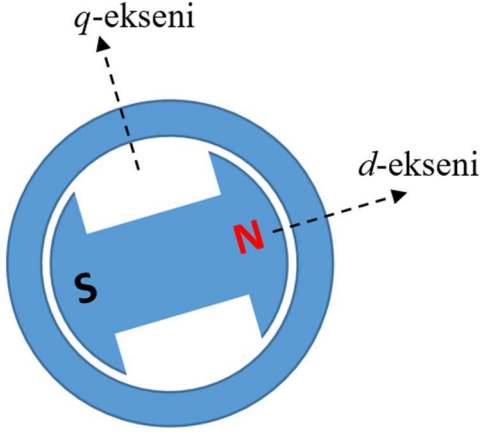
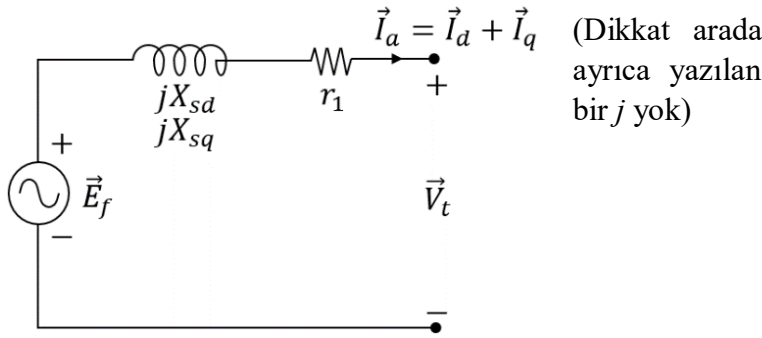


## ÇIKIK KUTUPLU ROTORLU SENKRON MAKİNELER



Çıkık kutuplu rotorlu senkron makinelerde stator ile rotor arasındaki hava aralığı, rotor kutup hizalarında çok küçük, kutup aralarında büyüktür. Bu yüzden senkron reaktans tek bir değerle ifade edilemez. Rotor akı vektörü (fazörü,  $\vec{\Phi}_f$ ) ile hizalı armatür akımı vektörü daha büyük bir senkron reaktansa maruz kalırken, bunun elektriksel  $90^\circ$  ötesi ile hizalı armatür akımı vektörü daha küçük bir senkron reaktansa maruz kalır. Çünkü hava aralığı küçük olan hizada endüktans daha büyüktür. Hesap kolaylığı için, armatür akım vektörü ( $\vec{I}_a$ ), dönmekte olan zincirlenen rotor akı vektörü ile hizalı ve bunun elektriksel  $90^\circ$  ötesi ile hizalı iki bileşenin toplamı olarak düşünülür.

Her bir bileşen farklı bir senkron reaktansla işlem görecektir. Rotor akı vektörü ile hizalı eksene  $d$ -ekseni (*direct axis*) ve bunun elektriksel  $90^\circ$  ilerisindeki eksene de  $q$ -ekseni (*quadrature axis*) denir. Armatür akımının  $d$ -ekseni bileşeni ( $\vec{I}_d$ , dikkat bu da vektör),  $X_{sd}$  senkron reaktansına,  $q$ -ekseni bileşeni ( $\vec{I}_q$ , dikkat bu da vektör),  $X_{sq}$  senkron reaktansına maruz kalır.  $X_{sd} > X_{sq}$  olur (silindirik rotorluları bu kapsamda analiz etsek bunlar eşit alınır).



Buna göre şekildeki yön tanımları için akım gerilim ilişkisi şöyledir:

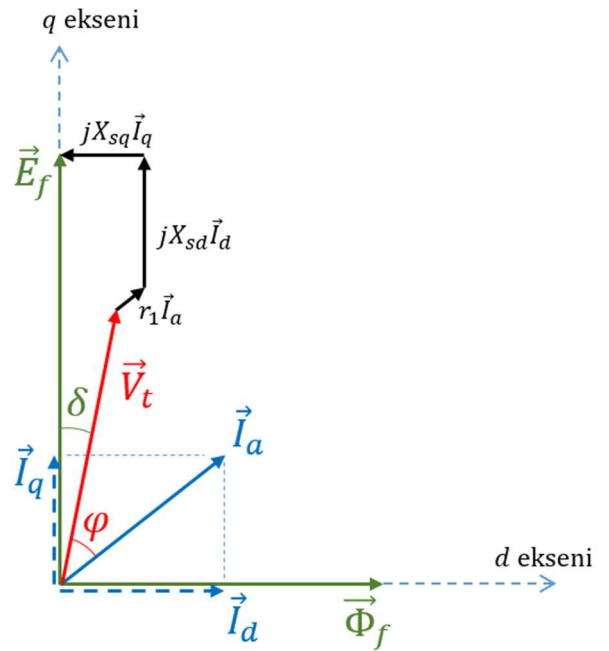
$$\vec{V}_t = \vec{E}_f - r_1 \vec{I}_a - jX_{sd} \vec{I}_d - jX_{sq} \vec{I}_q$$

Diğer bir ifadeyle

$$\vec{E}_f = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jX_{sd} \vec{I}_d + jX_{sq} \vec{I}_q$$

Yukarıda sağdaki vektör şeması bunu ifade etmektedir. Ayrıca  $\vec{E}_f$  vektörü,  $\vec{\Phi}_f$ 'in türeviyle orantılı olduğu için ondan  $90^\circ$  ilerdedir.

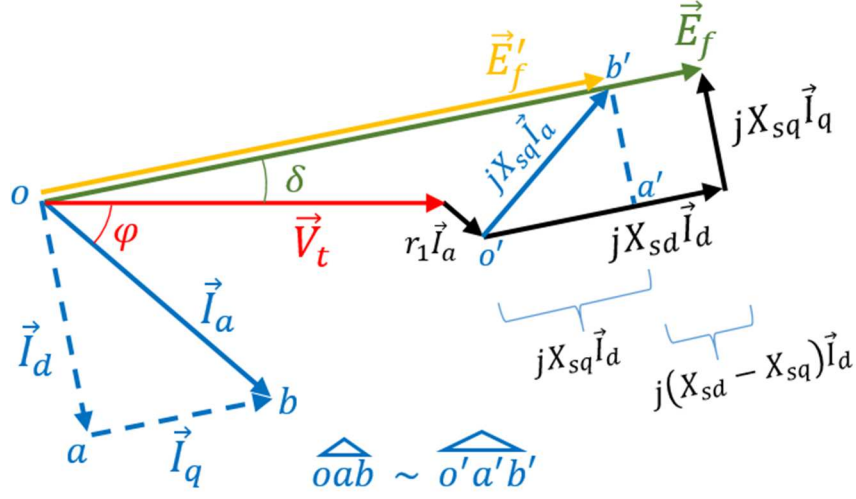
Ancak maksimum güç ve tork hesaplarında en azından skaler olarak ihtiyaç duyulan  $E_f$  doğrudan bu şekilde bulunamaz. Çünkü  $\vec{E}_f$  doğrudan ölçülebilir bir gerilim değildir. Yalnızca rotor akısından kaynaklı olarak endüklenen gerilimdir. Aslında fiziksel olarak endüklenen gerilim hava aralığındaki bileşke akıyla endüklenen gerilimdir.  $d$ - eksenini bulmak için  $\vec{\Phi}_f$ 'in algılanması da kullanışsızdır. Kullanışlı olan ölçümler, terminal uçlarındaki rms gerilim ve akım ile bunların birbirine göre faz farkıdır ( $V_t, I_a, \varphi$ ). Yani  $d$ - eksenini yalnız bunları ve makine parametrelerini (direnç ve reaktansları) kullanarak bulmalıyız.



Bu amaçla öncelikle şöyle ara bir değişken tanımlayalım:

$$\vec{E}'_f = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jX_{sq} \vec{I}_a$$

Bu hesapta  $\vec{I}_d$  veya  $\vec{I}_q$  kullanılmadığına dikkat ediniz.  $\vec{V}_t$  vektörünün açısını  $0^\circ$  kabul ederek vektör şemasını aşağıdaki gibi yeniden çizersek,  $\vec{E}'_f$  ile  $\vec{E}_f$  vektörlerinin açılarının aynı olduğu görülür. Çünkü  $\vec{o'b'}$  vektörü  $\vec{ob}$  vektörünün  $90^\circ$  ileri döndürülüp  $X_{sq}$  ile çarpılmışıdır. Bunun  $jX_{sd} \vec{I}_d$  vektörüne izdüşümü ve ona dik bileşenleri sırasıyla  $jX_{sq} \vec{I}_d$  ve  $jX_{sq} \vec{I}_q$  olduğundan,  $b'$  noktası çizimdeki  $\vec{E}_f$  vektörü üzerinde ( $\vec{ob}$  vektörü  $\vec{E}_f$  ile hizalı) bulunur. Ayrıca  $o'a'b'$  üçgeni  $oab$  üçgeninin  $90^\circ$  ileri döndürülüp  $X_{sq}$  ile çarpılmışıdır, yani benzer üçgenlerdir.



Şimdi  $\vec{E}'_f = E'_f \angle \delta$  bulunduğuna göre

$$I_d = I_a \sin(\varphi + \delta)$$

ve skaler olarak  $E_f$  ile  $E'_f$  farkından:

$$E_f = E'_f + (X_{sd} - X_{sq}) I_d$$

bulunur. Böylece  $\vec{E}_f = E_f \angle \delta$  vektörünün açısından sonra büyüklüğü de bulunmuş olur. Ayrıca istenirse

$$I_q = I_a \cos(\varphi + \delta)$$

bileşeni de hesaplanabilir.

## Örnek

Senkron reaktansları  $X_{sd} = 0,85$  p.u. ve  $X_{sq} = 0,62$  p.u. olan çıkık kutuplu rotorlu senkron bir jeneratör, anma geriliminde ve anma gücünde 0,8 geri güç faktörü ile çalışıyor. P.u. cinsinden  $E_f$  nedir?  $\vec{V}_t$  vektörünün açısını  $0^\circ$  kabul edersek vektörel ve p.u. olarak  $\vec{E}'_f$  nedir?  $r_1$  sargı direncini ihmal ediniz.

## Çözüm:

Anma geriliminde çalıştığı için  $\vec{V}_t = 1,00$  p.u.  $\angle 0^\circ$ .

Anma gücünde çalıştığı için  $S = 1,00$  p.u.  $\rightarrow I_a = S/V_t = 1,00/1,00 = 1,00$  p.u.

Akımın gerilimden geri kalma açısı  $\varphi = \cos^{-1} 0,8 = 36,9^\circ$ , yani

$$\vec{I}_a = 1,00 \text{ p.u. } \angle (-36,9^\circ) = (0,80 - j0,60) \text{ p.u.}$$

$$\vec{E}'_f = \vec{V}_t + \underbrace{r_1 \vec{I}_a}_{\text{ihmal}} + jX_{sq} \vec{I}_a = 1,00 + j0 + j0,62 \cdot (0,80 - j0,60)$$

$$\vec{E}'_f = 1,372 + j0,496 = \underbrace{1,459}_{E'_f} p.u. \angle \underbrace{19,9^\circ}_{\delta}$$

$$I_d = I_a \sin(\varphi + \delta) = 1,00 \sin(36,9^\circ + 19,9^\circ) = 0,836 p.u.$$

$$E_f = E'_f + (X_{sd} - X_{sq})I_d = 1,459 + (0,85 - 0,62) \cdot 0,836 = 1,651 p.u. = E_f$$

$$\vec{E}_f = 1,651 p.u. \angle 19,9^\circ$$

### Örnek

Sargı direnci  $r_1 = 0,2$  p.u. senkron reaktansları  $X_{sd} = 0,94$  p.u. ve  $X_{sq} = 0,68$  p.u. olan çıkık kutuplu rotorlu senkron bir jeneratör, anma geriliminde ve **yarı** güçte **0,85 ileri** güç faktörü ile çalışıyor. P.u. cinsinden  $E_f$  nedir?  $\vec{V}_t$  vektörünün açısını  $0^\circ$  kabul edersek vektörel ve p.u. olarak  $\vec{E}_f$  nedir?

### Çözüm:

Anma geriliminde çalıştığı için  $\vec{V}_t = 1,00 p.u. \angle 0^\circ$ .

Yarı güçte çalıştığı için  $S = 0,50 p.u. \rightarrow I_a = S/V_t = 0,50/1,00 = 0,50 p.u.$

Akımın gerilimden geri kalma açısı  $\varphi = -\cos^{-1} 0,85 = -31,8^\circ$  (dikkat, ileri olduğu için eksi), yani

$$\vec{I}_a = 0,50 p.u. \angle 31,8^\circ = (0,425 + j0,263) p.u.$$

$$\vec{E}'_f = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jX_{sq} \vec{I}_a = 1,00 + j0 + 0,2 \cdot (0,425 + j0,263) + j0,68 \cdot (0,425 + j0,263)$$

$$\vec{E}'_f = 0,9059 + j0,3417 = \underbrace{0,9682}_{E'_f} p.u. \angle \underbrace{20,7^\circ}_{\delta}$$

$$I_d = I_a \sin(\varphi + \delta) = 0,50 \sin(-31,8^\circ + 20,7^\circ) = -0,0965 p.u.$$

$$E_f = E'_f + (X_{sd} - X_{sq})I_d = 0,9682 + (0,94 - 0,68) \cdot (-0,0965) = 0,943 p.u. = E_f$$

$$\vec{E}_f = 0,943 p.u. \angle 20,7^\circ$$