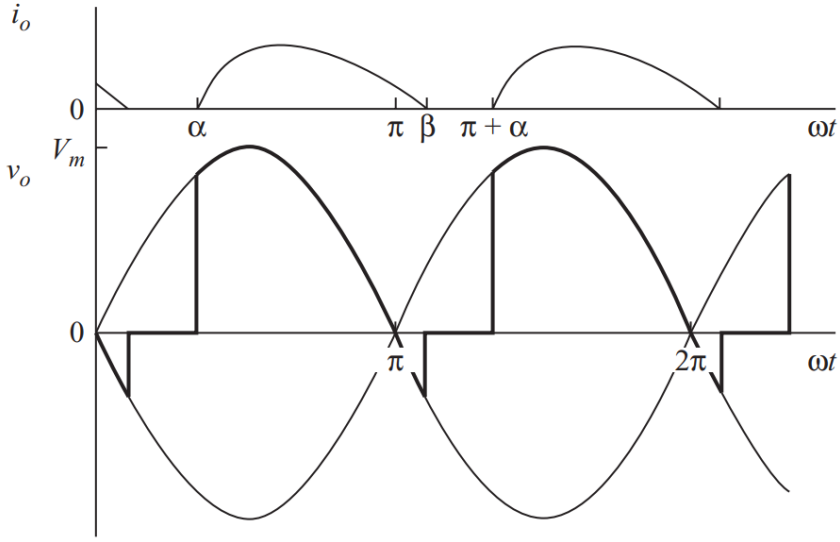
RL yüklü bir denetimli doğrultucuda yük akımı hem sürekli hem de süreksiz olabilmektedir. Bu nedenle her iki durum için ayrı ayrı analiz edilmelidir.

Devrenin analizinde ωt=0 'da yük akımı sıfır kabul edilecektir.

Kaynak gerilimi pozitif iken köprü doğrultucudaki T_1 ve T_2 anahtarları ileri yönde ve T_3 ve T_4 ise ters biaslanmış olacaktır.

Kapı sinyalleri T_1 ve T_2'ye ωt=α'da uygulanır ve T_1-T_2 iletime girer. T_1-T_2iletimde iken yük gerilimi kaynak gerilimine eşittir.





$$i_0(\omega t) = \begin{cases} \left(\frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta)\, e^{\frac{-(\omega t - \alpha)}{\omega \tau}}\right) & \alpha \le \omega t \le \beta \\ 0 & diğer\ durumda \end{cases}$$

$$Z = R + j\omega L \rightarrow |Z| = \sqrt{(R)^2 + (\omega L)^2}, \quad \theta = tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)\ ve\ \tau = \frac{L}{R}$$

yük akımı $\omega t = \beta'$da sıfır olur.

Yük akımı ωt=β'da sıfır olur. Eğer β<π+α ise akım ωt=π+α'ya kadar sıfırda kalır. T_3 ve T_4 anahtarlarına kapı sinyali uygulandıktan sonra tekrar akım akmaya başlar. β<π+α ise bu çalışma durumu süreksiz akım modu olarak bilinir.

Örnek: 120 V - 60 Hz'lik bir kaynaktan 10 ohm'luk bir direnç ve L= 0.02 H'lik bir RL yükü denetimli tam dalga doğrultucu üzerinden beslenmektedir. Tetikleme açısı α=60° ve β=216° için;

a) Yük akımı için bir ifade türetiniz.

b) Ortalama yük akımını bulunuz.

c) Yük tarafından harcanan gücü hesaplayınız.

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7\ V$$

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (\omega L)^2} \rightarrow Z = \sqrt{(10)^2 + (377 \cdot 0.02)^2} = 12.5\ ohm$$

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = tan^{-1}\left(\frac{377 \cdot 0.02}{10}\right) = 0.646\ rad$$

$$\omega\tau = \frac{\omega L}{R} = 0.754$$

$$\alpha = 60° = 1.047\ rad;\ \beta = 3.78\ rad$$

β < π + α olduğundan akım süreksizdir (3.78 < (3.14 + 0.785) → 3.78 < 3.925).

$$a)\ \ i(\omega t) = \left(\frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta)\, e^{\frac{\alpha - \omega t}{\omega\tau}}\right) \qquad \alpha \le \omega t \le \beta$$

$$i(\omega t) = 13.6\sin(\omega t - 0.646) - 5.29e^{\frac{1.047 - \omega t}{0.754}} \qquad \alpha \le \omega t \le \beta$$

$$i(\omega t) = 13.6\sin(\omega t - 0.646) - 21.2e^{\frac{-\omega t}{0.754}} \qquad \alpha \le \omega t \le \beta$$

(Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde β = 3.78 *rad* (216°))

$$b)\ i_{y-ort} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\beta} i\,(\omega t)\, d\omega t = 7.05\ A$$

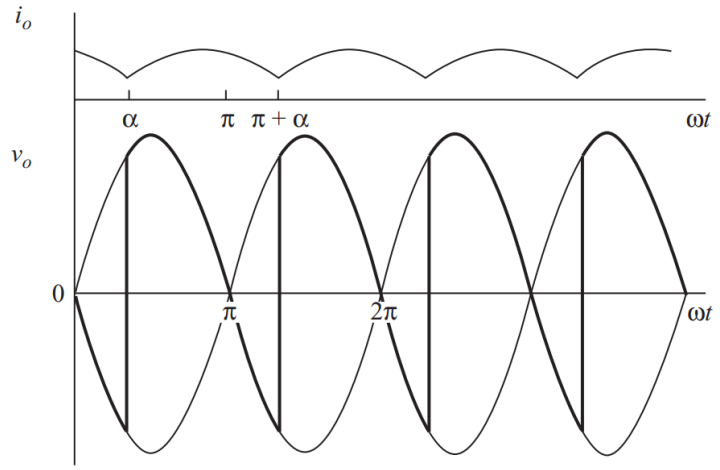
c) Yük tarafından harcanan güç:

$$i_{y-etkin} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\beta} i^2(\omega t)\, d\omega t} = 8.35\ A$$

$$P = {i_{y-etkin}}^2 \cdot R = 8.35^2 \cdot 10 = 697\ W$$

(Sürekli yük akımı durumu - RL Yükü)

T_3 ve T_4 anahtarlarına kapı sinyalleri uygulandığı zaman eğer yük akımı ωt=π+α'da hala pozitif ise T_3 ve T_4 iletime, T_1 ve T_2 zorlamalı olarak kesime gider. İkinci periyodun başlangıcında akım için başlangıç şartı sıfır olmadığı için akım fonksiyonu tekrar etmez. Süreksiz durum için verilen akım denklemi bu durum için geçerli değildir.



Sürekli ve süreksiz akım arasındaki sınır β=π+α'dır. Sürekli akım modunda α'daki yük akımı sıfırdan büyük olmalıdır.

$$i(\pi + \alpha) \geq 0$$

$$i(\omega t) = \left(\frac{V_m}{Z}\sin(\omega t - \theta) - \frac{V_m}{Z}\sin(\alpha - \theta)\, e^{\frac{\alpha - \omega t}{\omega \tau}}\right) \geq 0$$

$$\sin(\pi + \alpha - \theta) - \sin(\pi + \alpha - \theta)\, e^{\frac{\alpha - (\pi + \alpha)}{\omega \tau}} \geq 0$$

$\boldsymbol{\sin(\pi + \alpha - \theta) = \sin(\theta - \alpha)}$ eşitliği kullanılarak;

$\sin(\theta - \alpha)\,(1 - e^{-\pi/\omega\tau}) \geq 0$ ve α için çözüldüğünde;

$\alpha \leq \theta$ olmalıdır.

$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$ → Sürekli akım durumu için: $\alpha \leq tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$

Bu denklem akımın sürekli mi yoksa süreksiz mi olduğunu belirlemek etmek için kullanılabilir.

Örnek: 120 V - 60 Hz AC bir kaynaktan 10 ohm'luk bir direnç ve L= 100 mH'lik bir RL yükü denetimli tam dalga doğrultucu ile beslenmektedir. Tetikleme açısı α=60° için;

a) Yük akımının sürekli olup olmadığını belirleyiniz.

b) Ortalama yük akımını bulunuz.

a)

$$V_m = 120\sqrt{2} = 169.7\ V$$

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = tan^{-1}\left(\frac{377 \times 0.1}{10}\right) = 75°$$

α ≤ θ ise akım süreklidir. 60° ≤ 75° olduğundan akım süreklidir.

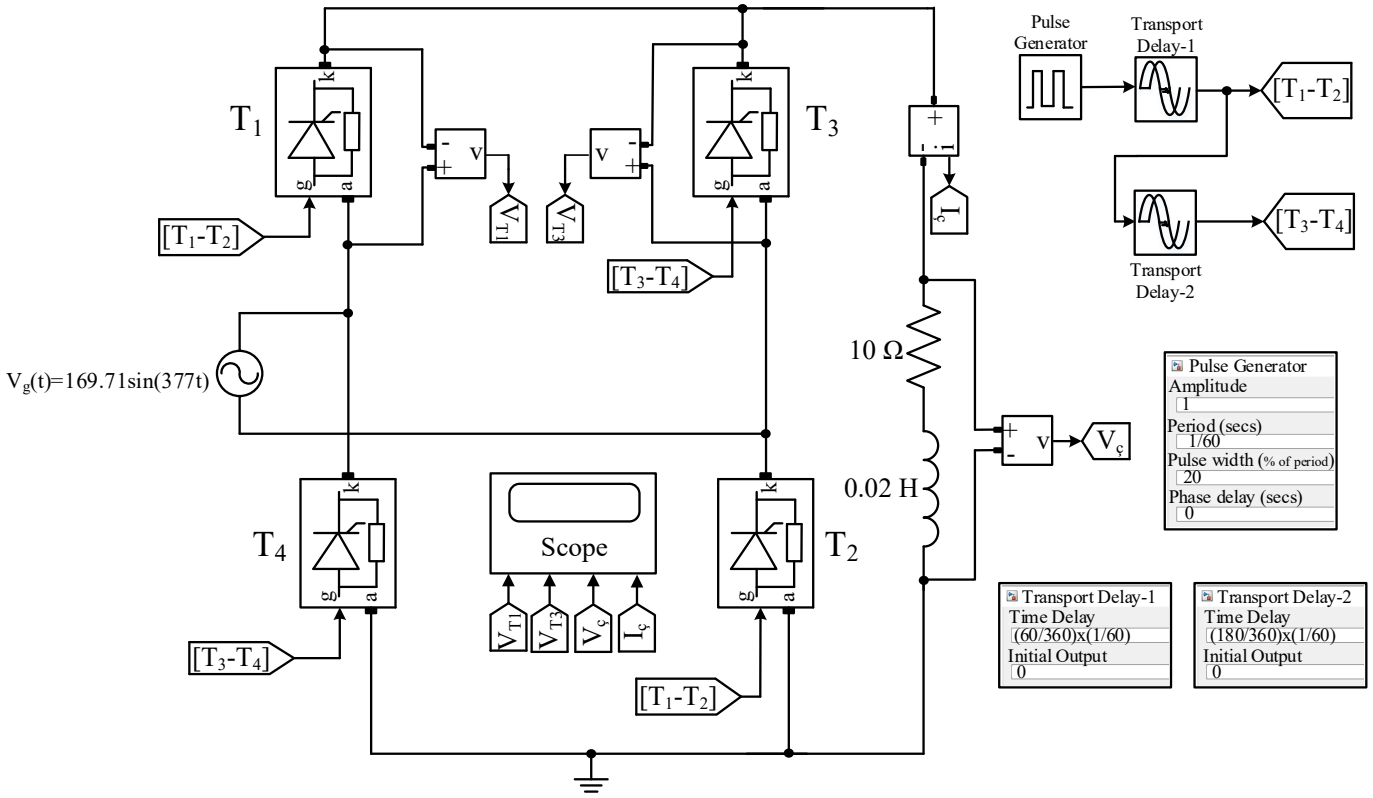
b)

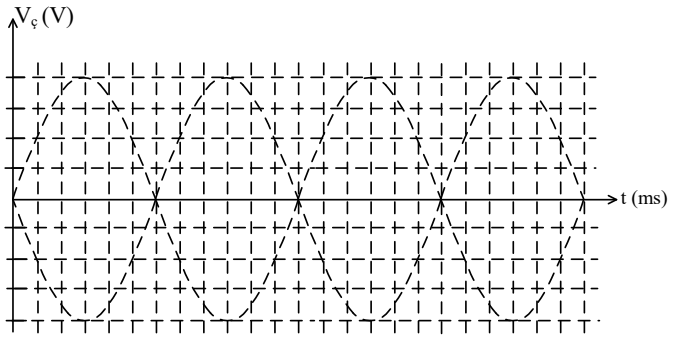
$$V_{y-ort} = \frac{2V_m}{\pi}\cos(\alpha) \rightarrow \frac{2 \cdot 169.7}{\pi}\cos(60) = 54\ V$$

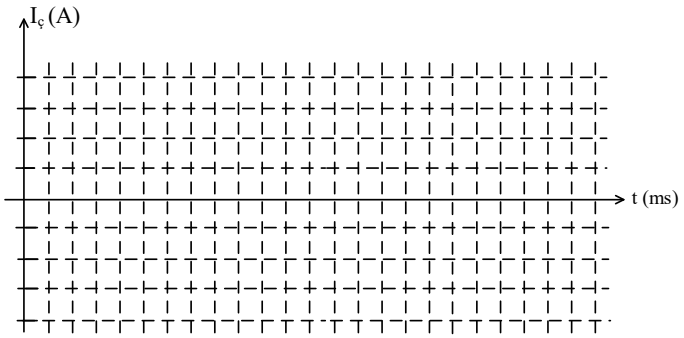
$$I_{y-ort} = \frac{V_{y-ort}}{R} = \frac{54}{10} = 5.4\ A$$

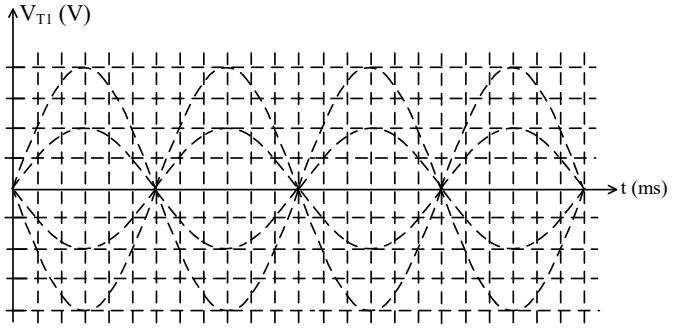
Çalışma Soruları

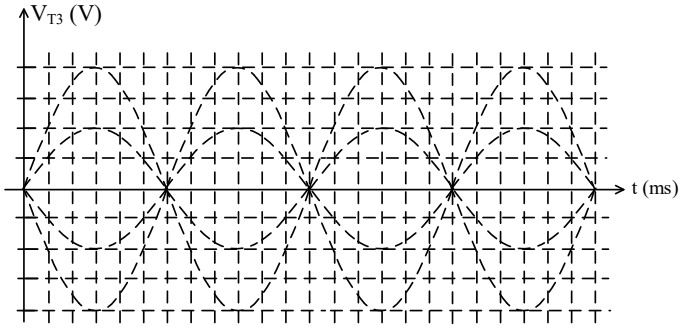
Kontrollü tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (β=216° ve tristörler idealdir.)



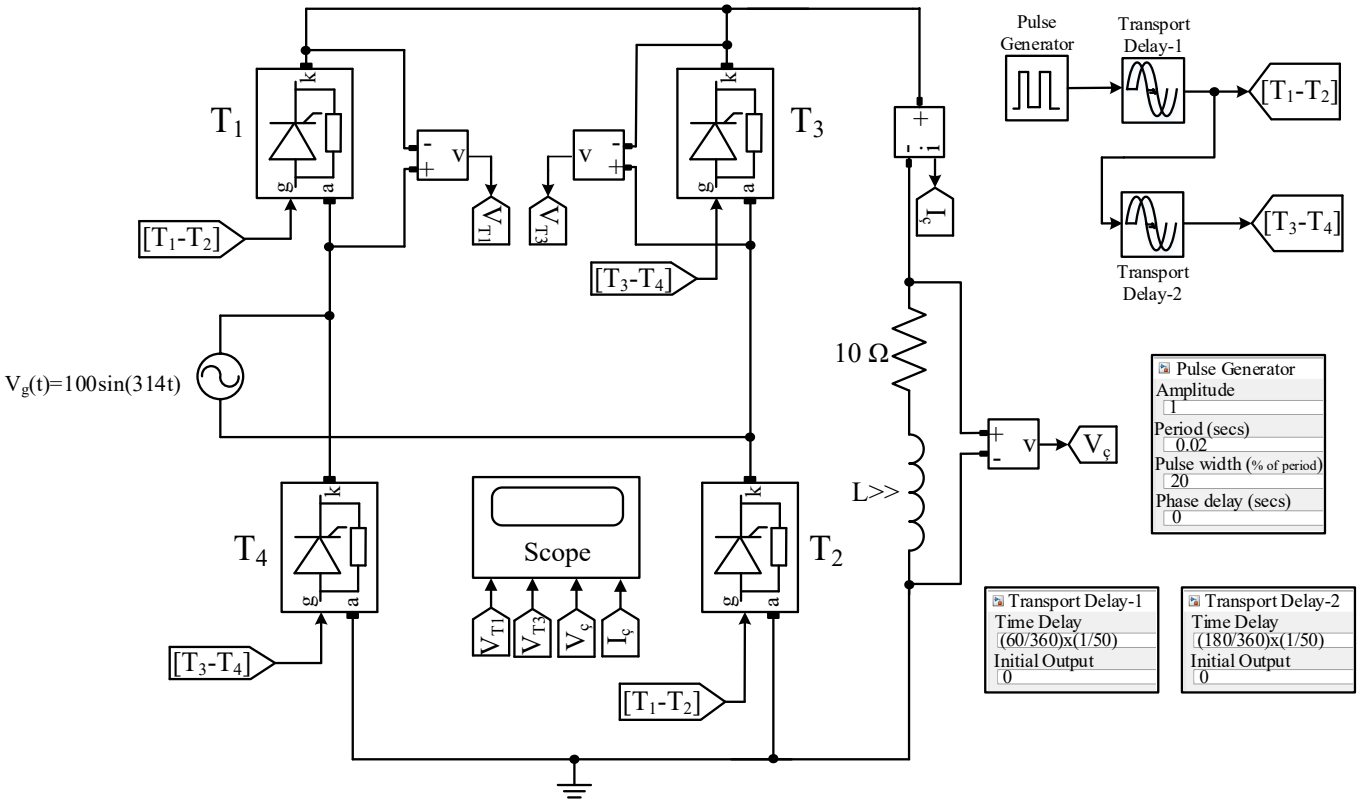


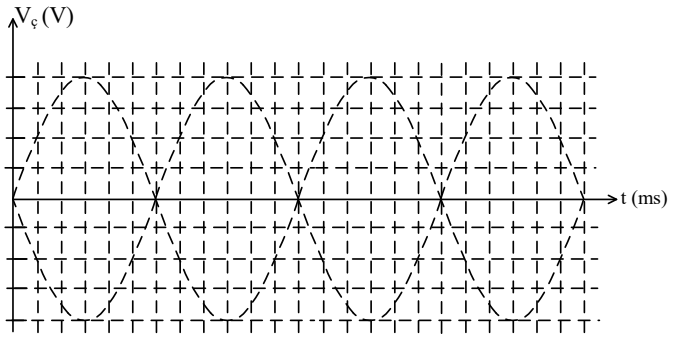


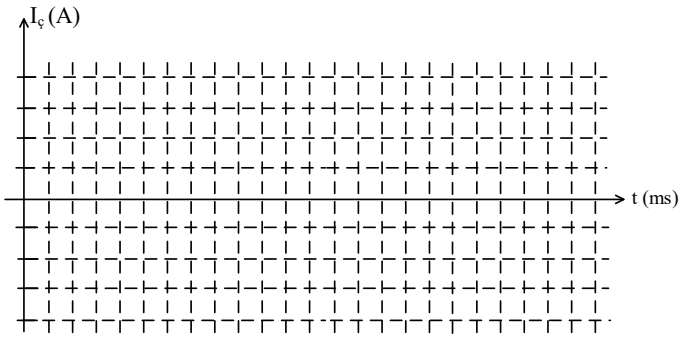


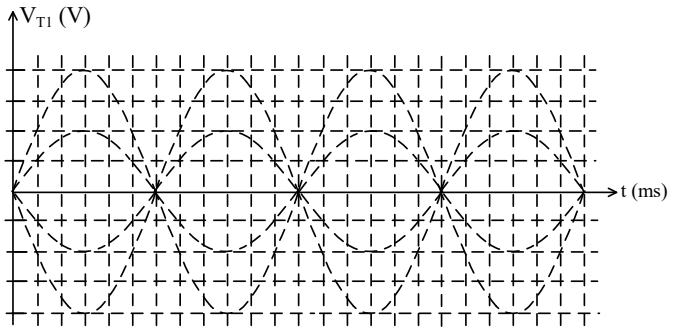


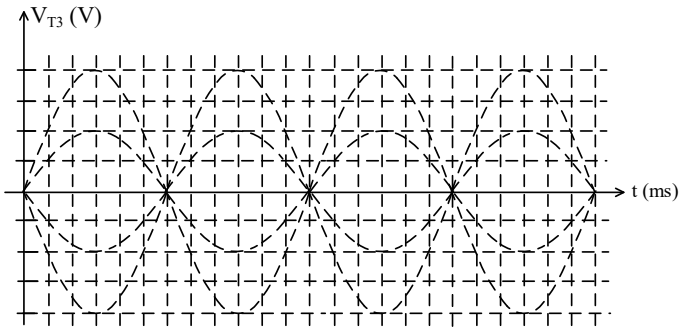
Kontrollü tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüyü verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (Tristörlerin iletim durumunda gerilim düşümü V_T=1V'dur.)



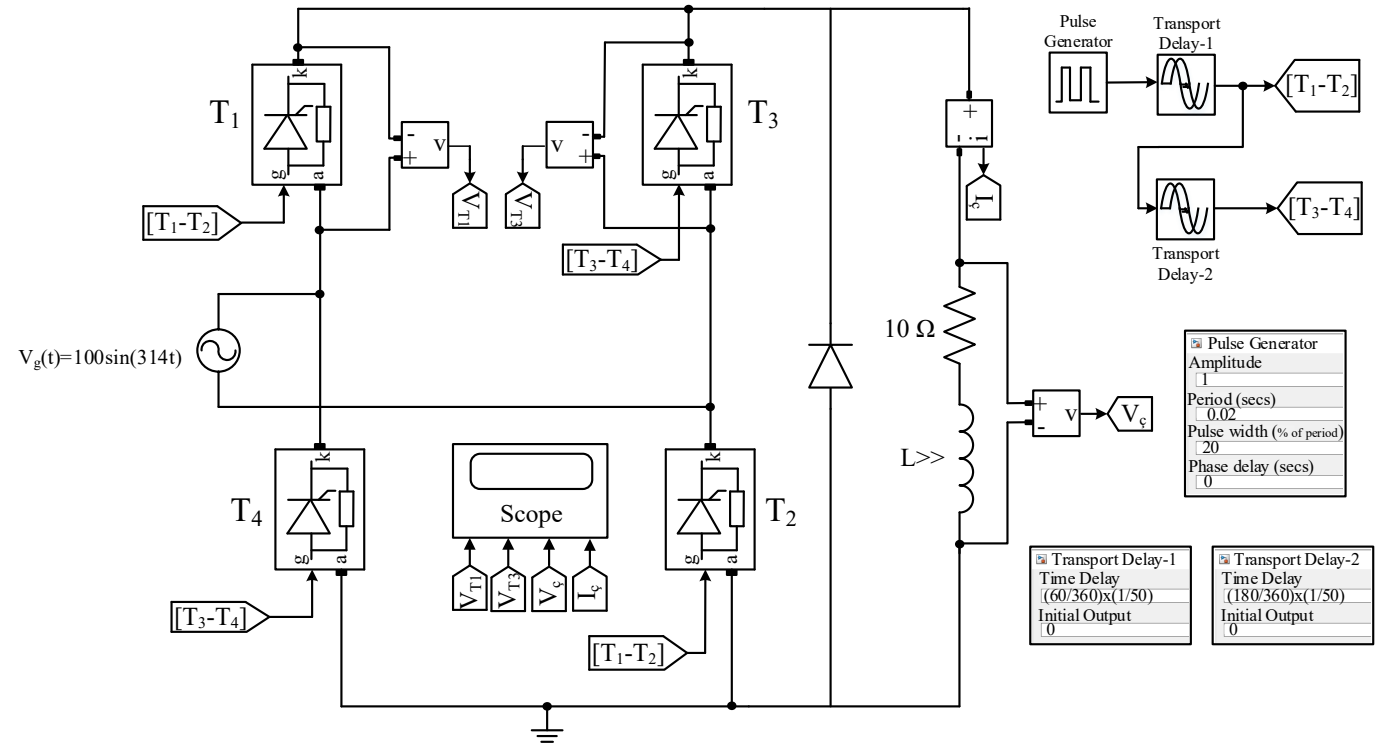


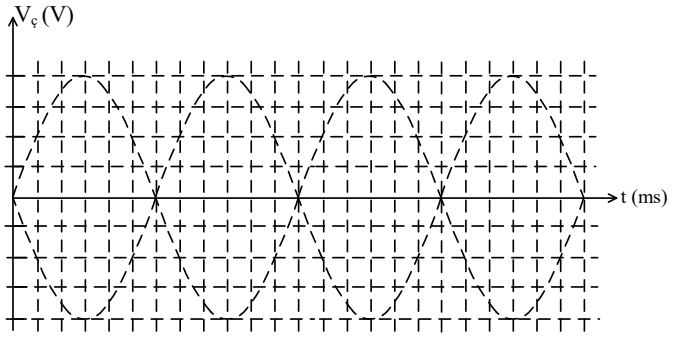


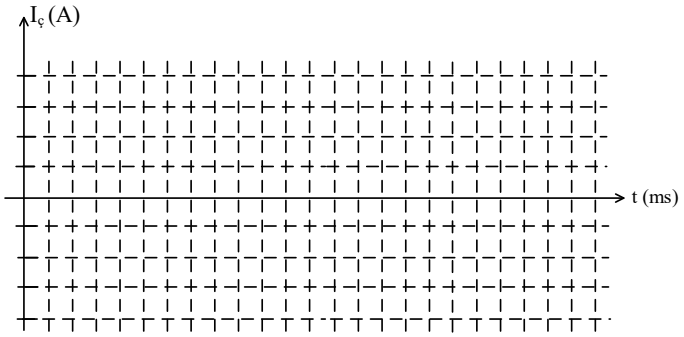


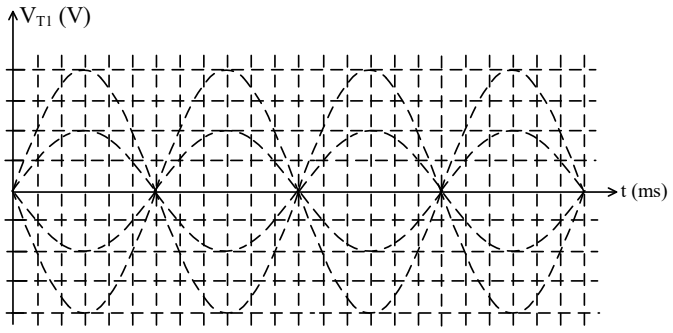


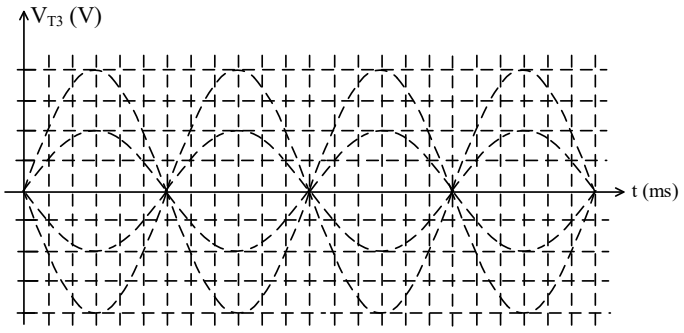
Kontrollü tam dalga doğrultucunun Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüyü verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (Tristörlerin iletim durumunda gerilim düşümü V_T=1V'dur.)









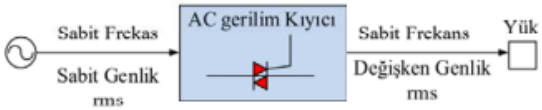


Deney-9: AC-AC Kıyıcı Devresinin MATLAB/Simulink Uygulaması

- AC kaynak ile yük arasına bir Tristör bağlanarak Yüke Uygulanan Gerilimin sadece RMS değerinin değiştirildiği Güç elektroniği devreleridir.

- Sabit frekans ve genliğe sahip ac gerilimi; frekansı sabit ancak genliği ayarlanabilen ac gerilime dönüştürürler.

- Endüstriyel Isıtma, Işık-Kontrol, Elektrikle Ergitme, 3-fazlı Asenkron ve Sabit Mıknatıslı Motor Hız kontrolü



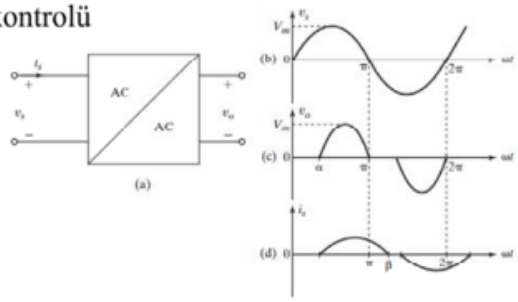


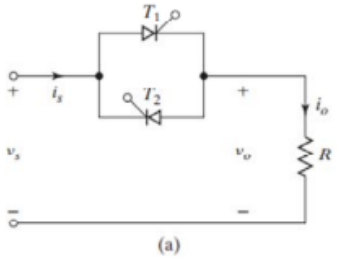
FIGURE 11.1
Input and output relationship of an ac voltage controller.
(a) Block diagram, (b) Input supply, (c) Output voltage, and (d) Input current.

AC -AC Gerilim Kıyıcılar iki sınıfa ayrılır

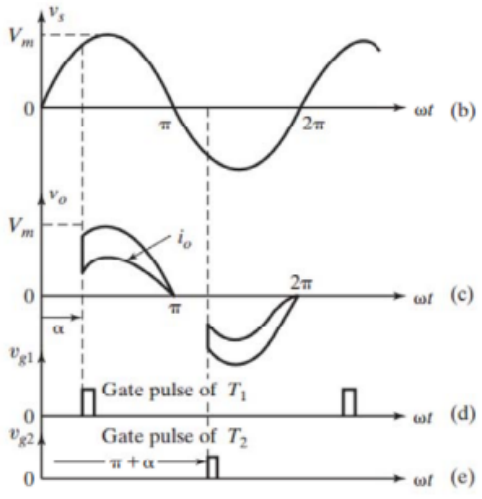
1- Tek Fazlı AC Gerilim Kıyıcıları
- Aç- Kapa Kontrol (On-off Control)
- Faz Açısı Kontrol (Phase-angle Control)

2- Üç- Fazlı AC Gerilim Kıyıcıları

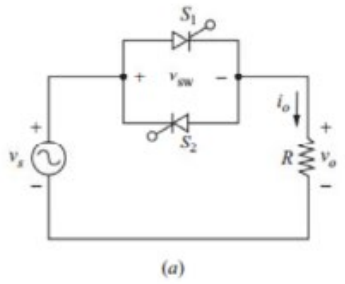
R Yükü için Analiz



- Burada ac gerilim kıyıcısı T_1 ve T_2 Tristörlerinden oluşmuştur.
- T_1 Tristörü Pozitif alternansta
  T_2 Tristörü Negatif alternansta
  denetim sağlamaktadır.



- T_1 ve T_2 tristörleri α açısı ile tetiklensin
- Bu durumda giriş ve çıkış gerilimleri ile yük akımın dalga şekilleri görüldüğü gibi olur.

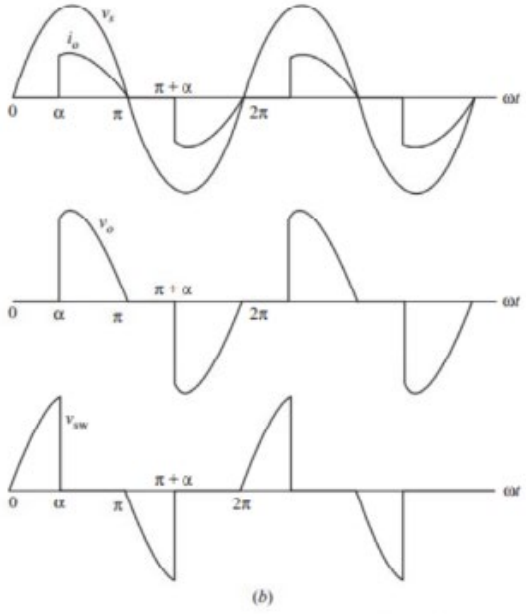


(a)

- T_1 Tristörü Pozitif alternansta
  T_2 Tristörü Negatif alternansta

denetim sağlamaktadır

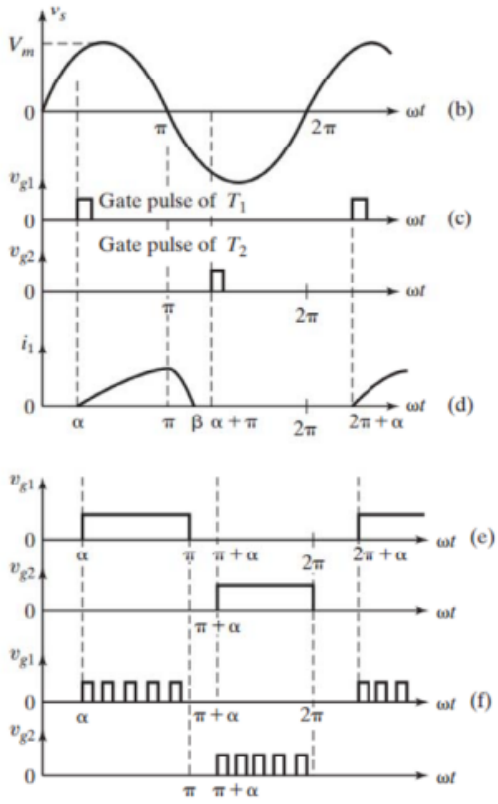
- Yandaki şekilde sırasıyla; giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi ve S1 tristörünün uçlarındaki gerilim dalga şekilleri gösterilmektedir.

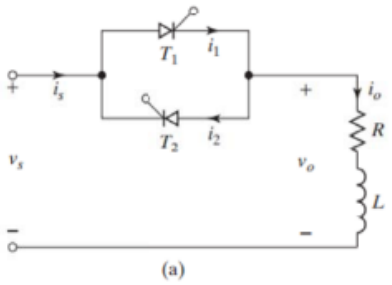


(b)

Figure (*a*) Single-phase ac voltage controller with a resistive load; (*b*) Waveforms.

RL Yükü için Analiz

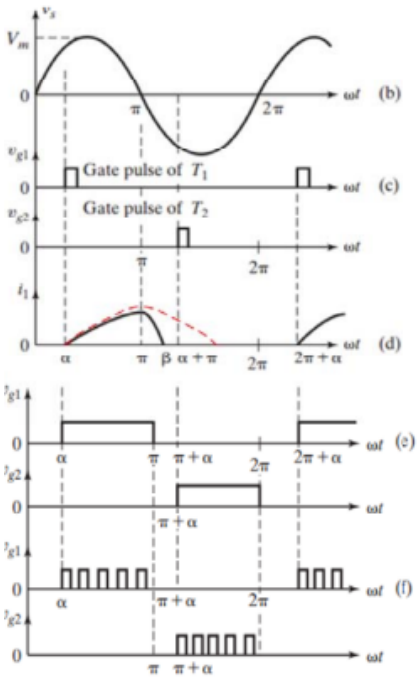




(a)

Pratikte, çoğu yük belli bir oranda indüktans içerir. Bir RL yükünü besleyen tam-dalga ac/ac kıyıcının devre şeması yukarıda gösterilmiştir.

- T_1 tristörü pozitif alternansta iletimdedir.
- Devredeki indüktanstan dolayı T_1'in akımı $\omega t=\pi$'de sıfır olmaz. (giriş gerilimi negatif olmaya başladığı halde)
- T_1 tristörü ; içerisinden geçen akım $\omega t=\beta$'da sıfır olana kadar iletimine devam eder.



- Direnç yükü için, Tristörün gate sinyalleri kısa palsler olabilir. Ancak indüktif yükler için böyle kısa palsler uygun değildir.
- Bu durum **Şekil-c'ye** göre açıklanabilir. T_2 tristörü $\omega t=\pi+\alpha$ da iletime girdiğinde, indüktif yükten dolayı T_1 tristörü halen iletime devam ediyordur. T_1 tristörünün akımı sıfıra düşene ve T_1 $\omega t= \beta$ 'da kesime gidene kadar, T_2 tristörünün gate sinyali zaten sona ermiştir ve sonuç olarak T_2 tristörü iletime giremeyecektir. (Şekil-d Kırmızı kesikli çizgi ile çizilen). Sadece T_1 iletime girebildiği için çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri asimetrik olacaktır.
- Bu durumu çözmek için; **Şekil-e'deki** gibi $(\pi-\alpha)$ süresince **sürekli gate sinyali** kullanılabilir. Bu durumda T_1 kesime girer girmez T_2 iletime girecektir. (Şekil-d Siyah sürekli çizgi ile çizilen). Ancak sürekli gate sinyali tristörlerin anahtarlama kayıplarını arttırır ve gate sürme devresi için daha büyük bir izolasyon transformatörü gerektirir.

- Paratikte, bütün bu problemlerin üstesinden gelmek için **Şekil-f** 'deki gibi kısa süreli bir pals zinciri kullanılır.

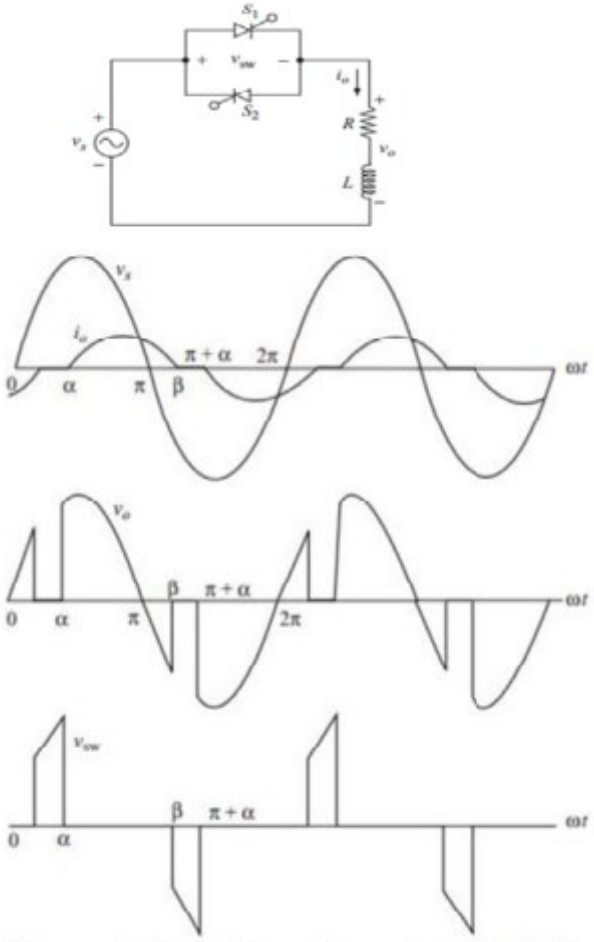
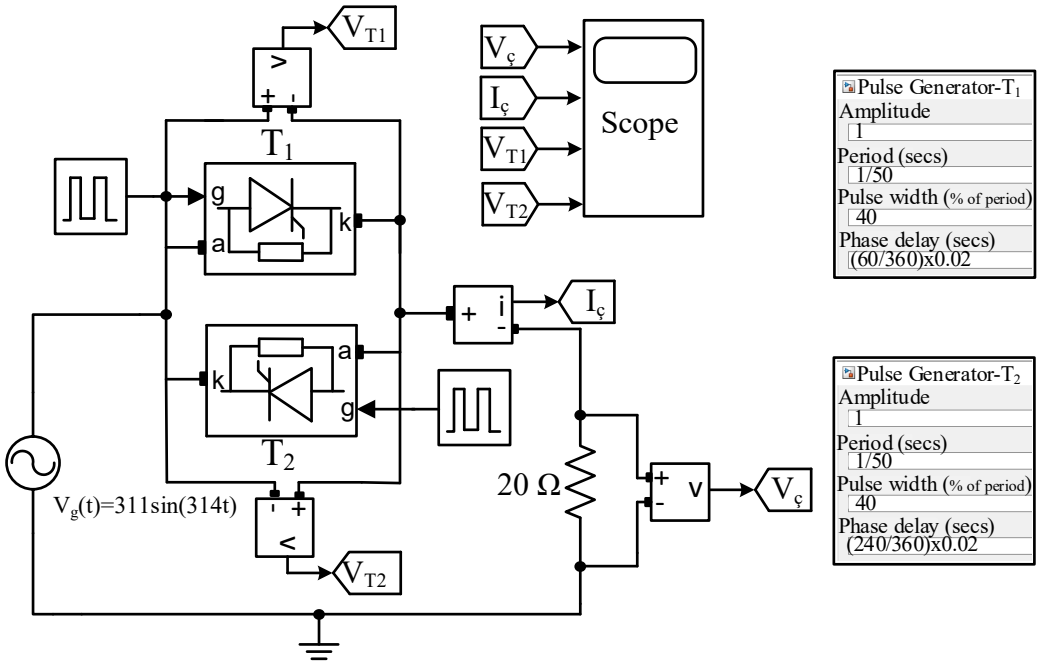


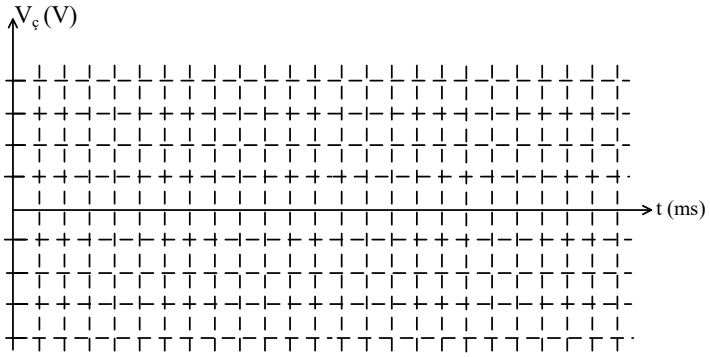
Figure (*a*) Single-phase ac voltage controller with an *RL* load; (*b*) Typical waveforms.

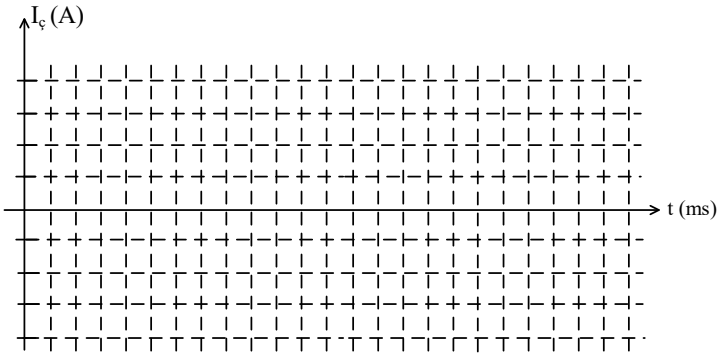
- T_1 tristörünün iletim açısı $\delta = \beta - \alpha$ olup, α tetikleme (gecikme) açısına ve yükün Güç Faktörüne bağlıdır.

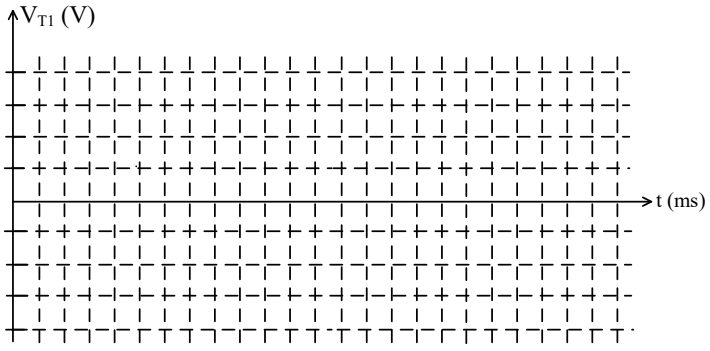
Çalışma Soruları

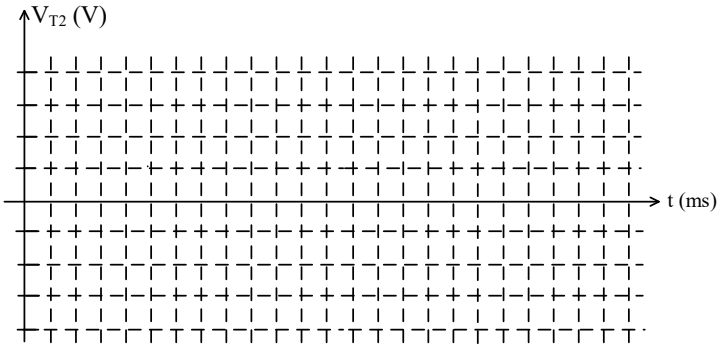
AC-AC kıyıcıya ait Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Buna göre; giriş geriliminin 2 peryodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (Tristörlerin iletim durumunda gerilim düşümü V_T=1V'dur.)



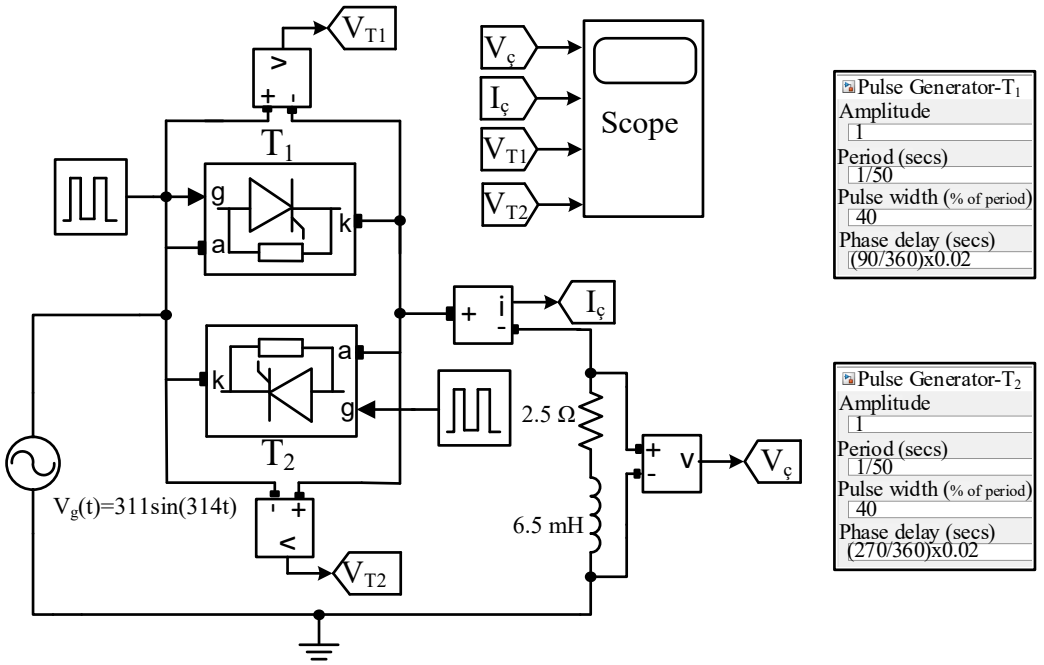


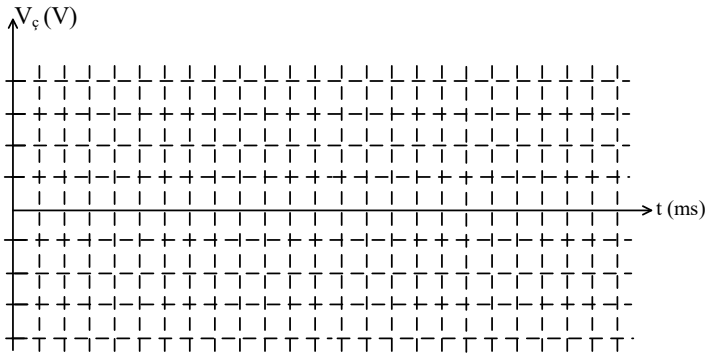


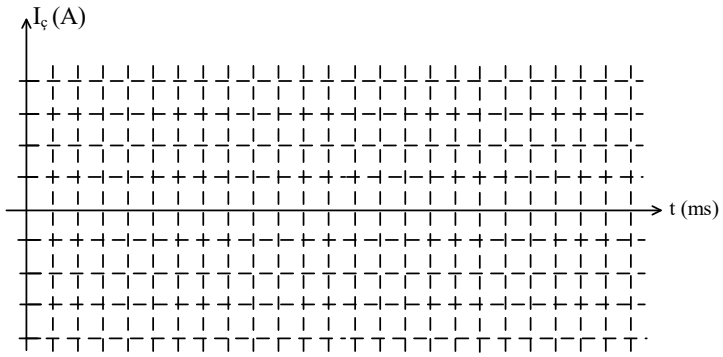


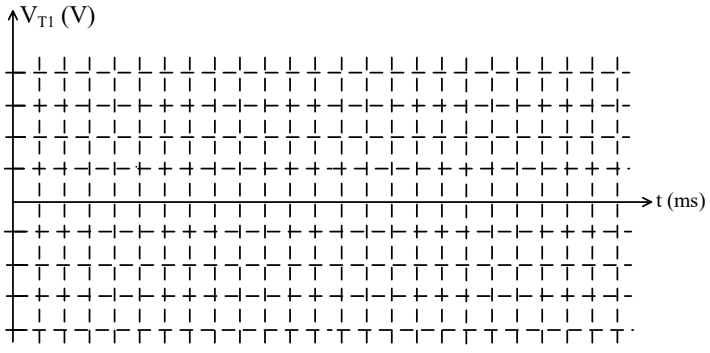


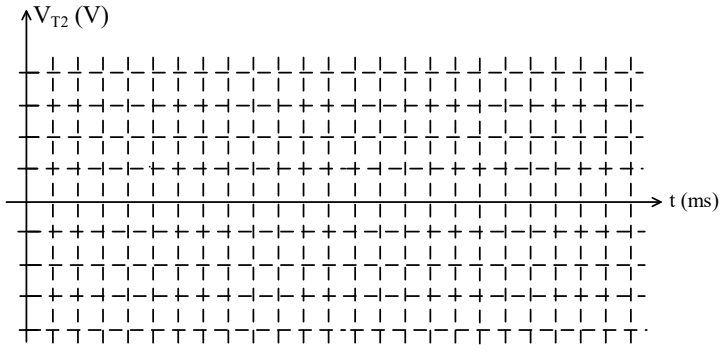
AC-AC kıyıcıya ait Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Verilen yük değeri için susma açısı β=216º'dir. Buna göre; giriş geriliminin 2 periyodu için, Scope ekranındaki görüntüleri verilen grafiklere ölçekli bir şekilde çiziniz. (Tristörler idealdir.)







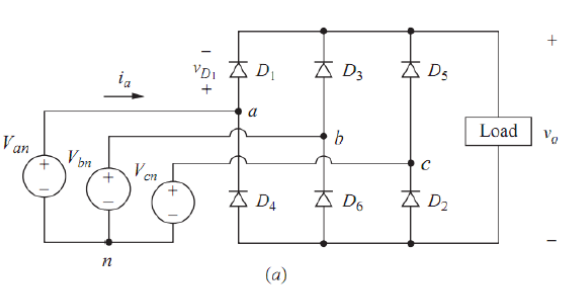


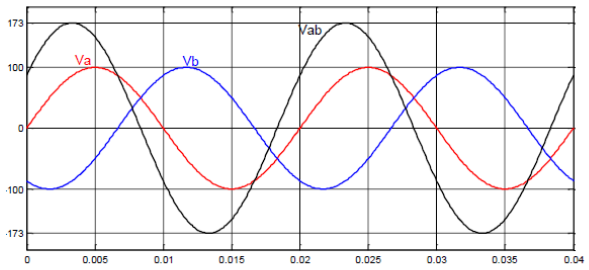


Deney-10: Üç Fazlı Kontrolsüz Tam Köprü Doğrultucu

- Üç-fazlı diyotlu doğrultucular; endüstride büyük yükler için akım ve gerilim üretmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılırlar.

- Üç-fazlı köprü-doğrultucu devresi Şekil-(a)'da gösterilmiştir. Üç-faz gerilim kaynağı dengelidir ve ardışık *a*-*b*-*c* fazlarına sahiptir.



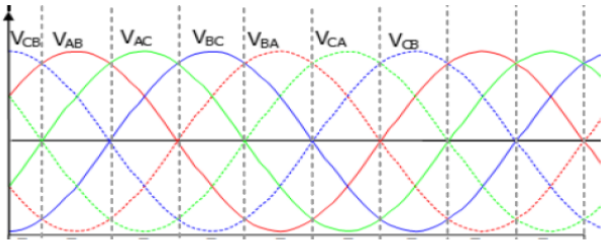


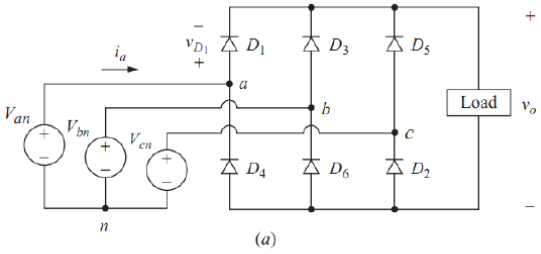
1) Üst diyotlardan sadece biri aynı anda iletimde olabilir (**D_1, D_3, D_5**). İletimde olan diyotun Anodu o anda en yüksek olan faz gerilimine bağlı olacaktır.

2) Alt diyotlardan sadece biri aynı anda iletimde olabilir (**D_2, D_4, D_6**). İletimde olan diyotun Katodu o anda en düşük olan faz gerilimine bağlı olacaktır.

$$V_A = V_m \sin\omega t$$
$$V_B = V_m \sin(\omega t\text{-}120)$$
$$V_C = V_m \sin(\omega t\text{+}120)$$

$$V_{AB} = \sqrt{3}\, V_m \sin(\omega t + 30)$$
$$V_{BC} = \sqrt{3}\, V_m \sin(\omega t - 90)$$
$$V_{CA} = \sqrt{3}\, V_m \sin(\omega t - 210)$$



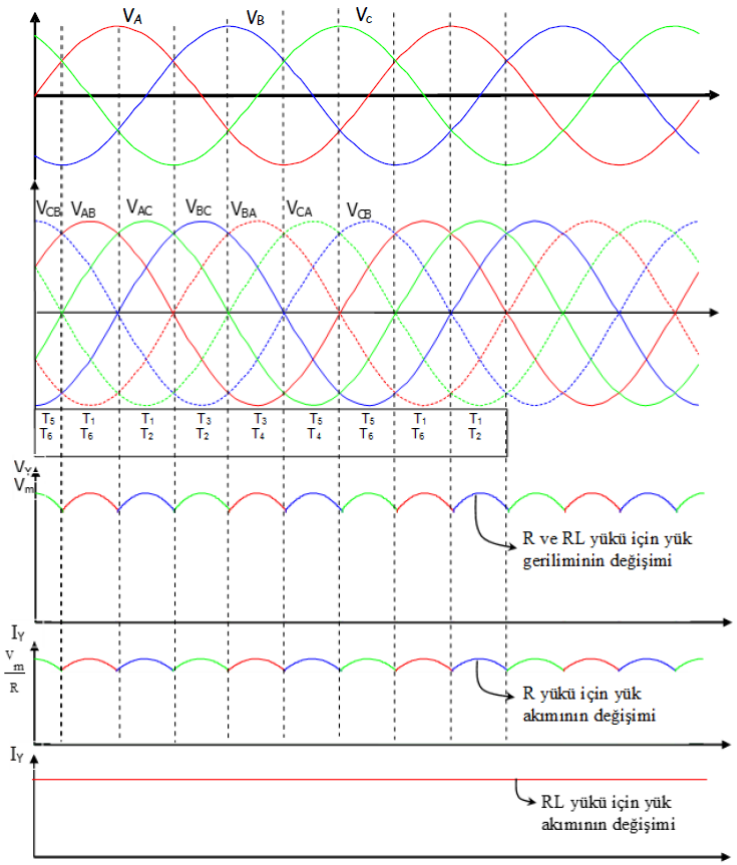


3) 1. ve 2. maddelerin bir sonucu olarak, **D_1** ve **D_4** aynı anda iletimde olamaz. Benzer şekilde, **D_3** ve **D_6** ayrıca **D_5** ve **D_2** aynı anda iletimde olamaz.

4) Yük üzerindeki çıkış gerilimi kaynağın faz-faz (hat) gerilimlerinden biridir. Örneğin D_1 ve D_2 iletimde olduğu zaman çıkış gerilimi Vac'dir. Bunun terside doğrudur, yani iletimdeki diyotlar; o anda ki en yüksek olan faz-faz gerilimi tarafından belirlenir.

5) Faz-faz geriliminin 6 kombinasyonu vardır. Kaynağın bir periyodunun 360° olduğu göz önünde tutulursa, en yüksek faz-faz geriliminin bir geçişi her 60° derecede oluşmalıdır. Kaynak geriliminin her bir periyodu altı geçişten oluştuğu için, devre **6-darbeli bir doğrultucu olarak adlandırılır**.

6) Üç-faz kaynak geriliminin frekansının ***ω*** olduğu burada, çıkış gerilimin temel frekansı **6*ω*** dır.

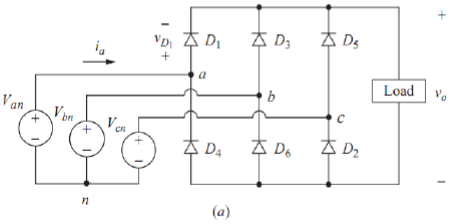


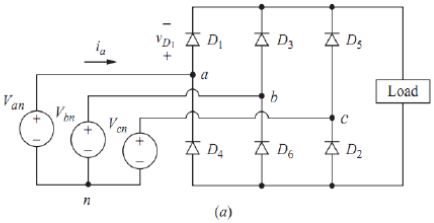
Şekil-(b) faz gerilimlerini ve bir dengeli üç-faz kaynaktan faz-faz gerilimlerinin oluşan kombinasyonları göstermektedir.

Diyotlar çiftler halinde

(D_6-D_1), (D_1-D_2), (D_2-D_3), (D_3-D_4), (D_4-D_5), (D_5-D_6), (D_6-D_1) ……

iletimdedir.





➢ İletimdeki bir diyotun akımı yük akımı ile aynıdır. **Kaynağın her bir fazındaki akımı belirlemek için**, a , b ve c noktalarında Kirchoff'un akım kanunu uygulanır.

$$\Rightarrow \quad \begin{aligned} i_a &= i_{D_1} - i_{D_4} \\ i_b &= i_{D_3} - i_{D_6} \\ i_c &= i_{D_5} - i_{D_2} \end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Her bir diyot periyodun üçte birinde iletimde olduğu için, $\Rightarrow$

$$I_{D,\text{avg}} = \frac{1}{3} I_{o,\text{avg}}$$
$$I_{D,\text{rms}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{o,\text{rms}}$$
$$I_{s,\text{rms}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o,\text{rms}}$$

$\Rightarrow$ Üç-fazlı bir kaynağın görünür gücü; $\Rightarrow$ $S = \sqrt{3}\, V_{L-L,\text{rms}}\, I_{S,\text{rms}}$

$\Rightarrow$ Fourier serisi katsayılarını belirlemek amacıyla, $\pi/3$ periyotlu **periyodik çıkış gerilimi;** $\pi/3 \le \omega t \le 2\pi/3$ aralığı için aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$v_o(\omega t) = V_{m,L-L} \sin(\omega t) \qquad \pi/3 \le \omega t \le 2\pi/3$$

$\Rightarrow$ Sinüslü terimler için katsayılar simetriden dolayı sıfırdır. Dolayısı ile **çıkış geriliminin Fourier Serisi** aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$v_o(t) = V_o + \sum_{n=6,12,18\ldots}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 t + \pi)$$

⇒ Çıkış gerilimim ortalama veya dc değeri ise

$$V_0 = \frac{1}{\pi/3}\int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m,L-L}\sin(\omega t)\,d(\omega t) = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi} = 0.955\,V_{m,L-L}$$

⇒ Burada $V_{m,L-L}$; üç-faz kaynağın faz-faz geriliminin tepe değeridir $V_{m,L-L} = \sqrt{2}V_{L-L,\text{rms}}$

⇒ AC gerilim terimlerinin genlikleri $V_n = \frac{6V_{m,L-L}}{\pi(n^2-1)} \qquad n = 6, 12, 18, \ldots$

⇒ Çıkış gerilimi AC kaynak gerilimin altıda-bir (1/6) periyodunda periyodik olduğu için, çıkıştaki harmonikler $6k\omega$ 'da meydana gelmektedir ($k = 1, 2, 3, \ldots$).

⇒ **Üç fazlı doğrultucunun tek-fazlı doğrultucuya göre avantajı**, çıkışının doğal olarak bir DC gerilime benzemesi ve verimlilik için yüksek-frekanslı ve düşük genlikli harmoniklerin filtrelenmesini mümkün kılmasıdır.

ÖRNEK: 3-fazlı Kontrolsüz bir doğrultucu, 480V faz-faz gerilimli 3-fazlı bir kaynağa ve **25Ω-50mH'lik bir RL** yüküne sahiptir. Bu durumda;

a) Çıkış gerilimin DC seviyesini **b)** Yük akımının DC ve birinci AC terimini
c) Diyotlardaki Ortalama ve RMS akımı **d)** Kaynaktaki RMS akımı ve
e) Kaynağın görünür gücünü hesaplayınız.

ÇÖZÜM: **a)** Köprünün DC çıkış gerilimi ⇒ $V_o = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi} = \frac{3\sqrt{2}(480)}{\pi} = 648\text{ V}$

b) Ortalama (DC) yük akımı ⇒ $I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{648}{25} = 25.9\text{ A}$

⇒ Yük akımının AC terimleri aşağıdaki formülden hesaplanır $V_n = \frac{6V_{m,L-L}}{\pi(n^2-1)} \qquad n = 6, 12, 18, \ldots$

⇒ **Yük akımının birinci AC terimi** yukarıdaki formülde n=6 için bulunur

⇒
$$I_6 = \frac{V_6}{Z_6} = \frac{0.0546V_m}{\sqrt{R^2+(6\omega L)^2}} = \frac{0.0546\sqrt{2}(480)}{\sqrt{25^2+[6(377)(0.05)]^2}} = \frac{37.0\text{ V}}{115.8\ \Omega} = 0.32\text{ A}$$
$$I_{6,\text{rms}} = \frac{0.32}{\sqrt{2}} = 0.23\text{ A}$$

Bu değer ve diğer AC terimler; DC terimden çok daha küçüktürler ve bundan dolayı ihmal edilebilirler.

ÖRNEK: 3-fazlı Kontrolsüz bir doğrultucu, 480V faz-faz gerilimli 3-fazlı bir kaynağa ve **25Ω-50mH'lik bir RL** yüküne sahiptir. Bu durumda;

---

c) Diyotlardaki Ortalama ve RMS akımı aşağıdaki formüllerle hesaplanır. **RMS yük akım; AC terimler küçük olduğu için, yaklaşık olarak ortalama akım ile aynıdır.**

$$\Rightarrow \quad I_{D,\text{avg}} = \frac{1}{3} I_{o,\text{avg}}, \quad I_{D,\text{rms}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{o,\text{rms}}, \quad I_{s,\text{rms}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o,\text{rms}} \quad \Rightarrow$$

$$I_{D,\text{avg}} = \frac{1}{3} I_{o,\text{avg}} = \frac{I_o}{3} = \frac{25.9}{3} = 8.63 \text{ A}$$

$$I_{D,\text{rms}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{o,\text{rms}} = \frac{I_{o,\text{rms}}}{\sqrt{3}} \approx \frac{25.9}{\sqrt{3}} = 15.0 \text{ A}$$

d) Kaynaktaki RMS akım $\Rightarrow$

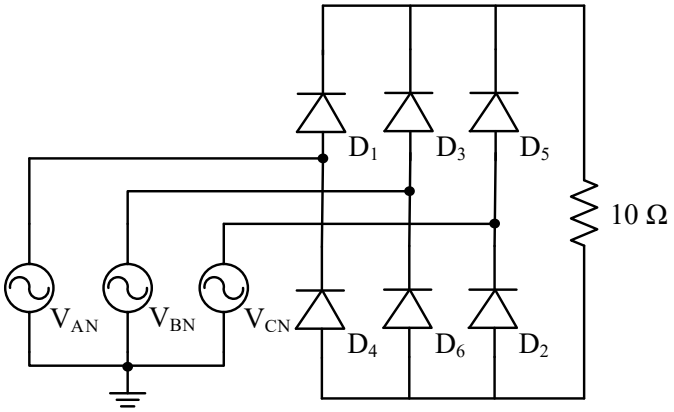
$$I_{s,\text{rms}} = \left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right) I_{o,\text{rms}} \approx \left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right) 25.9 = 21.2 \text{ A}$$

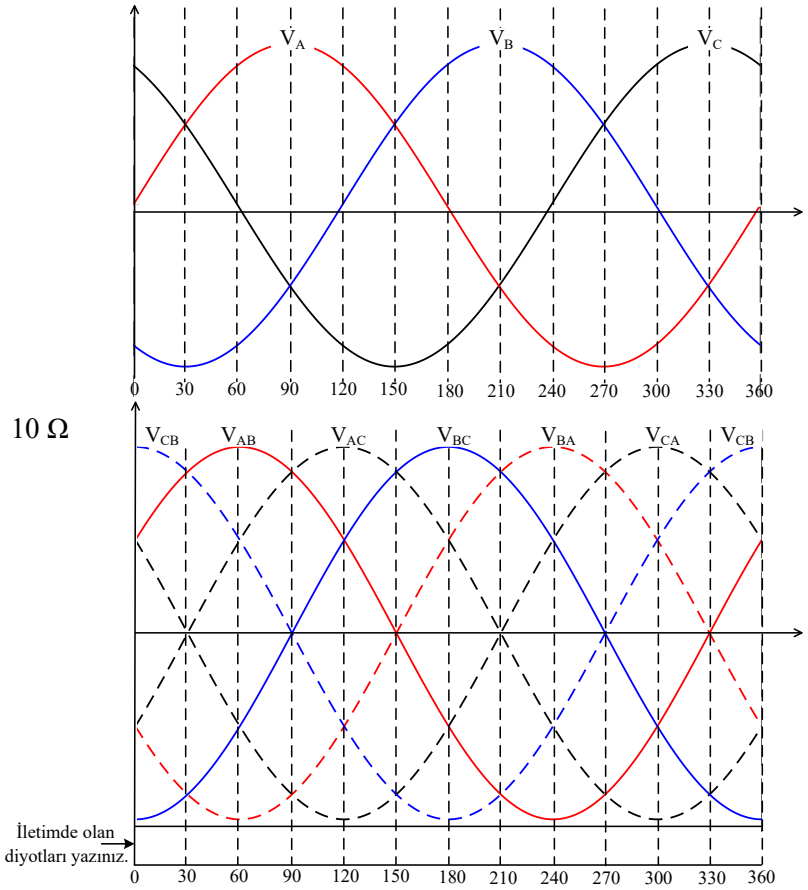
e) Kaynağın görünür gücü $\Rightarrow$

$$S = \sqrt{3}(V_{L-L,\text{rms}})(I_{s,\text{rms}}) = \sqrt{3}\,(480)(21.2) = 17.6 \text{ kVA}$$

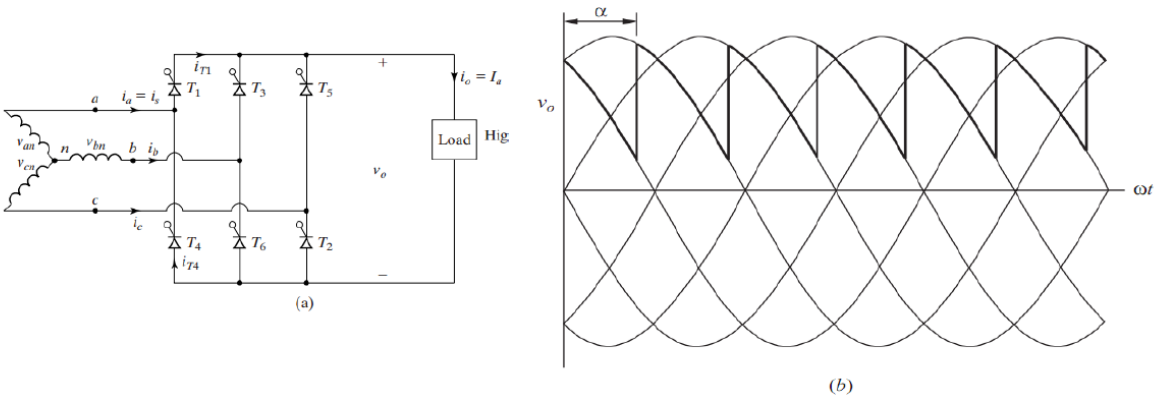
Çalışma Soruları

3-fazlı şebekeden beslenen tam dalga kontrolsüz doğrultucuya ait Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Çıkış gerilimi dalga şeklini aşağıda verilen hat gerilimleri dalga şekli üzerine çiziniz. NOT: Diyotların hangi aralıklarda iletimde kaldığını dalga şeklinin altındaki kısımlara yazınız. (Tüm diyotlar idealdir.)





Deney-11: Üç Fazlı Kontrollü Tam Köprü Doğrultucu



- Üç-fazlı doğrultucunun çıkışı diyotlar yerine Tristörler konularak kontrol edilebilir.
- Şekil-(a) kontrollü 6-darbeli (pulse) bir üç-fazlı doğrultucuyu göstermektedir.
- Bu durumda, Tristör ileri yönde-polardığı halde gate sinyali uygulanana kadar iletim başlamaz. Böylece, çıkış geriliminin maksimum anlık faz-faz kaynak gerilimine geçişi geciktirilebilir.
- **Gecikme açısı; Tristörün ileri-yönde polardığı zaman ve gate sinyali uygulandığı zaman arasındaki aralıktır**.
- Şekil-(b); **45°** bir gecikme açısı için kontrollü doğrultucunun çıkışını göstermektedir.

⇒ Ortalama çıkış gerilimi $$V_o = \frac{1}{\pi/3}\int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3+\alpha} V_{m,L-L}\sin(\omega t)\,d(\omega t) = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi}\cos\alpha$$

⇒ Bu denklemden görüldüğü gibi gecikme açısı arttıkça çıkış gerilimi azalmaktadır.

⇒ Çıkış gerilimi için harmonikler $6k$ 'da meydana gelmektedir, fakat genlikleri α 'nın fonksiyonlarıdır.

ÖRNEK:, 60Hz'de 480V bir giriş gerilimine sahip 3-faz kontrollü doğrultucu **R=10Ω** ve **L=50mH**'lik bir RL yükünü beslemektedir. Yükte 50A bir ortalama akım meydana getirmek için gerekli gecikme açısını belirleyiniz.

ÇÖZÜM:

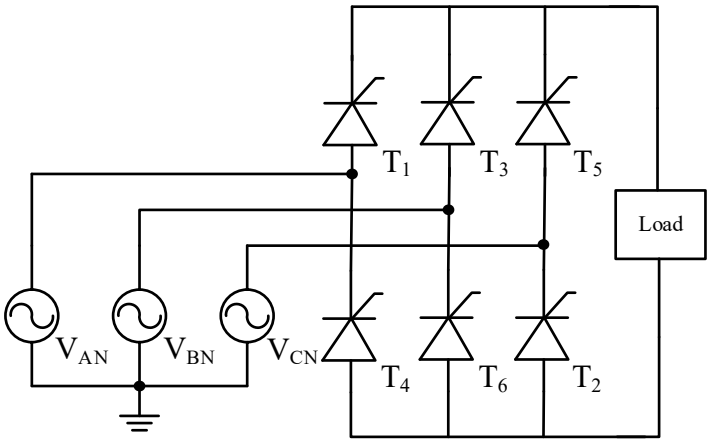
a) Köprünün çıkış geriliminde gerek duyulan DC bileşen ⇒ $V_o = I_o R = (50)(10) = 500\ \text{V}$

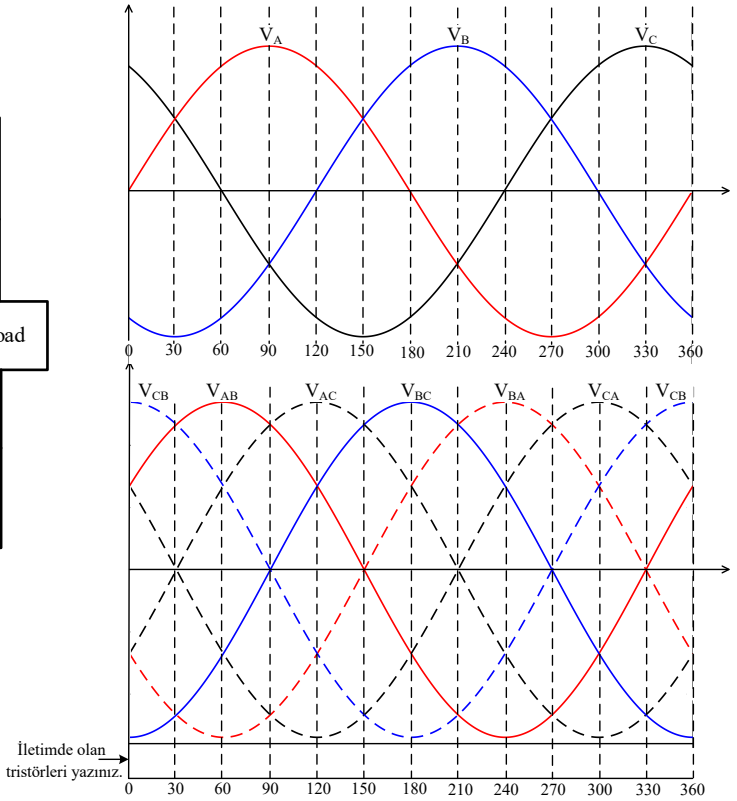
⇒ Gecikme açısı Ortalama çıkış gerilimi formülünden hesaplanabilir.

$$V_o = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi}\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{V_o\pi}{3V_{m,L-L}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{500\pi}{3\sqrt{2}(480)}\right) = 39.5°$$

Çalışma Soruları

3-fazlı şebekeden beslenen tam dalga kontrollü doğrultucuya ait Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Çıkış gerilimi dalga şeklini aşağıda verilen hat gerilimleri dalga şekli üzerine çiziniz. NOT: Anahtarların ilk olarak hangi anda ileri yönde polardığını ve hangi aralıklarda iletimde kaldığını dalga şeklinin altındaki kısımlara yazınız. (α=60° ve tristörler idealdir.)





3-fazlı şebekeden beslenen tam dalga kontrollü doğrultucuya ait Matlab/Simulink modeli aşağıda verilmiştir. Çıkış gerilimi dalga şeklini aşağıda verilen hat gerilimleri dalga şekli üzerine çiziniz. NOT: Anahtarların ilk olarak hangi anda ileri yönde polardığını ve hangi aralıklarda iletimde kaldığını dalga şeklinin altındaki kısımlara yazınız. (α=45° ve tristörler idealdir.)

