

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve kullanımı elektrik mühendisliğinin temel konularıdır.

Bir ülkenin kalkınışlığını ölçmek için o ülkede üretilen birey başına elektrik enerjisini alabiliriz. "Bes P" kuralı. Proje, program, plan, para ve politika.

### Three phase circuits

All electric powers generation and the power transmission in the world today is in the form of "three phase" ac circuits.

⇒ Dünyanın her yerinde santrallerde elektrik enerjisi istisnasız AC olarak üretilir.

⇒ Bir fazlı motorlar yardımcı düzeneğe olmadan kendi kendine dönmeler,

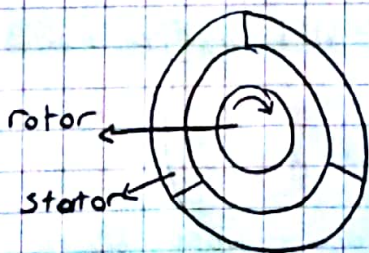
iki fazlı motorlar yardımcı düzeneğe olmadan kendi kendine dönmeler,

Üç fazlı motorlar yardımcı düzeneğe olmadan kendi kendine dönerler,

Dört fazlı motorlar yardımcı düzeneğe olmadan kendi kendine dönerler,

Bes fazlı motorlar yardımcı düzeneğe olmadan kendi kendine dönerler.

⇒ Üç fazlı sistemler en az iletkenle kendi kendine dönmeyi bildiği sistemlerdir. Bu nedenle dünyanın her yerinde üç fazlı sistemler kullanılırlar.

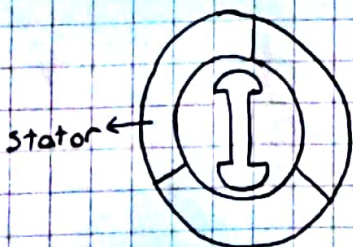


stator, sabit kısım

rotor, dönen kısım

Devir sayısının yüksek olduğu buhar santrallerinde (Termik santral) "yuvarlak rotorlu" kullanılır.

Yuvarlak rotorlu (Turbo generator)



Çıkık kutuplu

Hidrolik santrallerde (su santralleri - HES) "çıkık kutuplu" generatör kullanılır.

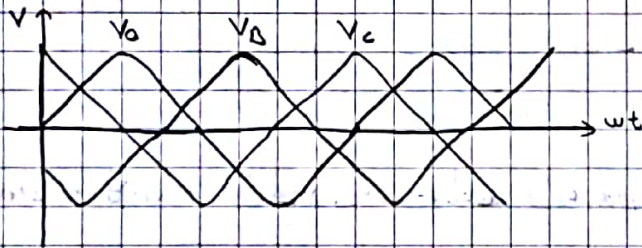
⇒ Özel sektör, devlet sektörüne göre bes nisli daha fazla çalışır, iki nisli daha fazla öder.

$V_A(t) \sim V_A(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t)$ 
 $\underline{V}_A = V \angle 0^\circ \Rightarrow$  Fazör gösterimi

$V_B(t) \sim V_B(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t - 120^\circ)$ 
 $\underline{V}_B = V \angle -120^\circ$

$V_C(t) \sim V_C(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t - 240^\circ)$ 
 $\underline{V}_C = V \angle -240^\circ$

⇒ Bu derste fazörü etkin değerden tanımlıyoruz.

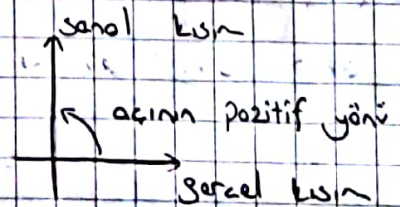
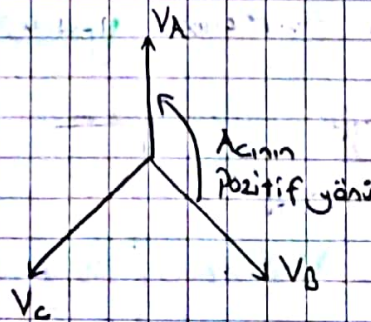


$V_A(t) \sim$ 
 $\underline{Z} = Z \angle \theta$

$V_B(t) \sim$ 
 $\underline{Z} = Z \angle \theta$

$V_C(t) \sim$ 
 $\underline{Z} = Z \angle \theta$

Her bir faza bağlanan empedansların genlikleri  
eşit ve faz açıları, işaretde dahil aynıysa sistem  
dengelidir.

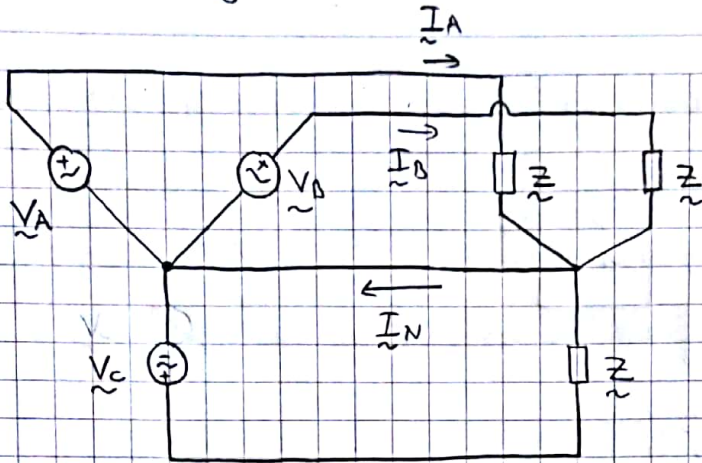


$\underline{V}_A = 220 \angle 0^\circ$

$\underline{V}_B = 220 \angle -120^\circ$

$\underline{V}_C = 220 \angle -240^\circ$

Yıldız bağlantı



$$\underline{I}_A = \frac{V \angle 0^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle -\theta$$

$$\underline{I}_B = \frac{V \angle -120^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle -120^\circ - \theta$$

$$\underline{I}_C = \frac{V \angle -240^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle -240^\circ - \theta$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C \\ &= I \angle -\theta + I \angle -120^\circ - \theta + I \angle -240^\circ - \theta \end{aligned}$$

$$\underline{I}_N = I \cos(-\theta) + j I \sin(-\theta) + I \cos(-\theta - 120^\circ) + j I \sin(-\theta - 120^\circ) + I \cos(-\theta - 240^\circ) + j I \sin(-\theta - 240^\circ)$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= I [\cos(-\theta) + \cos(-\theta - 120^\circ) + \cos(-\theta - 240^\circ)] \\ &\quad + j I [\sin(-\theta) + \sin(-\theta - 120^\circ) + \sin(-\theta - 240^\circ)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= I [\cos(-\theta) + \cos(-\theta) \cos 120^\circ + \sin(-\theta) \sin 120^\circ + \cos(-\theta) \cos 240^\circ + \sin(-\theta) \sin 240^\circ] \\ &\quad + j I [\sin(-\theta) + \sin(-\theta) \cos 120^\circ - \cos(-\theta) \sin 120^\circ + \sin(-\theta) \cos 240^\circ - \cos(-\theta) \sin 240^\circ] \end{aligned}$$

$$\underline{I}_N = I \left[ \cos(-\theta) - \frac{1}{2} \cos(-\theta) + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(-\theta) - \frac{1}{2} \cos(-\theta) - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(-\theta) \right]$$

$$-j I \left[ \sin(-\theta) - \frac{1}{2} \sin(-\theta) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(-\theta) - \frac{1}{2} \sin(-\theta) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(-\theta) \right] \quad \underline{I}_N = 0$$

Dengeli güçlerde nötr hattından akım alınmaz. 0 dir. Üç fazlı sistemlerde dengeli

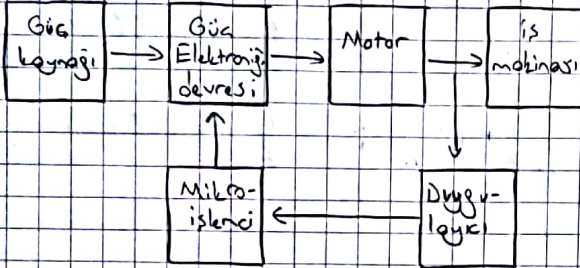
güçte nötr hattı çekilmez. Santrallerde generatörler her zaman yıldız bağlıdır.



⇒ Üçgen bağlı sistemlerde sargılar arasında bir nokta fark olursa generatörde "dolanım akını" adı verilen bir akım oluşur. Dolanım

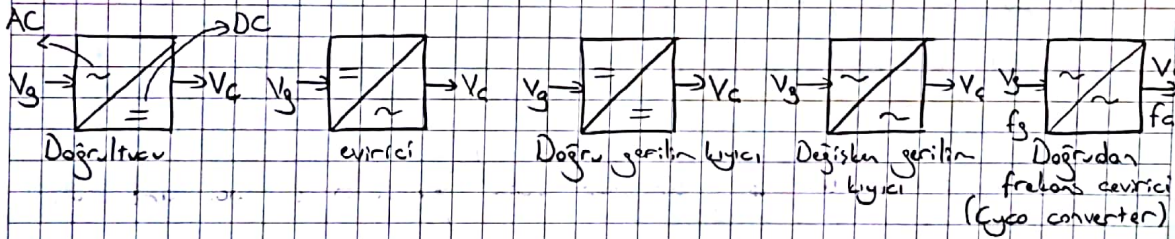
akını kayıplara sebep olur sinmeyi artırır verimi düşürür.

## Elektrik Endüstriyel Uygulamaları



**Güç kaynağı;** Heren her zaman alternatif akım kaynağıdır. Nadiren doğru akımda olabilir.

**Güç elektronik devresi;** dalga şeklini biçimlendiren devrelerdir.



**Motor;** Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemdir.

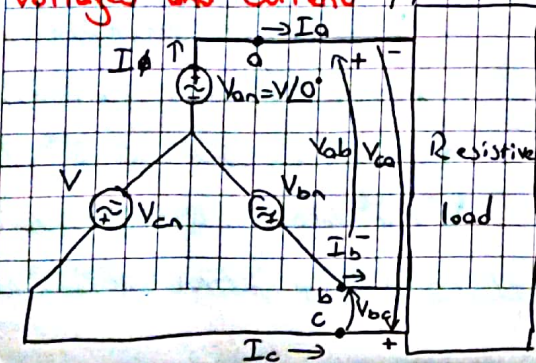
**İş makinası;** belirli bir fonksiyonu yerine getirmek için düsturhus düzenektir. Takım tezgahı, torna, matkap gibi.

**Düğü-layıcı;** Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek ölçme yapan sistemdir. Örnek takometre.

**Mikroışlenci;** Programlanabilir elektronik bir devredir.

Y connected generator with a resistive load

**Voltages and Current**



⇒ İngilizcede gerilim oku - den + ya

doğrudur.  $V_{ab}$

$I_L = I_\phi$  Y connection (Hat alınıyorsa faz akımı eşittir)

$$V_{an} = V_\phi \angle 0^\circ$$

$$V_{bn} = V_\phi \angle -120^\circ$$

$$V_{cn} = V_\phi \angle -240^\circ$$

⇒  $I_L$

$$V_{ab} =$$

$$V_{ab} =$$

$$=$$

$$=$$

$$=$$

$$V_{ca}$$

$$V_{bn}$$

**Not:** Faz

gölge ver

gerilim fa

$$220 V$$

**Not:** Bir

olmaz. Faz

göre yazılır

$$V_L = 220$$

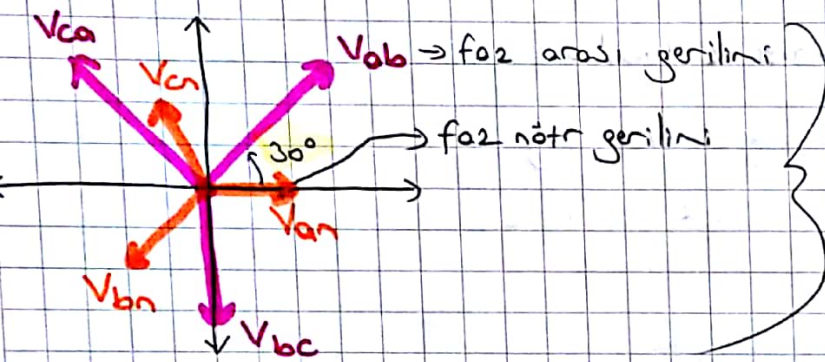
$$V_S = 220$$

$$V_T = 220$$

Bir hatın arasındaki gerilime faz arası gerilimi denir.

$$\underline{V}_{ab} = \underline{V}_a - \underline{V}_b$$

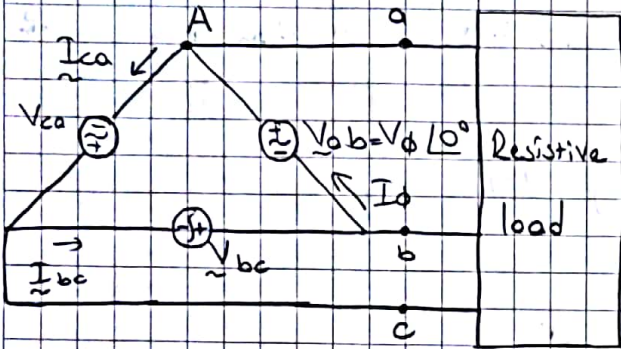
$$\begin{aligned}\underline{V}_{ab} &= V_\phi \angle 0^\circ - V_\phi \angle -120^\circ \\ &= V_\phi - \left( -\frac{1}{2} V_\phi - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_\phi \right) = \frac{3}{2} V_\phi + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_\phi \\ &= \sqrt{3} V_\phi \left( \frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \right) = \sqrt{3} V_\phi \angle 30^\circ\end{aligned}$$



hatın hatla ve faz nötr hattı  
line to line and phase (line to neutral)  
Voltages for the Y connection

**Not:** Faz arası gerilim faz nötr geriliminin  $\sqrt{3}$  katıdır. Aksi bir ifade

## Voltages and Currents in the Delta ( $\Delta$ ) Connection



$$I_{\phi} = I_{\phi 2} \text{ olur.}$$

$\Delta$  connected generator with a resistive load

The phase voltages in this generator are given by

$$\underline{V}_{ab} = V_{\phi} \angle 0^{\circ}$$

$$\underline{V}_{bc} = V_{\phi} \angle -120^{\circ}$$

$$\underline{V}_{ca} = V_{\phi} \angle -240^{\circ}$$

Before the load is resistive phase currents are give by (önce yük direkli faz akımları verilirdi)

$$\underline{I}_{ab} = I_{\phi} \angle 0^{\circ}$$

$$\underline{I}_{bc} = I_{\phi} \angle -120^{\circ}$$

$$\underline{I}_{ca} = I_{\phi} \angle -240^{\circ}$$

$$\begin{array}{l} V_{LL} = V_{\phi} \quad \Delta \text{ connection} \\ \downarrow \\ \text{faz arası gerilim} \quad \rightarrow \text{faz gerilimi} \end{array}$$

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$$

$$= I_{\phi} \angle 0^{\circ} - I_{\phi} \angle -240^{\circ}$$

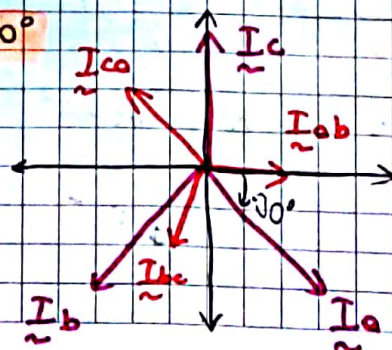
$$= I_{\phi} - \left( -\frac{1}{2} I_{\phi} + j \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\phi} \right) = \frac{3}{2} I_{\phi} - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\phi} = \sqrt{3} I_{\phi} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} - j \frac{1}{2} \right) = \sqrt{3} I_{\phi} \angle -30^{\circ}$$

$\Rightarrow$  hat akımı  $I_a$  faz akımının  $\sqrt{3}$  katı ve  $-30^{\circ}$  dönmüş halidir.

$$\underline{I}_L = \sqrt{3} I_{\phi} \quad \Delta \text{ connection} \quad \underline{I}_a = \sqrt{3} I_{\phi} \angle -30^{\circ}$$

hat  
akımı

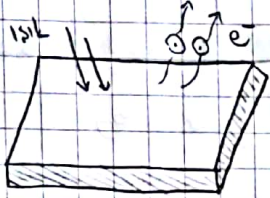
faz  
akımı



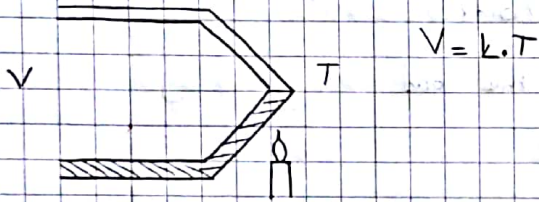
## Elektrik Enerjisinin Üretimi

### 1) Fotocell:

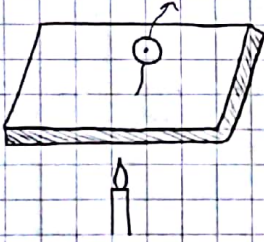
Fotocell üzerine ışık düşürülürse fotocell'den elektronlar çıkar.



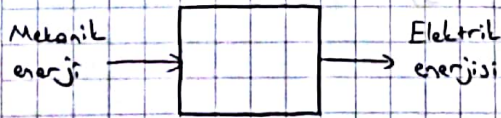
### 2) Termokupl: İki farklı metal, eklen yerinden ısıtılırsa voltaj oluşur.



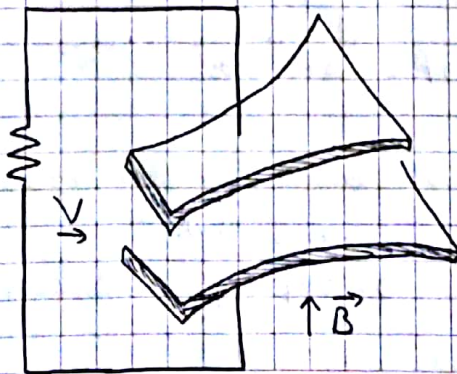
### 3) Termo İyonik Aygıt: termoyonik aygıt ısıtıldığında elektron yayar.

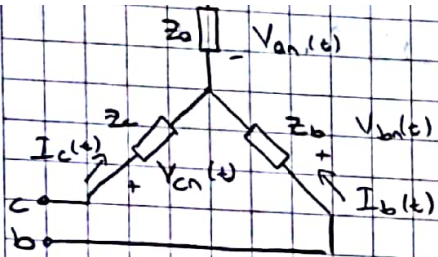


### 4) Generatör:



### 5) Maneto hidro dinamik (MHD) aygıt: ısıtılarak iyonize olmuş havayı, magnetik alan içerisinde alınan iki levha arasına üflersek elektronlar yolunu elektrotlar üzerinden taşırlar.





phase impedance is  $Z_{\phi} = Z / \theta$ . If the 3-phase voltages applied to this load are given by

$$V_{an}(t) = \sqrt{2} V \sin \omega t$$

$$V_{bn}(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{cn}(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t - 240^\circ)$$

then the 3 phase currents flowing in the load are given by

$$I_a(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta)$$

$$I_b(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t - 120^\circ - \theta)$$

$$I_c(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t - 240^\circ - \theta)$$

$$I = V / Z$$

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$p_a(t) = V_{an}(t) \cdot i_a(t) = 2VI \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

$$p_b(t) = V_{bn}(t) \cdot i_b(t) = 2VI \sin(\omega t - 120^\circ) \sin(\omega t - 120^\circ - \theta)$$

$$p_c(t) = V_{cn}(t) \cdot i_c(t) = 2VI \sin(\omega t - 240^\circ) \sin(\omega t - 240^\circ - \theta)$$

$$\ast \sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

$$p_a(t) = VI [\cos \theta - \cos(2\omega t - \theta)]$$

$$p_b(t) = VI [\cos \theta - \cos(2\omega t - 240^\circ - \theta)]$$

$$p_c(t) = VI [\cos \theta - \cos(2\omega t - 480^\circ - \theta)]$$

$$P_{\text{top}} = p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) = 3VI \cos \theta \rightarrow \text{faz nötr arası}$$

$\Rightarrow$  3 fazlı dengeli yüklerde seküler güç zordanan bağımsızdır. Yani titreşim yapmaz.

Etkin güç (KW, MW)

tepkin güç (kVAR)

Görünür güç (kVA)

$$P = 3V_{\phi} I_{\phi} \cos \theta$$

$$Q = 3V_{\phi} I_{\phi} \sin \theta$$

$$S = 3V_{\phi} I_{\phi} \quad 3 \cdot 220 = 660$$

faz nötr arasına göre ölçülmüş

⇒ faz arası gerilime göre güçler

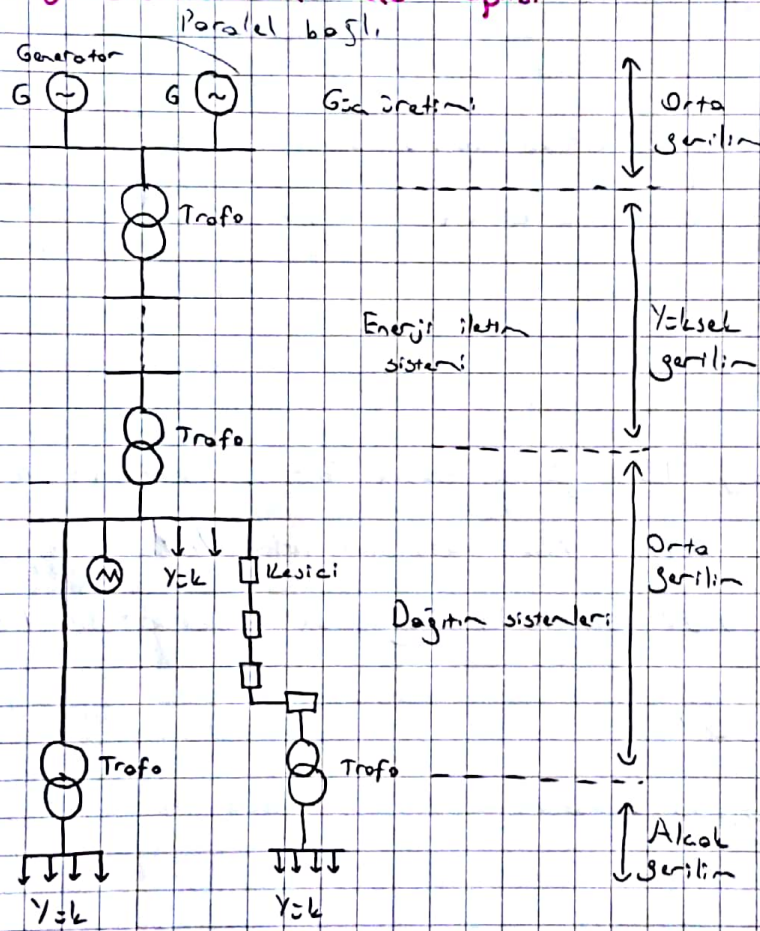
faz arası gerilim

$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi, \quad Q = \sqrt{3} V I \sin \phi, \quad S = \sqrt{3} \cdot V I$$

(etkin güç) (kW, MW) (teplu güç) (kVAR) (görünür güç) (kVA, MVA)

13.10.2017

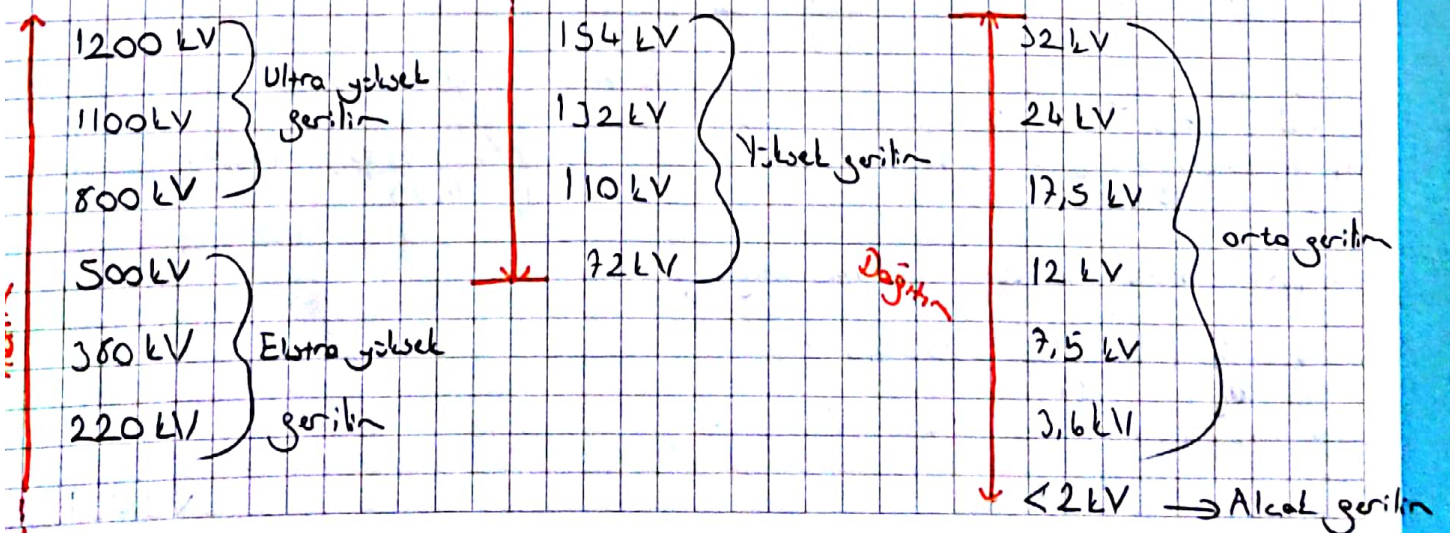
## Enerji Sistemlerinin Genel Yapısı



$$S = \sqrt{3} V I \rightarrow \text{Kaybı azaltmak için gerilim yükseltilebilir}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 I^2 R \rightarrow \text{Azaltmak için kayıp gücü azaltmak}$$

⇒ Dünyada kullanılan gerilim düzeyleri



Alçak gerilim; 220V/380V

Orta gerilim; 6,3 kV 10 kV

15 kV

34,5 kV

31,5 kV

Yüksek gerilim; 66 kV

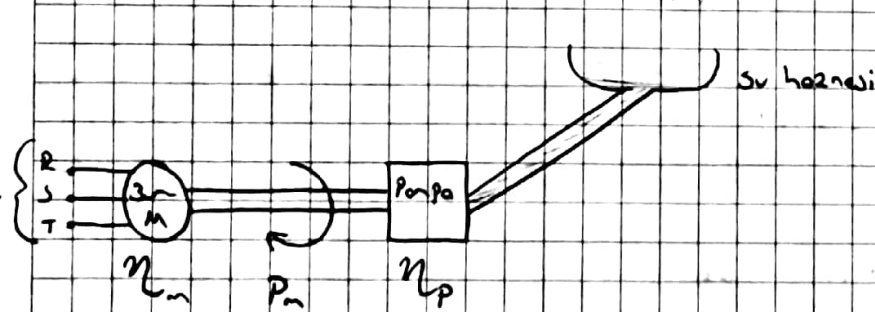
154 kV

Çok yüksek gerilim; 380 kV

750 kV

(1)

Ör. Bir saatte 800 metreküp suyu 15m yüksekliğe basan bir su pompasının verimini %75 ve bu pompayı çalıştıracak 3 fazlı AC motorunun verimini %88 ve güç katsayısı 0,6 dır. Motor 3 fazlı 380V 50Hz'lik kaynaktan beslenmektedir. Motorun hat olumunu bulunuz.



Pompanın güç çıkışı (su çıkışı)

$$P_p = \frac{1000 \times 800 \times 15}{3600 \times 1} = 3333,33 \text{ W}$$

Pompanın güç girişi (Motorun güç çıkışı)

$$P_m = \frac{P_p}{\eta_p} = \frac{3333,33}{0,75} = 4444,44$$

3 fazlı motorun 3-fazlı şebekeden aldığı güç bulun

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{4444,44}{0,88} = 5050,5 \text{ W}$$

u<sub>1</sub>'teki gerilimi bulunuz.

s u<sub>2</sub>'teki gerilimi bulunuz.

u<sub>3</sub> sekilen toplam etkin gücü bulunuz.  $P = 1/3$

bulunuz.

cü bulunuz.

gerilim

- =  $46 \angle -55.13^\circ$  gücü dengeli olduğundan.  $I_R = I_S = I$   
= 46

220

^

~

faz 0°'si      faz gerilimi  
 $V_{LL} = V_d$

$$V = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin \omega t$$

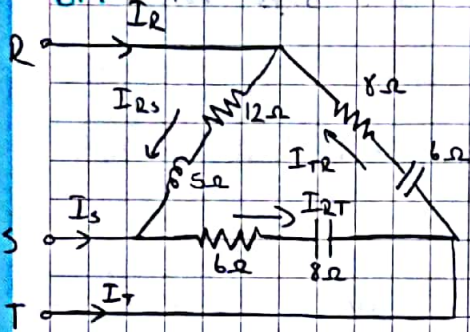
$$I = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

hat oları faz dönümlü  $\sqrt{3}$  katı -30 derece dönmüş

20.10.2017

(3)

Ör:



şekildeki devre 3 fazlı 380V gerilimle beslenmektedir.

a) faz akımlarını bulunuz.

b) hat akımlarını bulunuz.

c) şebekeden çekilen toplam etkin güç bulunuz. (Direkته olarak)

d) şebekeden çekilen toplam tepkin güç bulunuz. (kapasite ve bobin)

e) şebekeden çekilen görünür güç bulunuz.

f) güç katsayısını bulunuz.

$$V_{RS} = 380 \angle 0^\circ$$

$$a) I_{RS} = \frac{380 \angle 0^\circ}{12 + j5}$$

$$I_{RS} = \frac{380 \angle 0^\circ}{13 \angle 22,62^\circ}$$

$$I_{RS} = 29,23 \angle -22,62^\circ$$

$$I_{RS} = 26,33 - j11,24$$

$$I_{ST} = \frac{380 \angle -120^\circ}{6 - j8}$$

$$I_{ST} = \frac{380 \angle -120^\circ}{10 \angle -53,13^\circ}$$

$$I_{ST} = 38 \angle -66,87^\circ$$

$$I_{ST} = 14,33 - j34,35$$

$$I_{TR} = \frac{380 \angle 120^\circ}{8 - j6}$$

$$I_{TR} = \frac{380 \angle 120^\circ}{10 \angle -36,87^\circ}$$

$$I_{TR} = 38 \angle 156,87^\circ$$

$$I_{TR} = -34,35 + j14,33$$

Buna göre

$$I_{RS} = 29,23 \text{ A}$$

$$I_{ST} = 38 \text{ A}$$

$$I_{TR} = 38 \text{ A}$$

$$b) I_R = I_{RS} - I_{TR} = 26,33 - j11,24 + 34,35 - j14,33 = 60,68 - j25,57 = 67,18 \angle 112^\circ$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} = 14,33 - j34,35 - 26,33 + j11,24 = -12 - j23,11 = 26,57 \angle -116^\circ$$

$$I_T = I_{TR} - I_{ST} = -34,35 + j14,33 - 14,33 - j34,35 = -48,68 + j48,68 = 70,54 \angle 135^\circ$$

$$c) P = 12 \cdot I_{RS}^2 + 6 \cdot I_{ST}^2 + 8 \cdot I_{TR}^2$$

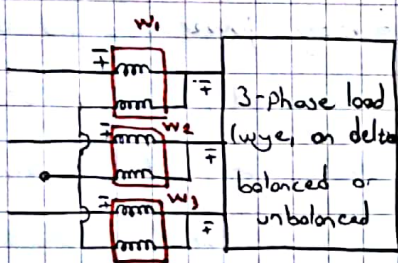
$$P = 12(29,23)^2 + 6(38)^2 + 8(38)^2 = 30,47 \text{ kW}$$

$$d) Q = 5I_{R_s}^2 - 8I_{sT}^2 - 6I_{T2}^2 \quad Q = 5(23,23)^2 - 838^2 - 6.38^2 \quad Q = -15,34 \text{ kVAr}$$

$$e) S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{(30,47)^2 + (-15,34)^2} \quad S = 34,33 \text{ kVA}$$

$$f) \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \cos \varphi = \frac{30,47}{34,33} \quad \cos \varphi = 0,882$$

### 3-Phase Power Measurement



(wye = yıldız bağı) The total average power is the algebraic sum at the three wattmeter readings

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

Where  $P_1, P_2$  and  $P_3$  corresponds to

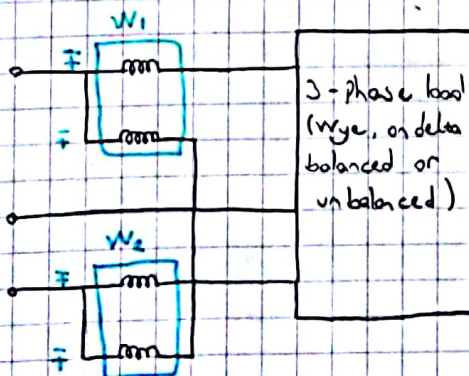
⇒ Three-wattmeter method for measuring 3-phase power

the reading at  $W_1, W_2$  and  $W_3$  respectively

26.10.2017

**Ödev:** Kompansasyon nedir? nasıl yapılır şekil ve bağlantılarını araştırınız. Sınavda kompansasyon konusundan soru var.

**Ders:** High Voltage Techniques, Güç dağıtım sistemleri, Power system Analysis, Güç sistemlerinde koruma, Döşlerinin ön koşulu Power Systems dersinden en az DC notu olamayan öğrenciler bu 4 dersli almazlar.



Two-Wattmeter method for measuring 3-phase power

iki wattmetre yöntemi, 3 faze güç ölçme için en sık kullanılan yöntemlerdir. The two-wattmeter method is the most

commonly used method for 3-phase power measurement. The two wattmeters must be properly connected to any two phases, as shown typically in the figure. şekilde gösterildiği gibi, iki wattmetre 4 tane şekilde farklı bir 3 faze bağlanabilir.

Notice that the current coil of each wattmeter measures the line current, her bir wattmetrenin akım sargısının hat akımını ölçtiğini görürseniz,

ilgili voltaj bobini hat ve üçüncü hat arasında bağlanır ve hat voltajını ölçerken her bir wattmetrenin olum bobini hat olumunu ölçer.

while the respective voltage coil is connected between the line and the third line and measures the line voltage.

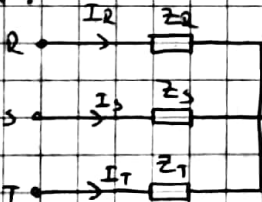
(Bu sırada hat akımı ve faz oranı gerilimi ölçülür.)

Also notice that  $\mp$  terminal of the voltage coil is connected to the line to which the corresponding current coil is connected. Although the individual wattmeters no longer read the power taken by any particular phase, the algebraic sum of the two wattmeter readings equal the total average power absorbed by the load, regardless of whether it is wye or delta connected, balanced or unbalanced. The total real power is equal to the algebraic sum of the two wattmeter readings. (Toplam gerçek güç, iki wattmetre okunmuş cebirsel toplamına eşittir.)

$$P_T = P_1 + P_2$$

(12)

Ör:



3 fazlı 380V

$$V_{\text{es}} = 380 \angle 0^\circ$$

$$Z_R = (20 + j25) \Omega$$

$$Z_S = (25 - j30) \Omega$$

$$Z_T = (35 - j15) \Omega$$

şekildeki devre 3 fazlı 380 V'lık gerilim ile beslenmektedir.

a) Hat akımlarını bulunuz.

b) Faz gerilimlerini bulunuz.

c) Şebekeden çekilen toplam etkin gücü bulunuz.  $\sqrt{3} V_L I_{\text{cağış}}$

d) Şebekeden çekilen toplam reaktif gücü bulunuz.  $\sqrt{3} V_L I_{\text{sinüs}}$

e) Şebekeden çekilen toplam görünür gücü bulunuz.  $V_L I_{\text{cağış}}$

f) Sistemin güç katsayısını bulunuz.

a)

$$Z_R I_R - Z_S I_S = 380 \angle 0^\circ$$

$$Z_S I_S - Z_T I_T = 380 \angle -120^\circ$$

$$I_R + I_S + I_T = 0$$

$$Z_R I_R - Z_S I_S = 380$$

$$Z_S I_S + Z_T (I_R + I_S) = 380 \angle -120^\circ$$

$$4,632381141 - 5,723760706$$

$$7,40533544 \angle -50,6843747^\circ$$

$$Z_R I_R - Z_S I_S = 380$$

$$Z_T I_R + (Z_S + Z_T) I_S = 380 \angle -120^\circ$$

$$(20 + j25) I_R - (25 - j30) I_S = 380$$

$$(35 - j15) I_R + (60 - j45) I_S = 380 \angle -120^\circ$$

$$(32,015621 \angle 51,34^\circ) I_R - (33,051248 \angle -50,13^\circ) I_S = 380$$

$$(38,078866 \angle -23,20^\circ) I_R + (75 \angle -36,87^\circ) I_S = 380 \angle -120^\circ$$

$$\left[ \frac{32,015621 \angle 51,34^\circ}{33,051248 \angle -50,13^\circ} + \frac{38,078866 \angle -23,20^\circ}{75 \angle -36,87^\circ} \right] I_R = \frac{380}{33,051248 \angle -50,13^\circ} + \frac{380 \angle -120^\circ}{75 \angle -36,87^\circ}$$

$$[0,813836 \angle 101,53^\circ + 0,507713 \angle 113,67^\circ] I_R = 3,730804 \angle 50,13^\circ + 5,06667 \angle -83,13^\circ$$

$$[-0,163870 + j0,803232 + 0,433333 + j0,113388] I_R = 6,230087 + j7,674323 + 0,606060 - j5,030283$$

$$[0,323463 + j0,523280] I_R = 6,8361 + j2,44631$$

$$(0,380302 \angle 70,36^\circ) I_R = 7,260405 \angle 13,68^\circ \quad I_R = 7,405388 \angle -50,68^\circ$$

$$I_S = \frac{(32,015621 \angle 51,34^\circ) I_R - 380}{33,051248 \angle -50,13^\circ} \quad I_S = \frac{(32,015621 \angle 51,34^\circ) (7,405388 \angle -50,68^\circ) - 380}{33,051248 \angle -50,13^\circ}$$

$$I_S = \frac{(237,107305 \angle 0,44^\circ) - 380}{33,051248 \angle -50,13^\circ} \quad I_S = \frac{237,031574 + j2,731226 - 380}{33,051248 \angle -50,13^\circ}$$

$$I_S = \frac{-142,968426 + j2,731226}{33,051248 \angle -50,13^\circ} \quad I_S = \frac{142,354532 \angle 178,31^\circ}{33,051248 \angle -50,13^\circ} \quad I_S = 3,660178 \angle 228,10^\circ$$

$$I_T = -(I_R + I_S)$$

$$I_T = -(7,405388 \angle -50,68^\circ + 3,660178 \angle 228,10^\circ)$$

$$I_T = - (4,6323811 - j5,7237607 + 2,336468 - j2,766558)$$

$$I_T = -2,2363343 + j8,485372 \quad I_T = 8,109835 \angle 105,12^\circ$$

Da göre

$$I_R = 7,41 \text{ A} \quad I_S = 3,66 \text{ A} \quad I_T = 8,8 \text{ A}$$

$$b) V_R = Z_R I_R = (32,02 \angle 51,34^\circ) (7,41 \angle -59,68^\circ) = 237,27 \angle 0,66^\circ$$

$$V_S = Z_S I_S = (33,05 \angle -59,13^\circ) (3,66 \angle 22,10^\circ) = 142,23 \angle 17,81^\circ$$

$$V_T = Z_T I_T = (38,08 \angle -23,20^\circ) (8,80 \angle 105,12^\circ) = 335,10 \angle 81,92^\circ$$

Faz genilheri

$$V_R = 237,27V \quad V_S = 142,23V \quad V_T = 335,10V$$

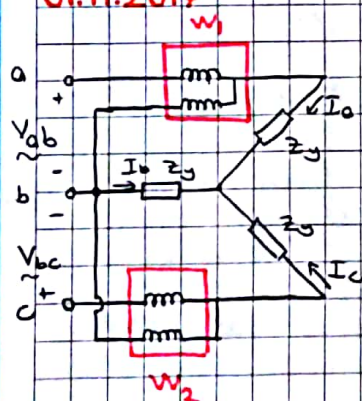
$$c) P = 20(7,41)^2 + 25(3,66)^2 + 35(8,80)^2 \quad P = 4,14 \text{ kW}$$

$$d) Q = 25(7,41)^2 - 30(3,66)^2 - 15(8,80)^2 \quad Q = -130,76 \text{ VAR}$$

$$e) S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = 4144,4 \text{ VA}$$

$$f) \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \cos \varphi = 0,9983$$

01.11.2017



⇒ Consider the balanced wye-connected load in the Figure

Our objective is to apply the two-wattmeter method to find the average power absorbed by the load

$\underline{Z}_Y = Z_Y \angle \theta$  due to the load impedance, each voltage coil leads its current coil by  $\theta$ , so that the power factor is  $\cos \theta$ . We recall that each line voltage leads corresponding phase voltage by  $30^\circ$ . Thus, the total phase difference between the phase current  $I_a$  and line voltage  $V_{ab}$  is  $\theta + 30^\circ$ , and the average power read by wattmeter

Two-wattmeter method

applied to a balanced wye load.

line voltage  $V_{ab}$  is  $\theta + 30^\circ$ , and the average power read by wattmeter

W is

$$P_1 = P_e [V_{ab} I_a^*] = V_{ab} I_a \cos(\theta + 30^\circ) = V_L I_L \cos(\theta + 30^\circ)$$

Similarly

$$P_2 = P_e [V_{bc} I_c^*] = V_{bc} I_c \cos(\theta - 30^\circ) = V_L I_L \cos(\theta - 30^\circ)$$

We now use the trigonometric identities

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta}$$

$$\sin \theta$$

$$-P_1)$$

$$\sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$$

$$\sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$$

the load is resistive

the load is inductive

the load is capacitive

03.11.2017

(3)

Ör: Koradenia Teknik Üniversitesi enerji gereksinimleri 3 fazlı 5 MVA, 31,5 kV / 6,3 kV 50 Hz AEG-ETİ transformatorün üzerinden sağlanmaktadır.

a) Transformator tam yükte çalışırken birincil gerilimi birincil akımı, ikincil gerilimi ikincil akımı ne kadardır.

b) Transformator yarı yükte çalışırken birincil gerilimini birincil akımını, ikincil gerilimini ikincil akımı ne kadardır.

c) Transformatorün ikincil sargısından geçen akım 350 A iken birincil akımı ne kadardır.

⇒ Annaçık; bir cihaz hangi koşullar için tasarlandysa o aletin en uygun çalışma koşulları bu tasarlanan değerdir. Bu koşullara anna değeri denir. Anna değeri = Nominal değeri = Etiket değeri. Tam yük = Anna yükü.

c-a) Birincil gerilimi  $V_1 = 31,5 \text{ kV}$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V}$$

$$I_1 = 5 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 31,5 = 91,64 \text{ A}$$

ikincil gerilimi  $V_2 = 6,3 \text{ kV}$

$$I_2 = 5 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 6,3 = 458,21 \text{ A} \quad \text{bulunur}$$

c-b) Birincil gerilimi  $V_1 = 31,5 \text{ kV}$

yarı yükte çalıştığı için ikiye bölülür

$$\text{Birincil akımı } I_1 = 5 \times 10^3 / \sqrt{3} \times 31,5 \times 2 = 45,82 \text{ A}$$

ikincil gerilimi  $V_2 = 6,3 \text{ kV}$

$$I_2 = 5 \times 10^3 / 2 \times \sqrt{3} \times 6,3 = 229,1 \text{ A}$$

$$\left( \frac{V_1 / \sqrt{3}}{V_2 / \sqrt{3}} = \frac{I_2}{I_1} \right) \quad \frac{31,5}{6,3} = \frac{350}{I_1} \quad I_1 = 70 \text{ A} \quad \text{bulunur}$$

$$S_1 = S_2$$

$$\sqrt{3} V_1 I_1 = \sqrt{3} V_2 I_2 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

→ 8 derece kuralı; bir cihazın ömrü aldığı sıcaklığının 8'ünde çalıştırılırsa cihazın ömrü yarıya iner

## BÖLGE

## Enerji Maliyeti

### 1. Bölge

Hakkari, Van, Siirt, Sirt, Batman, Mus, Mardin 11,42 sent

### 2. Bölge

Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane, Bayburt, Erzurum, Kars, Iğdır, Ardahan, Erzurum 8,29 sent

### 3. Bölge

Tunceli, Bingöl, Elazığ, Diyarbakır, Sanliurfa, Adıyaman, Kahramanmaraş, Malatya 8,96 sent

### 4. Bölge

Sivas, Kayseri, Yozgat, Tokat, Ordu, Samsun, Amasya, Çorum, Sinop, Kastamonu 6,67 sent

### 5. Bölge

Adana, Hatay, Osmaniye, Mersin, Gaziantep 6,77 sent

### 6. Bölge

Konya, Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Aksaray, Karaman, Isparta, Afyon 6,01 sent

### 7. Bölge

Ankara, Kırıkkale, Karabük, Çankırı, Bartın, Zonguldak, Samsun, Bolu 6,25 sent

### 8. Bölge

Aydın, Muğla, Denizli, Antalya, Burdur, Uşak 5,61 sent

### 9. Bölge

İzmir, Manisa 5,23 sent

### 10. Bölge

Düzce, Bolu, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çanakkale, Yalova 5,66 sent

### 11. Bölge

Edirne, Kırklareli, Tekirdağ 5,16 sent

### 12. Bölge

Kocaeli, İstanbul - Anadolu Yakası 5,53 sent

### 13. Bölge

İstanbul - Avrupa Yakası 6,11 sent

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (kW)} \quad Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (kVAr)} \quad S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (kVA)} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

(2)

Örnek: 3 fazlı 380 V'lık şebekeden aşağıdaki yükler çekilmektedir;

a) 8 kW aktif yük

$$P = 8 \text{ kW} \quad Q = 0$$

b) 30 kVA  $\varphi = 60^\circ$  (iler)  $S = 30 \text{ kVA}$   $P = S \cdot \cos \varphi = 15 \text{ kW}$ ,  $Q = S \cdot \sin \varphi = 25,981 \text{ kVAr}$

c) 10 kVA 8 kVAr (kapasitif)  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$   $(10)^2 = (\sqrt{P^2 + 8^2})^2$   $P = 6 \text{ kW}$   $Q = -8 \text{ kVAr}$

d) 6 kW  $\cos \varphi = 0,6$  (indüktif)  $\cos \varphi = 0,6 \Rightarrow \varphi = 53,130102$   $S = \frac{P}{\cos \varphi} = 10 \text{ kVA}$   $Q = S \cdot \sin \varphi = 8 \text{ kVAr}$

e) 20 kVA 12 kW (indüktif)  $P = 12 \text{ kW}$   $S^2 = P^2 + Q^2$   $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 16 \text{ kVAr}$   
 $S = 20 \text{ kVA}$

Buna göre;

a) Şebekeden çekilen toplam etkin güç (P) ?

b) " " " toplam güç (Q) ?

c) " " " görünür güç (S) ?

d) Şebekeden çekilen akım (I) ?

e) Sistemin güç katsayısı ( $\cos \varphi$ ) ?

a)  $P = 8 \text{ kW} + 15 \text{ kW} + 6 \text{ kW} + 6 \text{ kW} + 12 \text{ kW} = 47 \text{ kW}$

b)  $Q = 0 + 25,981 - 8 + 8 + 16 = 41,981 \text{ kVAr}$

c)  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 63,013073 \text{ kVA}$

d)  $I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = I = \frac{63,013073}{\sqrt{3} \cdot 380} = 94,747585 \text{ A}$

e)  $\cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,745806$

$$\sqrt{3}VI \cos \varphi \text{ (kW)} \quad Q = \sqrt{3}VI \sin \varphi \text{ (kVAR)} \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

11k şebekeden aşağıdaki güçler çekilmektedir.

$$1. P = 4 \text{ kW} \quad Q = 0$$

$$S = 20 \text{ kVA} \quad P = S \cdot \cos \varphi = 10 \text{ kW} \quad Q = S \cdot \sin \varphi = 17,320508 \text{ kVAR}$$

$$\text{2.f)} \quad S = 10 \text{ kVA} \quad Q = 6 \text{ kVAR} \quad P^2 = S^2 - Q^2 = 8 \text{ kW}$$

$$\text{3.iti.f)} \quad S = \frac{P}{\cos \varphi} = 10 \text{ kVA} \quad Q = S \cdot \sin \varphi = -8 \text{ kVAR} \quad P = 6 \text{ kW}$$

$$\text{4.f)} \quad S = 5 \text{ kVA} \quad P = 3 \text{ kW} \quad Q = S^2 - P^2 = 4 \text{ kVA}$$

$$\text{toplam etkin güç (P)} = ?$$

$$\text{" tepkin " (Q)} = ?$$

$$\text{" görünür " (S)} = ?$$

$$\text{akım} = ?$$

$$\text{güçün (cos } \varphi \text{)} = ?$$

$$31 \text{ kW}$$

$$8 + 4 = 13,320508 \text{ kVAR}$$

$$12,7825 \text{ kVA}$$

$$438,288 \text{ A}$$

$$I_{L1} = \frac{20}{20} = 1 \text{ A}$$

$$Z_{pu} = 0,15 + j(0,4 - 0,2) = 0,15 + j0,2 = 0,25 \angle 53,13^\circ$$

$$I_{pu} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,25 \angle 53,13^\circ} = 4 \angle -53,13^\circ$$

$$I = |I_{L1}| \cdot I_{pu} = 5 \cdot 4 \angle -53,13^\circ = 20 \angle -53,13^\circ \text{ A}$$

(8)

Örnek, Saatte  $630 \text{ m}^3$  suyu  $20 \text{ m}$  yüksekliğe basan bir su pompasının verimi  $\%80$  ve bu pompayı çalıştırmak için 3 fazlı alternatif akım motorunun verimi  $\%30$  ve güç katsayısı  $0,85$  dir. Motor  $380 \text{ V}$   $50 \text{ Hz}$ 'lik 3 fazlı kaynağa beslenmektedir. Hat akımını bul.

$$Q = 600 \text{ m}^3/\text{saat} \quad h = 20 \text{ m} \quad \eta_p = \%80 \quad \eta_m = \%30$$

$$\text{Pompa gücü } P_p = \frac{1000 \cdot 630 \cdot 20}{3600 \cdot 1000} = 3500 \text{ W}$$

$$\text{Pompa gücü girişi} = P_m = \frac{P_p}{\eta_p} = \frac{3500}{0,8} = 4375 \text{ W}$$

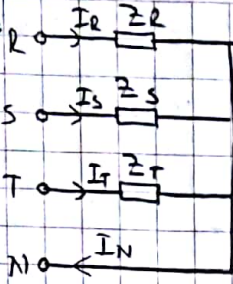
$$\text{Motorun şebekeden aldığı güç} = \frac{4375}{0,85} = 4861 \text{ W}$$

$$\text{Motorun şebekeden aldığı hat akımı } I = \frac{P_e}{\sqrt{3} V \cos \phi} = \frac{4861}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 8,68 \text{ A}$$

56. soru 220 olan 1 faz Türkiye'de 380 olacak

(13)

Örnek:



Şekildeki 3 fazlı devre 380V gerilim ile beslenmektedir.

$$Z_R = (80 + j20) \Omega$$

a) Hat akımlarını bulunuz.

$$Z_S = (60 + j40) \Omega$$

b) Faz gerilimlerini bulunuz.

$$Z_T = (50 + j60) \Omega$$

c) Nötr akımını bulunuz.

d) Şebekeden çekilen toplam etkin gücü bulunuz.

e) " " " " " " " " " " " "

$$a) Z_R = 82,46 / 14,04^\circ$$

$$Z_S = 72,11 / 33,7^\circ$$

$$Z_T = 78,102 / 50,12^\circ$$

$$I_R = \frac{220}{82,46 / 14,04^\circ} = 2,67 / -14,04^\circ$$

$$I_S = \frac{220 / -120^\circ}{72,11 / 33,7^\circ} = 3,051 / -153,7^\circ$$

$$I_T = \frac{220 / -240^\circ}{78,102 / 50,12^\circ} = 2,82 / -230,2^\circ$$

$$b) V_R = I_R \cdot Z_R = 220,1682 V$$

$$V_S = I_S \cdot Z_S = 220,01 / -120^\circ$$

$$V_T = I_T \cdot Z_T = 220,29 / -240^\circ$$

$$c) I_N = I_R + I_S + I_T = 0,828 + 0,648j = 1,051 / 38,05^\circ$$

$$d) P = I_R^2 \cdot 80 + I_S^2 \cdot 60 + I_T^2 \cdot 50 = 1,53 kW$$

$$e) Q = I_R^2 \cdot 20 + I_S^2 \cdot 40 + I_T^2 \cdot 60 = 331,8 VAR$$

$z_2$  $z_a$ 

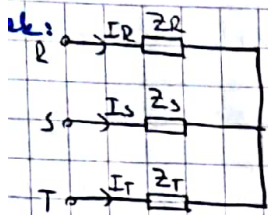
$$z_3 = \frac{z_a z_b + z_b z_c + z_a z_c}{z_b}$$

modellene

sistemlerin matematiksel modellenmesi varsayımlar üzerine olur. Daha  
önce için varsayımlardan bir veya birkaçı kırılır.

mühendislikte deneysel sonuçlarla kuramsal sonuçlar arasındaki farklılıklar  
genellikle yeterli sayılmaktadır.

.)



Şekildeki üç fazlı devre 380V luk gerilim ile beslenmektedir.

$$Z_R = (50 + j60) \Omega$$

$$V_{RS} = 380V$$

$$Z_S = (40 + j70) \Omega$$

$$Z_T = (80 + j30) \Omega$$

$$c) P = I_R^2 \cdot 50 + I_S^2 \cdot 40 + I_T^2 \cdot 80 = 1,238 \text{ kW}$$

$$Q = I_R^2 \cdot 60 + I_S^2 \cdot 70 + I_T^2 \cdot 30 = 1,214 \text{ kVAR}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 1,763 \text{ kVA}$$

Hat akımlarını bul.

Faz gerilimlerini bul

Şebeleden çekilen toplam etkin, reaktif, görünür güçü bul.

Sistemin güç katsayısını bul.

$$I_R \cdot Z_R - I_S \cdot Z_S = 380 \angle 0^\circ$$

$$I_R Z_R - I_S Z_S = 380 \angle 0^\circ$$

$$I_S Z_S - I_T Z_T = 380 \angle -120^\circ$$

$$I_S Z_S + (I_R + I_S) \cdot Z_T = 380 \angle -120^\circ$$

$$I_R + I_S + I_T = 0$$

$$I_R Z_R - I_S Z_S = 380 \angle 0^\circ$$

$$I_R (50 + j60) - I_S (40 + j70) = 380$$

$$I_R Z_T + I_S (Z_S + Z_T) = 380 \angle -120^\circ$$

$$I_R (80 + j30) + I_S (120 + j100) = -130 - j323,083$$

$$I_R \left( \frac{50 + j60}{40 + j70} \right) - I_S = \frac{380}{40 + j70}$$

$$I_R (0,5538 - j0,1632) - I_S = 2,3384 - j4,0331$$

$$I_R \left( \frac{80 + j30}{120 + j100} \right) + I_S = \frac{-130 - j323,083}{120 + j100}$$

$$I_R (0,5164 - j0,1804) + I_S = -2,2832 - j0,8338$$

$$I_R (1,4702 - j0,3436) = 0,0552 - j4,9323 \Rightarrow I_R = 0,7907 - j3,1672 = 3,2644 \angle -75,38^\circ$$

$$I_S = \frac{I_R \cdot Z_R - 380}{Z_S} \Rightarrow I_S = \frac{(0,7907 - j3,1672) \cdot (50 + j60) - 380}{40 + j70} = -2,1202 + j0,9375$$

$$= 2,3182 \angle 156,14^\circ$$

$$I_T = -(I_R + I_S) \Rightarrow I_T = 1,3235 + j2,2237 = 2,5853 \angle 59,13^\circ$$

$$V_R = I_R \cdot Z_R = 223,567 - j10,918 = 254,95 \angle -25,78^\circ$$

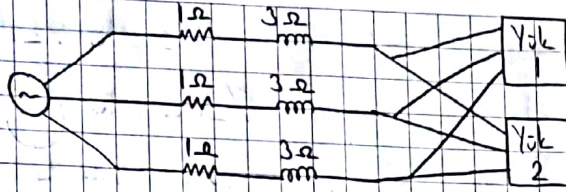
$$V_S = I_S \cdot Z_S = -150,433 - j10,91 = 186,3011 \angle -143,55^\circ$$

$$V_T = I_T \cdot Z_T = 33,423 + j218,246 = 221,7731 \angle 89,532^\circ$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = 0,73$$

(35)

Örnek:



Düğürlü üç fazlı ilk yük paralel olarak bağlanmıştır. Birinci yük 0,8 endüktif güç katmanında 20 kW,

ikinci yük 0,6 endüktif güç katmanında 15 kW güç almaktadır. Yüklerin besleme gerilisi 380 V'dur. Generatörün içlerindeki gerilisi, generatörden çekilen akımı ve generatörden çekilen gücü bulunuz.

Yük 1 için

$$I_1 = \frac{20 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 37,38 \text{ A}$$

Yük 2 için

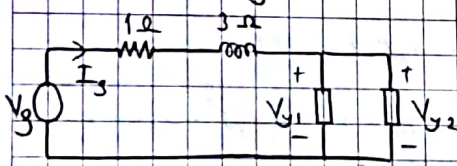
$$I_2 = \frac{15 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 37,38 \text{ A}$$

$$I_1 = 37,38 \angle -36,87^\circ$$

$$I_2 = 37,38 \angle -53,13^\circ$$

$$I_{\text{giriş}} = I_1 + I_2 = (30,3833 - j22,7881) + (22,7881 - j30,3833) = 53,1713 - j53,1721 = 75,15 \angle -45^\circ$$

Tek faz için eşdeğer devre



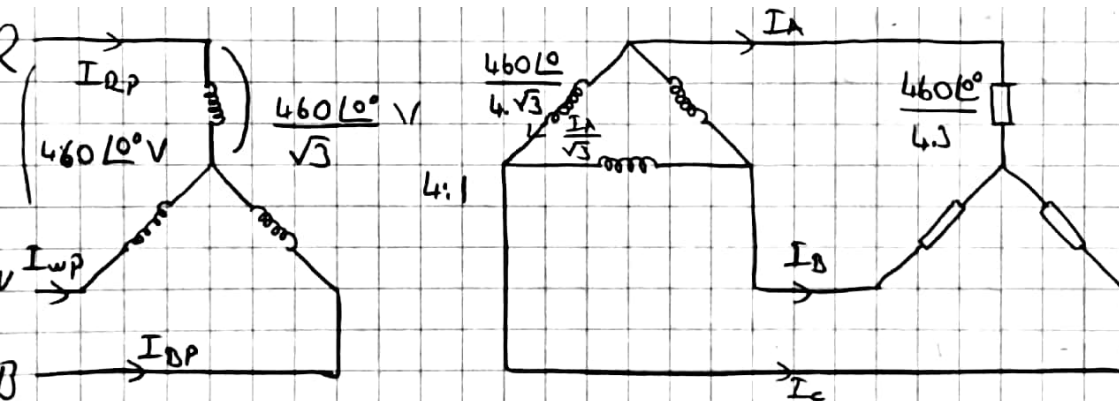
$$V_{y1} = V_{y2} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \angle 0^\circ$$

$$V_g = I_g (1 + j3) + 220 \angle 0^\circ$$

$$V_g = 432,554 + j106,254 = 465,413 \angle 13,8^\circ$$

$$V_g' = \sqrt{3} \cdot V_g = 771,48 \angle 13,8^\circ \text{ V}$$

$$P_g = \sqrt{3} \cdot V_g' \cdot I_g \cdot \cos(13,8 + 45) = 52,05 \text{ kW}$$



$$\frac{460 \angle 0^\circ}{4.3} = 38.33 \angle 0^\circ \text{ V} \quad I_A = \frac{38.33 \angle 0^\circ}{(10 - j7)} = 3.14 \angle 34.35^\circ \quad I_B = 3.14 \angle 154.35^\circ$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad I_{2P} = \frac{I_A}{\sqrt{3} \cdot 4} = 0.453 \angle 34.35^\circ \quad I_C = 3.14 \angle -83.01^\circ$$

$$I_{WP} = 0.453 \angle 154.35^\circ$$

$$I_{BP} = 0.453 \angle -83.01^\circ$$

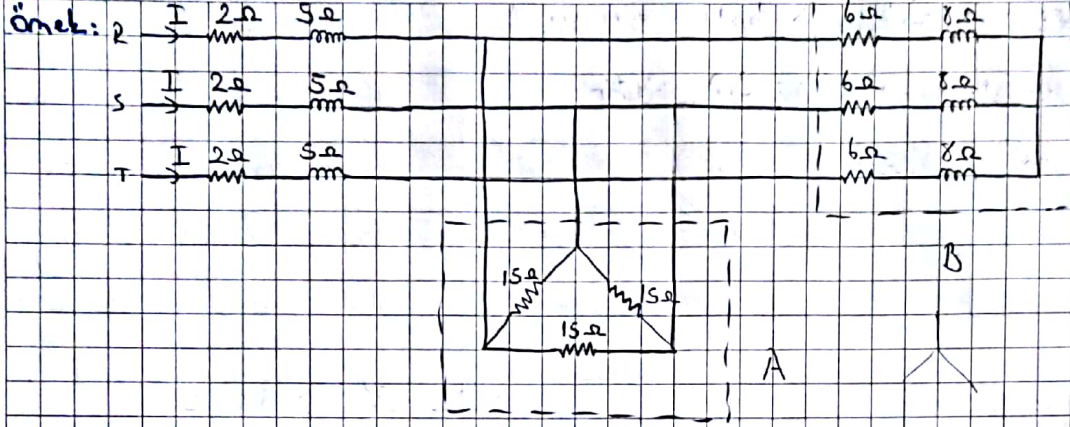
$$P = \sqrt{3} \cdot 664.3 \cdot 3.14 \cos(35^\circ)$$

$$= 235.52 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 664.3 \cdot 3.14 \sin 35^\circ$$

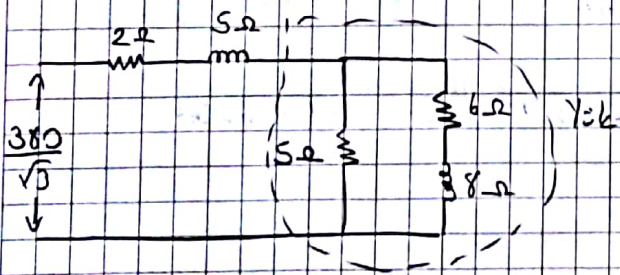
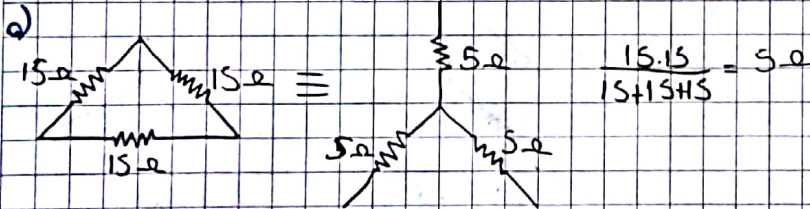
$$= 207.13 \text{ VAR}$$

(54)



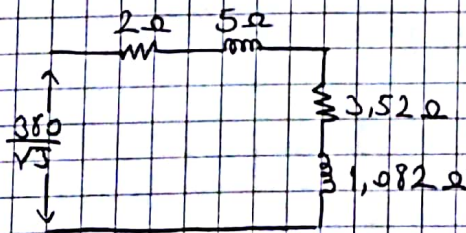
Şekildeki devre 3 fazlı 380V'lık gerilimle beslenmiştir.

- Şebekeden çekilen akımı bulunuz (I)
- Şebekeden çekilen toplam <sup>etkin</sup> güç bulunuz (P)
- A bloğunun çektiği toplam güç bulunuz (P<sub>A</sub>)
- B bloğunun çektiği toplam güç bulunuz (P<sub>B</sub>)



$$5 \parallel (6 + j8) \Omega \quad \frac{5 \cdot (6 + j8)}{5 + (6 + j8)} = 3,68 \angle 17,1^\circ$$

$$= 3,52 + j1,082$$



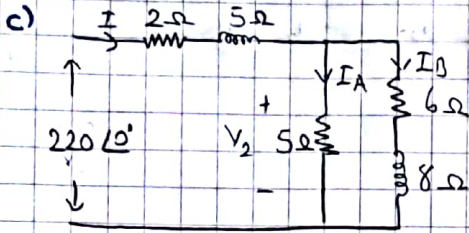
$$(2 + j5) + (3,52 + j1,082) = 5,52 + j6,082$$

$$I = \frac{380}{\sqrt{3}} \frac{1}{5,52 + j6,082} = 26,71 \angle -47,77^\circ$$

$$= \frac{17,95 - j13,77}{26,71 \angle -47,76^\circ} \text{ A}$$

$$b) P = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \overbrace{(17,35 - j13,77)}^{26,71} \cos 47,77^\circ = 11,82 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 26,71 \cdot \sin 47,77^\circ = 13,02 \text{ kVAr}$$



$$I \cdot (2 + j5) + V_2 = 220 \angle 0^\circ$$

$$(5,385 \angle 68,2^\circ) \cdot (26,71 \angle -47,77^\circ) + V_2 = 220 \angle 0^\circ$$

$$V_2 = 85,22 - j50,21 = 98,81 \angle -30,51^\circ$$

$$I_A = \frac{98,81 \angle -30,51^\circ}{5} = 19,762 \angle -30,51^\circ$$

$$I_B = \frac{98,81 \angle -30,51^\circ}{10 \angle 53,13^\circ} = 9,881 \angle -83,64^\circ$$

$$P_A = 3 \cdot I^2 \cdot R = 5,87 \text{ kW}$$

$$P_A = 3 \cdot 98,81 \cdot 19,762 \cdot \cos 53,13^\circ = 5,87 \text{ kW}$$

$$d) P_B = 3 \cdot I^2 \cdot R = 1,761 \text{ kW}$$

$$P_B = 3 \cdot 98,81 \cdot 19,762 \cdot \cos 53,13^\circ = 1,761 \text{ kW}$$

(55)

Örnek: 440V'lık hatton 250kW'lık 3 fazlı, güç katsayısı 0,707 ger (endüktif) güç faktörü ile aktılmaktadır. Bu yükte 3 fazlı 60kVA'lık bir kondansatör grubu paralel bağlandığında toplam aktif ve reaktif güç faktörünü bulunuz.

$$\cos^{-1}(0,707) = 45^\circ$$

$$P = 250 \text{ kW} \quad \left. \begin{array}{l} \sin 45^\circ = \cos 45^\circ \\ S_1 + S_2 = 250 + j250 - j60 = 250 + j190 = 314 \angle 37,23^\circ \text{ kVA} \end{array} \right\}$$

$$Q = 250 \text{ kVAr}$$

$$I = \frac{314 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 440} = 412 \text{ A}$$

$$S_1 = 250 + j250$$

$$S_2 = 0 + j60$$

Yeni güç faktörü  $\cos(37,23^\circ) = 0,796$  ger (endüktif)

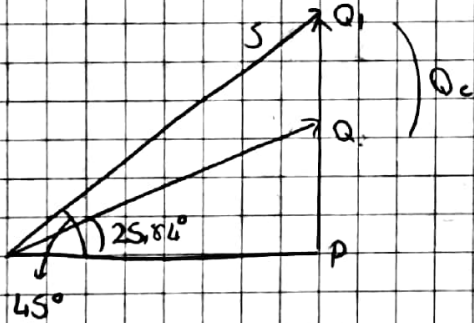
in bağlanması gereken kondansatör gücünü bulunuz ve kondansatör bağlandıktan sonra hat akımını hesaplayınız.

$$S_1 = 20 \text{ kVA}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1}(0,707) = 45^\circ$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(0,9) = 25,84^\circ$$

$$Q_1 = 14,14 \text{ kVAr} = 20 \cdot 0,707$$



$$Q_c = S_1 \cdot \frac{\cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2}{\cos \theta_2} = 6,85 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = 14,14 - 6,85 = 7,29 \text{ kVAr} \quad S = \frac{6,85 \cdot 10^3}{\sin(25,84)} = 15,72 \text{ kVA}$$

Kondansatör bağlanmadan önce akım  $I = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 52,5 \text{ A}$

Kondansatör bağlandıktan sonra akım  $I = \frac{15,72 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 41,2 \text{ A}$

(58)

Örnek: Güç faktörü 0,7 olan 600 kVA gücündeki endüktif bir yükün güç faktörü 0,95 yapılması isteniyor. Güç faktörünü yükseltmek için gerekli kondansatör grubunun gücünü bul.

$$P_1 = 45,57^\circ \quad P = 420 \text{ kW}$$

$$\varphi = 18,2^\circ$$

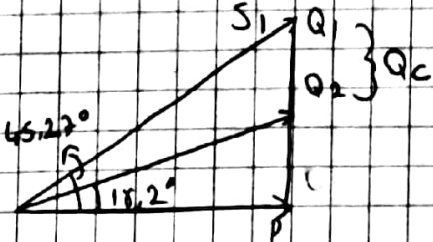
$$Q_1 = 428,5 \text{ kVAr}$$

$$S_2 \cdot \cos \varphi_2 = P$$

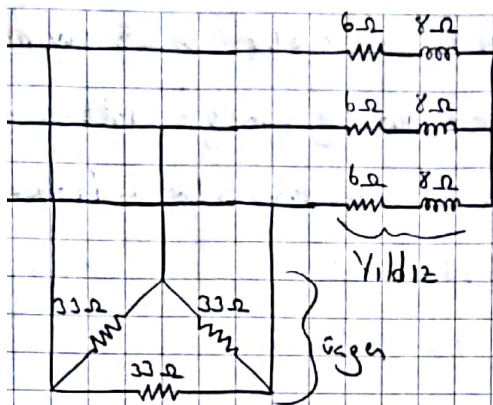
$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} = 442,1 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2 = 138,1 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 290,4 \text{ kVAr}$$



$$Q_c = S_1 \cdot \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2}$$



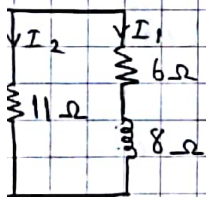
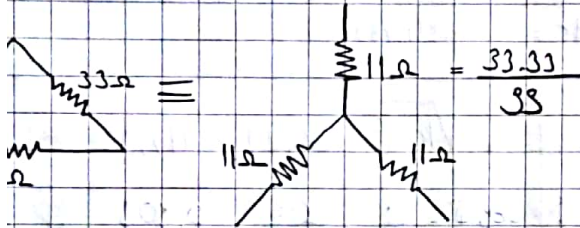
Şekildeki devre 3 fazlı 380V'lık

gerilim ile beslenmiştir, şebekeden çekilen

a) akımı (I)

b) Toplam etkin gücü (P)

c) Toplam reaktif gücü (Q) bulunuz.



$$11 \parallel (6 + j8) = 5,17 + j2,74 = 5,85 / 27,33^\circ$$

$$I = \frac{380 / \sqrt{3}}{5,85 / 27,33^\circ} = 37,5 / -27,33^\circ \text{ A}$$

$$\frac{220 / 0^\circ}{10 / 53,13^\circ} = 22 / 53,13^\circ \quad I_2 = \frac{380 / 0^\circ}{33} = 11,52 \quad I = I_1 + I_2 = 37,5 / -27,33^\circ \text{ A}$$

$\rightarrow 6 + j8$

$$37,5 \cdot \cos(27,33) = 21,81 \text{ kW} = P$$

$$10 \cdot 37,5 \cdot \sin(27,33) = 11,56 \text{ kVAR}$$

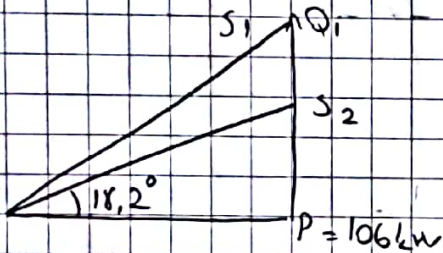
0,85

151101

$$P_{\text{Toplam}} = P_m + P_i = 81 + 25 = 106 \text{ kW}$$

$$S_1 = \sqrt{106^2 + (50,2)^2} = 117,3 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S_1} = \frac{106}{117,3} = 0,903 \quad \varphi_1 = 25,44^\circ$$



$$S_2 = \frac{106}{\cos(18,2)} = 111,6 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi = 34,85 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = Q - Q_2 = 50,2 - 34,85 = 15,35 \text{ kVAr}$$

Kondansatör sisteme için bağlı ise.

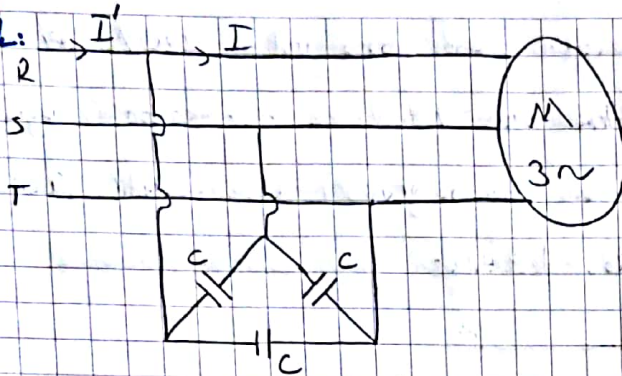
$$Q_c = 3 \cdot U_c \cdot I_c \quad I_c = 2\pi f C \cdot U_c$$

$$V = I \cdot R \quad I = \frac{V}{R} = \frac{V_c}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2\pi f C V_c$$

$$C = \frac{Q_c}{3 \cdot U_c^2 \cdot 2\pi f} = \frac{15,35 \cdot 10^3}{3 \cdot 380^2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 112,8 \mu\text{F}$$

(62)

Örneği:



Şekilde verilen motoru 380V

50Hz, çıkış gücü 50 kW, verimi %60

güç katsayısı 0,6'dır. Güç katsayısını 1

yapmak için şekilde görüldüğü gibi 3

kondansatör ügen tarafa bağlanıyor.

- a) Kondansatör bağlanmadan önce şebekeden çekilen akımı (I)  
 b) Kondansatörün kapasitesini (C)  
 c) Kondansatör bağlandıktan sonra şebekeden çekilen akımı (I') bulunuz.

$$a) P_{\text{çıkış}} = 50 \text{ kW}$$

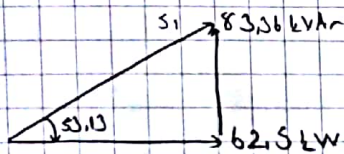
$$62,5 \times 10^3 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot I \cdot 0,6$$

$$P_{\text{giris}} = 50 \text{ kW} \cdot \frac{100}{80} = 62,5 \text{ kW}$$

$$I = 158,26 \text{ A}$$

$$b) P = 62,5 \text{ kW} \quad \cos \varphi = 0,6 \quad S = \frac{P}{\cos \varphi} = 104,2 \text{ kVA} \quad Q = 83,36 \text{ kVAR}$$

$$\varphi_1 = 53,13^\circ \quad \varphi_2 = 0^\circ$$



$$Q_c = 83,36 \text{ kVAR}$$

$$Q_c = 3 \cdot U_c \cdot I_c \quad I_c = 2\pi f C \cdot U_c$$

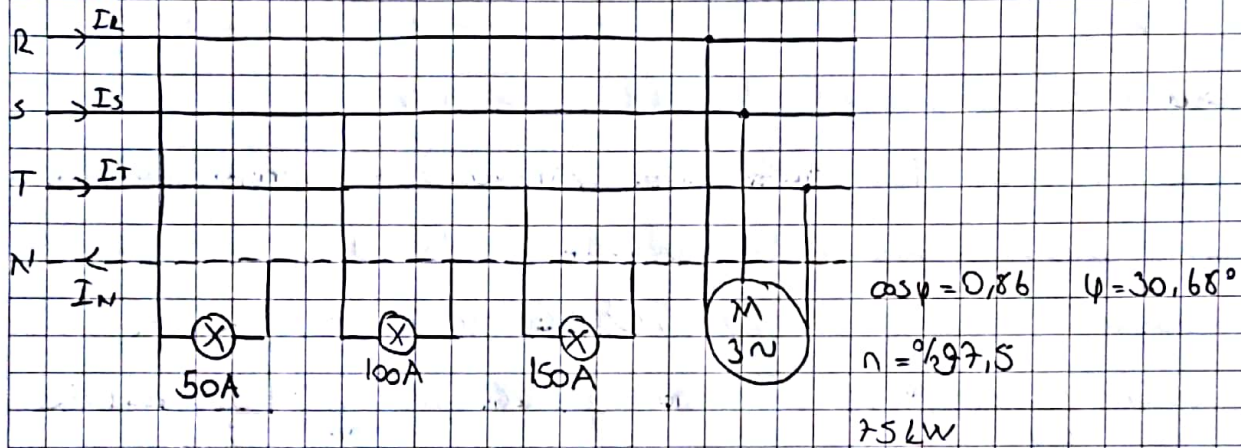
$$C = \frac{Q_c}{2\pi f \cdot 3 \cdot U_c^2} = \frac{83,36}{3 \cdot 380^2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 612,52 \mu\text{F}$$

$$c) S = 62,5 \text{ kW} \quad S = \frac{P}{\cos \varphi} = 62,5 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{62,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 94,86 \text{ A}$$

(64)

Örnek: Üç fazlı ve dört telli bir dağıtım hattının sonunda bina gerilimi 220/380V olan bir binadan 0,86 güç güc faktöründe verimi 0,975 olan 75 kW'lık bir motor ile aynı gün fazlardan 50, 100, 150 A'lık akıran filanarlı lamba grupları beslenmektedir. Şebekenin her 3 fazından geçen akımları bulunuz. Nötr iletkeninden geçen akımları bulunuz.



$$I = \frac{75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,975} = 135,8 \angle -30,68^\circ$$

$$I_R = 135,8 \angle -30,68^\circ \quad I_S = 135,8 \angle -150,68^\circ \quad I_T = 135,8 \angle -270,68^\circ$$

$$I_R = 135,8 \angle -30,68^\circ + 50 = 166,87 - j 63,34$$

$$I_S = 135,8 \angle -150,68^\circ + 100 \angle -120^\circ = -168,48 - j 150,15$$

$$I_T = 135,8 \angle -270,68^\circ + 150 \angle -240^\circ = -73,38 + j 265,8$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T = -75 + j 43,31 \text{ A}$$

(65)

Örnek: Fazlar arası gerilisi 440V olan 15 Hp'lık 3 fazlı bir motor tam yükte %90 verim %80 endüktif (güç) güç faktörü ile çalıştırılmaktadır. Motorun hatadan aldığı aktif ve reaktif güçleri hesaplayınız. (1 Hp 0,746 kW)

$$15 \cdot 0,746 = 11,19 \text{ kW} \quad P_{\text{giriş}} = \frac{10}{3} \cdot 11,19 \cdot 10^3 = 12,43 \text{ kW} \quad I = \frac{12,43 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0,8} = 20,33 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 440 \cdot 20,33 \cdot 0,8$$

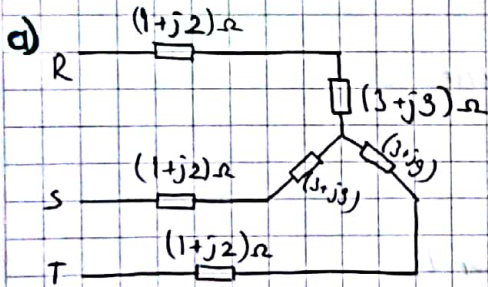
$$= 12,43 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 440 \cdot 20,33 \cdot 0,6 = 9,32 \text{ kVAR}$$

(67)

Örnek: Her bir  $3+j3 \Omega$  olan dengeli tek fazlı yükler 231/400 V'lık bir trafo merkezine üçgen yada yıldız olarak  $1+j2 \Omega$ 'lık hat ile bağlanacaktır.

- a) Yüklere sisteme yıldız bağlanması halinde } Şebekeden alınan güç, iletim hattındaki kayıp-  
b) " " üçgen " " } ları ve yükün büyüklüğünü watt olarak hesapla



$$\text{Hat başı faz nötr gerilisi } V = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V}$$

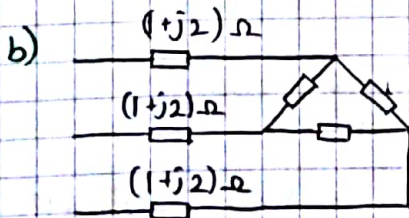
$$I_R = \frac{231}{1+j2} = 13,73 \angle -70^\circ \quad I_S = 13,73 \angle -130^\circ$$

$$I_T = 13,73 \angle -310^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 13,73 \cdot \cos 70^\circ = 4,675 \text{ kW}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot 1 \cdot (13,73)^2 = 11,7 \text{ kW}$$

$$P_{\text{yük}} = P - P_{\text{kayıp}} = 3,51 \text{ kW}$$



Üçgen yıldız dönüşümü

$$Z = \frac{(3+j3) \cdot (3+j3)}{3(3+j3)} = 1+j3 \quad Z_{\text{toplam}} = 2+j5$$

$$I_R = \frac{231}{2+j5} = 42,5 \angle -68,2^\circ \quad I_S = 42,5 \angle -188,2^\circ \quad I_T = 42,5 \angle -308,2^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 42,5 \cdot \cos(68,2) = 11,037 \text{ kW}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot 1 \cdot (42,5)^2 = 5,52 \text{ kW}$$

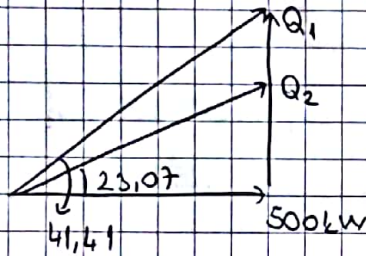
$$P_{\text{yük}} = 5,52 \text{ kW}$$

(68)

Örnek: 0,75 gerilim güç faktöründe 500 kW'lık belirli güç ihtiyacı olan bir işletmenin güç faktörü merkez kompanzasyon ile 0,92'ye yükseltilmiştir. İşletmenin giriş terminallerinde kompanzasyon sonrası gerilim 10 kV'tur.

a) Güç faktörünü iyileştirmek için kullanılacak kondansatör grubunun görünür eşdeğer kapasitesi bul.

b) Her kondansatör elemanının işletme gerilimi 2 kV olduğuna göre üçgen ve yıldız bağlama durumlarında toplam kaç kondansatöre ihtiyaç vardır.



$$\varphi_1 = 41,41^\circ$$

$$\varphi_2 = 23,07^\circ$$

$$Q_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} \sin \varphi_1 = 440,36 \text{ kVAR}$$

$$Q_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \sin \varphi_2 = 212,36 \text{ kVAR}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 228 \text{ kVAR}$$

$$Q_c = 3 \cdot I_{c\Delta} \cdot U_{c\Delta} \quad I_{c\Delta} = 2\pi f \cdot C_{\Delta} \cdot U_c \quad I_{cY} = 2\pi f C_Y V_c$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{3 \cdot 2\pi f \cdot U_{c\Delta}^2} = \frac{228 \cdot 10^3}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (10 \cdot 10^3)^2} = 2,42 \mu F \quad I_{c\Delta} = 7,60 \text{ A sisteme verilen akım}$$

$$\sqrt{3} \cdot I_{c\Delta} = 13,17 \text{ A}$$

$$C_Y = \frac{Q_c}{2\pi f V_c^2} = \frac{228 \cdot 10^3}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}\right)^2} = 7,26 \mu F \quad I_{cY} = 13,17 \text{ A}$$

Üçgen bağlamada  $\frac{10 \text{ kV}}{2 \text{ kV}} = 5$  kapasite gerekli:

$$\text{Her bir kapasitenin değeri } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} \quad \frac{1}{C} = \frac{5}{C_1} \quad C_1 = 5C = 12,1 \mu F$$

$$\text{Yıldız bağlamada } \frac{\frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3}}}{2} \approx 3 \text{ kapasite} \quad \frac{1}{C} = \frac{3}{C_1} \quad C_1 = 3C = 21,78 \mu F$$

## Per-Unit Quantities (Birim büyüklükler)

### 1) Introduction

In many engineering situation it is useful to scale or normalize dimensioned quantities. This is commonly done in power system analysis and instead of using volts, amperes, volt-amperes and ohms in the process of computation, it is frequently more convenient to express these electrical quantities in terms of "per unit" at some selected base or reference value of each of these quantities.

### 2) Per-Unit Quantities (Birim büyüklükler)

In power system analysis instead of using actual value of quantities, it is usual to express them as fractions at base values, such as rated or full load values.

$$\text{Per-unit values} = \frac{\text{Actual Value}}{\text{Base Value}}$$

The base value always has the same units as the actual value, forcing the per-unit values to be dimensionless. Further it should be noted that the base value is always a real number whereas the actual value may be complex.

#### 2.1) Per-Unit System Applied to Single Phase AC Circuits

$$|S_b| = |V_b| |I_b| \quad |Z_b| = \frac{|V_b|}{|I_b|}$$

$$|Z_b| = \frac{|V_b|}{|I_b|} = \frac{|V_b|^2}{|V_b| |I_b|} = \frac{|V_b|^2}{|S_b|}$$

24.11.2017

(7)

Ex: Given a 100V (rms) sinusoidal source in series with a 3 ohm resistor, an 8 ohm inductor and a 4 ohm capacitor. Solve the problem in per-unit on bases of  $|V_b| = 100V$  and  $|S_b| = 500VA$ .

(7)

Solution: Let us first find the base current and base impedance

$$|I_b| = \frac{|S_b|}{|V_b|} = \frac{500}{100} = 5 \text{ A}$$

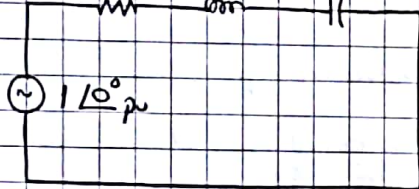
$$|Z_b| = \frac{|V_b|}{|I_b|} = \frac{|V_b|^2}{|S_b|} = \frac{(100)^2}{500} = 20 \, \Omega$$

Now we convert the circuit values to per-unit values (simdi devre degerlerini birim kosma degerine ceviriyoruz)

$$V_pu = \frac{V}{|V_b|} = \frac{100 \angle 0^\circ}{100} = 1 \angle 0^\circ \text{ (Voltage reference)}$$

$$R_{pu} = \frac{R}{|Z_b|} = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ pu}$$

$$R = 0,15 \text{ pu} \quad X_L = 0,4 \text{ pu} \quad X_C = 0,2 \text{ pu}$$



Circuit diagram representing per-unit values for the example

$$X_{Lpu} = \frac{X_L}{|Z_b|} = \frac{8}{20} = 0,4 \text{ pu}$$

$$X_{Cpu} = \frac{X_C}{|Z_b|} = \frac{4}{20} = 0,2 \text{ pu}$$

The total impedance

$$Z_{pu} = R_{pu} + j(X_{Lpu} - X_{Cpu})$$

$$Z_{pu} = 0,15 + j(0,40 - 0,20) = 0,25 \angle 53,1^\circ \text{ pu}$$

$$I_{pu} = \frac{V_{pu}}{Z_{pu}} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,25 \angle 53,1^\circ} = 4,0 \angle -53,1^\circ \text{ pu}$$

The actual value of current is (aktuel gercek degeri)

$$I = |I_b| \cdot |I_{pu}| = 20 \angle 53,1^\circ \text{ A}$$

(Low screenesi)  
Ventilasyon kaybı

**Ex:** A dc series machine rated at 220V, 100A has an armature resistance of  $0,15 \Omega$  and field resistance of  $0,2 \Omega$ . The friction and windage loss is 1650 W. Calculate the efficiency when operating as a motor.  
verim

**Solution:** Now the base values are the rated values of the machine. Thus, we have

$$|V_b| = 220V \quad |I_b| = 100A$$

$$V_{pu} = \frac{220/0^\circ}{220} = 1/0^\circ$$

$$|Z_b| = |R_b| = \frac{|V_b|}{|I_b|} = \frac{220}{100} = 2,2 \Omega$$

$$\text{total resistance } R = 0,35 \Omega = 0,15 + 0,2$$

$$I_{pu} = \frac{V_{pu}}{R_{pu}} = \frac{1}{0,153 pu}$$

$$\text{Thus } R_{pu} = \frac{R}{|R_b|} = \frac{0,35}{2,2} = 0,159 pu$$

Friction and windage loss in pu is

$$P_{fpu} = \frac{1650}{220 \times 100} = 0,075$$

At the total load, the copper-loss in pu is

$$I_{pu}^2 R_{pu} = 1^2 \times 0,159 = 0,159 pu$$

$$\text{and the total loss} = 0,159 + 0,075 = 0,234 pu$$

$$\text{Now the output} = 1 pu$$

$$\text{The efficiency} = \frac{1}{1 + 0,234} = 0,81 pu$$
  
verim

## 2.2 Per-unit system extended to three phase circuits

Thus, for a 3- $\phi$  system, we have

$$|S_{3\phi}| = \sqrt{3} |V_b| |I_b|$$

$$|I_b| = \frac{|S_{3\phi}|}{\sqrt{3} |V_b|} = \frac{|VA_b|}{\sqrt{3} |V_b|}$$

$$|Z_b| = \frac{|V_b|}{\sqrt{3} |I_b|}$$

$$|Z_b| = \frac{|V_b|^2}{\sqrt{3} |V_b| |I_b|} = \frac{|V_b|^2}{|S_{3\phi}|}$$

gerilim faz orası old için  $\sqrt{3}$  e bölünür

**Metal Dedektörleri:** Metal dedektörleri elektromagnetik dalgaların metale yansımaya uğrayış elektronik aygıtlardır.

### 3) Selection of base values

Bir transformatörde, bir motorda, bir generatörde bir değer hesaplanırken taban değer bu aygıtların ana değeri seçilir.

A base MVA may be chosen in the following manner. (Aşağıdaki şekilde seçilebilir)

- It may be equal to the MVA of the largest equipment in the system.
- It may be equal to the sum total of all the connected MVA.

### 4) Changing the base of per-unit quantities

For system 1

$$Z_{pu1} = Z_x \times \frac{\text{MVA}_{b1}}{(\text{kV}_{b1})^2}$$

↑ mega  
↓ kilo

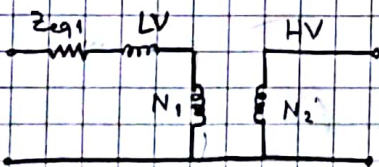
For system 2

$$Z_{pu2} = Z_x \times \frac{\text{MVA}_{b2}}{(\text{kV}_{b2})^2}$$

Eliminating  $Z$  from the above equations we get

$$Z_{pu2} = Z_{pu1} \times \frac{(\text{kV}_{b1})^2}{(\text{kV}_{b2})^2} \times \frac{\text{MVA}_{b1}}{\text{MVA}_{b2}}$$

### 5) Per-unit impedance of a two winding transformer



$$Z_{eq1pu} = Z_{eq1} \times \frac{\text{MVA}_{b1}}{(\text{kV}_{b1})^2}$$

→ Bir tek olduğu için b ye bir indisi gelmedi

transformatörde  
→ iki gerilim olduğu için 1 indisi geldi

$$Z_{eq2} = Z_{eq1} \times \frac{N_2^2}{N_1^2} = Z_{eq1} \times \frac{(\text{kV}_{b2})^2}{(\text{kV}_{b1})^2}$$

$$Z_{eq2pu} = Z_{eq2} \times \frac{\text{MVA}_{b1}}{(\text{kV}_{b1})^2}$$

Oranlara ile

$$Z_{eq2pu} = Z_{eq1} \times \frac{\text{MVA}_{b1}}{(\text{kV}_{b1})^2}$$

⇒ Önemli sonuç; bir transformatörün birincil yana ilişkin birim değer empedansı bu transformatörün ilincil yana ilişkin birim değer empedansıya eşittir.

$$Z_{eq, pu} = Z_{eq pu} = Z_{pu}$$

Benzer sonuç 3 fazlı transformatörler için de yapılabilir. Birim değerlerin enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılması nereden budur. Birim değerler transformatörün gerek birincil yanına gerekse ilincil yanına aynı alınmaktadır.

## Models and Performance of Transmission Lines (Enerji iletim hatları)

### 1) Introduction

In a transmission line the resistance, shunt conductance, inductance and shunt capacitance are distributed along the entire length of the line. In discussing the performance of the over-head transmission lines they are classified as short lines, medium lines and long lines.   
 (hava içi hat (direktli hat))

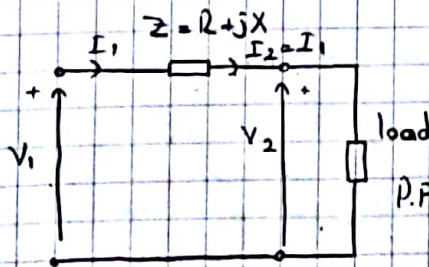
80 km < short line

80 km < medium line < 160 km

160 km < long line

### 2. Models of transmission lines

#### 2.1) Short line:

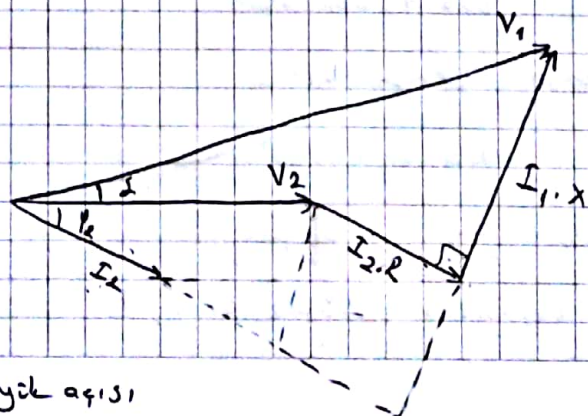


(Bu tür problemlerde tüketici referans alınır)

P.F. lagging (endüktif) leading (kapasitif yük)

$$V_1 = V_2 + Z I_2$$

$$I_1 = I_2$$



$\delta$  - yük açısı

Kağıtlık Odun



Odun Hazırlama



Rutubetlendirme  
havuzu



Kağıt kovu  
hazırlama



Elek portisi



Pres portisi



Kuvveto Portisi



Kalandere



Mal serisi



Böbin kesme



Anbalejlama



Stok, Manü  
ambor



Tüketici

Kojenerasyon

Su & ilet dırın kuyu

Elektrik Edas + Generatör

Kağıtlık odun Orman işletmesi

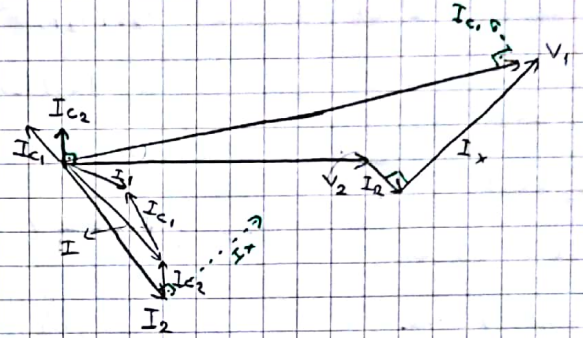
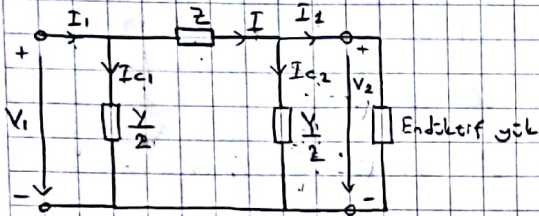
Sekiz Dolanım + ithal

Fırlı fabrika günü 330 gün

07.12.2017

**Orta hatlar:** 80 km ile 160 km arasındaki hatlara orta hat adı verilir.

**π modeli:**



**Denklemler**

$$I_{c2} = \frac{Y}{2} \cdot V_2$$

$$V = I \cdot Z$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$I = I_{c2} + I_2 = \frac{Y}{2} V_2 + I_2$$

$$V_1 = V_2 + Z \cdot I$$

$$V_1 = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_2 + Z I_2$$

aynı zamanda

$$I_{c1} = \frac{Y}{2} \cdot V_1$$

$$I_{c1} = \left[\left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_2 + Z I_2\right] \frac{Y}{2}$$

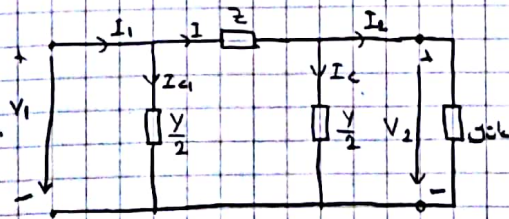
$$I_1 = I + I_{c1}$$

$$I_1 = Y \left(1 + \frac{YZ}{4}\right) V_2 + \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) I_2$$

$$\frac{I}{oh} = 1.5 = 1 + ho$$

$$120 + j0.9 \Omega$$

**Ör:** 220 kV'lık 3 fazlı orta hattın faz başına empedansı  $100 \Omega$  olup faz başına admittansı  $j0.001 \text{ mho}$  dur. Hat sonundan 0.8 endüktif güç katsayısında 200 A'lık akım çekilmektedir. "π" modelini kullanarak hat boş akım ve gerilimini bulunuz.



Görüntü 5'e bak  
Etkin değer

Hatı sarı gerilimi

$$|V_1| = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$

$$|I_2| = 200 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,8$$

$$Z = 20 + j100 \text{ ohm}$$

$$Y = j0,001 \text{ mho}$$

Hatı sarı gerilimini referans alalım

$$V_2 = |V_2| \angle 0^\circ = 127 \angle 0^\circ$$

$$I_2 = |I_2| (\cos \varphi_2 - j \sin \varphi_2)$$

$$= 200 (0,8 - j0,6) = 160 - j120$$

$$I_{c2} = \frac{Y}{2} V_2 = j0,5 \times 10^{-3} \times 127 \times 10^3 = j63,5 \text{ A}$$

$$I = I_2 + I_{c2} = (160 - j120) + j63,5 = (160 - j56,5) \text{ A}$$

Seri empedansdaki gerilim düşümü

$$IZ = (160 - j56,5)(20 + j100)$$

$$= (18850 + j14870) \text{ V}$$

$$V_1 = V_2 + IZ$$

$$= 127 + (18850 + j14870) \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$= 135,85 + j14,87 \text{ V}$$

$$= 136,66 \angle 6,26^\circ \text{ V} \quad // \rightarrow \text{Hatı sarı gerilimi}$$

$$I_{c1} = \frac{Y}{2} V_1 = j0,5 \times 10^{-3} (135,85 + j14,87) \times 10^3 \text{ A}$$

$$= (-7,435 + j67,325) \text{ A}$$

$$I_1 = I_{c1} + I = (-7,435 + j67,325) + 160 - j56,5 \text{ A}$$

$$= 152,562 + j11,425 \text{ A}$$

$$= 152,94 \angle 4,28^\circ \text{ A} \rightarrow \text{Hatı sarı Akımı}$$

$$V_2 + I_2 Z = \left(1 + \frac{Y Z}{2}\right) I_2 + Y V_2$$

$$\left(1 + \frac{Y Z}{2}\right) V_2 + Z \left(1 + \frac{Y Z}{4}\right) I_2$$

kara uzun hat denir.

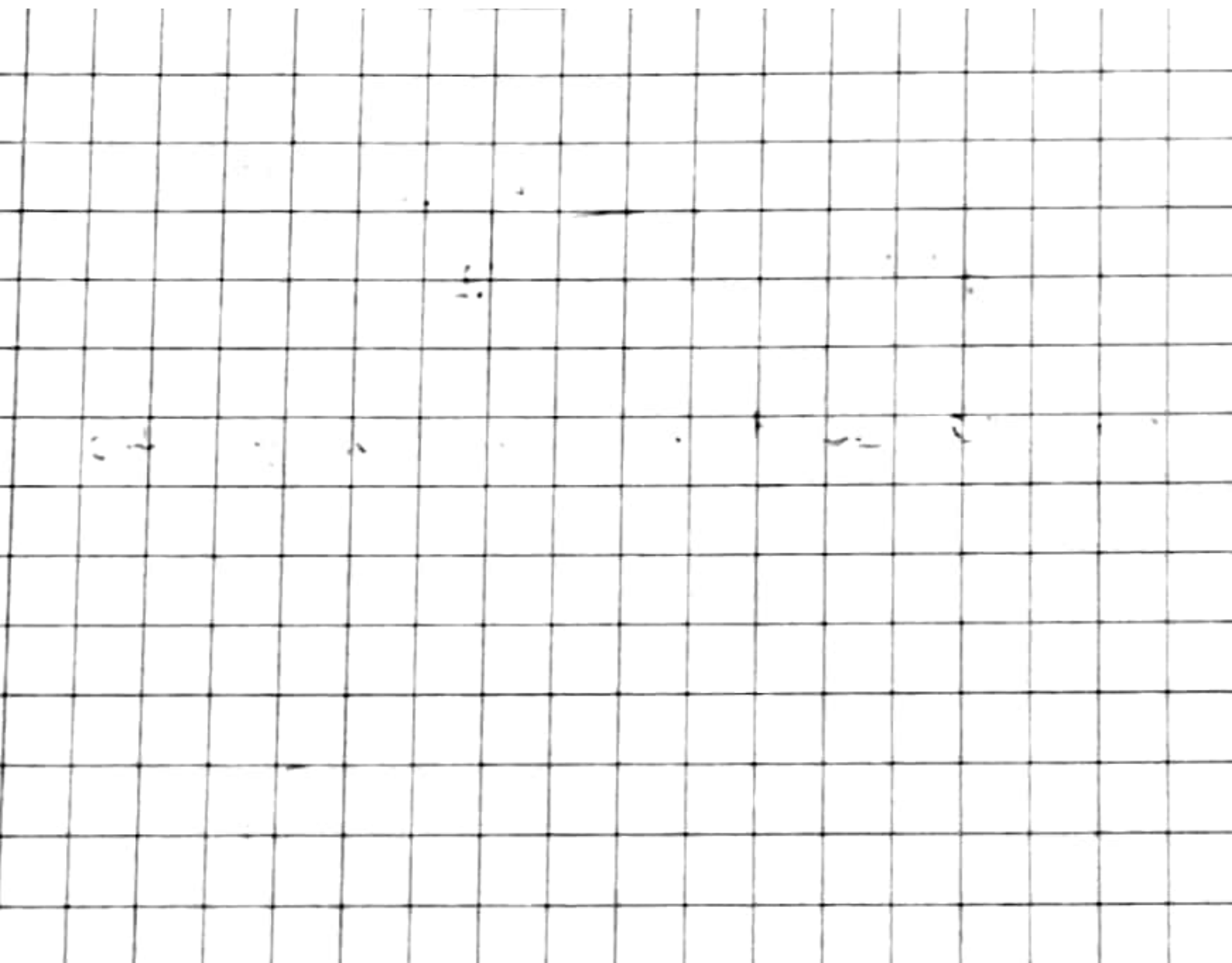
Gdx  $\rightarrow$  sızıntı direnci

$$V_0 = V_2$$

$$I_0 = I_2$$

✓





$$V(0) = V_2$$

$$I(0) = I_2$$

Böylece

$$A = \frac{V_2 + I_2 Z_c}{2}$$

$$B = \frac{V_2 - I_2 Z_c}{2}$$

Daklamlar

$$V(x) = \frac{V_2 + I_2 Z_c}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_2 - I_2 Z_c}{2} e^{-\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{V_2 / Z_c + I_2}{2} e^{\gamma x} - \frac{V_2 / Z_c - I_2}{2} e^{-\gamma x}$$

$$\left. \begin{aligned} V(x) &= V_2 \cosh \gamma x + I_2 Z_c \sinh \gamma x \\ I(x) &= \frac{V_2}{Z_c} \sinh \gamma x + I_2 \cosh \gamma x \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Uzun hatlar denklemleri} \\ \text{hat uzunluğu} \end{array}$$

Karakteristik empedans ve yayılım sabiti birer kompleks sayıdır yani  $j$  içerirler.

$$\cosh \gamma l = \cosh(\alpha + j\beta)l = \cosh \alpha l \cos \beta l + j \sinh \alpha l \sin \beta l$$

$$\sinh \gamma l = \sinh(\alpha + j\beta)l = \sinh \alpha l \cosh \beta l + j \cosh \alpha l \sinh \beta l$$

$$\begin{matrix} \text{fz nör} \\ \rightarrow \end{matrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \rightarrow \text{fz nör}$$

Uzun Hattın Dalgalarının Yorumu

cos - gerçel sin - reel kısım

$$V(x) = A e^{\gamma x} + B e^{-\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_c} (A e^{\gamma x} - B e^{-\gamma x}) \quad \text{ifadelerini zaman bölgesinde yazalım.}$$

$$V(x) = \sqrt{2} |A| e^{\alpha x} \sin(\omega t + \beta x + \psi_1) + \sqrt{2} |B| e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x + \psi_2)$$

$$i(t) = \frac{\sqrt{2} |A| e^{\alpha x}}{|Z_c|} \sin(\omega t + \beta x + \psi_1 - \theta) - \frac{\sqrt{2} |B| e^{-\alpha x}}{|Z_c|} \sin(\omega t - \beta x + \psi_2 - \theta)$$

?

Burada  $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$

$A = |A| e^{j\psi_1}$   $B = |B| e^{j\psi_2}$

$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{b \rightarrow y}} = R_c + jX_c = |Z_c| e^{j\theta}$

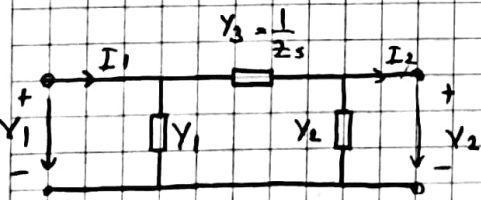
Bu iki ifadenin her ikisinde iki tane gürzen dalgadan oluşmuştur. Birinci terimin uzaklık arttıkça gelliği büyüyor ikinci terimin için tersi söz konusudur, yani uzaklık arttıkça gelliği zayıflar. Bu dalgalardan birincisine ilerleyen dalgası, yada ilerleyen dalga, ilincisine ise yansıyan dalga ve geriye gelen dalga adı verilir. Bu bileşenler dalga olarak adlandırılırlar. Çünkü bunlar faz hızı adını verdığımız hızla hareket ederler. Yürüyen dalganın faz hızı aynı fazlı dalgayı gözetleyerek hareket eden gözlemcinin hızı olarak tanımlanır.

$\omega t - \beta x + \psi_2 = \text{sabit}$

buradan  $\frac{d}{dt}(\omega t - \beta x + \psi_2) = 0$   $\frac{dx}{dt} = v_p = \frac{\omega}{\beta}$

aynı düşünce 1. bileşeninde uygulanarak hız için değişik işaretli benzer bir ifade bulunabilir.

Uzun hatların Tü eşdeğer devresi:



Uzun hatların denklemleri:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_2 \cosh \gamma L + I_2 Z_c \sinh \gamma L \\ I_1 &= \frac{V_2}{Z_c} \sinh \gamma L + I_2 \cosh \gamma L \end{aligned} \right\} \text{I}$$

Devre için

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= (Y_2 Z_s + 1) V_2 + Z_s I_2 \\ I_1 &= (Y_2 Z_s Y_1 + Y_1 + Y_2) V_2 + (Z_s Y_1 + 1) I_2 \end{aligned} \right\} \text{II}$$
 yazılabilir.

Bu iki denklemin çözümünü karşılaştıralım ( $I = II$ )

$$\cosh \gamma L = 1 + Z_3 Y_2$$

$$Z_c \sinh \gamma L = Z_3$$

$$\frac{\sinh \gamma L}{Z_c} = (1 + Z_3 Y_2) Y_1 + Y_2$$

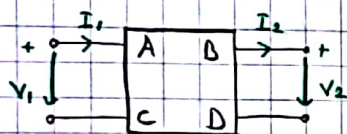
$$\cosh \gamma L = 1 + Z_3 Y_1$$

⇒ Bu iki denklemin çözümünü çözelim

$$Y_1 = Y_2 = \frac{1}{Z_c} \cdot \frac{\tanh \gamma L}{2}$$

$$Y_3 = \frac{1}{Z_c} = \frac{1}{Z_c \sinh \gamma L}$$

### ABCD Parametreleri



Karşılık devrelerin çözülmesi sık sık iki dalgadaki alan gerilim ve güç ifadelerinin bulunmasıyla olur. Bu tür problemler 4 ucu veya iki kapılı devreler yardımıyla kolayca çözümlenebilir.

Güçel bir iki kapılı devre şeklinde gösterilmektedir.

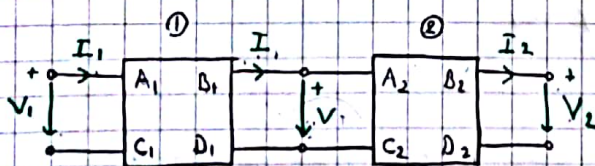
$$V_1 = AV_2 + BI_2$$

$V_1, V_2$  = faz nötr gerilimleridir.

$$I_1 = CV_2 + DI_2$$

$$AD - BC = 1$$

### Kaskat Bağlı Hatlar



(1)'inci iletim hattı için

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix}$$

(2)'inci iletim hattı için

Her ikisinin birleştirilmesi

$$\begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

veya

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A & C \\ B & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 A_2 + B_1 C_2 & A_1 B_2 + B_1 D_2 \\ C_1 A_2 + D_1 C_2 & C_1 B_2 + D_1 D_2 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} A = A_1 A_2 + B_1 C_2 & B = A_1 B_2 + B_1 D_2 \\ C = C_1 A_2 + D_1 C_2 & D = C_1 B_2 + D_1 D_2 \end{matrix}$$

ABCD Parametreleri Cinsinden Güç İfadeleri:

Hat sonu gücü:

Hat sonu alınır;  $I_2 = \frac{V_1 - AV_2}{B}$  Buradan  $A = |A|/\alpha$   $B = |B|/\beta$  ile gösterelim,  
 $V_2 = |V_2|/0^\circ$   $V_1 = V_1/\delta$

Hat sonundaki görünür güç

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = V_2 \cdot I_2^* \rightarrow$$

Hat sonu olan denklemleri tekrar yazalım

$$I_2 = \frac{|V_1|/\delta - |A|/\alpha |V_2|/0^\circ}{|B|/\beta} \quad I_2 = \frac{|V_1|}{|B|} \frac{1/\delta - \beta}{1/\alpha} - \frac{|A|}{|B|} |V_2|/\alpha - \beta$$

$I_2$ 'nin eşleniği

$$I_2^* = \frac{|V_1|}{B} \frac{1/\beta - \delta}{1/\alpha} - \frac{|A|}{|B|} |V_2|/\beta - \alpha$$

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = \frac{|V_1| |V_2|}{|B|} \frac{1/\beta - \delta}{1/\alpha} - \frac{|A|}{|B|} |V_2|^2 \frac{1/\beta - \alpha}{1/\alpha}$$

Hat sonundan çekilen faz basına etkin güç

$$P_2 = \frac{|V_1| |V_2|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V_2|^2 \cos(\beta - \alpha)$$

Hat sonundan çekilen faz basına reaktif güç

$$Q_2 = \frac{|V_1| |V_2|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V_2|^2 \sin(\beta - \alpha)$$

Buradan

$$I_1 = \frac{DV_1 - V_2}{D} \quad D = |D| \angle \Delta \text{ diyelim}$$

$$I_1 = \frac{|D| \angle \Delta |V_1| \angle \delta - |V_2| \angle 0^\circ}{|D| \angle \Delta}$$

$$I_1 = \frac{|D|}{|D|} |V_1| \angle (\Delta + \delta - \beta) - \frac{|V_2|}{|D|} \angle -\beta$$

$I_2$ 'nin eşleğini bulalım

$$I_2^* = \frac{|D|}{|D|} |V_1| \angle -\Delta - \delta + \beta - \frac{|V_2|}{|D|} \angle \beta$$

Hat beslediği güç

$$S_1 = P_1 + jQ_1 = V_2 I_2^*$$

$$S_1 = |V_1|^2 \frac{|D|}{|D|} \angle \beta - \Delta - \frac{|V_1||V_2|}{|D|} \angle \beta + \delta$$

Etkin güç

$$P_1 = \frac{|D|}{|D|} |V_1|^2 \cos(\beta - \Delta) - \frac{|V_1||V_2|}{|D|} \cos(\beta + \delta)$$

Tepkili güç

$$Q_1 = \frac{|D|}{|D|} |V_1|^2 \sin(\beta - \Delta) - \frac{|V_1||V_2|}{|D|} \sin(\beta + \delta)$$

Uzun Hattın Giriş Empedansı

Bir hattın giriş empedansı, hat başı geriliminin hat başı akımına oranı olarak tanımlanır.

$$\cos \phi = 1$$

**Örnek.** Bir sanayi tüketicisi için giriş gücü 25 MVA dan birin güç katıyılı bir transformatöre gereksinim vardır. Transformatöründe 8 saat tam yükte ve günün geri kalan saatlerinde ise boşta çalışacaktır. Bu iş için fiyatları aynı olan iki transformatörden birini seçimi söz konusudur. (A) transformatörünün tam yük verimi %98,8 boşta çalışma kayıpları ise %0,5 dir. (B) transformatörünün tam yükte verimi %98,8 boşta çalışma kayıpları %0,3 tür.

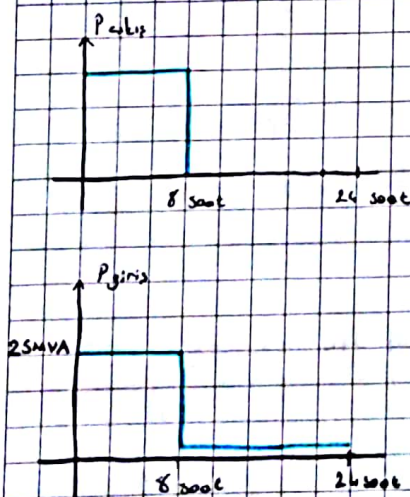
a) Bu koşullar altında A ve B transformatörlerinin tam gün enerji verimlerini bulunuz.

b) Enerjinin 1 kWh fiyatı 0,50 ₺ olduğuna göre (A) transformatöründe bir yılda kaybolan enerjinin fiyatı nedir?

c) (A) transformatöründe 1 yılda kaybolan enerjinin fiyatıyla askari ücretle geçinen bir aile bir yıl kaç geçimini sağlar. Asgari ücret 1400 ₺.

$$\text{tam gün enerji verimi} = \frac{24 \text{ saat boyunca enerji çıkışı}}{24 \text{ saat boyunca enerji girişi}}$$

$$\text{yıllık enerji verimi} = \frac{\text{Bir yıl boyunca enerji çıkışı}}{\text{Bir yıl boyunca enerji girişi}}$$



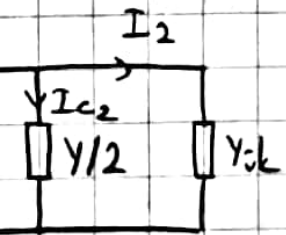
a) (A) transformatörünün tam gün enerji verimi

$$\frac{8 \times 25 \times 10^3 \times 0,988}{8 \times 25 \times 10^3 + 25 \times 10^3 \times 0,005 \times 16} = \%98,8$$

0,515

hattın parametreleri:  $R=12 \Omega/\text{faz}$   $X=20 \Omega/\text{faz}$   $Y=j5 \cdot 10^{-4} \text{ nhol/faz}$

12 MW'lık yük 0,8 endüktif güç katsayısında çekmekte hat  
ta ve güç katsayısını hattın  $\pi$  eşdeğer devresinden yararlanarak



$$P = 3 \cdot V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

$$V_2 = 66 \text{ kV} / \sqrt{3} = 38,105 \text{ kV} \quad P = 12 \text{ MW} \quad \cos \varphi = 0,8$$

$$Z = 23,323 \angle 59,04^\circ \quad P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_2 = \underline{\underline{131,22 \text{ A}}}$$

$$I_2 = 131,22 \text{ A}$$

$$j2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 38,105 \cdot 10^3 = j9,53 \text{ A}$$

$$74 \angle -33,4^\circ \text{ A}$$

$$V_1 = 40,77 \angle 1,78^\circ \text{ kV}$$

$$V_1 + I = j2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 40,77 \angle 1,78^\circ \text{ kV} + 125,74 \angle -33,4^\circ$$

$$I_1 = 120,16 \angle -23,42^\circ \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot 40,77 \cdot 10^3 \cdot 120,16 \cdot \cos(1,78 + 23,42) = 12,57 \text{ MW}$$

$$S = 3 \cdot 40,77 \cdot 10^3 \cdot 120,16 = 14,63 \text{ MVA}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \underline{\underline{0,86}}$$

31) 132 kV'lık 3 fazlı 50 Hz 160 km uzun hat aşağıdaki parametrelere sahiptir.  
 $L = 1,256 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$ ,  $C = 8,75 \cdot 10^{-9} \text{ F/km}$ ,  $R = 0,157 \Omega/\text{km}$ ,  $G = 0$ . Hat sonunda  
 50 MVA'lık 0,8 endüktif güç katsayılı yük bağlanmıştır. Buna göre hat başı  
 akımını, gerilimini ve güç katsayısını bulunuz.

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad \omega = 2\pi f$$

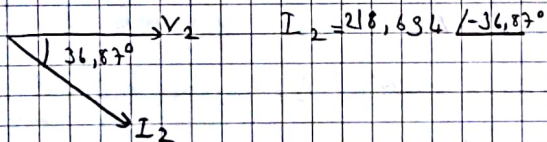
$$Z = 0,157 + j100\pi \cdot 1,256 \cdot 10^{-3} = 0,425 \angle 68,304^\circ$$

$$Y = j100\pi \cdot 8,75 \cdot 10^{-9} = 2,75 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 393,123 \angle -10,85^\circ$$

$$\gamma L = 160 \sqrt{ZY} = 160 \sqrt{0,425 \angle 68,304^\circ \cdot 2,75 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ} = 0,173 \angle 79,15^\circ = 0,033 + j0,17$$

$$V_2 = \frac{132}{\sqrt{3}} = 76,21 \text{ kV} \quad I_2 = \frac{S_2}{3V_2} = \frac{50 \text{ MVA}}{3 \cdot 76,21 \text{ kV}} = 218,684 \text{ A}$$



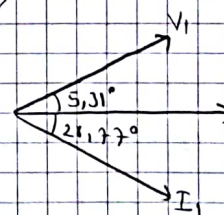
$$\gamma L = \alpha L + j\beta L = 0,033 + j0,17$$

$$\begin{aligned} \cosh \gamma L &= \cosh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \sinh \alpha L \cdot \sin \beta L \\ &= \cosh 0,033 \cdot \cos 0,17 + j \sinh 0,033 \cdot \sin 0,17 \\ &= 0,986 + j5,584 \cdot 10^{-3} = 0,986 \angle 5,43 \cdot 10^{-3} = 0,986 \angle 0,12^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sinh \gamma L &= \sinh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \cosh \alpha L \cdot \sin \beta L \\ &= \sinh 0,033 \cdot \cos 0,17 + j \cosh 0,033 \cdot \sin 0,17 \\ &= 0,032 + j0,163 = 0,172 \angle 79,21^\circ \end{aligned}$$

$$V_1 = V_2 \cosh \gamma L + I_2 \cdot Z_c \sinh \gamma L = 88,12 \angle 5,31^\circ \text{ kV}$$

$$I_1 = I_2 \cosh \gamma L + \frac{V_2}{Z_c} \sinh \gamma L = 137,534 \angle -28,77^\circ$$



$$\begin{aligned} P &= 3 V_1 I_1 \cos \varphi_1 \\ &= 43,25 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{hat başı faz açısı gerilim} \\ \sqrt{3} V_1 &= 152,63 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$Z = R + j\omega L = 0,15 + j100\pi \cdot 1,615 \cdot 10^{-3} \quad Z = 0,15 + j0,51 = 0,532 \angle 73,61^\circ$$

$$Y = G + j\omega C = \frac{1}{j100\pi \cdot 6,884 \cdot 10^{-3}} \quad Y = j2,1627 \cdot 10^{-6} = 2,1627 \cdot 10^{-6} \angle 90^\circ$$

$$L = 200 \sqrt{ZY} = 0,03056 + j0,2123 \Rightarrow \alpha L + j\beta L = 0,03056 + j0,2123$$

$$\cosh \gamma L = \cosh \alpha L \cdot \cosh \beta L + j \sinh \alpha L \cdot \sinh \beta L = 0,978 + j6,44 \cdot 10^{-3} = 0,978 \angle 0,38^\circ$$

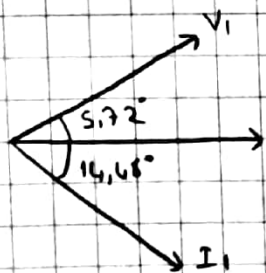
$$\sinh \gamma L = \sinh \alpha L \cdot \cosh \beta L + \cosh \alpha L \cdot \sinh \beta L = 0,0299 + j0,21081 = 0,213 \angle 81,93^\circ$$

$$V_2 = \frac{220 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 127,02 \text{ kV} \quad I_2 = \frac{P_2}{3 \cdot V_2 \cdot \cos \varphi_2} = 185,242 \text{ A} = 185,242 \angle 31,78^\circ$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 485,373 \angle -8,95^\circ$$

$$V_1 = V_2 \cdot \cosh \gamma L + I_2 \cdot Z_c \cdot \sinh \gamma L = 133,476 \text{ kV} \angle 5,72^\circ$$

$$I_1 = I_2 \cdot \cosh \gamma L + \frac{V_2 \sinh \gamma L}{Z_c} = 159,57 \angle -14,48^\circ \text{ A}$$



$$\cos \varphi_1 = 0,94 = ?$$

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 62,76 \text{ MW}$$

Hat bosi faz orosi qarilin  $\sqrt{3} \cdot V_1 = 241,58 \text{ kV}$

Hat bosi dlin  $159,57 \angle -14,48^\circ$

3 fazlı 50 Hz'lik uzun hatın parametreleri aşağıdaki gibidir

$$R = 0.1 \Omega/km, L = 1.5 \cdot 10^{-3} H/km, C = 8 \cdot 10^{-9} F/km, G = 4 \cdot 10^{-6} \mu ho/km$$

Hat son gerilini 380 kV dir. Hat yuksüzdür. Aşağıdaki durumlarda olası gerilimin, hat sonundaki day geriliminin faz açısını referans alarak etkin değeri ve faz açısı bulunuz.

a) Hat sonundaki day gerilimi

b) Hat sonundaki yansyan gerilimi

$$\text{Hat yuksüzken } I_2 = 0$$

c) Hat sonundan 150 km uzaklık için day gerilimi

$$\text{Hat sonu} \Rightarrow \frac{380 kV}{\sqrt{3}} = 220 kV$$

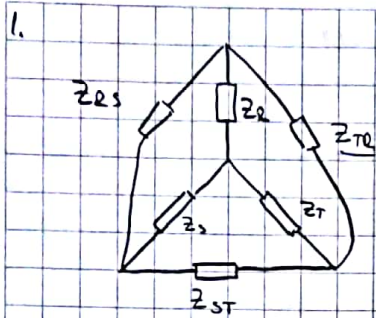
d) " " " " " " yansyan gerilimi

e) " " " " " " toplam "

$$a) V_2^+ = \frac{|V_2| + I_2 \cdot Z_c}{2} = \frac{220 kV + 0}{2} = 110 kV$$

$$b) V_2^- = \frac{|V_2| - I_2 \cdot Z_c}{2} = 110 kV$$

2016 BSc Vize



$$Z_{RS} = \frac{Z_R \cdot Z_T + Z_R \cdot Z_S + Z_S \cdot Z_T}{Z_T} = (24 - j66) +$$

$$Z_{TL} = \frac{Z_R \cdot Z_T + Z_R \cdot Z_S + Z_S \cdot Z_T}{Z_S}$$

$$Z_{ST} = \frac{Z_R \cdot Z_T + Z_R \cdot Z_S + Z_S \cdot Z_T}{Z_R}$$

$$V_{RS} = 380 \angle 0^\circ \quad I_{RS} = \frac{V_{RS}}{Z_{RS}}$$

$$Z_R = (8 - j6) \Omega$$

$$Z_S = (5 + j4) \Omega$$

$$Z_T = (8 - j5) \Omega$$

$$V_{ST} = 380 \angle -120^\circ \quad I_{ST} = \frac{V_{ST}}{Z_{ST}}$$

$$V_{TL} = 380 \angle +120^\circ \quad I_{TL} = \frac{V_{TL}}{Z_{TL}}$$

$$I_R = I_{RS} - I_{TL}$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS}$$

$$I_T = I_{TL} - I_{ST}$$

$$P_T = I_R^2 \cdot Z_{RS} + I_S^2 \cdot Z_{ST} + I_T^2 \cdot Z_{TL}$$

$$Q_T = I_R^2 \cdot j Z_{RS} + I_S^2 \cdot j Z_{ST} + I_T^2 \cdot j Z_{TL}$$

$$P = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi}$$

Q =

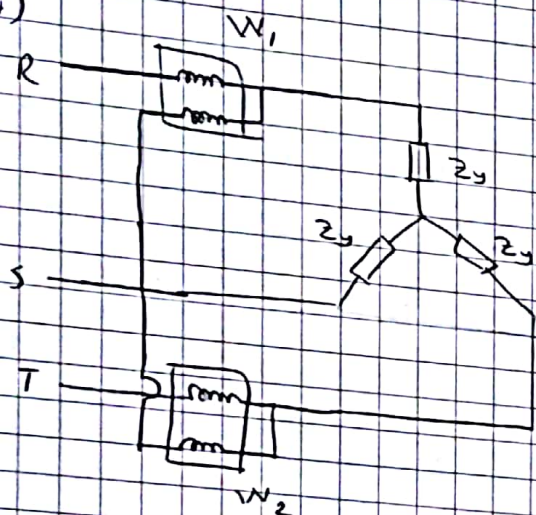
2) Birincil gerilim 14,6 kV

ikincil gerilim 220 kV

$$\text{Birincil akım} = \frac{60,3 \cdot 10^6}{14,6 \cdot 10^3 \cdot 2} = 2033,75 \text{ A}$$

$$\text{ikincil akım} = \frac{60,3 \cdot 10^6}{220 \cdot 10^3 \cdot 2} = 137,04 \text{ A}$$

4)



$$P_T = P_1 + P_2$$

$$Q_T = \sqrt{3} (P_2 - P_1)$$

$$V_{RT} = I_{RT} \cdot Z_Y$$

$$I_{RT} = \frac{220 \angle -260^\circ}{8 + j6} = 22 \text{ A}$$

$$P_T = 3 \cdot I^2 R = 3 \cdot 22^2 \cdot 8 = 11,616 \text{ kW}$$

$$Q_T = 3 \cdot I^2 X_L = 3 \cdot 22^2 \cdot 6 = 8,712 \text{ kVA}$$

$$P_1 + P_2 = 11,616 \text{ kW}$$

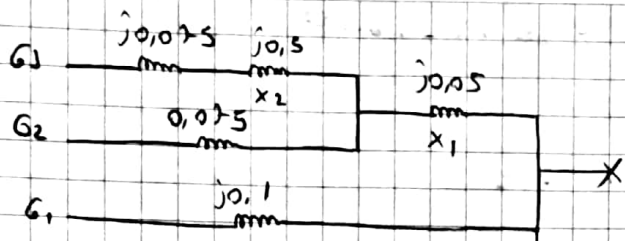
$$P_2 - P_1 = \frac{8,712 \text{ kVA}}{\sqrt{3}}$$

$$+$$

$$P_1 = 3,23 \text{ kW}$$

$$P_2 = 8,322 \text{ kW}$$

26 soru 1



$$Z_{22} = Z_{21} \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

$$S_2 = 10 \text{ MVA}$$

$$\frac{S_2}{Z_{pu}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_k$$

$$G_3 \Rightarrow Z_{G3} = 0,15 \cdot \frac{10}{20} = j0,075$$

$$X_2 = 0,04 \cdot \frac{10}{8} = j0,5$$

$$G_2 = 0,15 \cdot \frac{10}{20} = j0,075$$

$$X_1 = 0,05 \cdot \frac{10}{10} = j0,05$$

$$G_1 = 0,1 \cdot \frac{10}{10} = j0,1$$

$$Z_{pu} = 3,208524 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{10 \cdot 10^6}{3,208524 \cdot 10^3} = \sqrt{3} \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot I_k$$

$$I_k = 56337,61 \text{ A}$$

$$3.219,33 \cdot 10^3 \cdot 0,6$$

$\frac{1}{2}$

$$V_2 = \hat{I}_{c2} \cdot \frac{1}{\frac{Y}{2}} \quad \hat{I}_{c2} = V_2 \cdot \frac{Y}{2} = 219,33 \cdot 10^3 \cdot \underline{j0,6}$$

$$\hat{I} = \hat{I}_2 + \hat{I}_{c2} \quad V_1 = \hat{I} \cdot Z + V_2$$

$$V_1 = (\hat{I}_2 + \hat{I}_{c2}) \cdot Z + 219,33 \cdot 10^3$$

$$V_1 = 215,063 \cdot 10^3 + j1,653 \cdot 10^3 = 215,076 \cdot 10^3 \underline{0,44^\circ}$$

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_{c1} + \hat{I}$$

$$V_1 = \hat{I}_{c1} \cdot \frac{1}{\frac{Y}{2}} \quad \hat{I}_{c1} = V_1 \cdot \frac{Y}{2} = 107,538 \angle$$

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_{c1} + \hat{I} \Rightarrow \hat{I}_1 = \hat{I}_{c1} + \hat{I}_{c2} + \hat{I}_2 = 137,435 \angle$$

26-3

$$Z = R + j\omega L = 74 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} + j \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1,212 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} = 74 \cdot 10^{-9} + j 1,212 \cdot 10^{-7} = 1,42 \cdot 10^{-7} \angle 51,53^\circ$$

$$Y = G + j\omega C = j \cdot 100 \cdot 3,577 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3} = j 3,577 \cdot 10^{-13} \sim 1,6 \mu\text{S} \quad 3,577 \cdot 10^{-13} / 30$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 385,061 \angle -15,75^\circ \Rightarrow \left( \frac{51,53 - 30}{2} \right) Z_c = -384,72 + j 16,11$$

$$\gamma L = -500 \cdot \sqrt{Z \cdot Y} = 1,843 \cdot 10^{-7} \angle 74,25^\circ = \frac{4,987 \cdot 10^{-8}}{\alpha L} + j \frac{1,774 \cdot 10^{-7}}{\beta L} = \alpha L + j \beta L$$

$$y_1 = y_2 = \frac{1}{Z_c} \cdot \tanh \frac{\gamma L}{2}$$

$$\frac{\gamma L}{2} = \frac{2,494 \cdot 10^{-8}}{\alpha L} + j \frac{8,87 \cdot 10^{-8}}{\beta L}$$

$$\cosh \gamma L = \cosh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \sinh \alpha L \cdot \sin \beta L$$

$$\cosh(4,987 \cdot 10^{-8}) \cdot \cos(1,774 \cdot 10^{-7}) + j \sinh(4,987 \cdot 10^{-8}) \cdot \sin(1,774 \cdot 10^{-7}) = 1 + j 8,863 \cdot 10^{-15}$$

$$\sinh \gamma L = \sinh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \cosh \alpha L \cdot \sin \beta L$$

$$\sinh(4,987 \cdot 10^{-8}) \cdot \cos(1,774 \cdot 10^{-7}) + j \cosh(4,987 \cdot 10^{-8}) \cdot \sin(1,774 \cdot 10^{-7}) = 4,987 \cdot 10^{-8} + j 1,774 \cdot 10^{-7}$$

$$\cosh \frac{\gamma L}{2} = 1 + j 2,212 \cdot 10^{-15}$$

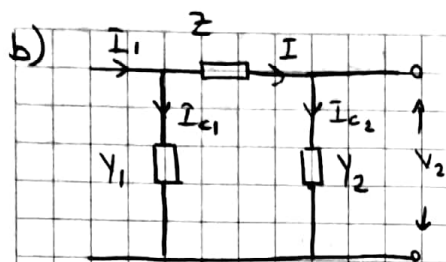
$$\sinh \frac{\gamma L}{2} = 2,494 \cdot 10^{-8} + j 8,87 \cdot 10^{-8}$$

$$y_1 = y_2 = \frac{1}{Z_c} \cdot \frac{\sinh \frac{\gamma L}{2}}{\cosh \frac{\gamma L}{2}} = \boxed{-8762,646 + j 26788,68}$$

$$Z = \frac{1}{Z_c} = \frac{1}{Z_c \cdot \sinh \gamma L} = \boxed{-8762,536 + j 26788,73}$$

b)

26-3



$$Y_2 = Y_1 = -j762,646 + j26788,68 \text{ nS/km}$$

$$Z = -j762,5546 + j26788,73 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$V_2 = 220 \text{ kV}$$

$$I_{c2} = Y_2 \cdot V_2 = 6200730 \angle 108,113^\circ \quad \underline{I_{c2} = 6,2007 \text{ MA} = I}$$

$$I_1 = I_{c1} + I = \dots$$

$$V_1 = Z \cdot I + V_2 \quad V_1 = 1,747 \cdot 10^{11} \angle -143,77^\circ$$

$$I_{c1} = V_1 \cdot Y_1 = 4,326 \cdot 10^{15} \angle -35,66^\circ$$

$$\underline{I_1 = I_{c1}}$$

$$\varphi = 35,66^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

23-4  $V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$

$$V_1 = V_2 \cdot \overbrace{\cosh \gamma L}^A + I_2 \cdot \overbrace{Z_c \sinh \gamma L}^B$$

$$I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$$

$$I_1 = I_2 \cdot \underbrace{\cosh \gamma L}_D + \frac{V_2}{Z_c} \cdot \underbrace{\sinh \gamma L}_C$$

$$\gamma L = 300 \sqrt{Z_c \cdot Y} = 0,373 \angle 11,57^\circ$$

$$Z_c = 0,331 \angle 83,14^\circ$$

$$Y = 4,676 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 266,115 \angle -1,43^\circ$$

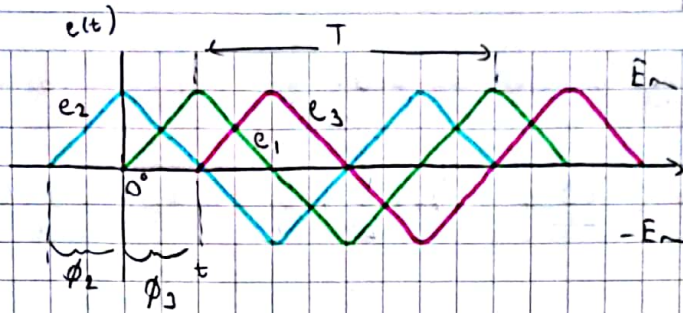
$$\cosh \gamma L = \cosh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \sinh \alpha L \cdot \sin \beta L$$

$$\sinh \gamma L = \sinh \alpha L \cdot \cos \beta L + j \cosh \alpha L \cdot \sin \beta L$$

$$\Rightarrow \theta = \omega t \text{ (rad)}$$

$$\pi \text{ rad} = 180^\circ$$

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,3^\circ$$



$$e_1 = E_m \cdot \sin(\omega t)$$

$e_2$  gerilimi:  $e_1$  den  $\phi_2$  kadar ileride

$$e_2 = E_m \cdot \sin(\omega t + \phi_2)$$

$e_3$  gerilimi:  $e_1$  den  $\phi_2$  kadar geride

$$e_3 = E_m \cdot \sin(\omega t - \phi_3)$$

$e_2$  gerilimi  $e_3$  den  $\phi_2 + \phi_3$  kadar ileride

$\Rightarrow$  AC devresinde R direncinde harcanan güç

$$v(t) = V_m \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$P_{av} = \frac{1}{2} V_m \cdot I_m = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} = \frac{1}{2} I_m^2 R \text{ (W)}$$

$\Rightarrow$  Efektif RMS değeri

Bir AC değerin R direncinde harcadığı güç eşit güç harcamasını sağlayacak olan

DC değeridir.

$$\left. \begin{aligned} P_{av} &= I^2 R = \frac{1}{2} I_m^2 R \rightarrow I = I_{eff} = I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \\ P_{av} &= \frac{V^2}{R} = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} \rightarrow V = V_{eff} = V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 V_m \end{aligned} \right\} P_{av} = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

$\Rightarrow$  Ölçe aletlerinin okuduğu değer efektif (etkin) değerdir.

**Örnek:** Bir elemanın uçları arasındaki gerilim ve akım sırasıyla  $v(t) = 800 \sin(628t + 30^\circ) \text{ V}$

$i(t) = 5 \sin(628t + 30^\circ) \text{ A}$  dir.

a) Bu elemanın ne olduğunu gerilim değeri ve bu elemanda harcanan gücü bulunuz.

b) Bu dalga birimlerinin f ve T kını ve bunları ölçmede kullanılan ölçü aletlerinin ne ne gösterdiğini belirleyin.

a) Akım ve gerilim dalga birlimleri ve fazlari aynı olduğundan bu devre elemanı dirençtir.

$$V_m = 800V$$

$$I_m = 5A$$

$$R = \frac{V_m}{I_m} = \underline{\underline{160 \Omega}}$$

$$P_{AV} = \frac{1}{2} V_m I_m = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 5 = \underline{\underline{2000 W}}$$

$$b) f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} = \underline{\underline{100 Hz}} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \underline{\underline{0.01 s = 10 ms}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{800}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{565.6 V}}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{3.535 A}}$$

$$P_{AV} = V_{rms} \cdot I_{rms} = 565.6 \cdot 3.535 = \underline{\underline{2000 W}}$$

⇒ Fazörel işlemler

$$V_1(t) = V_m \sin(\omega t + \phi) \quad V \xrightarrow{\omega} \underline{V = V \angle \phi} \quad V$$

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

$$\underline{V = V \angle \phi} \quad V$$

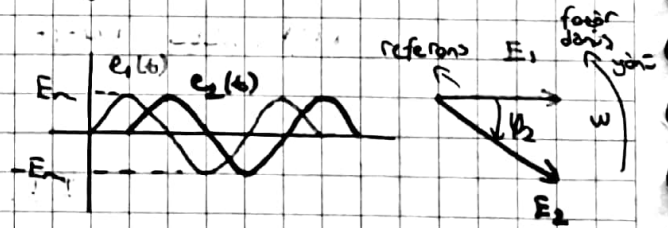
⇒ Frekansları aynı olan isaretler kompleks sayılar aritmetiği kullanılarak rahatca +, -, ÷, X yapılır.

$$e_1(t) = E_m \sin(\omega t)$$

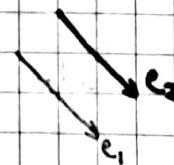
$$e_2(t) = E_m \sin(\omega t - \phi_2)$$

$$\underline{E_1 = E_m \angle 0^\circ} \quad V$$

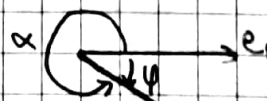
$$\underline{E_2 = E_m \angle -\phi_2} \quad V$$



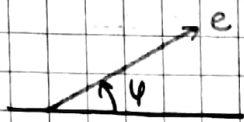
⇒ Aynı fazda olabilir; Fazörlerin doğrultularının aynı yönde olması,



⇒ Aynı fazda olmazlar; Fazörlerin doğrultularının aynı yönde olması ortalarında bir açı olması ( $\phi$ )



⇒ Farklı bakış açısı ile  $e_2$   $e_1$ 'den ( $\alpha$  açısı kadar) ileride dir. Başka bir şekilde  $e_1$   $e_2$ 'den ( $\alpha$  açısı kadar) geridedir dir.



fazör

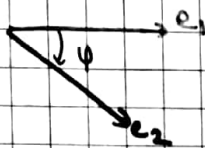
euler

kompleks

$$\underline{E} = E \angle \varphi \text{ V}$$

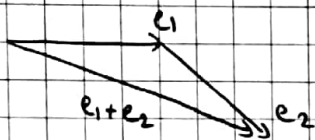
$$\underline{E} = E \cdot e^{j\varphi} \text{ V}$$

$$\underline{E} = E \cos(\varphi) + j E \sin(\varphi) \text{ V}$$

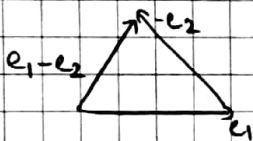


$$\underline{E}_1 = E_1 \angle \varphi_1$$

$$\underline{E}_2 = E_2 \angle \varphi_2$$



$$\underline{E}_1 \cdot \underline{E}_2 = E_1 \cdot E_2 \angle (\varphi_1 + \varphi_2)$$



$$\underline{E}_1 / \underline{E}_2 = (\underline{E}_1 / E_2) \angle (\varphi_1 - \varphi_2)$$

⇒ Güç

$\bar{S}$  empedansına sahip yükte kayan güçün ani değeri.

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$p(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \cdot \sqrt{2} I \sin(\omega t \pm \varphi)$$

$$p(t) = 2VI \sin(\omega t) \cdot \sin(\omega t \pm \varphi) \quad + \text{kapasitif güç, } - \text{ endüktif güç.}$$

$$2 \sin a \cdot \sin b = \cos(a-b) - \cos(a+b) \quad \text{kullanılırsa}$$

$$p(t) = VI \left[ \underbrace{\cos(\pm \varphi)}_{\cos(\pm \varphi) = \cos \varphi \text{ ort} = 0} - \underbrace{\cos(2\omega t \pm \varphi)}_{\text{ort} = 0} \right]$$

$$P = \bar{P}(t) = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

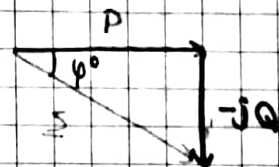
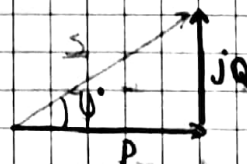
güç katsayısı

$$P = \bar{P}(t) = V I \cos \varphi$$

$$S = V \cdot I^* \text{ [VA]}$$

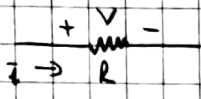
$$P = S \cos \varphi \text{ (W)}$$

$$Q = S \sin \varphi \text{ (VAR)}$$



$I^*$ : Akım fazörünün eşleniği

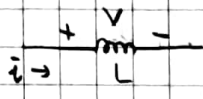
## → RLC Elemanları:



$$\bar{v} = \frac{V}{R}$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R}$$

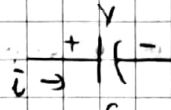
$$P + jQ = \frac{V_{rms}^2}{R}$$



$$V = L \frac{di}{dt}$$

$$V = j\omega L I$$

$$P + jQ = V_{rms} I_{rms}^* \\ = j \frac{|V_{rms}|^2}{\omega L}$$

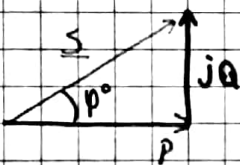


$$\bar{v} = C \frac{dV}{dt}$$

$$I = V j\omega C$$

$$P + jQ = V_{rms} I_{rms}^* \\ = -j |V_{rms}|^2 \omega C$$

Endüktif Güç



$$\underline{S} = P + jQ$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} / \tan^{-1}(Q/P)$$

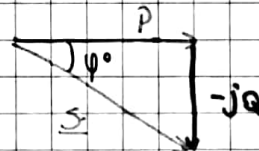
$$\underline{S} = S / \varphi = S \cos \varphi + j S \sin \varphi$$

$$\underline{S} = V I \angle \varphi$$

$$\underline{S} = V \angle 0^\circ I \angle \varphi^\circ$$

$$\underline{S} = V I^* \text{ (Endüktif yük)}$$

Kapasitif Güç



$$\underline{S} = P - jQ$$

$$S = \sqrt{P^2 + (-Q)^2} / \tan^{-1}(-Q/P)$$

$$\underline{S} = S / -\varphi = S \cos \varphi - j S \sin \varphi$$

$$\underline{S} = V I \angle -\varphi$$

$$\underline{S} = V \angle 0^\circ I \angle -\varphi^\circ$$

$$\underline{S} = V I^* \text{ (Kapasitif yük)}$$

## → Güç katsayısının düzeltilmesi (Korpanasyon)

Çoğu endüstriyel ve ev elektrikli cihazları sabit bir aktif güçle çalışır. Bu durumlarda güç katsayısı, aşırı kazanç sirküsi

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} \rightarrow \text{sabit}$$

↓  
Sabit

$$\cos \varphi \nearrow I \searrow \quad 0 < \cos \varphi < 1$$

$$\cos \varphi \searrow I \nearrow$$

yük akımını azaltmak için güç katagısı yükseltilmeli.  $\cos \varphi = 1$  old.  $\varphi = 0^\circ$  olur.

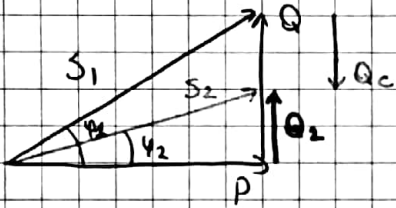
$$\underline{S} = P + jQ = P \angle 0^\circ \text{ VA} \rightarrow \text{Rektistif (aktif) yük ve aktif güç}$$

→ Düşük  $\cos \varphi$  yüksek akım anlamına geldiği için,  $\cos \varphi$  1'e yakın değere yükseltilmelidir.

→  $\cos \varphi$ 'nin 1'e yakın olabilmesi için sanal kısmın, yani  $Q$  reaktif gücünün  $P$  aktif güce göre oldukça düşük olması gerekir. Dolayısıyla  $\cos \varphi$ 'nin düzeltilmesi işleni,  $Q$  reaktif gücünün azaltılması demektir. Bu işlem yapıldıkten  $P$  etkilenmeden  $Q$  azaltılır.

→ Motor vb. gibi bobine sahip aletlerin çalışmaları için reaktif güç ihtiyacı vardır. olduğundan iletilen  $Q$  sıfır yapılmaz. Hatta eğer da olsa  $Q$  iletimine izin verilmeli.

⇒ Kompansasyon; hatton eekilen reaktif gücün azaltılmasıyla hatton görünür gücünde azaltılmasından.



$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} \quad \tan \varphi_2 = \frac{Q_2}{P_1} = \frac{Q_1 - Q_c}{P_1}$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 \quad Q_1 = P_1 \tan \varphi_2 + Q_c$$

$$P_1 \tan \varphi_1 = P_1 \tan \varphi_2 + Q_c$$

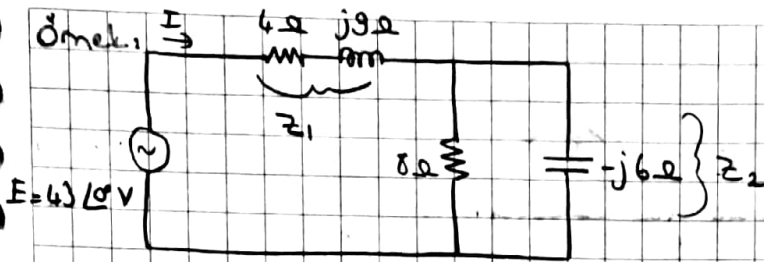
$$Q_c = P_1 (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Hatttan  $\cos \varphi_1$  ile iletilen  $P_1$ ,  $S_1$  ve  $Q_1$  güçleri yerine  $\cos \varphi_2$  ile  $P_1$ ,  $S_2$  ve  $Q_2$  güçlerini iletmek için  $Q_c$  kadar bir kompansasyon gücü gereklidir.

$$S_1 > S_2 \quad S_1 - S_2 = S_3 \rightarrow \text{Kompansasyonla kazanılan görünür güç}$$

Örnek: 3 kV'lık giriş gerilimine sahip bir fabrika 0,75 (geri) güç katsayısı altında 600 kW'lık bir güçle çalışmaktadır. Ancak fabrikaya bu güçü sağlayan dağıtım şirketi, bu gücün iletil-  
diği 3 farklı dağıtım hattından sekilen güçle ilgili güç katsayısının 0,80 (geri) değerinden daha  
az olmasını istenmektedir. Bu durumda fabrikada çalışan bir mühendis olarak nasıl bir çözüm  
önerenizi düşünürken yardımcı olması için aşağıdaki işlemleri yapmaya karar veriyorsunuz.

- Fabrikanın hattan çektiği  $P$ ,  $Q$  ve  $S$  güç değerleri nelerdir?
- Fabrikanın hattan çektiği güçle ilgili güç katsayısı nedir?
- Hattan sekilen gücün güç katsayısının 0,8 (geri) olabilmesi için ne yapılmalıdır?
- Bu önlem alındığında hattan sekilen  $P$ ,  $Q$  ve  $S$ 'nin yeni değerleri nelerdir?



Sekildeki devrede bağlantıları verilen  $Z_1 + Z_2$  ile sadece  $Z_2$  empedansının aldığı gücü bulunuz.

$$Z_1 = 4 + j9 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{8(-j6)}{8-j6} = 4,8 \angle -53,1^\circ = 2,88 - j3,84 \Omega$$

$$Z_T = Z_1 + Z_2 = 6,88 + j5,16 \Omega = 8,60 \angle 36,5^\circ \Omega$$

$$I = \frac{E}{Z_T} = \frac{43 \angle 0^\circ}{8,6 \angle 36,5^\circ} = 5 \angle -36,5^\circ \text{ A}$$

$$V_2 = I Z_2 = 5 \angle -36,5^\circ \cdot 4,8 \angle -53,1^\circ = -j24 = 24 \angle -90^\circ \text{ V}$$

$$P_{Z_1} = E \cdot I \cos \varphi_{EI} = 43 \cdot 5 \cdot \cos(-36,5^\circ) = 172 \text{ W}$$

$$P_{Z_2} = V_2 \cdot I \cos \varphi_{V_2 I} = 24 \cdot 5 \cdot \cos(53,1^\circ) = 72 \text{ W}$$

⇒ 3 fazlı gerilim üretimi:

$$e_{AA} = E_m \sin \omega t$$

$$E_{AA} = E \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$e_{BB} = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$E_{BB} = E \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$e_{CC} = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$$E_{CC} = E \angle -240^\circ \text{ V}$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{3}}$$

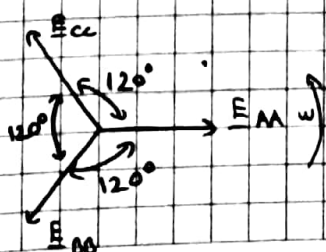


Doğru Sistem

$$E_{AA} = E \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$E_{BB} = E \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$E_{CC} = E \angle 120^\circ \text{ V}$$



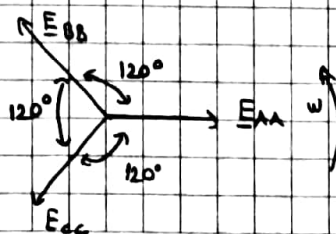
Doğru sistem ABC sistemi pozitif bileşen

Ters Sistem

$$E_{AA} = E \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$E_{BB} = E \angle +120^\circ \text{ V}$$

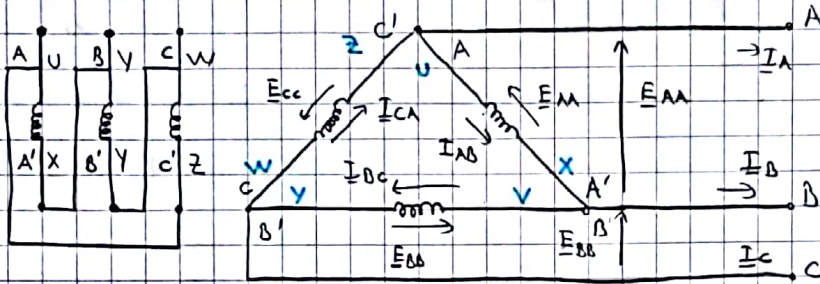
$$E_{CC} = E \angle -120^\circ \text{ V}$$



Ters sistem ABC sistemi negatif bileşen

→ Üçge (Δ) bağlantı

Generatör sorguları



$$I_A = I_{CA} - I_{AB}$$

$$I_B = I_{AB} - I_{BC}$$

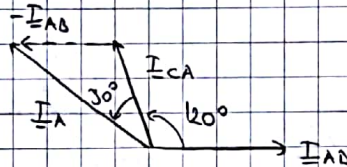
$$I_C = I_{BC} - I_{CA}$$

$$I_A = \sqrt{3} I_{AB} \angle 40^\circ$$

$$E_{AA'} = E_{AB} = E \angle 0^\circ V$$

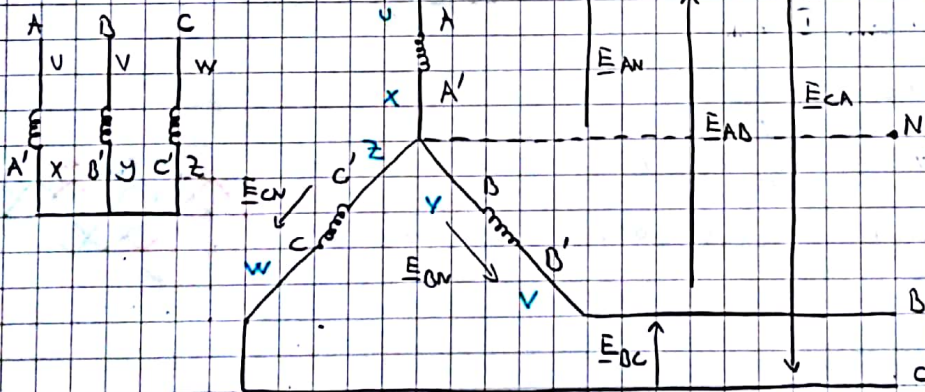
$$E_{BB'} = E_{BC} = E \angle -120^\circ V$$

$$E_{CC'} = E_{CA} = E \angle 120^\circ V$$



→ Yıldız (Y) bağlantı

Generatör sorguları



$$E_{AB} = E_{AN} - E_{BN}$$

$$E_{BC} = E_{BN} - E_{CN}$$

$$E_{CA} = E_{CN} - E_{AN}$$

$$E_{AN} = E \angle 0^\circ V$$

$$E_{BN} = E \angle -120^\circ V$$

$$E_{CN} = E \angle +120^\circ V$$

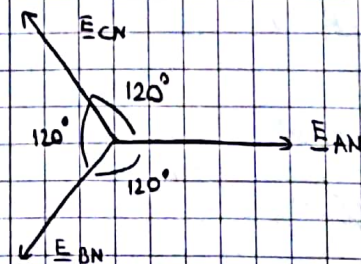
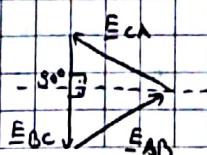
$$E_{AB} = \sqrt{3} E_{AN}$$

$$E_{AB} = \sqrt{3} E \angle 30^\circ V$$

$$E_{BC} = \sqrt{3} E \angle -30^\circ V$$

$$E_{CA} = \sqrt{3} E \angle 150^\circ V$$

$$E_{AB} + E_{BC} + E_{CA} = 0$$



ABC sistemi için

Referans olarak  $V_{AN} = V_{AN} \angle 0^\circ$  V

alınırsa, her bir kol empedansından

alan alın

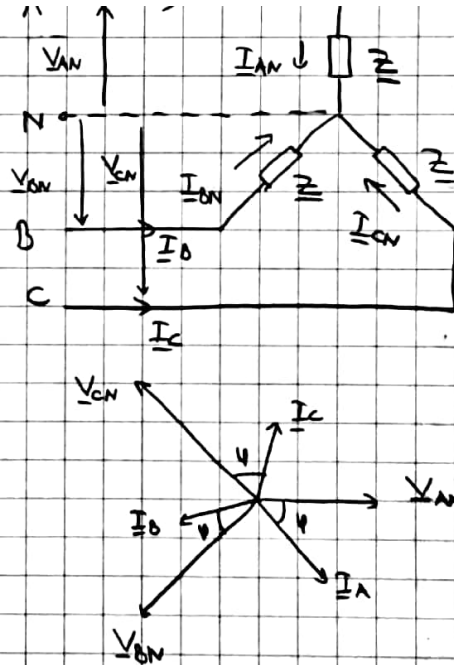
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AN} = \frac{V_{AN}}{Z} = \frac{E \angle 0^\circ}{Z \angle \varphi} = \frac{E}{Z} \angle -\varphi$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BN} = \frac{V_{BN}}{Z} = \frac{E \angle 120^\circ}{Z \angle \varphi} = \frac{E}{Z} \angle 120^\circ - \varphi$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{CN} = \frac{V_{CN}}{Z} = \frac{E \angle -120^\circ}{Z \angle \varphi} = \frac{E}{Z} \angle -120^\circ - \varphi$$

Her bir kol = kol alanı

Faz-faz gerilni =  $\sqrt{3}$ , Faz-nötr gerilni



$$V_{AB} = \sqrt{3} V_{\phi} \angle 30^\circ \text{ V} = V_{BC} = V_{CA}$$

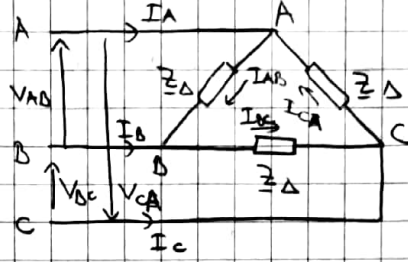
⇒ Üçgen ( $\Delta$ ) bağlı dengeli yükler

Faz-Faz gerilimlerinin genlikleri

$$V_{FF} = V_{AB} = V_{BC} = V_{CA}$$

Referans fazör

$$V_{AN} = V_{AN} \angle 0^\circ \text{ V}$$



ABC için yük kol oluntları

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{\Delta}} = \frac{V_{AB} \angle 30^\circ}{Z_{\Delta} \angle \varphi} = I_{AB} \angle 30^\circ - \varphi$$

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC} \angle -90^\circ}{Z_{\Delta} \angle \varphi} = I_{BC} \angle -90^\circ - \varphi$$

$$I_{CA} = \frac{V_{CA} \angle 150^\circ}{Z_{\Delta} \angle \varphi} = I_{CA} \angle 150^\circ - \varphi$$

Üçgen bağlı dengeli yükler için

$$I_{faz} = I_{hot} = \sqrt{3} I_{\Delta}$$

$$I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} I_{\Delta}$$

$$\sqrt{3} I_{AB}$$

$$\sqrt{3} I_{BC}$$

$$\sqrt{3} I_{CA}$$

$$V_{FF} = V_{AB} = V_{BC} = V_{CA}$$

Yıldız bağlı dengeli yükler için

$$V_{FF} = V_{AB} = \sqrt{3} V_{FN} = \sqrt{3} V_Y$$

$$V_{FF} = V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = \sqrt{3} V_Y$$

$$\sqrt{3} V_{AN}$$

$$\sqrt{3} V_{BN}$$

$$\sqrt{3} V_{CN}$$

$$I_A = I_{AN} = \frac{E}{Z} = I_Y$$

⇒ Üçgen devrelerde yük kolu gerilimi: faz-faz gerilimine eşitken, hat akımı yük akımının  $\sqrt{3}$  katıdır.

⇒ Yıldız bağlı devrelerde hat akımı yük akımına eşitken, faz-faz gerilimi faz nötr geriliminin  $\sqrt{3}$  katıdır.

## Slide 2

**Ex:** Bir devre elemanı, voltaj arasındaki gerilim ve akım sırasıyla  $V(t) = 800 \sin(628t + 30^\circ) V$

$i(t) = 5 \sin(628t + 30^\circ) A$  dir.

- Bu elemanın ne olduğunu, gerilim değeri ve bu elemanda kaybedilen güç bulunuz.
- Bu dalga frekanslarının  $f$  ve  $T$  lerini ve bunları ölmeye kullanan diğer ölçülerinin ne gösterdiğini belirtin.
- Akıma gerilim aynı fazda olduklarından bu eleman dirençtir.

$$V_m = 800 V, I_m = 5 A \quad R = \frac{V_m}{I_m} = \frac{800}{5} = 160 \Omega$$

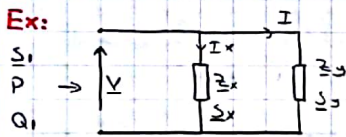
$$P_{AV} = \frac{1}{2} V_m \cdot I_m = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{800^2}{160} = 2000 W$$

$$b) f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} = 100 Hz \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0,01 s = 10 ms$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot 800 = 565,6 V \quad I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot 5 = 3,535 A$$

$$P_{AV} = V_{rms} \cdot I_{rms} = 565,6 \cdot 3,535 = 2000 W$$

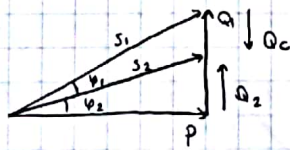
**Ex:**



şekildeki  $Z_s$  empedansının korodığı  $P$  aktif gücünü etkilemeden iletim hattından gelen  $I_1$  akımının nasıl azaltılabileceğini gösteriniz.

$\Rightarrow Z_x$  doğrultucu empedans ağıla seçilene kadar  $I_1 = I + I_x$  olsun ve bu  $I_1$  akımı ile  $V$  gerilimi arasındaki faz açısı sıfıra yakın bir açı olan  $\varphi_2$  değeri olsun. Bu durumda iletim hattından gelen yeni akımın genliği

$$I_1 = \frac{P}{V \cos \varphi_2}$$



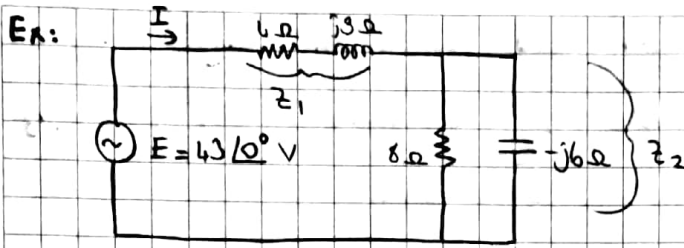
$$\text{Gerekli kompanzasyon gücü} \quad S_x = Q_x = \frac{V^2}{X_c} = V^2 \omega C$$

Birim güç katsayısı (100% akım) için  $I_1 = \frac{P}{V}$  olur.

$\Rightarrow$  Şekildeki güç ağında, iletim hattından  $\varphi_1$  güç katsayısı açısı ile  $S_1$  görünür gücü iletilirken, aynı  $P$  aktif gücünü sağlayan ve daha düşük bir iletim gücü olan  $S_2$  görünür gücünü iletmek için güç katsayısı açısı  $\varphi_2$ 'ye düşürülür. Bu yapıldıkende yata gerekli olan  $Q_c$  reaktif gücünün bir kısmı iletim hattından iletilerek değil de, yük uçlarına paralel bağlı  $Z_x$  kapasitif empedansı tarafından sağlanır. Yani  $Q_x$  kadarlık bir reaktif güç  $Z_x = X_c = \frac{1}{\omega C}$  empedansı tarafından sağlanırsa, iletim hattından iletilen reaktif güç  $Q_2$  olurken görünür güç  $S_2$ , yeni güç katsayısı  $\cos \varphi_2$  olarak belirlenir.  $P$  aktif gücü ise aynı kalır. Kompanzasyon işlemi sonunda iletim hattından  $S_1$  yerine  $S_2$  görünür gücü salınmaya başlanır. Böylece el olarda hat basma  $S_{ex} = S_1 - S_2$  görünür gücü kontrol edilir.

Ex: 3 kV'lık güç gerilimine sahip bir fabrika, 0,75 (geri) güç katsayısı altında 600 kW'lık bir güçle çalışmaktadır. Ancak fabrikaya bu güç sağlayan dağıtım şirketi, bu gücün iletildiği 3 faze dağıtım hatlarından çekilen güç ile güç katsayısının 0,90 (geri) değerinden daha az olmasını istenmemektedir. Bu durumda fabrikada çalışan bir mühendis olarak nasıl bir çözüm önereceğinizi düşünürken gördüğünüz olumsuzluğun aşağıdaki işlemleri yapmaya karar veriyorsunuz.

- Fabrikanın hatlardan çektiği aktif, reaktif ve görünür güç değerleri nedir?
- Fabrikanın hatlardan çektiği güç ile güç katsayısı nedir?
- Hattan çekilen güç ile güç katsayısının 0,90 (geri) olabildiği için ne yapılmalıdır?
- Bu önlem alındığında hatlardan çekilen aktif, reaktif ve görünür güç değerleri ne olur?



Şekildeki devrede bağlantıları verilen  $Z_1 + Z_2$  ile sadece  $Z_2$  empedanslarının çektiği aktif güç bulunuz.

$$Z_1 = 4 + j3 \Omega = 5,83 \angle 66,04^\circ \Omega$$

$$Z_2 = \frac{8 \cdot (-j6)}{8 - j6} = 2,88 - j3,84 = 4,8 \angle -53,1^\circ \Omega$$

$$Z_T = Z_1 + Z_2 = 6,88 + j5,16 \Omega = 8,6 \angle 36,9^\circ \Omega$$

$$I = \frac{E}{Z_T} = \frac{43 \angle 0^\circ}{8,6 \angle 36,9^\circ} = 5 \angle -36,9^\circ \text{ A}$$

$$V_2 = I \cdot Z_2 = 24 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$Z_1 + Z_2$ 'nin çektiği aktif güç

$$W_A = E \cdot I \cdot \cos \varphi_{E_I} = 43 \times 5 \times \cos(-36,9) = 172 \text{ W}$$

$Z_2$ 'nin çektiği aktif güç

$$W_D = V_2 \cdot I \cdot \cos(53,1) = 72 \text{ W} \quad \checkmark \quad P_2 = \frac{V_2^2}{8} = \frac{24^2}{8} = 72 \text{ W} \quad P_T = P_2 + I^2 \cdot 4 = 172 \text{ W}$$

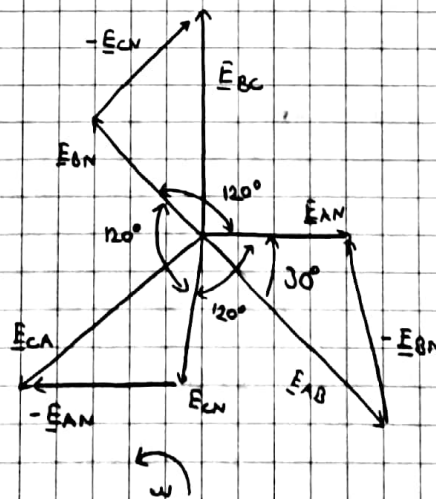
Ex: Eğer ABC sistemi yerine ACB sistemi olınsaydı, yani  $E_{AN} = E \angle 0^\circ$ ,  $E_{BN} = E \angle 120^\circ$ ,  $E_{CN} = E \angle -120^\circ$  olsaydı faz-faz gerilimleri  $E_{AB}$ ,  $E_{BC}$  ve  $E_{CA}$  ne olurdu?

$$E_{AB} = \sqrt{3} E \angle -30^\circ \text{ V}$$

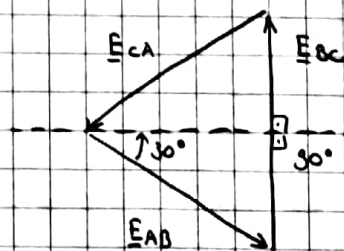
$$E_{BC} = \sqrt{3} E \angle 30^\circ \text{ V}$$

$$E_{CA} = \sqrt{3} E \angle -150^\circ \text{ V}$$

ABC sistemi



$\Rightarrow$  ABC sırasına sahip  $E_{AN}$ ,  $E_{BN}$  ve  $E_{CN}$  fazörleri kullanılarak elde edilen  $E_{AB}$ ,  $E_{BC}$  ve  $E_{CA}$  fazörleri, arasında faz-matr gösterim fazörlerinden elde edilen faz-faz fazörleridir, ve aşağıdaki şekilde A,B,C noktalarını birleştirilen fazörleridir.



Ex: 3 fazlı 4 iletkeli bir ACB sisteminin faz-nötr gerilini 220V olup, bu sistem dengeli Y-bağlı bir yükü beslemektedir. Yükün faz başına empedansı  $10 \angle -20^\circ \Omega$  ise hat akımlarını bulup fazör diyagramını çiziniz. Ayrıca Nötr hattından akan  $I_N$  akımında kontrol ediniz.

$V_{AN} = 220 \angle 0^\circ$  V referans alınır

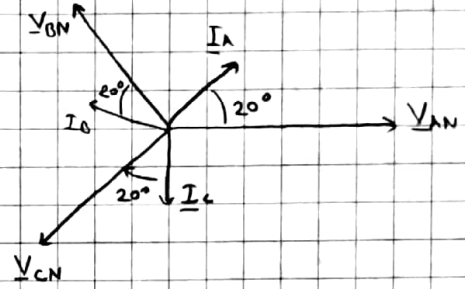
$$\underline{I}_A = \frac{\underline{V}_{AN}}{\underline{Z}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{10 \angle -20^\circ} = 22 \angle 20^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_A = 22 \angle 20^\circ \text{ A}$$

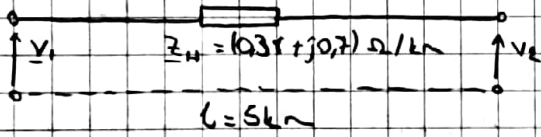
$$\underline{I}_B = 22 \angle 140^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_C = 22 \angle -100^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_N = 0 \text{ A}$$



Ex: Şekilde verilen 5 km uzunluğundaki üç fazlı iletim hattının hat başı gerilini 10 kV'tur. Hat sonundan çekilen yük akımı 500A olup, 0,80 (güç) güç katsayısına sahiptir. Hat sonu gerilimini bulup fazör diyagramını çiziniz.



\* Üç fazlı sistemlerde faz başına tek hat esdeğeri kullanılırken hat gerilimini  $\sqrt{3}$  e bölerek gereklilik du. Bu problemlerde tek hat sayısı alınırlardan yalnız bir iletkenin gözönüne alınacağını hatırlayınız ve tek hat diyagramı için hat başı ve hat sonu gerilimlerinin nasıl çizileceğine dahil edilmesini gerektiğine karar veriniz.

Ek soru: Şekildeki sistemin bir fazlı bir sistem olduğunu varsayarak telrar çözünüz. Ve her iki çözüm için % gerilim düşümünü bulup karşılaştırınız.

$$V_1 = \frac{10 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} \text{ kV} \quad \cos \phi = 0,8 \quad \phi = 36,87^\circ$$

$$V_1 = 5,774 \text{ kV}$$

$$I = 500 \angle -36,87^\circ$$

$$= 0,4 - j0,3 \text{ kA} = 0,5 \angle -36,87^\circ$$

$$Z_H = (0,38 + j0,7) \Omega / \text{km} = 5,10,38 + j0,7$$

$$= 0,3965 \angle 61,5^\circ \Omega / \text{km}$$

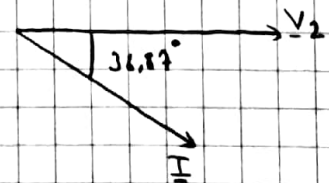
$$= 3,38245 \angle 61,5^\circ \Omega$$

$\Rightarrow -36,87^\circ$  lik açı,  $I$  akımı ile bu akımı çeken yük arasındaki  $V_2$  gerilimi arasındaki faz farkıdır. Eğer  $V_2$  referans fazör olarak seçilirse, işlemler daha basit hale gelecektir.

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_2 + \underline{I} \cdot \underline{Z}_H$$

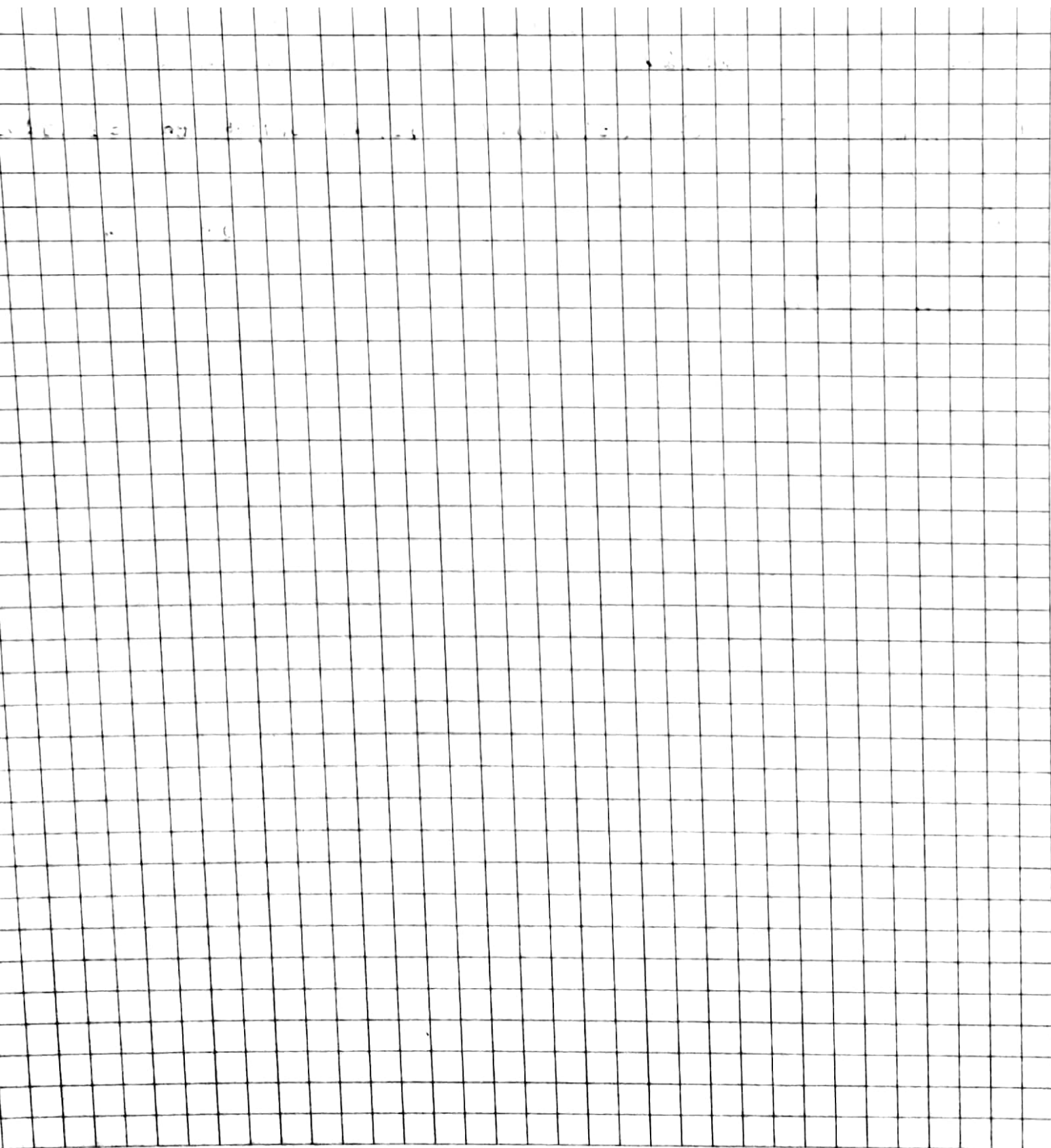
$$\underline{V}_2 = \underline{V}_1 - \underline{Z}_H \underline{I}$$

$$\underline{V}_2 = V_2 \angle 0^\circ$$



$$V_2 \angle 0^\circ = \frac{10 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} - (3,38245 \angle 61,5^\circ \cdot 0,5 \angle -36,87^\circ) = 5,774 \angle 0^\circ - 1,33 \angle 24,63^\circ$$

$$\underline{V}_2 + j0 = (5,774 \cos 0 - 1,33 \cos(24,63^\circ)) + j(5,774 \sin 0 - 1,33 \sin(24,63^\circ))$$



Ex: Dört kutuplu 3-fazlı, 50Hz'lik bir elektrik generatörünün nominal gücü 250 MVA, terminal gerilimi 24 kV ve senkron reaktansı 2,8  $\Omega$  dir.

a) Nominal hat akımını ve faz nötr gerilimini bulunuz.

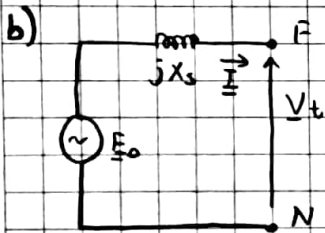
b) Esdeğer devreyi çiziniz.

c) Generatör nominal yük altında 0,80 gerilim katsayısı ile çalışıyorsa, endüklenen  $E_0$  emf'ini bul.

a) Terminal geriliminin faz nötr değeri

$$V_{t\phi} = \frac{24 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 13,85 \text{ kV} \quad \text{faz açısı} \quad \cos \varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = 36,87^\circ$$

$$\text{Nominal hat akımı: } I = \frac{250 \text{ MVA}}{13,85 \text{ kV}} = 6,01 \text{ kA} = 6,01 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

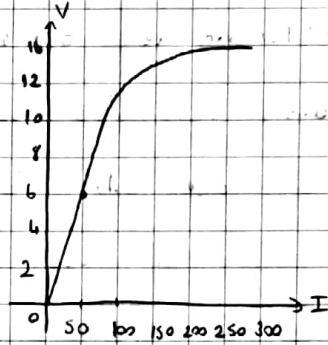


$$c) E_0 = (13,85 \text{ kV}) + (j 2,8 \cdot 6,01 \angle -36,87^\circ \text{ kA}) = 27,32 \angle 29,73^\circ \text{ kV}$$

$$\text{Hız} \quad N_p = \frac{2P}{4} = 4 \quad f = 50 \text{ Hz} \quad n_s = \frac{120 f}{2P} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500 \text{ d/dk}$$

Ex: 36 MVA, 21 kV'lık 3. fazlı bir senkron generatörün senkron reaktansı  $3\Omega$ , nominal akımı 1 kA'dır. Uyarma akımı  $I_f$  ile endüklenen E gerilimi arasındaki ilişki bu generatörün karakteristikleri ile verilmektedir. Uyarma devresi akımı şöyle ayarlanıyorsa ki terminal gerilimi 18 kV'a sabit kalsın. Gerektiğinde uyarma akımını bulup, fazör diyagramını aşağıdaki yük durumları için çiziniz.

- Yüksez durumda
- 30 MW'lık reaktif güç ile
- 12 MVAR'lık kapasitif güç ile.



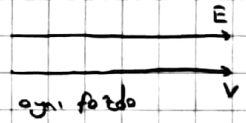
$$E = \frac{18}{\sqrt{3}} = 10,4 \text{ kV} \quad P = \frac{30}{3} = 10 \text{ MW}$$

$\downarrow$  tek faz için

$$Q = \frac{12}{3} = 4 \text{ MVAR}$$

a) yüksez durumda  $I = 0$  dolayısıyla  $E = V = 10,4 \text{ kV}$

fazör diyagramı



uyarma akımı belirlendi  $I_f = 87,83 \text{ A}$

$$\frac{6}{10,4} = \frac{50}{x}$$

$$x = 87,83 \text{ A}$$

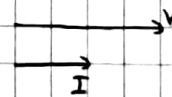
b) faz başına güç 10 MW

reaktif güç olduğundan yük uygulan gerilinde akım aynı fazda

tek fazdaki akım  $I = \frac{P}{V} = \frac{10 \cdot 10^6}{10,4 \cdot 10^3} = 961,5 \text{ A}$

$$V = V \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$I = I \angle 0^\circ \text{ A}$$



Generatörün senkron reaktansındaki gerilim düşümü

$$\Delta V = jX_s I$$

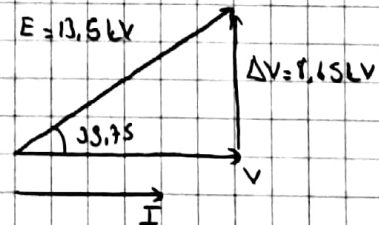
$$E = V + \Delta V$$

$$= X_s \angle 90^\circ \cdot I \angle 0^\circ$$

$$= 10,4 \angle 0^\circ + 8,65 \angle 90^\circ \text{ kV}$$

$$= 3 \angle 90^\circ \cdot 961,5 = 8,65 \angle 90^\circ \text{ kV}$$

$$= 13,5 \angle 39,35^\circ \text{ kV}$$



0, 13,5 kV'lık gerilimin endüklenebilmesi için uyarma akımı belirlendi  $I_f \approx 210 \text{ A}$  civarında belirlenir

c) Faz başına reaktif güç  $Q = \frac{12}{3} = 4 \text{ MVAR}$

yük kapasitif olduğundan, yük uygulanan gerilime yük akımından  $90^\circ$  ger fazda

Hat akımı  $= \frac{Q}{V} = \frac{4 \cdot 10^6}{10,4 \cdot 10^3} = 384,6 \text{ A}$

\* Generatörün senkron reaktansındaki gerilim düşümü

$$\Delta V = jX_s I$$

$$= 3 \angle 90^\circ \cdot 384,6 \angle 90^\circ$$

$$= 3,46 \angle 180^\circ \text{ kV}$$

$$E = V + \Delta V$$

$$= 10,4 \angle 0^\circ + 3,46 \angle 180^\circ \text{ kV}$$

$$= 6,94 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

Bu 6,94 kV gerilimin endüklenebilmesi için

akım  $I_f \approx 60 \text{ A}$  civarı.

