

AC-DC Dönüştürücüler

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- **GİRİŞ:**
- AC-DC dönüştürücüler (doğrultucular), AC gerilimi DC gerilime dönüştüren güç elektroniği devreleridir.
- Güç elektroniğinin temel güç devrelerinden doğrultucuları 2 temel grup altında incelemek gerekmektedir. Bunlar;
 - 1) **Kontrolsuz doğrultucular,**
 - 2) **Kontrollü doğrultuculardır.**
- Kontrolsuz doğrultucular sabit DC gerilim çıkışlı, kontrollü doğrultucular ise değişken DC çıkışlı güç devreleridir ve genellikle DC motorların kontrolunda kullanılmaktadır.
- Kontrolsuz doğrultucularda kullanılan temel güç elemanı “diyot”dur. Diyot, kontrolsuz bir güç elemanı olduğu için bu doğrultucuya böyle bir isim verilmiştir.
- Kontrollü doğrultucularda kullanılan temel güç elemanı ise “tristör”dür. Tristör, iletme geçmesi kontrol edilebilen bir eleman olduğu için bu doğrultucuya böyle bir isim verilmiştir.
- Aşağıda kontrolsuz ve kontrollü doğrultucuların alt bölümleri verilmiştir.

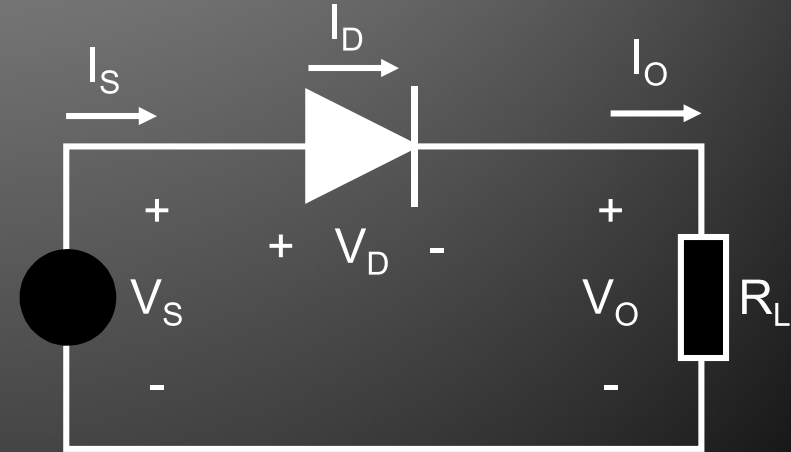
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kontrolsüz doğrultucu türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir,
 - 1 fazlı doğrultucular;
 - Yarım dalga doğrultucu,
 - Simetrik tam dalga doğrultucu,
 - Köprü tam dalga doğrultucu,
 - 3 fazlı doğrultucular;
 - Yarım dalga doğrultucu,
 - Köprü tam dalga doğrultucu,
 - Bu temel doğrultucular dışında çok fazlı ve özel tasarım doğrultucu devreleri de bulunmaktadır.
- Kontrollü doğrultucu türleri ise;
 - 1 fazlı doğrultucular;
 - Yarım dalga doğrultucu,
 - Simetrik tam dalga doğrultucu,
 - Yarım kontrollü köprü doğrultucu,
 - Tam kontrollü köprü doğrultucu,
 - Tam kontrollü çift köprü doğrultucu.
 - 3 fazlı doğrultucular;
 - Yarım dalga doğrultucu,
 - Yarım kontrollü köprü doğrultucu,
 - Tam kontrollü köprü doğrultucu,
 - Tam kontrollü çift köprü doğrultucu'dur.

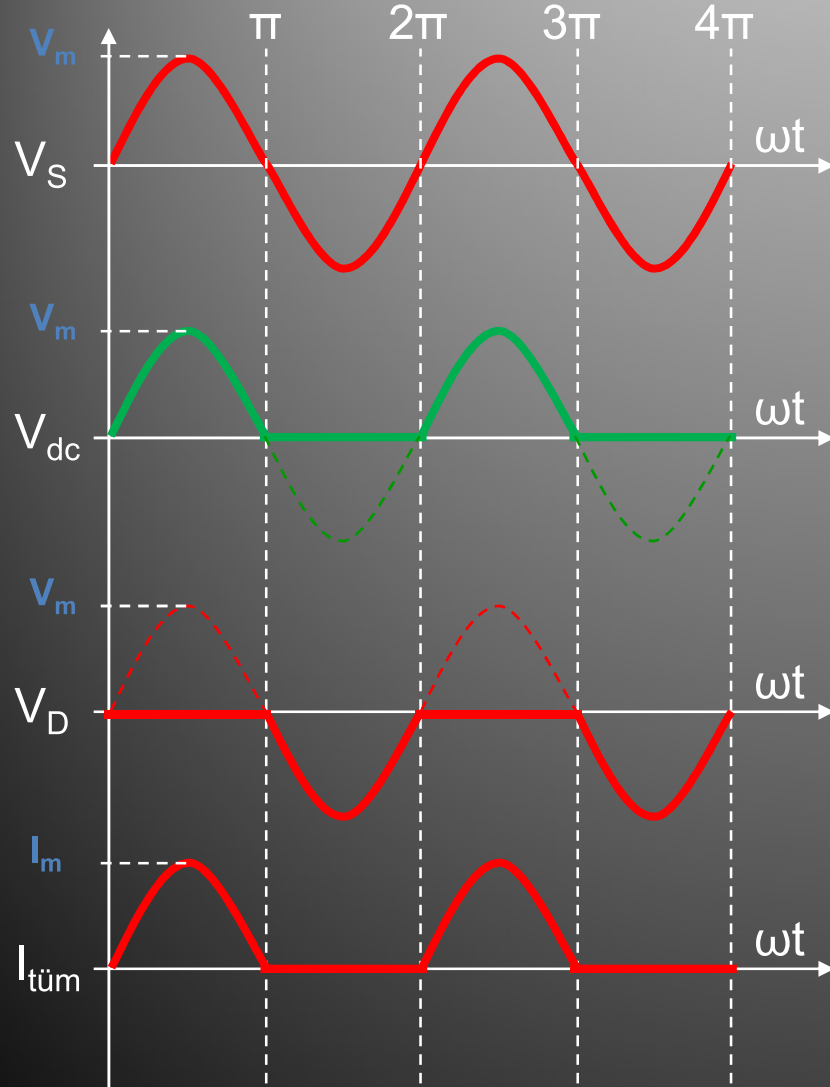
- AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Doğrultucu türlerini bu şekilde sıraladıktan sonra ilk ve en basit doğrultucu devresi olan 1 fazlı yarım dalga doğrultucu devresinden itibaren tüm doğrultucular incelenmeye başlanacaktır.
- İnceleme sırasında doğrultucunun güç devresi bağlantısı, varsa uyarma devresi yapısı ve güç devresine bağlantısı, güç devresinin çalışmasını gösteren dalga şekilleri ve devredeki akım ve gerilimlerin hesaplanması yapılacaktır.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Doğrultucu (rezistif yükte):
- Aşağıdaki Şekil 1'de 1 fazlı yarım dalga kontrolsüz doğrultucu devre bağlantısı görülmektedir. Bu devrenin rezistif (R) yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil 2'de verilmiştir.



AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil 2'den görüldüğü gibi, güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametrenin dalga şekilleri gösterilmiştir.

Bunlar;

- 1) Kaynak gerilimi (V_s),
- 2) Çıkış (yük) gerilimi (V_o),
- 3) Anahtar (diyot) gerilimi (V_D),
- 4) Kaynak akımı (I_s),
- 5) Çıkış (yük) akımı (I_o),
- 6) Anahtar (diyot) akımı (I_D)'dir.

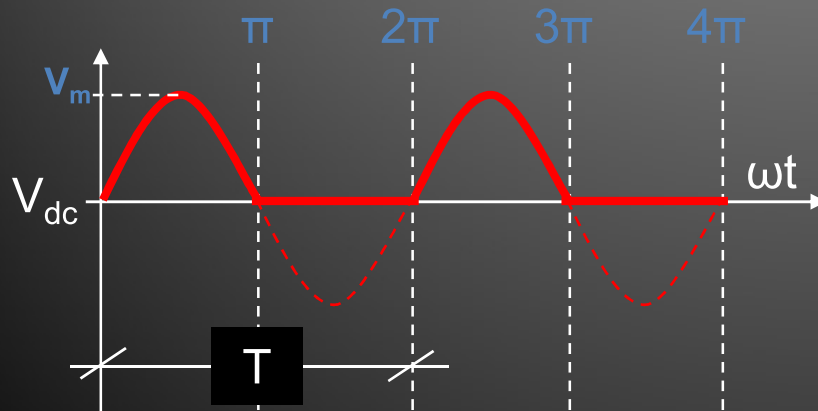
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle aynı olduğu için tek şekille ($I_{tüm}$) gösterilmiştir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil 2'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar olduğu gibi görülmekte, negatif alternanslar ise görülmemektedir.
 - Bunun nedeni diyodun pozitif alternanslarda iletimde olması, negatif alternanslarda ise yalıtımda kalmasıdır.
 - Diyodun yalıtımda kaldığı negatif alternanslarda ise kaynaktan gelen bu negatif alternanslar diyot üzerinde, diyodun bloke ettiği gerilim olarak görülmektedir.
- Şekil 2'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
 - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
 - 3) Ortalama çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
 - 6) Anahtar (diyot) gerilimi,
 - 7) Anahtar (diyot) akımı.
 - 8) Güç katsayısı,

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil-3'de görülen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi i bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) \cdot dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

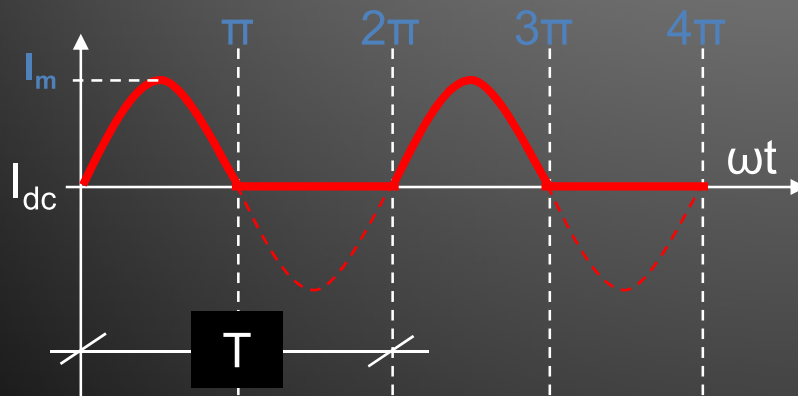
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(-1) + (+1)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0,318 \cdot V_m$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil 4'de görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi i bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) \cdot dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^{\pi}$$

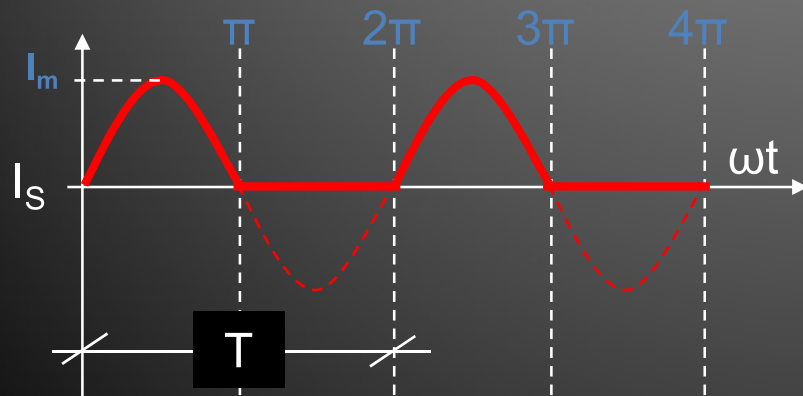
$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(0))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(-1) + (+1)]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} = 0,318 \cdot I_m = 0,318 \cdot \frac{V_m}{R}$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil 5'deki gibidir. Buradan;



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \cdot \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_0^{\pi}}$$

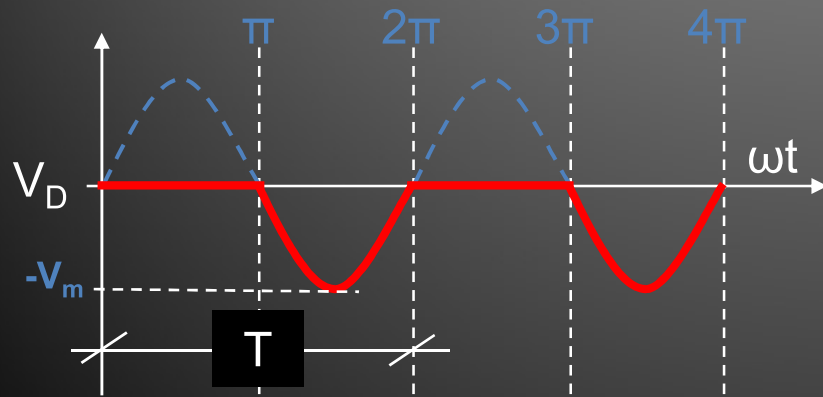
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} \right) - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right]}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) - (0) \right]} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \frac{\pi}{2}}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{4}} = \frac{I_m}{2} = 0,5 \cdot I_m = 0,5 \cdot \frac{V_m}{R}$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



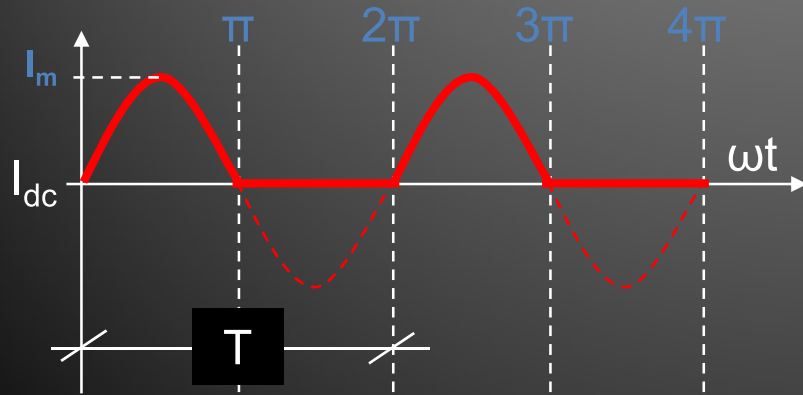
diyot tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil 6'da görüldüğü gibi, kaynağın negatif alternanslarında diyot yalıtımda kalmakta ve tepe değeri " V_m " olan kaynak gerilimini bloke etmektedir.

- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma gerilimi aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.

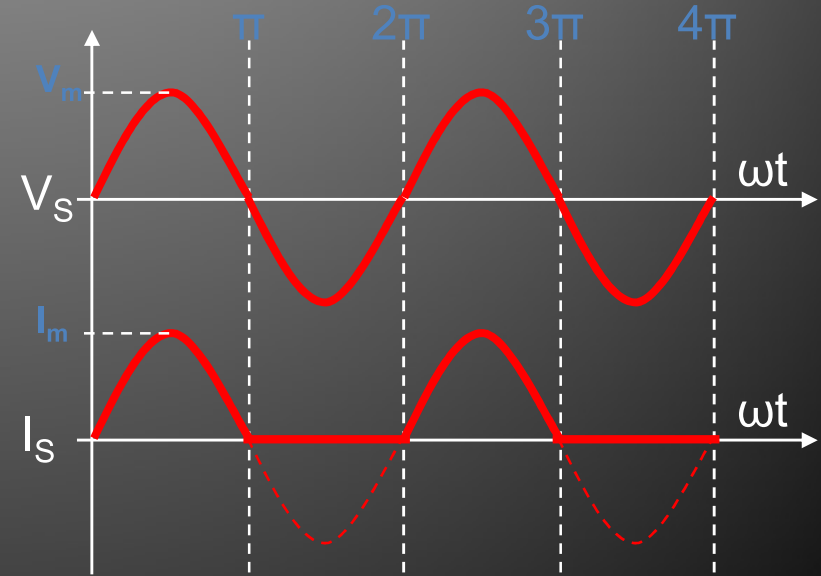
$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (diyot) akımı;
- Anahtar (diyot) akımı, aşağıda Şekil 7'de görüldüğü gibi yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan diyodun çalışma akımı,
- $I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



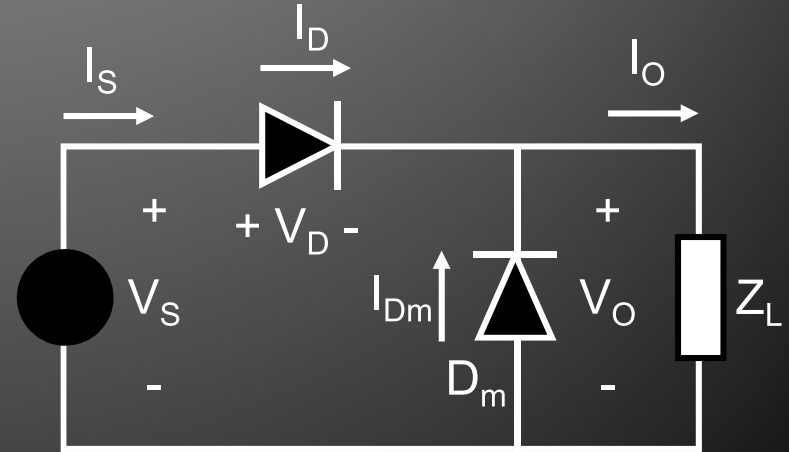
- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil 8'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir.



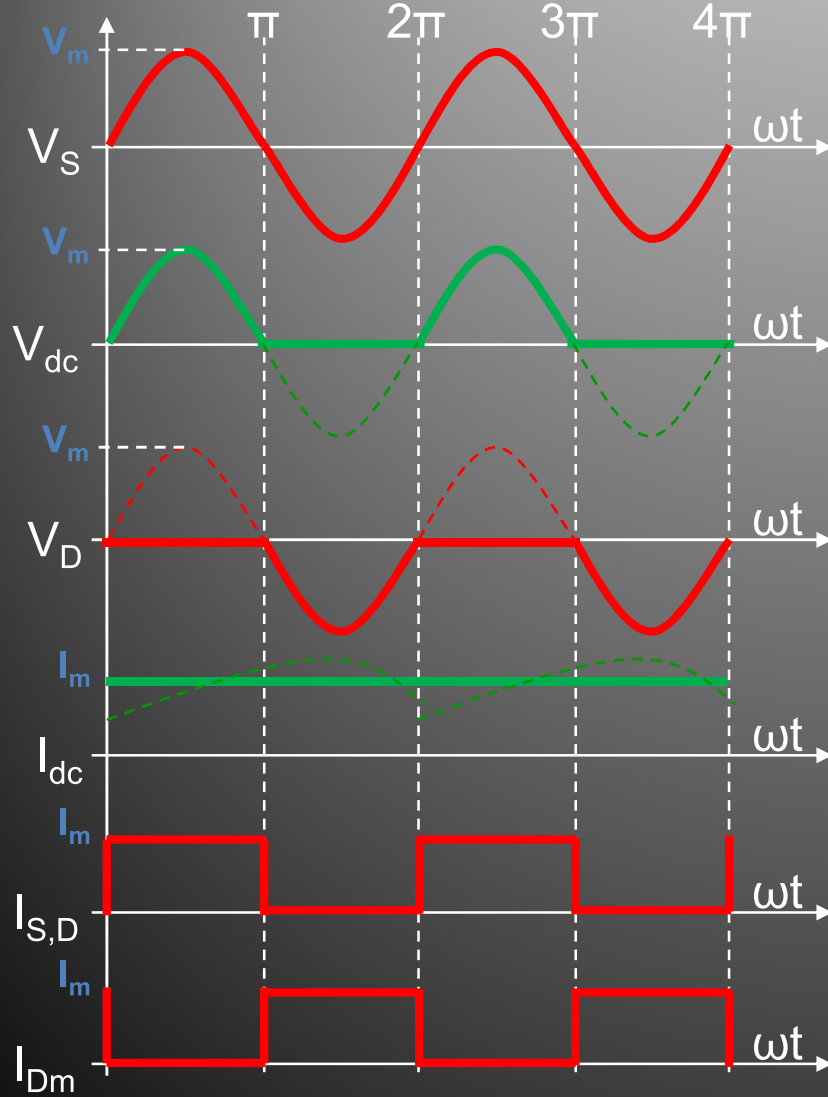
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Bilindiği gibi endüstrideki yüklerin çok büyük bir bölümü endüktif karakterli (L+R) yüklerdir.
- Bu yüklere verilebilecek en önemli örnek elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları içerdikleri bobinler ve bu bobinlerin dirençleri nedeniyle endüktif + rezistif (L+R) durumundadırlar.
- Tabii ki devrede endüktif yük olması başta devre akımları olmak üzere devrede pek çok parametreyi ve şartları değiştirmektedir.

- 1 Fazlı Yarım Dalgı Kontrolsuz Doğrultucu (endüktif yükte):
- Aşağıdaki Şekil 9'da 1 fazlı yarım dalgı kontrolsuz doğrultucu devre bağlantısı görölmektedir. Bu devrenin endüktif yükte çalışmasını gösteren temel dalgı şekilleri ise Şekil 10'da verilmiştir.



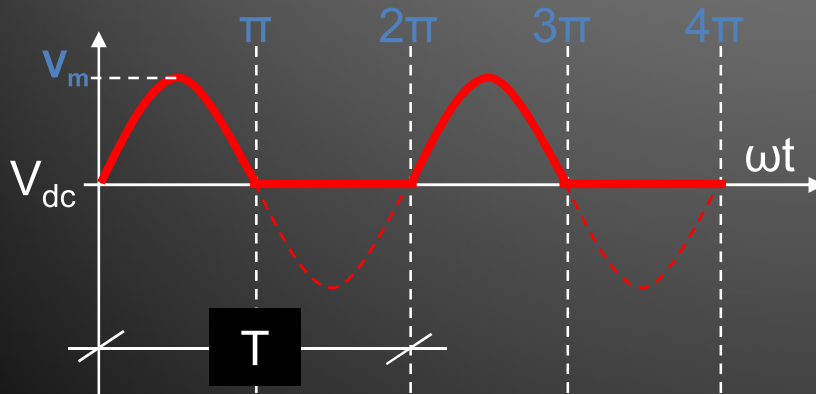
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki Şekil 10'dan görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış akımı (I_0) çok az dalgalanacaktır. Biz çizim ve hesaplama kolaylığı olması açısından bu akımı düz kabul edeceğiz.
- Yine şekilden görüldüğü gibi bu akım, pozitif alternanslarda karnaktan ve diyot üzerinden ($I_{S,D}$), negatif alternanslarda ise yüke ters paralel olarak bağlanmış serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır. Bu durumda parametreler;

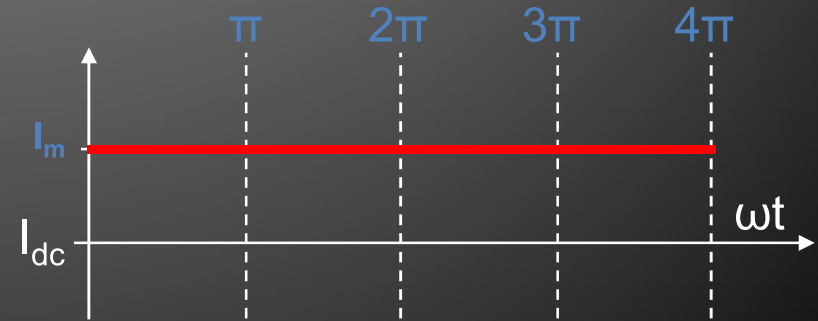
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrolsüz doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil 11'de görülen dalga şekli, rezistif yük ile aynı olacaktır.
- Bu durumda resistif yük için elde edilen eşitlik endüktif yük için de aynen geçerlidir.



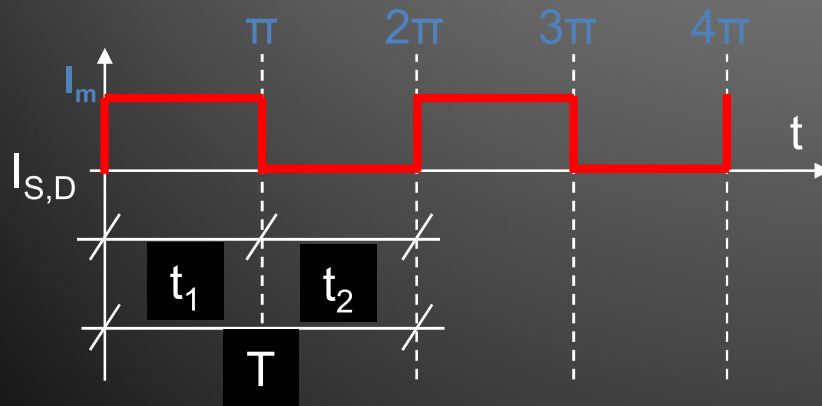
- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Endüktif yükte yük üzerinden geçen akım Şekil 12'de görüldüğü gibi sürekli ve sabit (düz) kabul edilmektedir.
- Bu durumda ortalama değer,
- $I_{dc} = I_m = V_m / Z$

eşitliği kullanılarak doğrudan hesaplanabilecektir.



AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Endüktif yükte ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil 13'deki gibidir.



- Şekil 13'de belirtilen ve akımın aktif olduğu “ t_1 ” ve pasif olduğu göre “ t_2 ” süreleri kullanılarak, “etkin peryot (k)” hesaplaması yapılabilir.

- $k = t_1 / (t_1 + t_2) = t_1 / T$

(Burada, $t_1 = t_2$ olduğundan, $k = 0,5$ 'dir)

- Buradan, kare dalga şeklinde

değişen kaynak akımının etkin değeri aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.

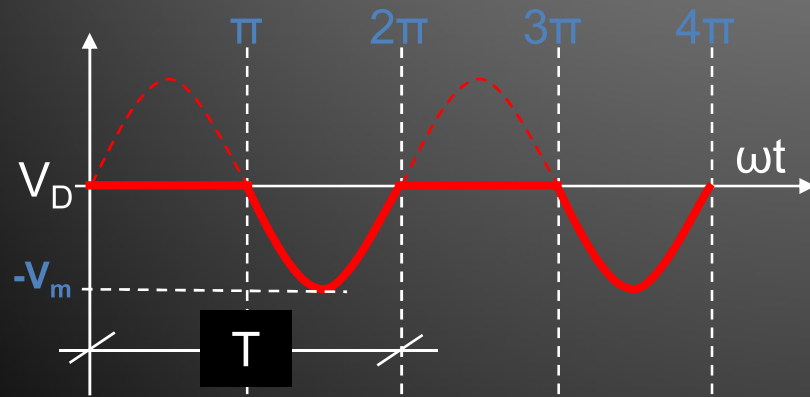
- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m = 0,7 \cdot I_m$

- $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot (V_m / Z)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (diyot) gerilimi;
- Anahtar (diyot) gerilimi,



Şekil 14'den görüldüğü gibi, rezistif yükteki şeklini koruduğuna göre aynı eşitlikle hesaplanabilecektir.

- $V_D \geq V_m + (\%30.V_m)$

- Anahtar (diyot) akımı;

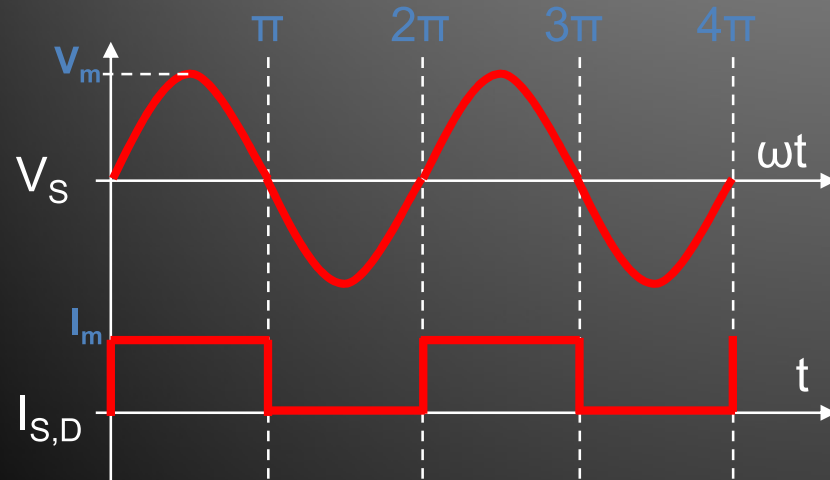
- Anahtar (diyot) akımı, Şekil-13'den görüldüğü gibi, kaynak akımı ile aynı olduğuna göre ve diyot üzerinden akan en yüksek akım " I_m " olduğuna göre bu akım değeri,

- $I_D \geq I_m + (\%30.I_m)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil 15'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve kaynakla aynı fazda akım çekilmektedir ve bu durumda güç katsayısı akım dc olduğu için belirsizdir.



- Örnek:
- 220V-50Hz şebekede çalışan yarım dalga kontrolsüz doğrultucu,
- a) 10Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.
- Çözüm:
- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = 0,318.V_m$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 0,318 \cdot 311 = 98,89V$$

- Rezistif yükte çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = 0,318 \cdot I_m$$

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{dc} = 0,318 \cdot 31,1 = 9,88A$$

- Rezistif yükte ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 9,88 \cdot 98,89 = 977W$$

- Rezistif yükte kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = 0,5 \cdot I_m$$

$$I_{S(rms)} = 0,5 \cdot 31,1 = 15,55A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 15,55 \cdot 220 = 3,42kW$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,

- $V_{dc} = 0,318 \cdot V_m$
 $V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$
 $V_{dc} = 0,318 \cdot 311 = 98,89V$
- Çıkış akımının ortalama değeri,
 $I_{dc} = I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$
- Ortalama çıkış gücü,
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$
 $P_{dc} = 31,1 \cdot 98,89 = 3,07kW$
- Kaynak akımının etkin değeri,
 $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$
 $I_{S(rms)} = \sqrt{(0,5)} \cdot 31,1 = 21,77A$

- Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$
$$P_{S(rms)} = 21,77 \cdot 220 = 4,78kW$$

- Çok endüktif yükte anahtar (diyot) gerilimi,

$$V_D \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$
$$V_D \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

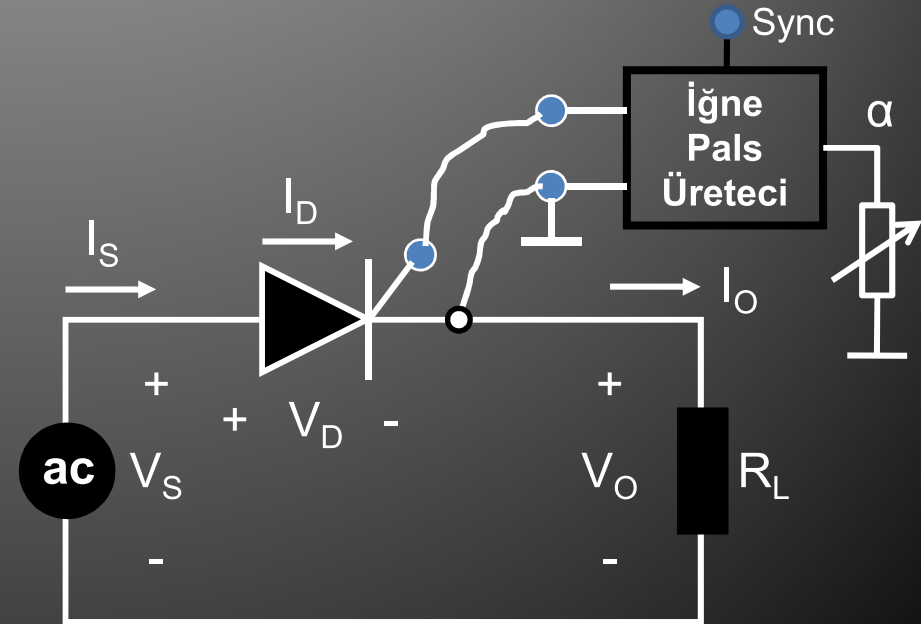
- Çok endüktif yükte anahtar (diyot) akımı,

$$I_D \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$
$$I_D \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

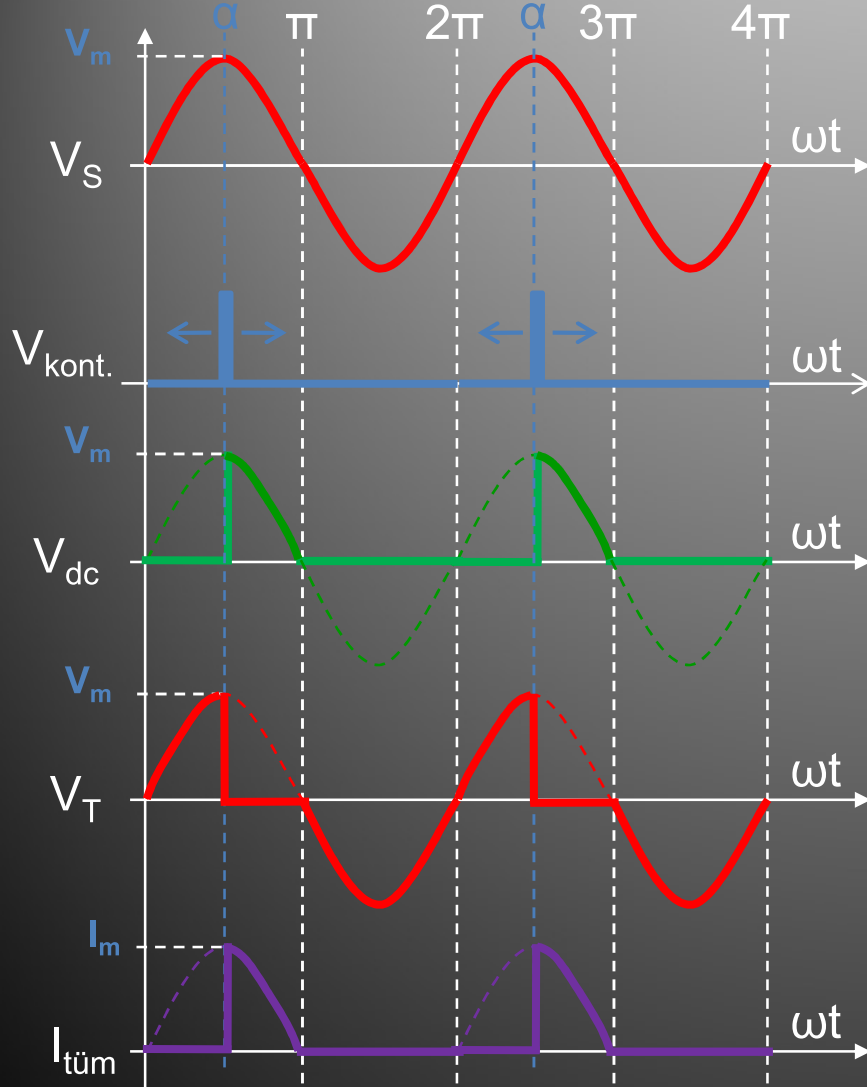
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Örnekten görüldüğü gibi akım ve gerilimlerin dalga şekillerine göre rezistif ve endüktif yüklerle göre devreyle ilgili tüm parametreler (akım, gerilim, güç vb.) rahatlıkla hesaplanabilmektedir.
- Elde edilen bu değerler, giriş gerilimi veya yük değişmedikçe sabittir.
- Şimdi ise aynı devreyi kontrollu versiyonunu inceleyelim. Bu durumda devrede diyot yerine tristör kullanılacak ve tristör pozitif alternansta 0° ile 180° arasında kontrol edilecektir.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrollu Doğrultucu (rezistif yükte):
- Şekil 16'da 1 fazlı yarım dalga kontrollu doğrultucu görülmektedir. Bu devrenin rezistif (R) yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri Şekil 17'de verilmiştir.



AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Şekil 17’de güç devrelerinin analizinde kullanılan 6 adet parametre ve kontrol dalga şekilleri gösterilmiştir. Bunlar;
- 1) Kaynak gerilimi (V_S),
- 2) Kontrol gerilimi ($V_{kont.}$)
- 3) Çıkış (yük) gerilimi (V_O),
- 4) Anahtar (diyot) gerilimi (V_D),
- 5) Kaynak akımı (I_S),
- 6) Çıkış (yük) akımı (I_O),
- 7) Anahtar (diyot) akımı (I_D)’dir.

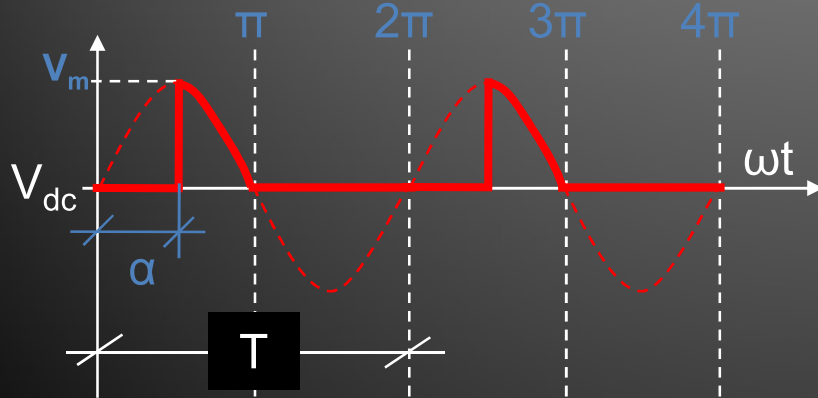
Burada kaynak, yük ve anahtar akımları devre bağlantısı nedeniyle aynı olduğu için tek şekille ($I_{tüm}$) gösterilmiştir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Şekil 17'den görüldüğü gibi, çıkış (yük) üzerinde kaynaktan gelen pozitif alternanslar istenilen miktarda görülmekte, negatif alternanslar ise görülmemektedir.
 - Bunun nedeni tristörün pozitif alternanslarda iletme geçmesi, negatif alternanslarda ise yalıtımda kalmasıdır.
 - Tristörün, pozitif ve negatif alternanslarda yalıtımda kaldığı zamanlarda kaynak gerilimi tristör üzerinde, tristörün bloke ettiği gerilim olarak görülmektedir.
- Şekil 17'de görülen temel dalga şekillerinden yararlanarak devrede gerekli hesaplamalar yapılabilir. Devrede yapılabilecek bazı hesaplamalar şunlardır;
 - 1) Çıkış gerilimi ortalama değeri,
 - 2) Çıkış akımının ortalama değeri,
 - 3) Ortalama çıkış gücü,
 - 4) Kaynaktan çekilen akımın etkin değeri,
 - 5) Kaynaktan çekilen etkin güç,
 - 6) Anahtar (diyot) gerilimi,
 - 7) Anahtar (diyot) akımı.
 - 8) Güç katsayısı,

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil 18'de verilen dalga şeklinin görüleceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış geriliminin ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) \cdot dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

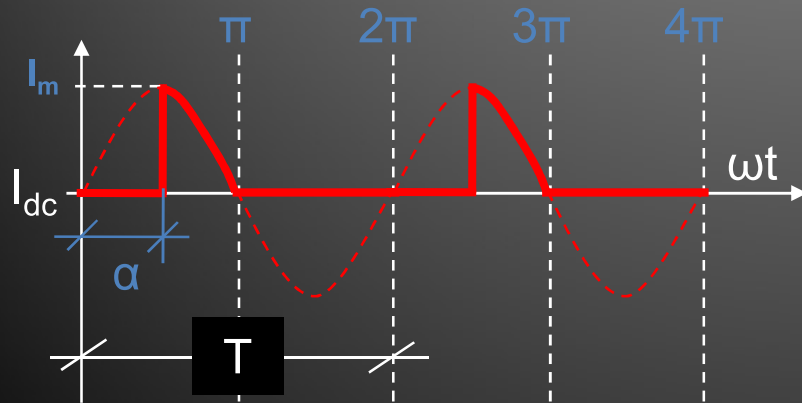
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [-(-1) + (\cos \alpha)]$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollü doğrultucunun rezistif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinden aşağıdaki Şekil 19'da görülen akımın geçeceğini belirtmiştik.
- Şimdi bu dalga şekline göre çıkış akımının ortalama değer eşitliğini bulalım.



$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T i_o(t) \cdot dt$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi}$$

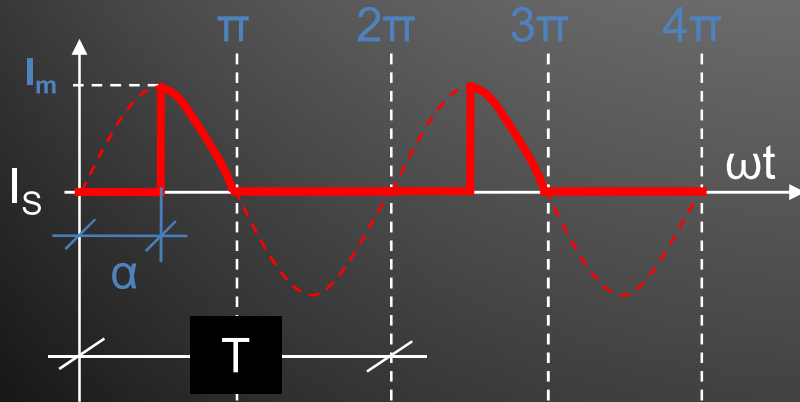
$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(\cos(\pi) - \cos(\alpha))]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} [-(-1) + (\cos \alpha)]$$

$$I_{dc} = \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{V_{dc}}{R}$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Ortalama çıkış gücü;
- Ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil 20'deki gibidir.



$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [i_s(t)]^2 dt}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [I_m \sin(\omega t)]^2 d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t)}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\sin(2\omega t)}{4} \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

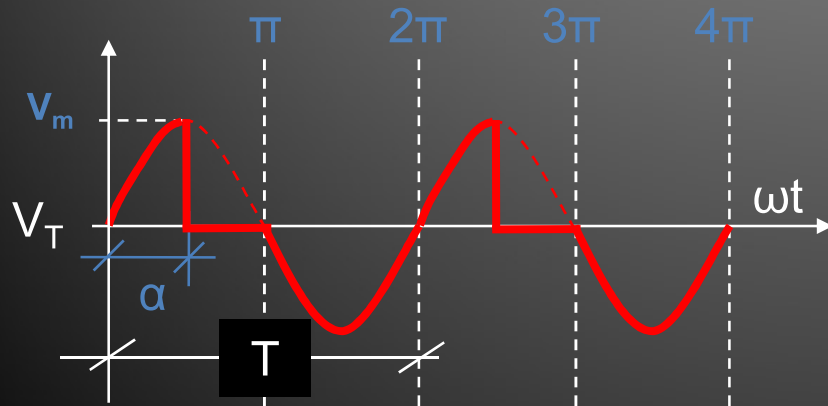
$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} \right) - \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right]}$$

$$I_{S(rms)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)}$$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Tristör gerilimi, devredeki-



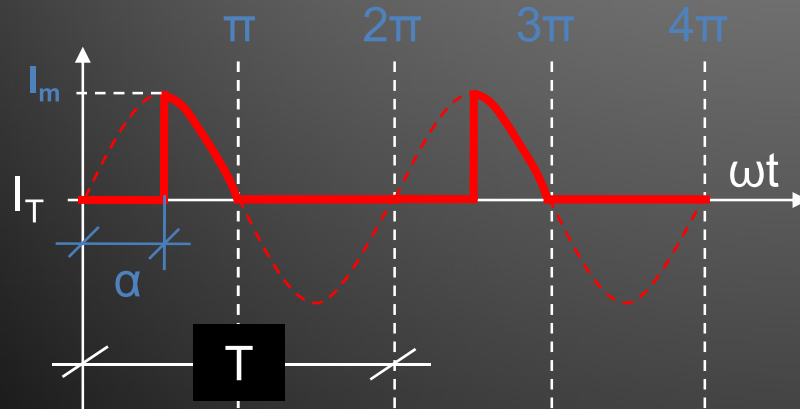
tristör tarafından bloke edilen gerilimdir. Yan tarafta Şekil 21'de görüldüğü gibi, kaynağın pozitif ve negatif alternanslarında tristör yalıtımda kalmakta ve tepe değeri " V_m " olan kaynak gerilimini bloke etmektedir.

- Bu durumda devrede kullanılacak olan tristörün çalışma gerilimi aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilecektir.

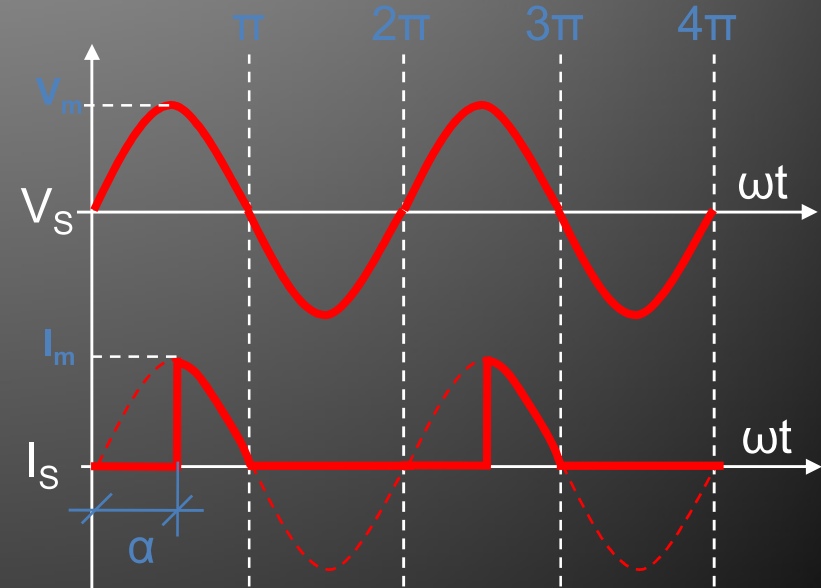
- $V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Anahtar (tristör) akımı;
- Anahtar (tristör) akımı, aşağıda Şekil 22'de görüldüğü gibi max. yarım dalga bir akımdır.
- Bu durumda devrede kullanılacak olan tristörün çalışma akımı,
- $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$ eşitliğinden bulunabilmektedir.



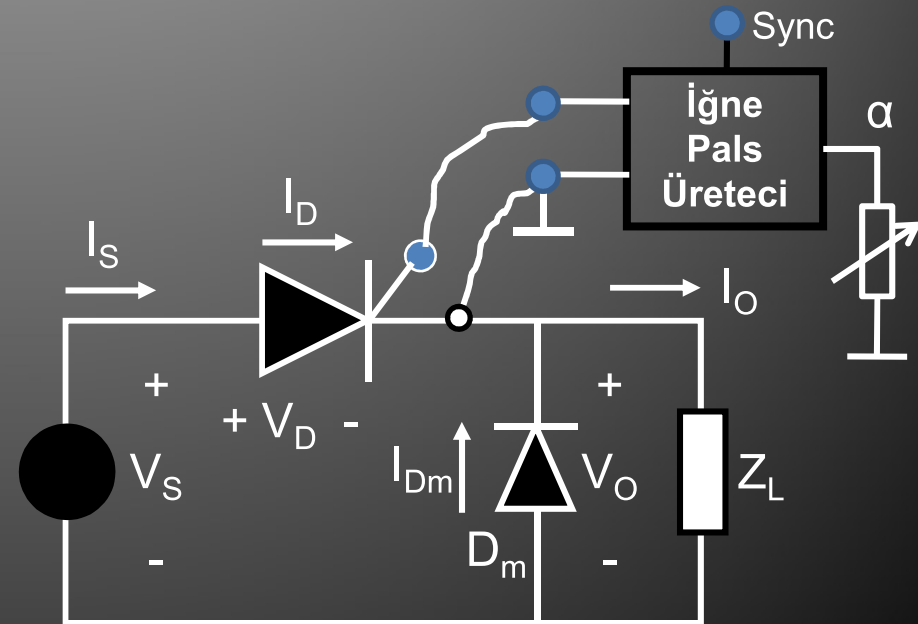
- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil 23'deki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve “ α ” açısıyla bağlantılı dengesiz bir akım çekilmektedir.



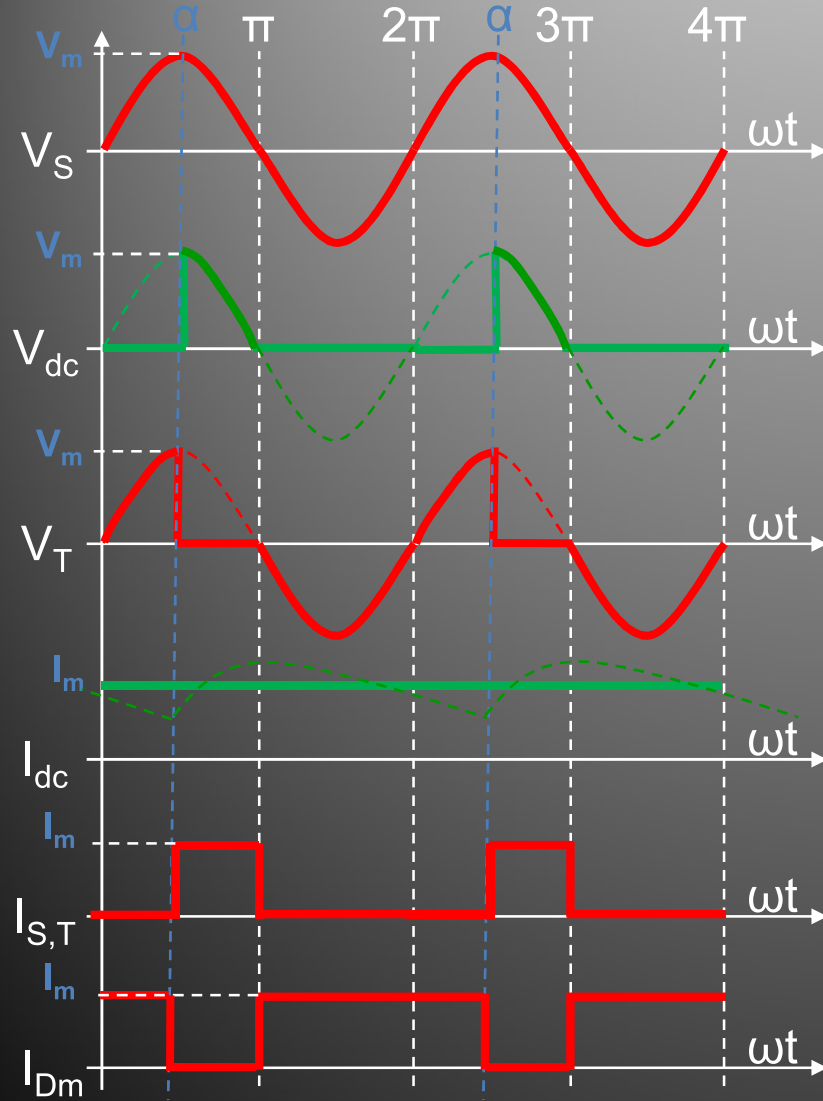
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Endüstride ağırlıkla elektrik motorlarının kullanıldığı bilinmektedir. Elektrik motorları içerdikleri bobinler ve bu bobinlerin dirençleri nedeniyle endüktif + rezistif ($L+R$) durumundadırlar.
- Kontrollü doğrultucular, özellikle doğru akım elektrik motorlarının kontrolu için geliştirilmiş devrelerdir.
- Tabii ki devrede endüktif yük olması başta devre akımları olmak üzere devrede pek çok parametreyi ve şartları değiştirmektedir.

- 1 Fazlı Yarım Dalga Kontrollü Doğrultucu (endüktif yükte):
- Şekil 24'de 1 fazlı yarım dalga kontrollü doğrultucu devre ve devrenin endüktif yükte çalışmasını gösteren temel dalga şekilleri ise Şekil 25'de verilmiştir.



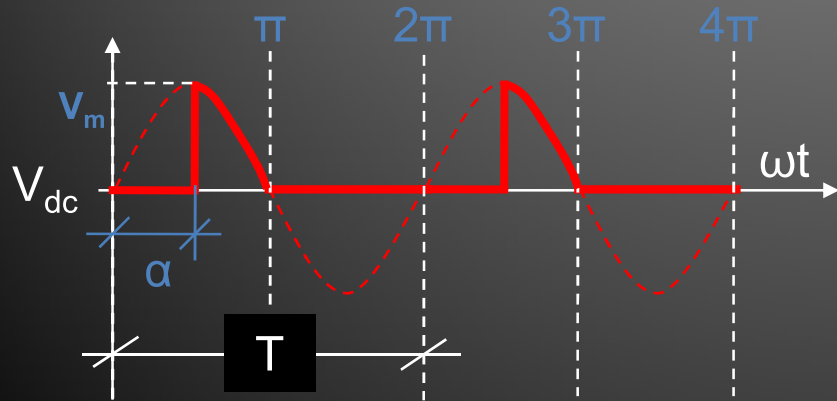
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER



- Yan taraftaki Şekil 25'den görüldüğü gibi, yükün çok endüktif olduğu kabul edilirse, devrenin çıkış akımı (I_0) çok az dalgalanacaktır. Biz çizim ve hesaplama kolaylığı olması açısından bu akımı düz kabul edeceğiz.
- Yine şekilden görüldüğü gibi bu akım, tristörün iletimde olduğu zamanlarda tristör üzerinden ($I_{S,T}$), diğer zamanlarda ise yüke ters paralel olarak bağlanmış serbest geçiş diyodu üzerinden dolaşmaktadır. Bu durumda parametreler;

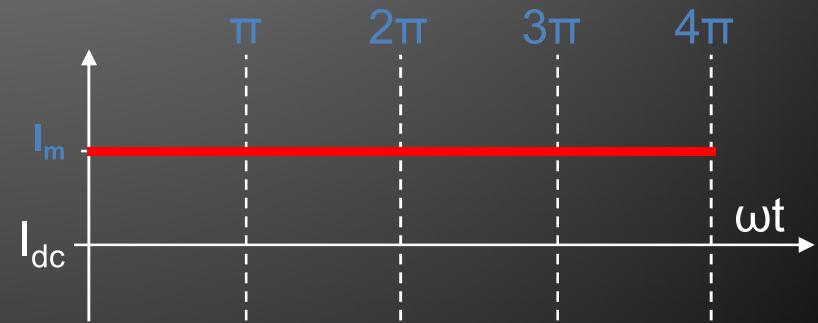
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Çıkış gerilimin ortalama değeri;
- Yarım dalga kontrollu doğrultucunun endüktif yükte çalıştırılması durumunda, yük üzerinde aşağıdaki Şekil 26'da görülen dalga şekli, rezistif yük ile aynı olacaktır.
- Bu durumda resistif yük için elde edilen eşitlik endüktif yük için de aynen geçerlidir.



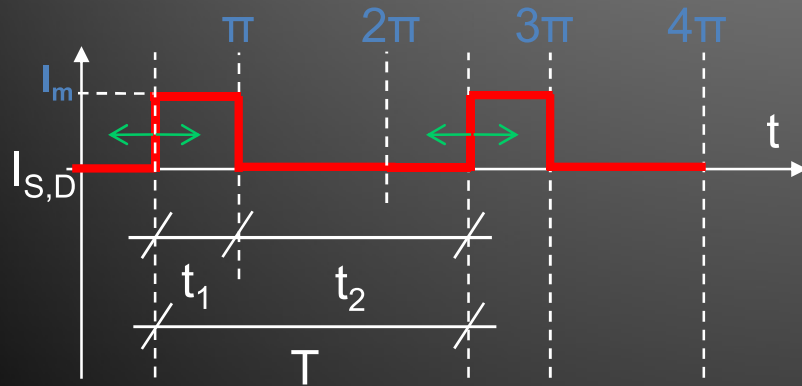
- Çıkış akımı ortalama değeri;
- Endüktif yükte yük üzerinden geçen akım Şekil 27'de görüldüğü gibi sürekli ve sabit (düz) kabul edilmektedir.
- Bu durumda ortalama değer,
- $I_{dc} = I_m = V_m / Z$

eşitliğinden doğrudan hesaplanabilecektir.



AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

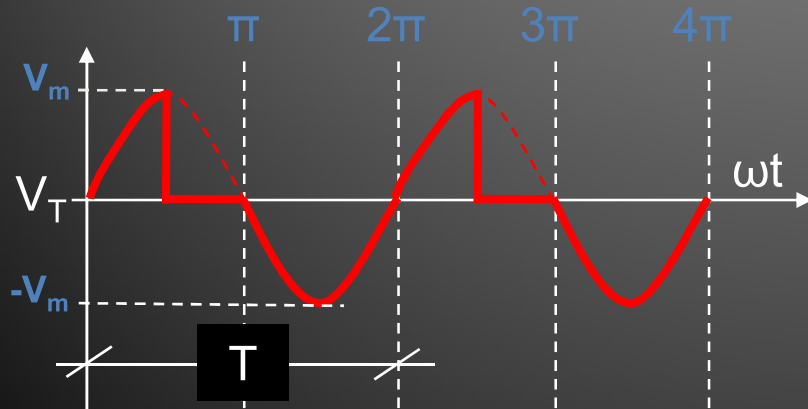
- Ortalama çıkış gücü;
- Endüktif yükte ortalama çıkış gücü, ortalama çıkış gerilimi ve akımının çarpımına eşittir.
- $P_{dc} = I_{dc} V_{dc}$
- Kaynak akımının etkin değeri;
- Kaynak akımının dalga şekli Şekil 28'deki gibidir.



- Şekil 28'de belirtilen ve akımın aktif olduğu “ t_1 ” ve pasif olduğu göre “ t_2 ” süreleri kullanılarak, “etkin periyot (k)” hesaplaması yapılabilir.
- $k = t_1 / (t_1 + t_2) = t_1 / T$
- Buradan, kare dalga şeklinde değişen kaynak akımının etkin değeri aşağıdaki eşitlikten bulunabilecektir.
- $I_{s(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$
- $I_{s(rms)} = \sqrt{k} \cdot (V_m / Z)$
- eşitliklerinden bulunabilecektir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Kaynaktan çekilen etkin güç;
- Bu devrenin kaynaktan çektiği etkin güç, kaynak gerilimi ve kaynaktan çekilen akımın etkin değerlerinin çarpımına eşittir.
- $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} V_{S(rms)}$
- Anahtar (tristör) gerilimi;
- Tristörün çalışma gerilimi-



Şekil 29'dan görüldüğü gibi, rezistif yükteki şeklini koruduğuna göre aynı eşitlikle hesaplanabilecektir.

- $V_T \geq V_m + (\%30.V_m)$

- Anahtar (tristör) akımı;

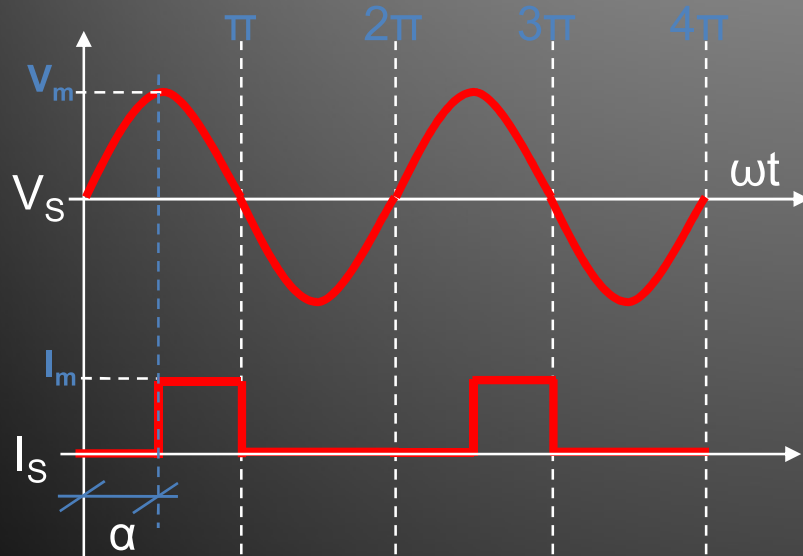
- Anahtar (tristör) akımı, Şekil-28'den görüldüğü gibi, kaynak akımı ile aynı olduğuna göre ve diyot üzerinden akan en yüksek akım " I_m " olduğuna göre bu akım değeri,

- $I_T \geq I_m + (\%30.I_m)$

eşitliğinden bulunabilecektir.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- Güç katsayısı ($\cos\phi$);
- Devrede kaynak gerilimi ve akımı Şekil 30'daki gibidir. Bu durumda kaynaktan sadece pozitif alternanslarda ve α ile orantılı tek yönlü dengesiz bir akım çekilmektedir.



■ Örnek:

- 220V-50Hz şebekede çalışan ve 90° de uyarılan yarım dalga kontrollü doğrultucu,
- a) 10Ω 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,
- b) 10Ω 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

■ Çözüm:

- a) Rezistif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
- $V_{dc} = (V_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

$$V_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311V$$

$$V_{dc} = 311/6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ) = 49,52V$$

- Rezistif yükte çıkış akımının ortalama değeri,

$$I_{dc} = (I_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos \alpha)$$

$$I_m = V_m / R = 311 / 10 = 31,1A$$

$$I_{dc} = 31,1/6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ) = 4,95A$$

- Rezistif yükte ortalama çıkış gücü,

$$P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$$

$$P_{dc} = 49,52 \cdot 4,95 = 245,12W$$

- Rezistif yükte kaynak akımının etkin değeri,

$$I_{S(rms)} = \frac{I_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = \frac{31,1}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \frac{\pi}{2} + \frac{\sin(2 \cdot 90)}{2} \right)}$$

$$I_{S(rms)} = 10,99A$$

- Rezistif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,

$$P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$$

$$P_{S(rms)} = 10,99 \cdot 220 = 2,41kW$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) gerilimi,

$$V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$$

$$V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$$

- Rezistif yükte anahtar (tristör) akımı,

$$I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$$

$$I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$$

olarak bulunmaktadır.

AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

- b) Çok endüktif yükte çıkış geriliminin ortalama değeri,
 $V_{dc} = (V_m / 2\pi) \cdot (1 + \cos\alpha)$
 $V_{dc} = 311 / 6,28 \cdot (1 + \cos 90^\circ)$
 $V_{dc} = 49,52V$
- Çok endüktif yükte çıkış akımının ortalama değeri,
 $I_{dc} = I_m = V_m / Z = 31,1A$
- Çok endüktif yükte ort. çıkış gücü,
 $P_{dc} = I_{dc} \cdot V_{dc}$
 $P_{dc} = 49,52 \cdot 31,1 = 1,54kW$
- Çok endüktif yükte kaynak akımının etkin değeri,
 $I_{S(rms)} = \sqrt{k} \cdot I_m$
 $k = t_1 / T = 5ms / 20ms = 0,25$
 $I_{S(rms)} = \sqrt{0,25} \cdot 31,1 = 15,55A$
- Çok endüktif yükte kaynaktan çekilen etkin güç,
 $P_{S(rms)} = I_{S(rms)} \cdot V_{S(rms)}$
 $P_{S(rms)} = 15,55 \cdot 220 = 3,42kW$
- Çok endüktif yükte anahtar (tristör) gerilimi,
 $V_T \geq V_m + (\%30 \cdot V_m)$
 $V_T \geq 311 \cdot 1,3 \geq 400V$
- Çok endüktif yükte anahtar (tristör) akımı,
 $I_T \geq I_m + (\%30 \cdot I_m)$
 $I_T \geq 31,1 \cdot 1,3 \geq 40A$
olarak bulunmaktadır.

ÖDEV

- 1) 220V-50Hz şebekede 12Ω 'luk saf rezistif bir yükü besleyen 1 fazlı yarım dalga kontrolsuz doğrultucunun,
 - a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.

- 2) 220V-50Hz şebekede, 90° uyarma açısında, 12Ω 'luk çok endüktif bir yükü besleyen 1 fazlı yarım dalga kontrollu doğrultucunun,
 - a) Devre şemasını tam olarak çiziniz, akım ve gerilim yönlerini devre üzerinde gösteriniz.
 - b) Devrenin temel dalga şekillerini değerleriyle birlikte çiziniz.
 - c) Çizilen dalga şekillerine göre temel parametreleri hesaplayınız.