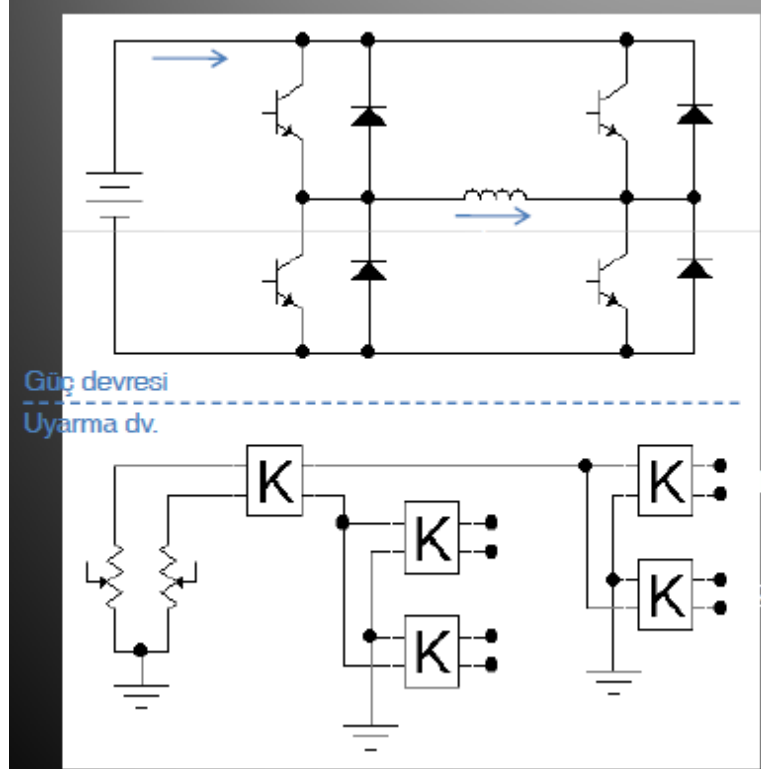


## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

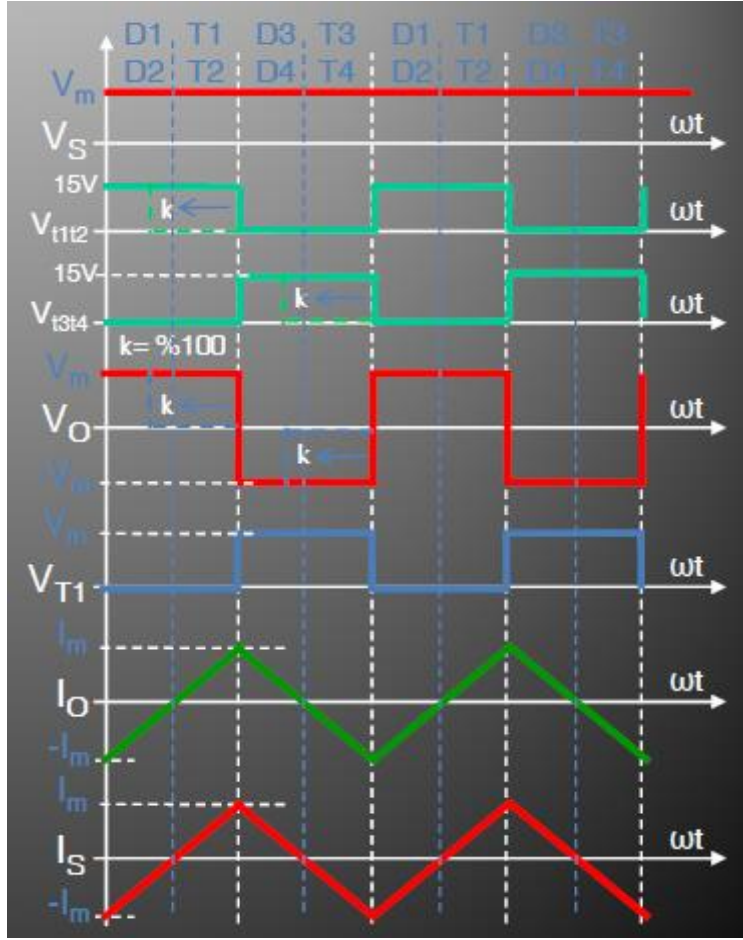
### 1 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM invertörler (Endüktif yükte);

Sekil-7.7’de endüktif yükte çalışan PWM invertör görülmektedir.



Şekil-7.7’den görüldüğü gibi yükün endüktif olması durumunda, yük üzerindeki enerjinin boşalabilmesi için devreye serbest geçiş diyotları eklenmiş durumdadır. Serbest geçiş diyotları her bir transistöre ters paralel olarak eklemiştir. Bu durumda ortaya çıkan devre daha önce DC kıyıcılarda incelenmiş olan E sınıfı DC kıyıcı devresi olmaktadır. Tabii ki burada kontrol mantığı E sınıfı kıyıcıdaki gibi değildir. Bu nedenle devre invertör olarak çalışmaktadır. Sekil-7.7’de görülen tam köprü PWM invertörün çok endüktif performansını gösteren dalga şekilleri yan tarafta Sekil-7.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi  $T_1$ - $T_2$  ve  $T_3$ - $T_4$  ikililerinin periyodik olarak devreye sokulmasıyla istenen frekansta kare dalga formatında bir AC gerilim çıkış uçlarında oluşmaktadır. Burada gerilimlerin tepe değeri ( $V_m$ ) kaynak gerilimine, akımların tepe değeri ( $I_m$ ) ise kaynak geriliminin yük empedansına ( $Z$ ) oranına eşit olacaktır. Çizilen bu dalga şekillerine göre invertörün tüm performans parametreleri hesaplanacaktır.

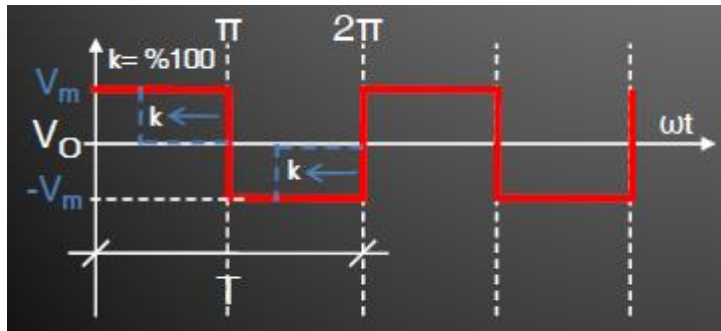
## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



### 1) Çıkış geriliminin etkin değeri;

1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) endüktif yükte oluşan çıkış gerilimi Şekil-7.9'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değeri eşitliği, olarak bulunabilecektir.

$$V_{O(rms)} = \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/2} V_m^2 dt} = \sqrt{k} V_s$$

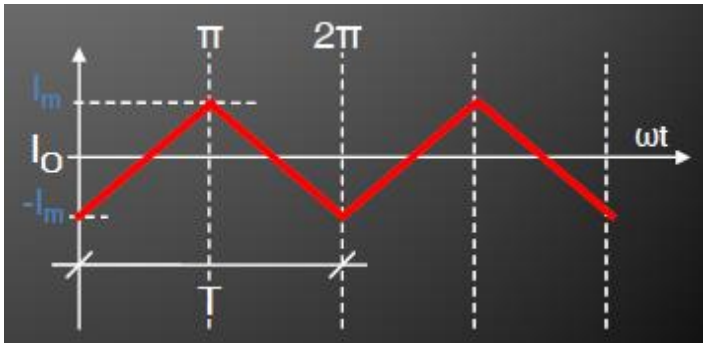


## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

### 2) Çıkış akımının etkin değeri;

1 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) saf rezistif yükte oluşan çıkış akımı Sekil-7.10'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği, olarak bulunabilecektir.

$$I_{O(rms)} \cong \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/4} I_m^2 \cdot dt} \cong \sqrt{\frac{k}{2} \cdot \frac{V_m}{Z}}$$



### 3) Etkin çıkış gücü;

Devrenin ortalama çıkış gücü,

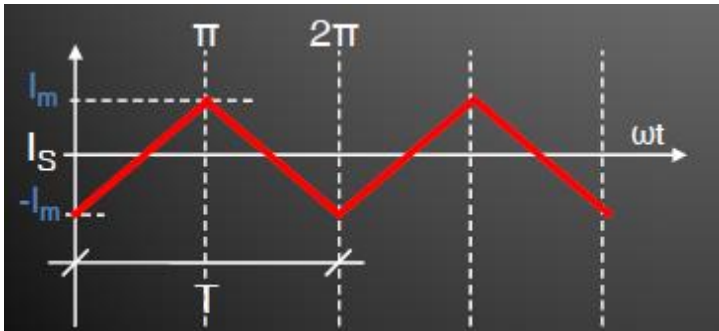
$$P_o = I_o \cdot V_o$$

### 4) Kaynak akımının etkin değeri;

Kaynaktan çekilen akımın şekli, Sekil-7.11'deki gibi olduğuna göre,

$$I_{S(rms)} \cong \sqrt{\frac{k}{T/2} \int_0^{T/4} I_m^2 \cdot dt} \cong \sqrt{\frac{k}{2} \cdot \frac{V_m}{Z}}$$

eşitliğinden bulunabilecektir.



## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

### 5) Ortalama giriş gücü;

Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  $P_s = I_s \cdot V_s$  eşitliğinden bulunabilecektir.

### 6) Devrenin verimi;

Devrenin verimi,

$\eta = P_o / P_s$  olacaktır.

### 7) Anahtar gerilimi,

Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,

$V_T = 1,3 \cdot V_m$  olacaktır.

### 8) Anahtar akımı;

Anahtarın üzerindeki akıma göre;

$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot V_m / R$

### Örnek:

200Vdc şebekede %50 etkin periyotu uyarmada çalıştırılan 1 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün,

a)  $10\Omega$ 'luk rezistif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,

b)  $10\Omega$ 'luk endüktif bir yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

Çözüm:

a) Rezistif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_o = V_s \cdot \sqrt{k}$$

$$V_o = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140V$$

Çıkış akımının etkin değeri,

$$I_o = V_o / R = 140 / 10$$

$$I_o = 14A$$

Etkin çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 14 \cdot 140 = 1,96kW$$

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

Kaynak akımının ortalama değeri,

$$I_s = I_m \cdot k = (V_s / R) \cdot k$$

$$I_s = (200 / 10) \cdot 0,5$$

$$I_s = 10A$$

Kaynaktan çekilen güç,

$$P_s = V_s \cdot I_s = 200 \cdot 10 = 2kW$$

Devrenin verimi,

$$\eta = P_o / P_s$$

$$\eta = 1,96kW / 2kW = \%98$$

Anahtar (transistör) akımı,

$$I_T \geq V_m / R + \%30$$

$$I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26A$$

Anahtar (transistör) gerilimi,

$$V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260V$$

b) Endüktif yükte çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_o = V_s \cdot \sqrt{k} = 200 \cdot \sqrt{0,5} = 140V$$

Çıkış akımı etkin değeri,

$$I_o = (V_s / Z) \cdot \sqrt{(k/2)}$$

$$I_o = (200/10) \cdot \sqrt{(0,5/2)} = 10A$$

Etkin çıkış gücü,

$$P_o = I_o \cdot V_o$$

$$P_o = 10 \cdot 140 = 1,4kW$$

Kaynak akımı etkin değeri,

$$I_s = (V_s / Z) \cdot \sqrt{(k/2)}$$

$$I_s = (200/10) \cdot \sqrt{(0,5/2)} = 10A$$

Kaynaktan çekilen güç,

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

$$P_S = 10 \cdot 200 = 2\text{kW}$$

Devrenin verimi,

$$\eta = P_O / P_S$$

$$\eta = 1,4\text{kW} / 2\text{kW} = \%70$$

Anahtar gerilimi ve akımı,

$$V_T \geq 200 \cdot 1,3 \geq 260\text{V}$$

$$I_T \geq (200 / 10) \cdot 1,3 \geq 26\text{A}$$

### 2) 3 Fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörler (VSI):

3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörler, sanayide çok yoğun olarak kullanılmakta olan 3 fazlı asenkron motorların kontrolü için kullanılmaktadır.

Bu invertörler sayesinde asenkron motorların,

- Yol verme,
- Hız kontrolü,
- Yön kontrolü,
- Frenleme kontrolü, kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

Son yıllarda IPM'ler kullanılarak bu devreler daha da yayılmıştır. 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörlerde kullanılmakta olan 2 farklı kontrol yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler,

a- 180° iletim kontrolü,

b- 120° iletim kontrolüdür.

Bu yöntemlerden birincisi olan 180° iletim kontrolünde, invertörü oluşturan her bir güç elemanı 180° iletimde, 180°'de yalıtımda tutulmaktadır.

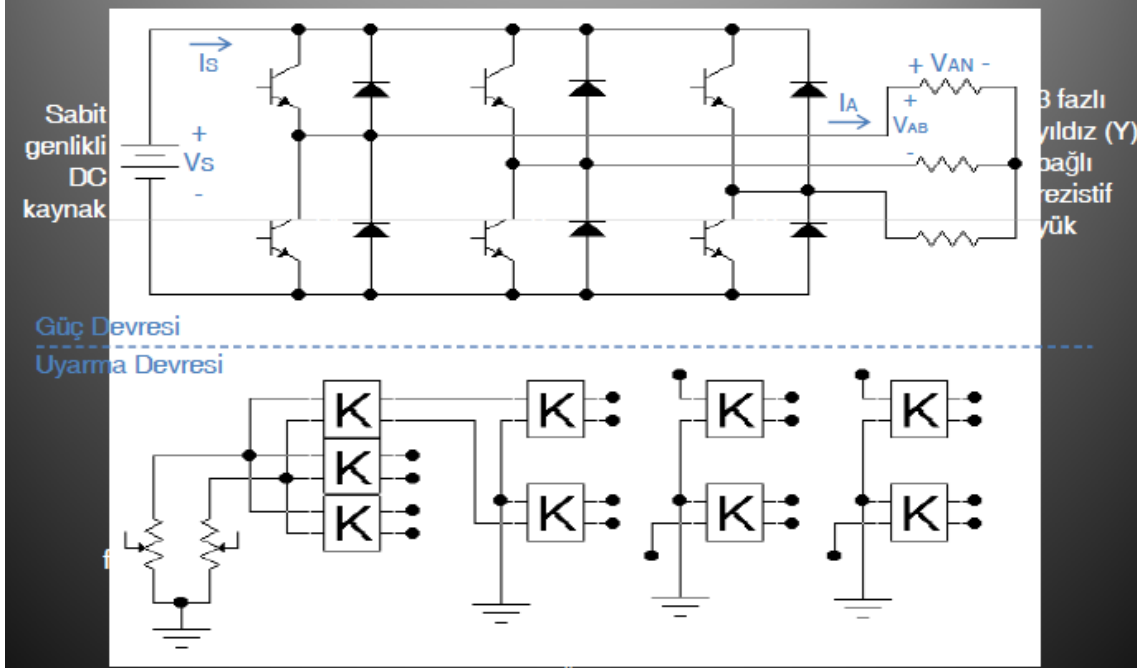
İkinci yöntem olan 120° iletim kontrolünde ise invertörü oluşturan her bir güç elemanı, 120° iletimde, 240°'de yalıtımda tutulmaktadır.

Şimdi bu yöntemler sırasıyla incelenecektir.

### 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM invertör

(yıldız bağlı yükte ve 180° iletimde);

Sekil-7.12’de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), yıldız yük ve 180° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



Şekil-7.12’den görüldüğü gibi, DC kaynaktan 3 fazlı AC elde edebilmek için 3 fazlı doğrultucuda olduğu gibi 6 adet güç anahtarı kullanılarak bir 3 fazlı transistör köprüsü kurulmuştur.

Köprüdeki transistörlere ters paralel olarak bağlanmış olan diyotlar ise endüktif yüklerde serbest geçişi sağlamak için kullanılmıştır.

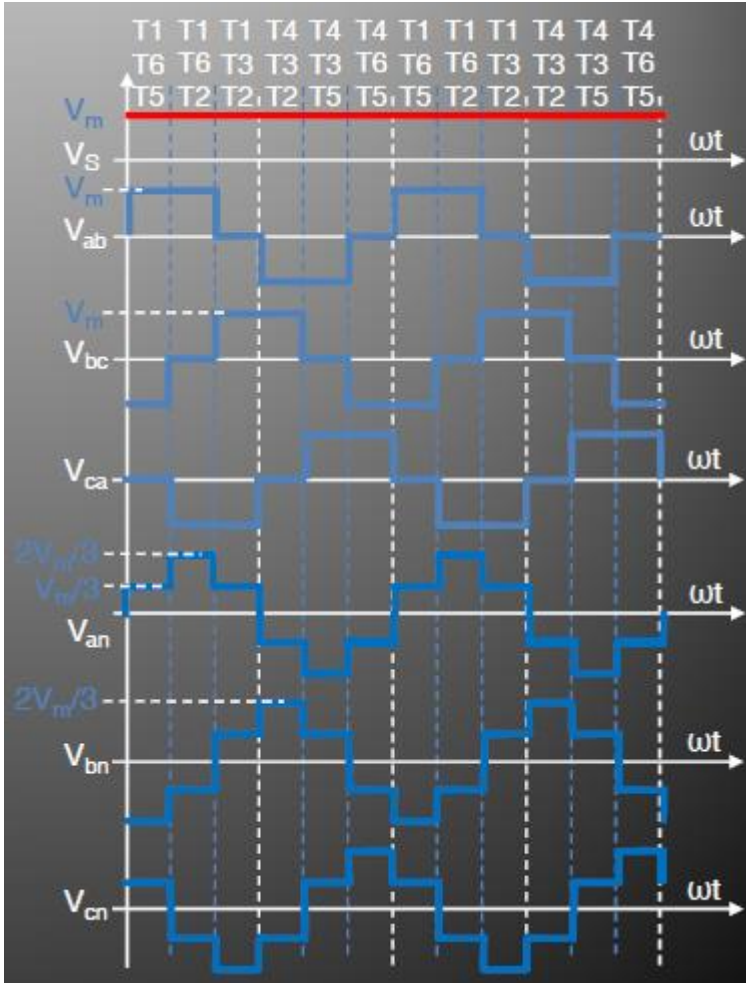
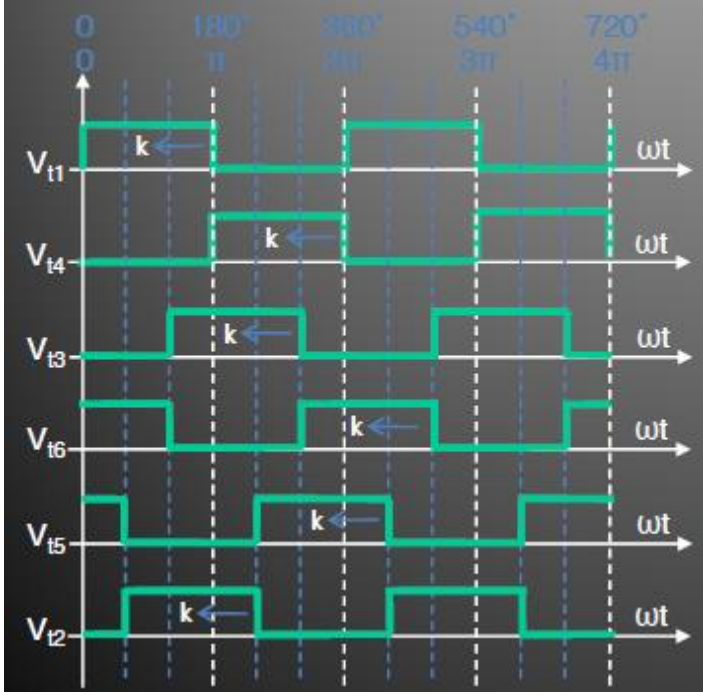
Bu bağlantıda da anahtarlara 3 fazlı köprü doğrultucuda kullanılan numaraların aynısı verilmiştir. Bunun nedeni köprü çıkışında 120° ser derece faz farklı 3 adet AC gerilim oluşabilmesi için aynı sıranın izlenmesi gerekliliğidir. Devrenin çıkışına bağlanmış olan yıldız bağlı üç fazlı yük ise her bir transistör ikilisi çıkışına bağlanmıştır. Yük dirençlerinin ortak ucu ise nötr (N) durumundadır.

Devrenin kontrol edilebilmesi için ise prensip olarak 3 adet PWM üretici kullanılması gerekmekte olup bunlardan her birisi bir fazın oluşmasını sağlamaktadır.

Her bir PWM devresinin çıkışına da sürücüler bağlanarak (optoc. vb.) transistörlerin etkin olarak kontrolü sağlanmaktadır.

Uygulamada her üç fazın PWM sinyalleri tek bir mikroişlemci ile üretilmektedir. Sekil-7.12’de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Sekil-7.13’de, güç devresi dalga şekilleri de Sekil-7.14’de verilmiştir.

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



Şekil-7.13'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.



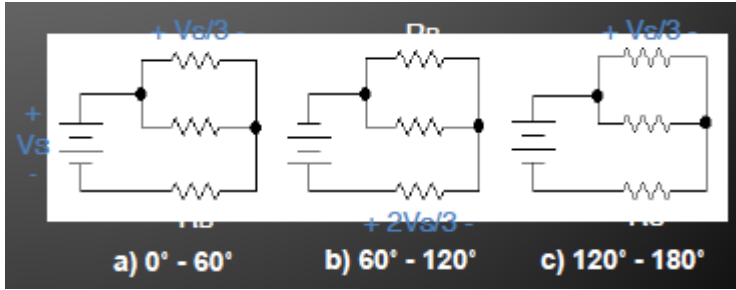
## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır. Şekil-7.14'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'ser derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat gerilimi ( $V_{ab}$ , ...) ile yine kendi aralarında 120'ser derece faz farklı ve " $2.V_m/3$ " tepe değerli 3 adet faz gerilimi ( $V_{an}$ , ...) oluşmaktadır.

Şekil-7.14'de gösterilen kademeli faz gerilimlerinin oluşumu aşağıda Şekil-7.15'de gösterilmiştir.



Şekil-7.15'de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük "a" şeklinde görüldüğü gibi Ra-Rc paralel Rb ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzerinde " $V_s/3$ " kadarlık bir gerilim düşümü olacaktır. İkinci 60 derecelik dilimde ise "b" şeklinde görüldüğü gibi Rb-Rc paralel Ra ise onlara seri durumdadır. Bu durumda Ra üzerinde " $2V_s/3$ " kadarlık bir gerilim düşümü olacaktır.

Üçüncü 60 derecelik dilimde ise Ra direnci yine paralele girdiği için üzerinde " $V_s/3$ " görülecektir. 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.

- 1) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
- 2) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
- 3) Etkin çıkış gücü,
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
- 5) Ortalama giriş gücü,
- 6) Devrenin verimi,
- 7) Anahtar gerilimi,
- 8) Anahtar akımı.

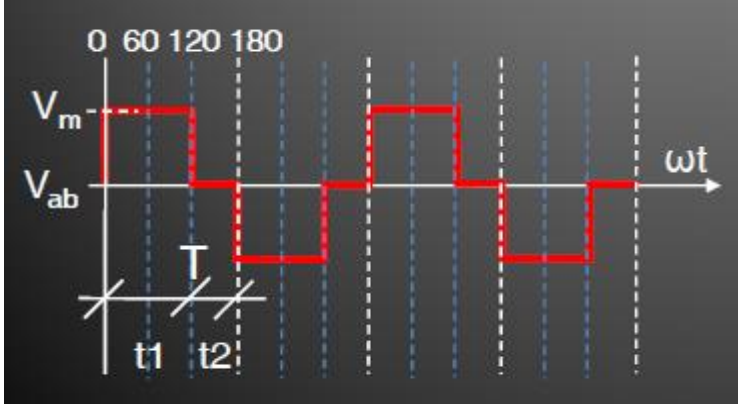
## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

### 1a) Çıkış hat gerilimi etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) yıldız yükte oluşan çıkış hat gerilimi Sekil-7.16'da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{k}$$

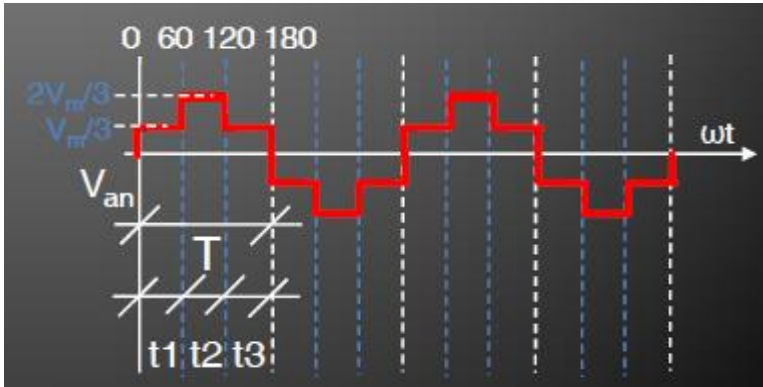
$$V_{ab(rms)} = V \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$



### 1b) Çıkış faz gerilimi etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) yıldız yükte oluşan çıkış faz gerilimi Sekil-7.17'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$V_{an(rms)} \approx (V_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V_m/3) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

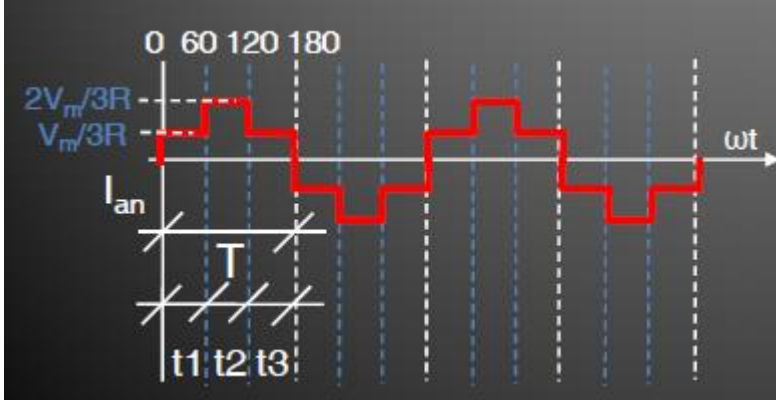


### 2) Çıkış hat-faz akımı etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün yıldız yükte oluşan çıkış hat ve faz akımı Sekil-7.18'de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{a(rms)} \approx (V_m/3R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V / 3R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



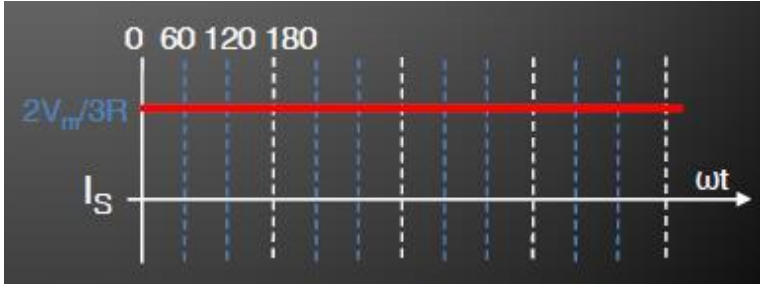
### 3) Etkin çıkış gücü;

Devrenin ortalama çıkış gücü,

$$P_o = 3/2 \cdot I_{an} \cdot V_{an}$$

### 4) Kaynak akımının ortalama değeri;

Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.19'daki gibi olduğuna göre,  $I_s = 2 \cdot V_m / 3 \cdot R$  eşitliğinden bulunabilecektir.



### 5) Ortalama giriş gücü;

Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.

$$P_s = I_s \cdot V_s \text{ eşitliğinden bulunabilecektir.}$$

### 6) Devrenin verimi;

Devrenin verimi,

$$\eta = P_o / P_s \text{ olacaktır.}$$

### 7) Anahtar gerilimi,

Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,

$$V_T = 1,3 \cdot V_m \text{ olacaktır.}$$

### 8) Anahtar akımı;

Anahtarın üzerindeki akıma göre;

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

$$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot 2V_m / 3R$$

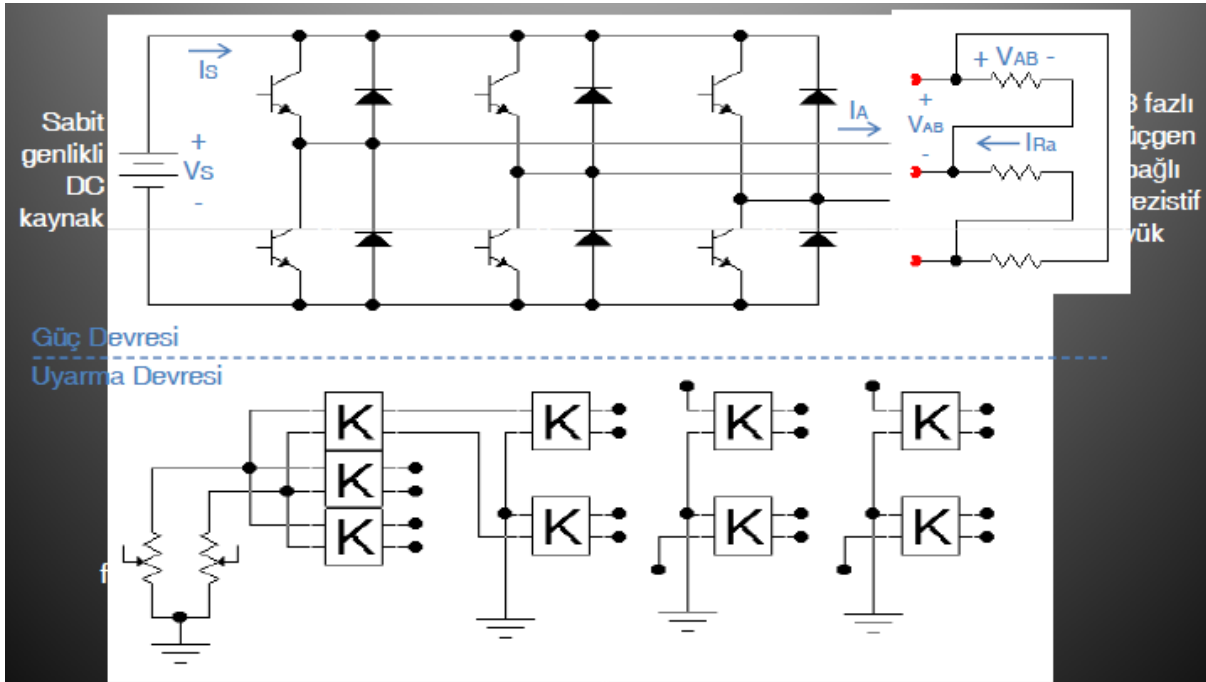
Bilindiği gibi 3 fazlı sistemde yıldız bağlantının yansıra üçgen bağlantı da özellikle yüksek güçlerde kullanılmaktadır.

180 derece iletimde yıldız bağlı yükteki performansını incelediğimiz 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün üçgen bağlı yükte çalıştırılması durumunda devre yapısında, dalga şekillerinde ve performans hesaplamalarında oluşacak değişiklikler yine 180 derece çalışma durumu için aşağıdaki bölümde ayrıntısıyla incelenecektir.

### 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM invertör

(üçgen bağlı yükte ve 180° iletimde);

Şekil-7.20'de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), üçgen yük ve 180° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



Şekil-7.20'den görüldüğü gibi, DC kaynaktan üçgen yükte 3 fazlı AC elde edebilmek için 3 fazlı doğrultucuda olduğu gibi 6 adet güç anahtarı kullanılarak bir 3 fazlı transistör köprüsü kurulmuştur.

Köprüdeki transistörlere ters paralel olarak bağlanmış olan diyotlar ise endüktif yüklerde serbest geçişi sağlamak için kullanılmıştır.

Bu bağlantıda da anahtarlara 3 fazlı köprü doğrultucuda kullanılan numaraların aynısı verilmiştir. Bunun nedeni köprü çıkışında 120° ser derece farklı 3 adet AC gerilim oluşabilmesi için aynı sıranın izlenmesi gerekliliğidir. Devrenin çıkışına bağlanmış olan üçgen bağlı üç fazlı yükün köseleri ise her bir transistör ikilisi çıkışına bağlanmıştır. Bilindiği gibi üçgen bağlantıda nötr noktası oluşmamaktadır.

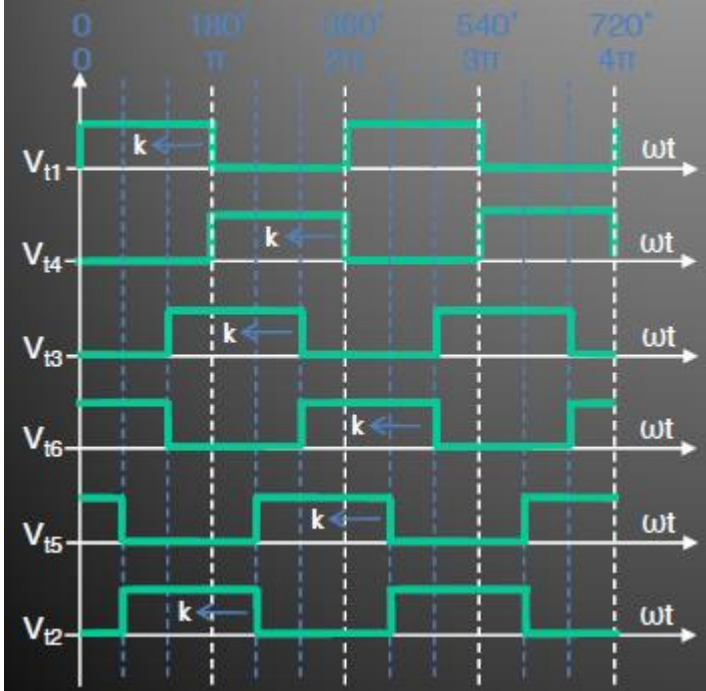
## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

Devrenin kontrol edilebilmesi için ise prensip olarak 3 adet PWM üretici kullanılması gerekmekte olup bunlardan her birisi bir fazın oluşmasını sağlamaktadır.

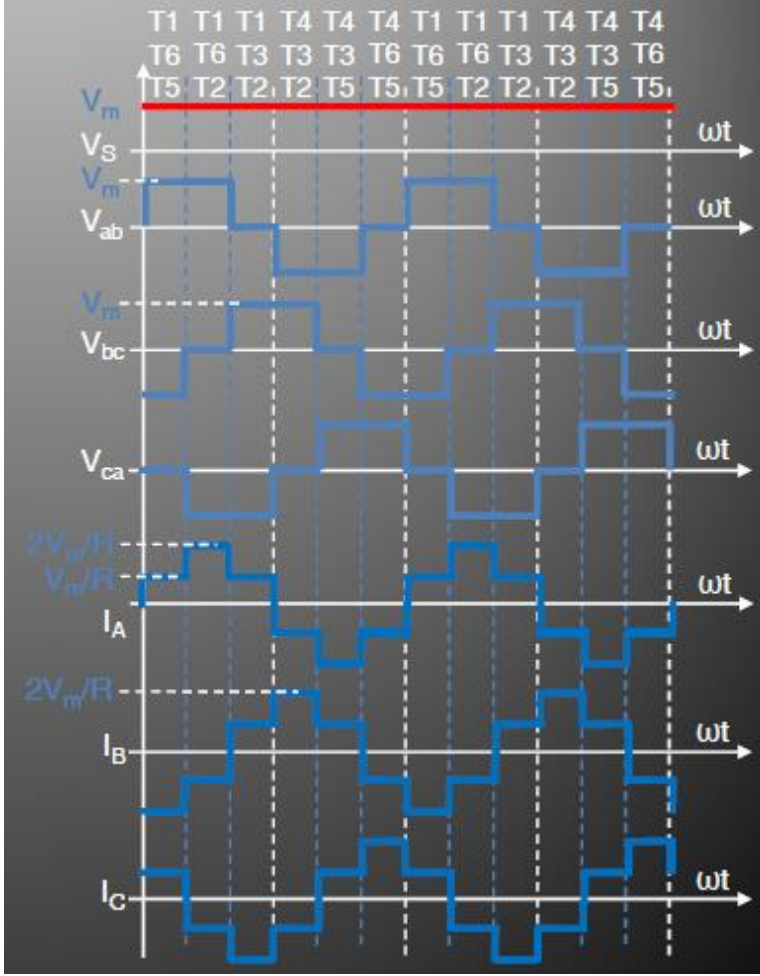
Her bir PWM devresinin çıkışına da sürücüler bağlanarak (optoc. vb.) transistörlerin etkin olarak kontrolü sağlanmaktadır.

Uygulamada her üç fazın PWM sinyalleri tek bir mikroişlemci ile üretilmektedir.

Sekil-7.20'de görülen 3 fazlı devrenin performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Sekil-7.21'de, güç devresi dalga şekilleri de Sekil-7.22'de verilmiştir.



## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



Şekil-7.21'den görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için T1 ve T4 transistörlerine 180 derece faz farklı iki kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.

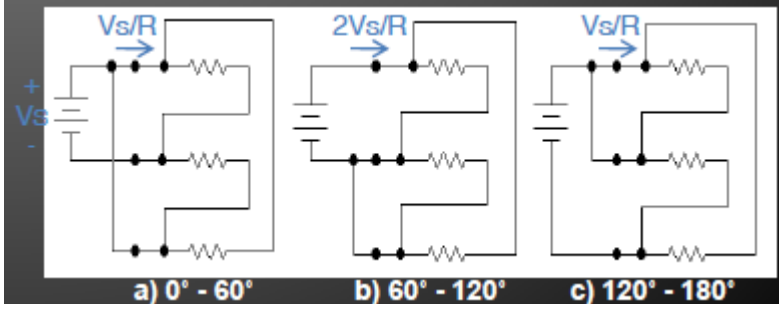
İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse T3 ve T6 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Üçüncü fazı oluşturmak için ise T5 ve T2 transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için T1'den T6'ya kadar transistörler 60'ar derece arayla 180° sürülmüş olmaktadır. Şekil-7.22'de verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 180 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta, 120'ser derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat-faz gerilimi ( $V_{ab}$ , ...) ile yine kendi aralarında 120'ser derece faz farklı ve " $2.V_m/R$ " tepe değerli 3 adet hat akımı ( $I_a$ , ...) oluşmaktadır.

Şekil-7.22'de gösterilen kademeli hat akımlarının oluşumu aşağıda Şekil-7.23'de gösterilmiştir.

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



Şekil-7.23’de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde T1-T6-T5 iletimde olduğu için yük “a” şeklinde görüldüğü gibi  $R_a$ - $R_b$  paralel  $R_c$  ise kısa devre durumdadır. Bu durumda çıkış A faz hattı üzerinden “ $V_s/R$ ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır. İkinci 60 derecelik dilimde ise “b” şeklinde görüldüğü gibi  $R_a$ - $R_c$  paralel  $R_b$  ise kısa devre durumdadır. Bu durumda çıkış A faz hattı üzerinden “ $2V_s/R$ ” kadarlık bir akım geçişi olacaktır.

Üçüncü 60 derecelik dilimde ise  $R_a$  direnci kısa devreye girdiği için hat üzerinde “ $V_s/R$ ” görülecektir. 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin üçgen yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.

- 1) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
- 2) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
- 3) Etkin çıkış gücü,
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
- 5) Ortalama giriş gücü,
- 6) Devrenin verimi,
- 7) Anahtar gerilimi,
- 8) Anahtar akımı.

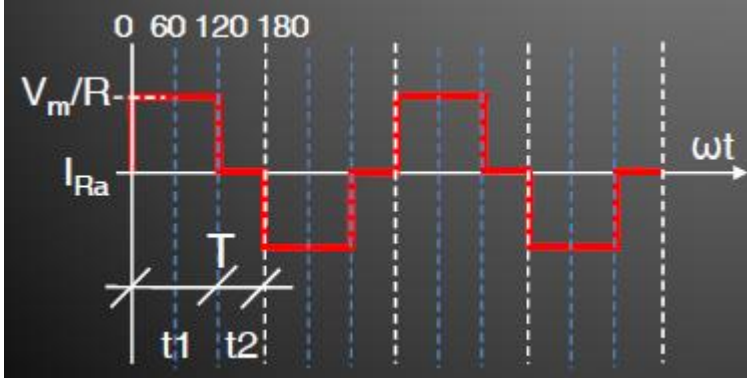
### 1a) Çıkış faz akımı etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) üçgen yükte oluşan çıkış faz akımı Şekil-7.24’de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış faz akımının etkin değeri eşitliği aşağıdadır.

$$I_{Ra(rms)} = V_m/R \cdot \sqrt{k}$$

$$I_{Ra(rms)} = V/R \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

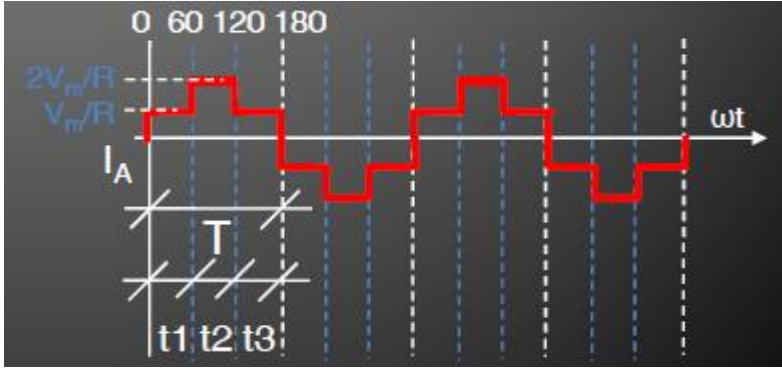
## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta



### 1b) Çıkış hat akımı etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün (VSI) üçgen yükte oluşan çıkış hat akımı Şekil-7.25’de görüldüğü gibi olduğundan, çıkış hat akımının etkin değer eşitliği aşağıdadır.

$$I_{A(rms)} \approx (V_m/R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T] + (2V_m/R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}}$$

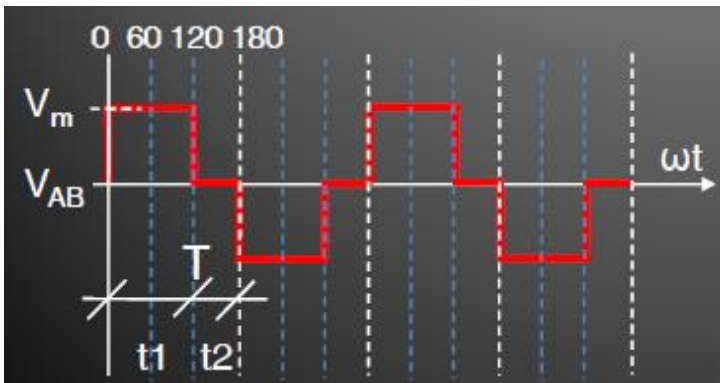


### 2) Çıkış hat-faz gerilimi etkin değeri;

3 fazlı gerilim kaynaklı invertörün üçgen yükte oluşan çıkış hat ve faz gerilim Şekil-7.26’da görüldüğü gibi olduğundan, çıkış geriliminin etkin değeri aşağıdadır.

$$V_{AB(rms)} = V_m \cdot \sqrt{k}$$

$$V_{AB(rms)} = V \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$





## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

### 3) Etkin çıkış gücü;

Devrenin ortalama çıkış gücü,

$$P_o = 3 \cdot I_{Ra} \cdot V_{AB}$$

### 4) Kaynak akımının ortalama değeri;

Kaynaktan çekilen akımın şekli, Şekil-7.27'deki gibi olduğuna göre,  $I_s = 2 \cdot V_m / R$  eşitliğinden bulunabilecektir.



### 5) Ortalama giriş gücü;

Kaynaktan çekilen ortalama giriş gücü aşağıdaki gibi olacaktır.  $P_s = I_s \cdot V_s$  eşitliğinden bulunabilecektir.

### 6) Devrenin verimi;

Devrenin verimi,

$$\eta = P_o / P_s \text{ olacaktır.}$$

### 7) Anahtar gerilimi,

Anahtarın üzerine gelecek olan gerilime göre,

$$V_T = 1,3 \cdot V_m \text{ olacaktır.}$$

### 8) Anahtar akımı; Anahtarın üzerindeki akıma göre;

$$I_T = 1,3 \cdot I_m = 1,3 \cdot 2 \cdot V_m / R$$

### Örnek:

200Vdc şebekede 180 derece uyarında çalıştırılan 3 fazlı gerilim kayn. PWM invertörün,

a)  $3 \times 10 \Omega$ 'luk yıldız bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini,

b)  $3 \times 10 \Omega$ 'luk üçgen bağlı yükü beslediğinde oluşacak tüm devre parametrelerini hesaplayınız.

Çözüm:

a)  $3 \times 10 \Omega$ 'luk yıldız bağlı yük beslenmesi durumunda, Çıkış hat geriliminin etkin değeri;

$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{(t_1/T)}$$

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

$$V_{ab(rms)} = 200 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$V_{ab(rms)} = 163,21V$$

Çıkış faz geriliminin etkin değeri;

$$V_{an(rms)} \approx (V_m/3) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V_m/3) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$V_{an(rms)} \approx (200/3) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} + (2 \cdot 200/3) \cdot \sqrt{(3,33 / 10)}$$

$$V_{an(rms)} \approx 54,4 + 76,94$$

$$V_{an(rms)} \approx 131,3V$$

Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri;

$$I_{a(rms)} \approx (V_m/3R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3) / T]} + (2V_m/3R) \cdot \sqrt{(t_2 / T)}$$

$$I_{a(rms)} \approx (200/3 \cdot 10) \cdot \sqrt{[(6,66) / 10]} + (2 \cdot 200/3 \cdot 10) \cdot \sqrt{(3,33 / 10)}$$

$$I_{a(rms)} \approx 5,44 + 7,69$$

$$I_{a(rms)} \approx 13,13A$$

Etkin çıkış gücü;

$$P_o = 3/2 \cdot I_a \cdot V_{an}$$

$$P_o = 3/2 \cdot 13,13 \cdot 131,3 = 2,58kW$$

Kaynak akımının ortalama değeri;

$$I_s = 2 \cdot V_m / 3 \cdot R$$

$$I_s = 2 \cdot 200 / 3 \cdot 10 = 13,33A$$

Kaynaktan çekilen güç;

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

$$P_s = 13,33 \cdot 200 = 2,66kW$$

Devrenin verimi;

$$\eta = P_o / P_i$$

$$\eta = 2,58kW / 2,66kW = \%97,2$$

Anahtar gerilimi;

$$V_T = V_m \cdot 1,3 = 200 \cdot 1,3 = 260V$$

Anahtar akımı;

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

$$I_T = I_m \cdot 1,3 = 200/10 \cdot 1,3 = 26A$$

b)  $3 \times 10\Omega$ 'luk üçgen bağlı yük beslenmesi durumunda,

Çıkış hat ve faz gerilimlerinin etkin değeri;

$$V_{ab(rms)} = V_m \cdot \sqrt{t_1/T}$$

$$V_{ab(rms)} = 200 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$V_{ab(rms)} = 163,21V$$

Çıkış hat akımının etkin değeri;

$$I_{a(rms)} \approx (V_m/R) \cdot \sqrt{[(t_1+t_3)/T]} + (2V_m/R) \cdot \sqrt{t_2/T}$$

$$I_{a(rms)} \approx (200/10) \cdot \sqrt{[(6,66)/10]} + (2 \cdot 200/10) \cdot \sqrt{(3,33/10)}$$

$$I_{a(rms)} \approx 16,32 + 23,0 \approx 39,32A$$

Çıkış faz akımının etkin değeri;

$$I_{Ra(rms)} = V_m/R \cdot \sqrt{t_1/T}$$

$$I_{Ra(rms)} = 200/10 \cdot \sqrt{(6,66/10)}$$

$$I_{Ra(rms)} = 16,32A$$

Etkin çıkış gücü;

$$P_o = 3 \cdot I_{ra} \cdot V_{ab}$$

$$P_o = 3 \cdot 16,32 \cdot 163,21$$

$$P_o = 7,99kW$$

Kaynak akımının ortalama değeri;

$$I_s = 2 \cdot V_m / R$$

$$I_s = 2 \cdot 200 / 10 = 40A$$

Kaynaktan çekilen güç;

$$P_s = I_s \cdot V_s$$

$$P_s = 40 \cdot 200 = 8,0kW$$

Devrenin verimi;

$$\eta = P_o / P_i$$

$$\eta = 7,99kW / 8,0kW = \%99,8$$

## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

Anahtar gerilimi;

$$V_T = V_m \cdot 1,3 = 200 \cdot 1,3 = 260V$$

Anahtar akımı;

$$I_T = I_m \cdot 1,3 = 200/10 \cdot 1,3 = 26A$$

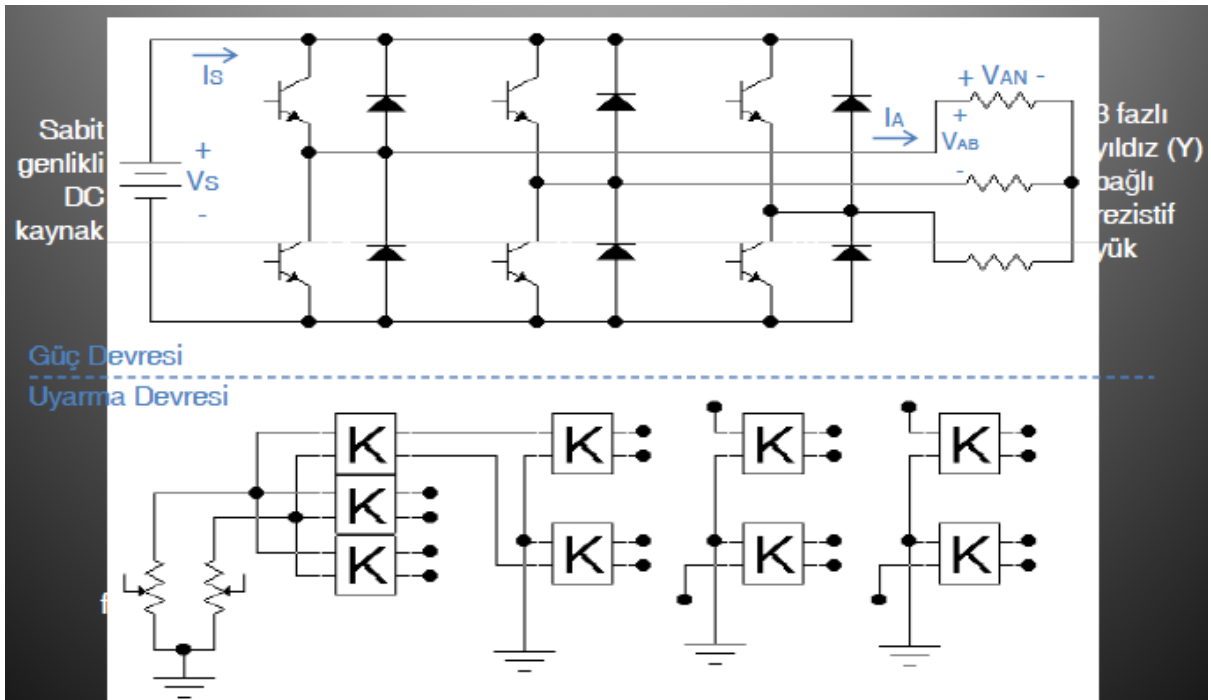
Daha önceden de belirtildiği gibi değişken genlik ve frekanslı üç fazlı sistem oluşturmak için kullanılmakta olan üç fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörlerde 180 derece çalışma durumundan farklı olarak bir de 120 derece çalışma durumu da kullanılmaktadır.

Bundan sonraki bölümde gerilim kaynaklı PWM invertörün 120° iletim madunda çalıştırılması durumunda oluşacak performansı ayrıntısıyla incelenmeye çalışılacaktır.

### 3 fazlı Gerilim Kaynaklı PWM invertör

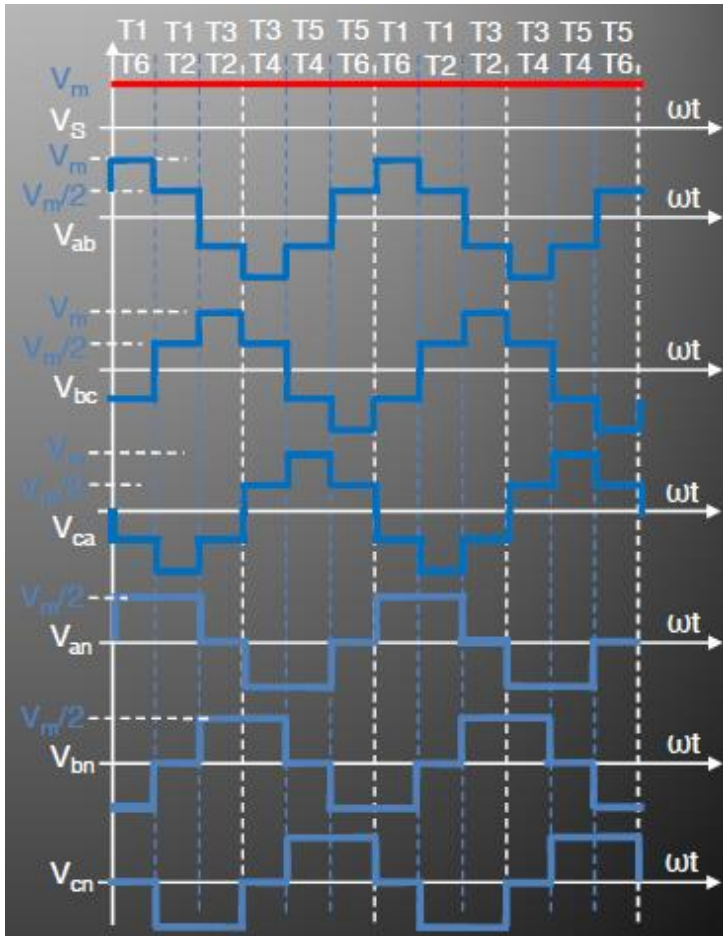
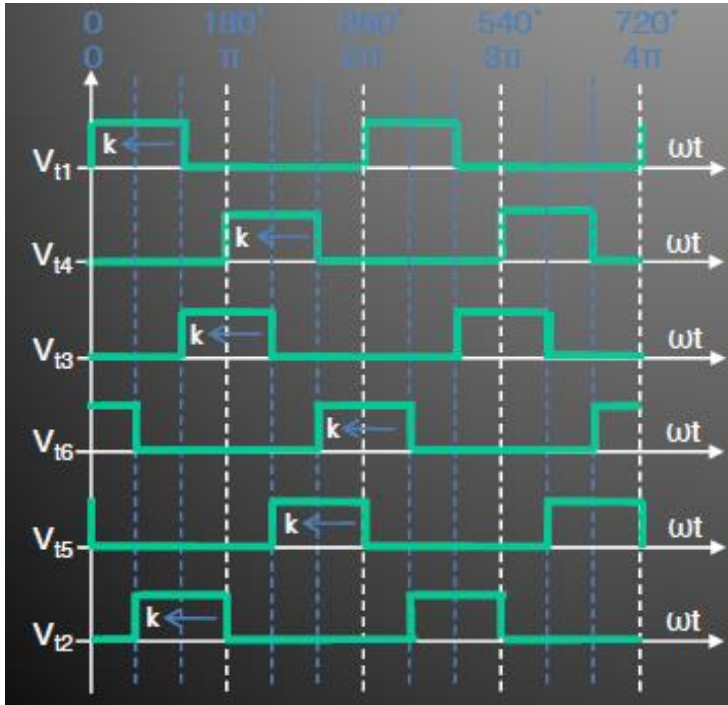
(yıldız bağlı yükte ve 120° iletimde);

Şekil-7.28'de 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertörün (VSI), yıldız yük ve 120° uyarma için, güç ve kontrol devrelerinin bağlantısı görülmektedir.



## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

Şekil-7.28'de görülen 3 fazlı devrenin  $120^\circ$  uyarma performansını gösteren uyarma dalga şekilleri Şekil-7.29'da, güç devresi dalga şekilleri de Şekil- 7.30'da verilmiştir.



## Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta

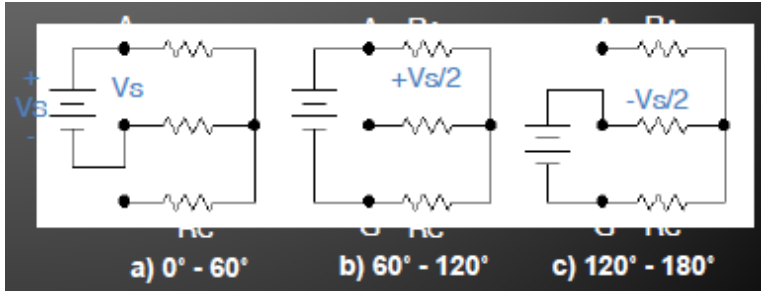
Şekil-7.29'dan görüldüğü gibi referans olarak aldığımız birinci fazı (A) oluşturabilmek için  $T_1$  ve  $T_4$  transistörlerine 180 derece faz farklı  $120^\circ$  etkin olan kare dalga kontrol sinyali uygulanacaktır.

İkinci fazı (B) oluşturabilmek içinse  $T_3$  ve  $T_6$  transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 120 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Üçüncü fazı oluşturmak için ise  $T_5$  ve  $T_2$  transistörlerine yine aynı ters kare dalgalar 240 derece faz kaydırılarak uygulanmıştır.

Böylelikle 3 fazlı AC elde edebilmek için  $T_1$ 'den  $T_6$ 'ya kadar transistörler yine  $60$ 'ar derece arayla  $120^\circ$  sürülmüş olmaktadır. Şekil-7.30'da verilen güç devresi dalga şekillerine bakıldığında yapılan 120 derecelik uyarma sonucunda, istenilen frekansta,  $120$ 'ser derece faz farklı ve " $V_m$ " tepe değerli 3 adet hat gerilimi ( $V_{ab}, \dots$ ) ile yine kendi aralarında  $120$ 'ser derece faz farklı ve " $V_m/2$ " tepe değerli 3 adet faz gerilimi ( $V_{an}, \dots$ ) oluşmaktadır.

Şekil-7.30'da gösterilen kademeli hat gerilimlerinin oluşumu aşağıda Şekil-7.31'de gösterilmiştir.



Şekil-7.31'de verilen yük eşdeğer devrelerinden görüldüğü gibi, ilk 60 derecelik dilimde  $T_1$ - $T_6$  iletimde olduğu için yük "a" şeklinde görüldüğü gibi  $R_a$ - $R_b$  seri  $R_c$  ise boş durumdadır. Bu durumda  $R_a$  ve  $R_b$  üzerinde " $V_s/2$ " kadarlık gerilim düşümleri olacak ve  $V_{ab} = V_s$  olacaktır. İkinci 60 derecelik dilimde ise "b" şeklinde görüldüğü gibi  $R_a$ - $R_c$  seri  $R_b$  ise boş durumdadır. Bu durumda  $R_a$  ve  $R_c$  üzerinde " $V_s/2$ " kadarlık gerilim düşümleri olacak ve  $V_{ab} = V_{ra} = +V_s/2$  olacaktır.

Üçüncü 60 derecelik dilimde ise  $R_a$  direnci boşta aldığı için  $V_{ab} = -V_{rb} = -V_s/2$  olacaktır. 3 fazlı gerilim kaynaklı PWM invertör devresinin yıldız yükteki daga şekillerinden yararlanarak diğer güç devrelerinde olduğu gibi hesaplamalar yapılabilir.

- 1) Çıkış faz ve hat gerilimlerinin etkin değeri,
- 2) Çıkış faz ve hat akımlarının etkin değeri,
- 3) Etkin çıkış gücü,
- 4) Kaynak akımı ortalama değeri,
- 5) Ortalama giriş gücü,
- 6) Devrenin verimi,

## **Gerilim beslemeli invertörler, akım beslemeli invertörler / 13. Hafta**

7) Anahtar gerilimi,

8) Anahtar akımı.