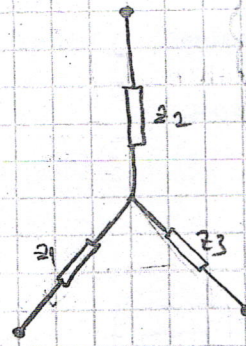
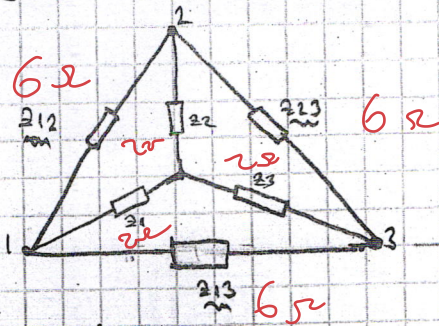


Üçgen - Yıldız Dönüşümü

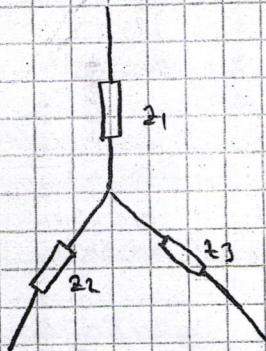


$$z_1 = \frac{z_{12} \cdot z_{23}}{z_{12} + z_{23} + z_{31}}$$

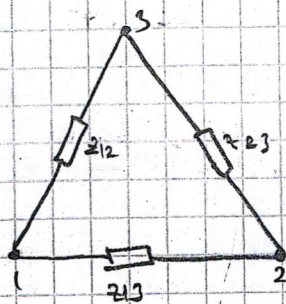
$$z_2 = \frac{z_{23} \cdot z_{31}}{z_{12} + z_{23} + z_{31}}$$

$$z_3 = \frac{z_{31} \cdot z_{12}}{z_{12} + z_{23} + z_{31}}$$

Yıldız - Üçgen Dönüşümü



=>



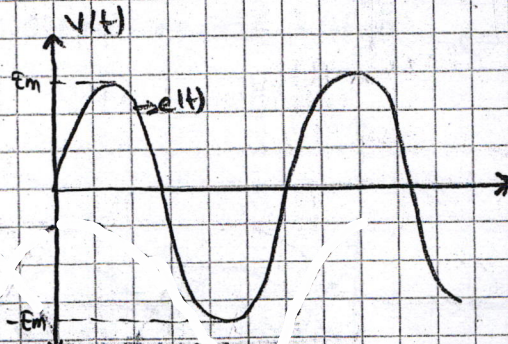
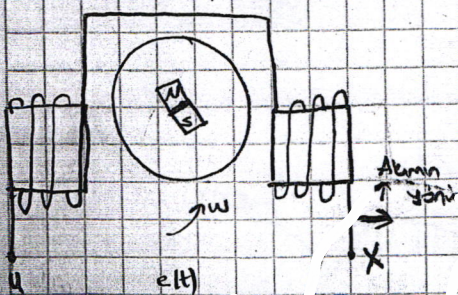
$$z_{12} = \frac{z_1 \cdot z_2 + z_2 \cdot z_3 + z_3 \cdot z_1}{z_3}$$

$$z_{13} = \frac{z_1 \cdot z_2 + z_2 \cdot z_3 + z_3 \cdot z_1}{z_2}$$

$$z_{23} = \frac{z_1 \cdot z_2 + z_2 \cdot z_3 + z_3 \cdot z_1}{z_1}$$

3 FAZLI SİSTEMLER

1N Gerilimin Elde Edilmesi



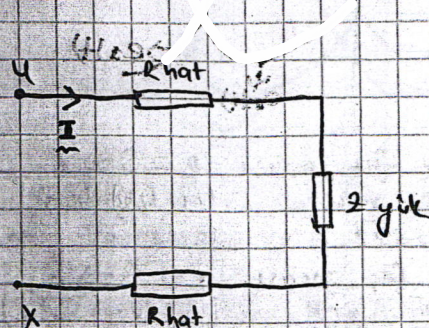
$$e(t) = E_m \sin \omega t = \sqrt{2} E \sin \omega t$$

$e(t)$ = Gerilim isaretinin anlık değeri

E_m = tepe değeri

E = Efektif değeri

Tek fazlı indüksiyon makinesi (Alternator) (Generator)

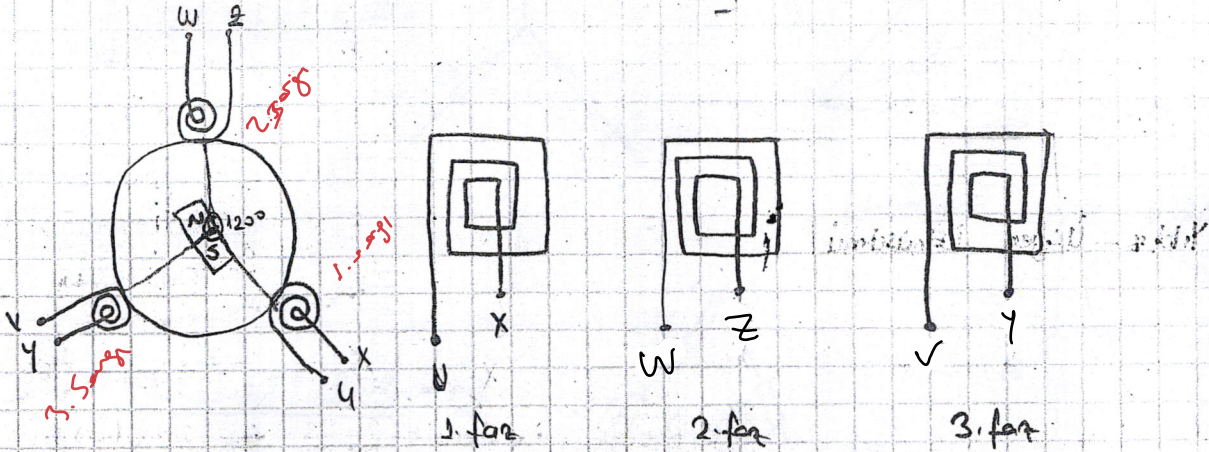


$$P_{kayp} = 2 \cdot I^2 R_{st}$$

AC sistem 1887 17 patent (Tesla)

İngilizce: AC - 1887

1896 - ilk santral kurulumu

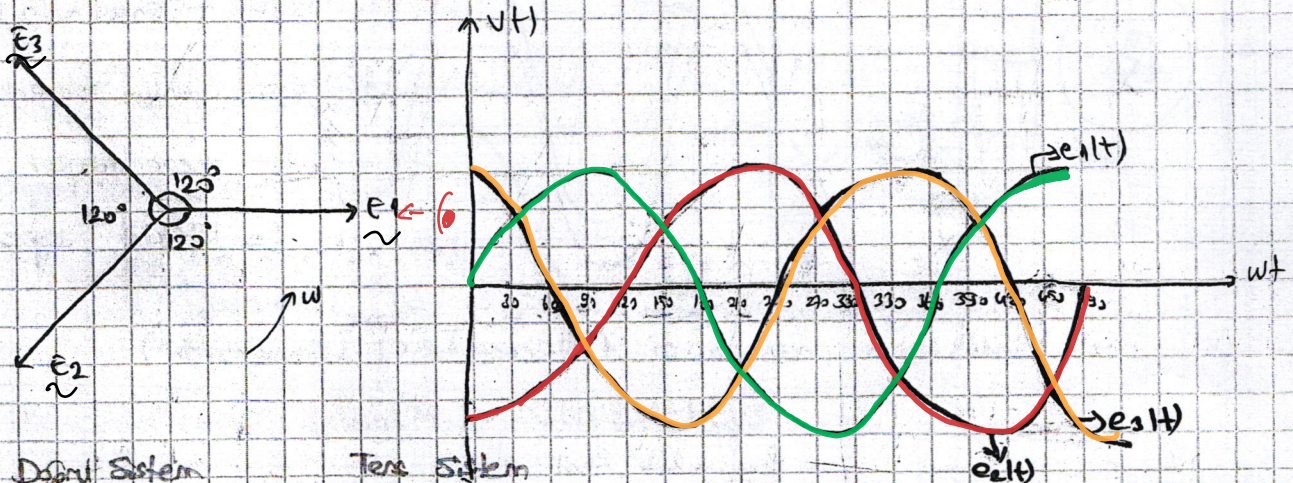


3 fazlı indüksiyon motorlarında sargılar 120° aralıklarla yerleştirildiğinden indüksiyon motorlarında elde edilen gerilimler arasında da 120°'er derece faz farkı olur.

1. sargı gerilimi $\Rightarrow e_1(t) = E_m \sin \omega t = \underline{\tilde{E}}_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ$ (R faz gerilimi)

2. sargı gerilimi $\Rightarrow e_2(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) = \underline{\tilde{E}}_2 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \angle -120^\circ$ (S faz gerilimi)

3. sargı gerilimi $\Rightarrow e_3(t) = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = \underline{\tilde{E}}_3 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \angle 120^\circ$ (T faz gerilimi)



Döner Sistem

$$\underline{\tilde{E}}_1 = E e^{j0}$$

$$\underline{\tilde{E}}_2 = E e^{-j120}$$

$$\underline{\tilde{E}}_3 = E e^{j120}$$

Ters Sistem

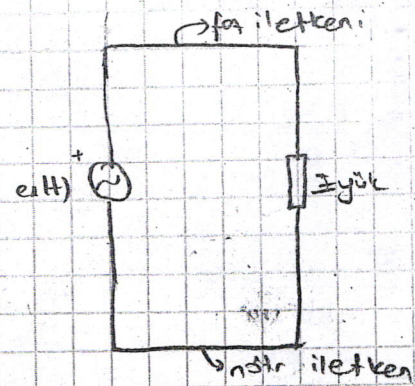
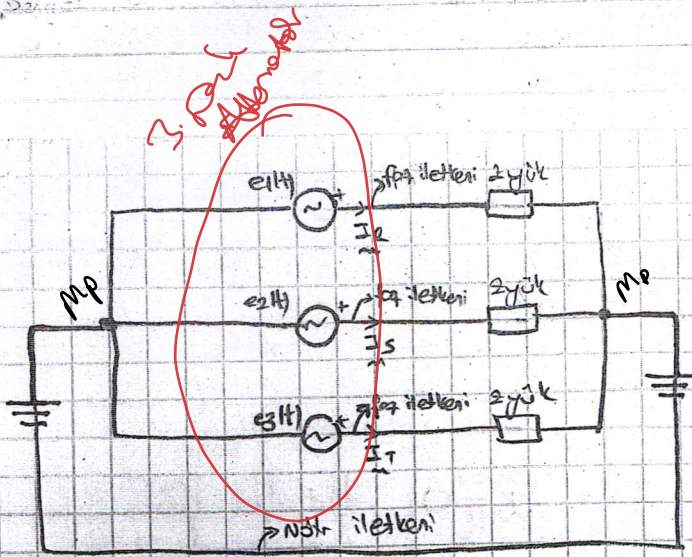
$$\underline{\tilde{E}}_1 = E e^{j0}$$

$$\underline{\tilde{E}}_2 = E e^{j120}$$

$$\underline{\tilde{E}}_3 = E e^{-j120}$$

Döner sistemde faz sırası: R $\rightarrow$ S $\rightarrow$ T
(L1) (L2) (L3)

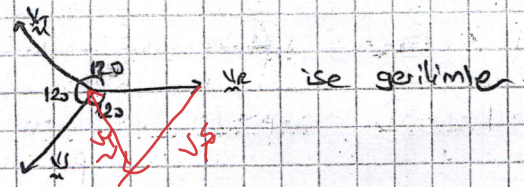
Ters sistemde faz sırası: R $\rightarrow$ T $\rightarrow$ S
(L1) (L3) (L2)



3 ϕ sistemlerde faz - nötr gerilimlerinin efektif değerleri eşit ve faz gerilimleri arasında 120° faz farkı varsa bu üç faz gerilimleri dengelidir.

$$|V_R| = |V_S| = |V_T| = E \quad \text{ve}$$

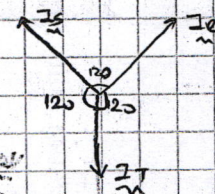
dengededir.



Dengeli bir sistemde $\underline{V_R} + \underline{V_S} + \underline{V_T} = 0$ 'dır.

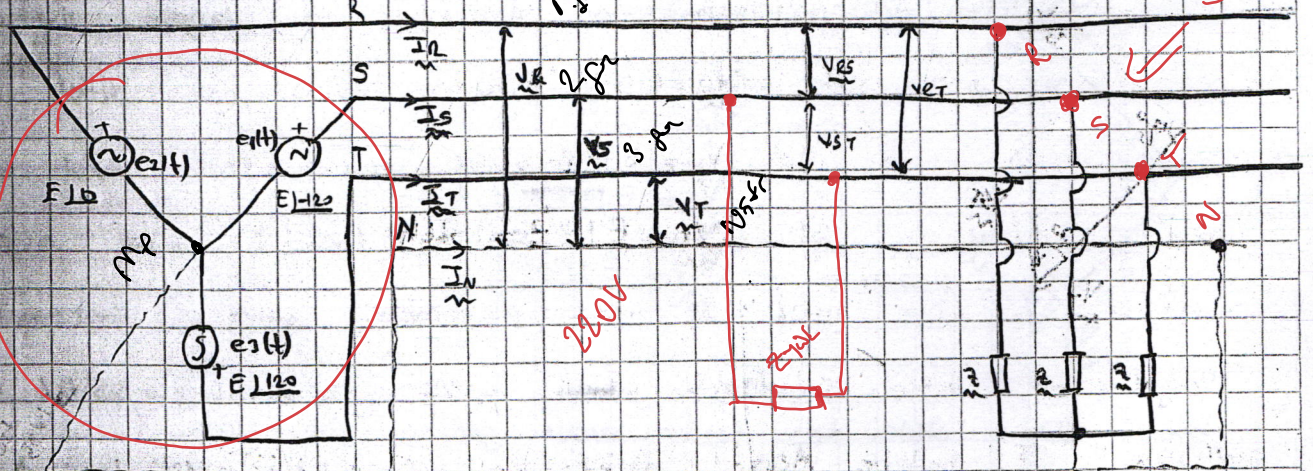
Dengeli bir sistemde yük üzerindeki dengeli ise her bir fazdan geçecek olan $\underline{I_R}$, $\underline{I_S}$, $\underline{I_T}$ akımları

$$\underline{I_R} + \underline{I_S} + \underline{I_T} = 0$$



3 Fazlı, Yıldız Bağlı Kaynakların Bulunduğu Bir Sistemde

Faz - Faz ve Faz - Nötr Gerilimleri

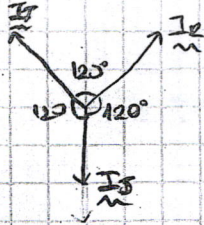


$V_{R-S} = 220V$
 $V_{R-N} = 220/\sqrt{3} = 127V$
 $V_{S-N} = 220/\sqrt{3} = 127V$
 $V_{T-N} = 220/\sqrt{3} = 127V$
 $V_{R-S}, V_{S-T}, V_{T-R}$ Faz - Faz Gerilimleri
 $V_{R-N}, V_{S-N}, V_{T-N}$ Faz - Nötr Gerilimleri
 cümlere gelen elektrik

$$\underline{I_N} = \underline{I_R} + \underline{I_S} + \underline{I_T} = 0$$

Dengeli bir sistemde

$$\underline{I}_N = \frac{E \angle 0^\circ}{Z_N} + \frac{E \angle 120^\circ}{Z_N} + \frac{E \angle 120^\circ}{Z_N} = 0$$



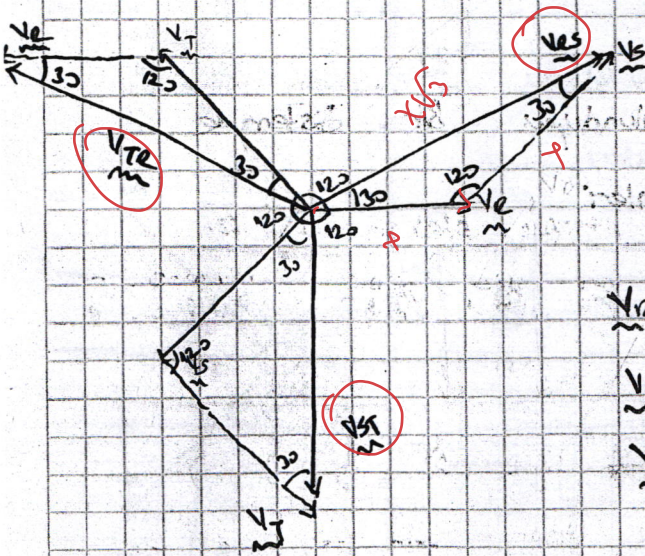
$$\underline{I}_N = \underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T = 0$$

Dengeli bir sistemde yıldız noktaları arasında bağlı olan nötr teli bulunsa dahi üzerinden akım geçmez. Dolayısıyla elektrik güç sistemleri dengeli kalmak suretiyle nötr teli olmaksızın çalıştırılabilir. Çünkü her bir fazdan gelen akımlar efektif olarak eritilmez ve aralarında 120° faz farkı vardır. Bu böyle akımların vektörel toplamı 0'dır.

$$\underline{V}_{RS} = \underline{V}_R - \underline{V}_S = E \angle 0^\circ - E \angle 120^\circ = \sqrt{3} E \angle 30^\circ$$

$$\underline{V}_{ST} = \underline{V}_S - \underline{V}_T = E \angle 120^\circ - E \angle 120^\circ = \sqrt{3} E \angle 90^\circ$$

$$\underline{V}_{TR} = \underline{V}_T - \underline{V}_R = E \angle 120^\circ - E \angle 0^\circ = \sqrt{3} E \angle 150^\circ$$



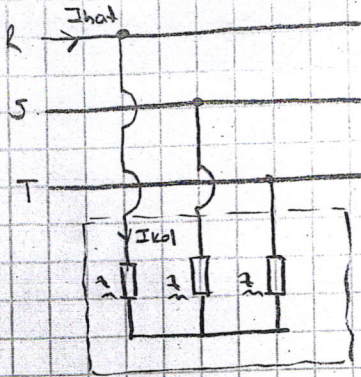
$$\underline{V}_R = E \angle 0^\circ$$

$$\underline{V}_S = E \angle 120^\circ$$

$$\underline{V}_T = E \angle 120^\circ$$

Dengeli bir sistemde fazlar arası gerilim faz - nötr efektif geriliminin $\sqrt{3}$ katıdır. Acısal olarak da faz - nötr gerilimlerinin 30° 'lar içinde dir.

Hat Akımı, Kol Akımı Kavramı

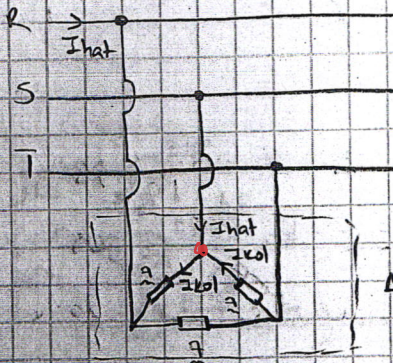


$I_{hat} = 3$ fazlı yükün sebekenin fazlarına çektiği akıma denir.

$I_{kol} =$ Üçgen veya yıldız bağlı empedans-

ların her birinden geçen akımdır.

$$I_{hat} = I_{kol}$$

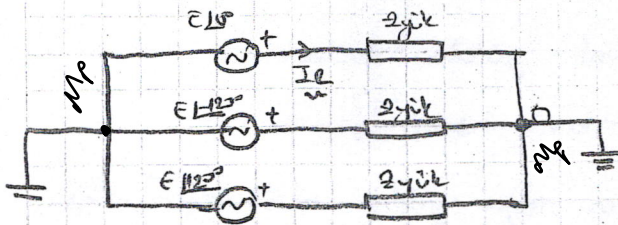


$$I_{hat} = \sqrt{3} I_{kol}$$

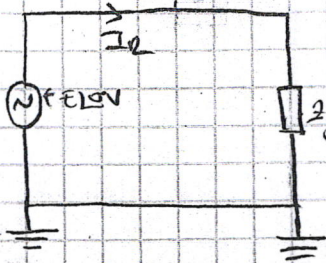
NOT Üçgen bağlı yükün hat akımının efektif değeri, kol akımının efektif değerinin $\sqrt{3}$ katıdır. Kol akımının sayısı hat akımının üçüncüde 30° ilerdedir.

Dengeli (Simetrik) Durumda 3 N Sistemin 1 N Eşdeğeri

3 fazlı dengeli bir sistemde hat akımının efektif değeri birbirine eşittir ve akımlar arasında 120° faz farkı vardır. Gerilimlerde de aynı durum söz konusudur. Dolayısıyla 3 fazlı bir sistemi incelemek üzere bunu 1 fazlı eşdeğerini inceleyip ilgili faz akım ve gerilim değerlerini elde edebiliriz. Diğer 2 fazın akım ve gerilimlerini de 120° saat derece faz farkı oluşturarak elde edebiliriz.



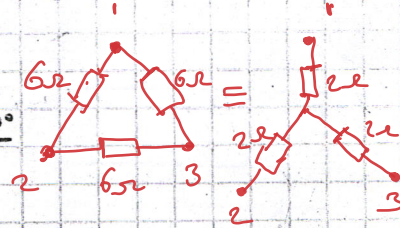
↓ 1 N esdperi



$$\underline{I_L} = \frac{\underline{E_{10^\circ}}}{2 \text{ yük}}$$

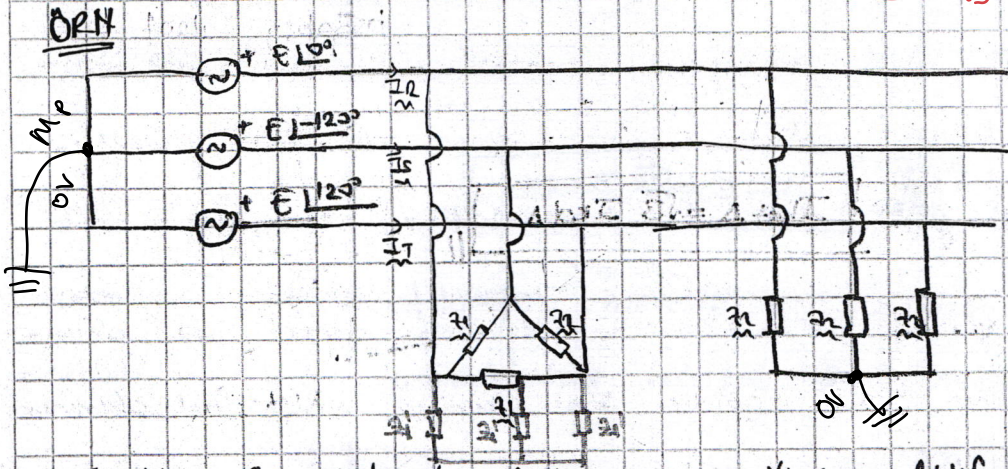
$$\underline{I_S} = \underline{I_L} \cdot 11 \angle 120^\circ$$

$$\underline{I_T} = \underline{I_L} \cdot 1 \angle 120^\circ$$



$$\underline{Z_1} = 12 \angle 30^\circ \Omega$$

$$\underline{Z_2} = 5 \angle 45^\circ \Omega$$

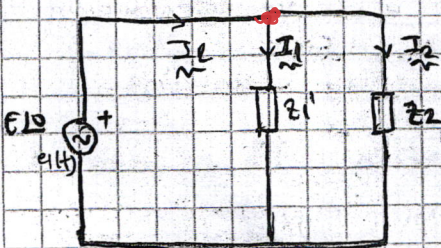


Şekildeki 3N sisteminde fazlar arası gerilimin efektif değeri 380V old. göre yıldız bağlı ve üçgen bağlı yüklerin şebekeden çektiği akımları $\underline{I_L}$, $\underline{I_S}$, $\underline{I_T}$ bulunuz.

⇒ öncelikle üçgen bağlı yükler yıldıza dönüştürülür.

$$\underline{Z_1'} = \frac{12 \angle 30^\circ}{3} = 4 \angle 30^\circ \Omega$$

$$\underline{Z_2} = 5 \angle 45^\circ \Omega$$



$$\underline{E_{10^\circ}} = \frac{380 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{I_1} = \frac{220 \angle 0^\circ}{4 \angle 30^\circ} = 55 \angle 30^\circ \text{ A}$$

$$\underline{E_{10^\circ}} = 220 \angle 0^\circ$$

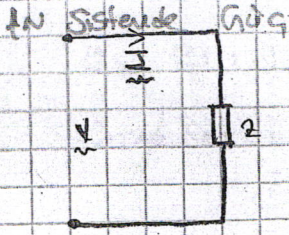
$$\underline{I_2} = \frac{220 \angle 0^\circ}{5 \angle 45^\circ} = 44 \angle -45^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I_L} = \underline{I_1} + \underline{I_2} = 55 \angle 30^\circ + 44 \angle -45^\circ = 98.73 \angle -37^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_S = \underline{I}_R \cdot 1 \angle -120^\circ = 98,23 \cdot 1 \angle -157^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_T = \underline{I}_R \cdot 1 \angle 120^\circ = 98,23 \cdot 1 \angle 83^\circ \text{ A}$$

3n SİSTEMDE GÜÇ



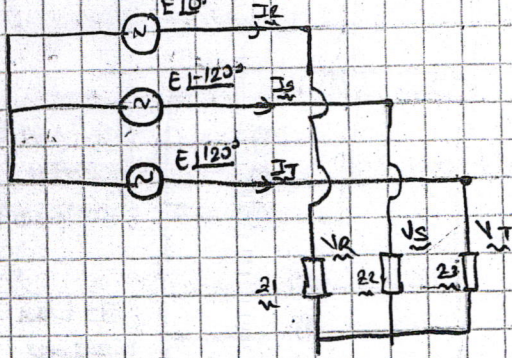
$$\underline{S} = \underline{V} \cdot \underline{I}^*$$

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

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

$$\underline{S} = VI \angle \varphi = VI \cos \varphi + j VI \sin \varphi = P + jQ$$

3n Sisteminde Güç



Dengeli ve Dengesiz Sistemde Güç

$$\underline{S}_T = \underline{V}_R \cdot \underline{I}_R^* + \underline{V}_S \cdot \underline{I}_S^* + \underline{V}_T \cdot \underline{I}_T^*$$

Dengeli Sistemde Güç

$$\underline{S}_T = 3 \underline{V}_R \underline{I}_R^*$$

Teori formülle elde edilmiş bir sistemde güç hesaplamak için formülle hesaplanabilir. V faz nötr gerilimi olarak alarak $\underline{S} = \underline{V} \cdot \underline{I}^*$

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

$$\underline{S} = 3VI \angle \varphi$$

Kompleks güç

Görünür Güç

$$P = 3VI \cos \varphi$$

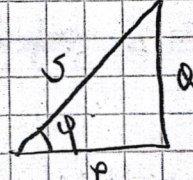
$$Q = 3VI \sin \varphi$$

$$\underline{S} = 3VI (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

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

$$\underline{S} = \underbrace{S \cos \varphi}_P + j \underbrace{S \sin \varphi}_Q$$

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



$\rightarrow$ faz-nötr gerilim
gerilim ile alın
arasındaki açının
negatifini

$\downarrow$
 $\downarrow$ { 380 kN
 15 kN
 24.5 kN } 0.4 kN } AG

60

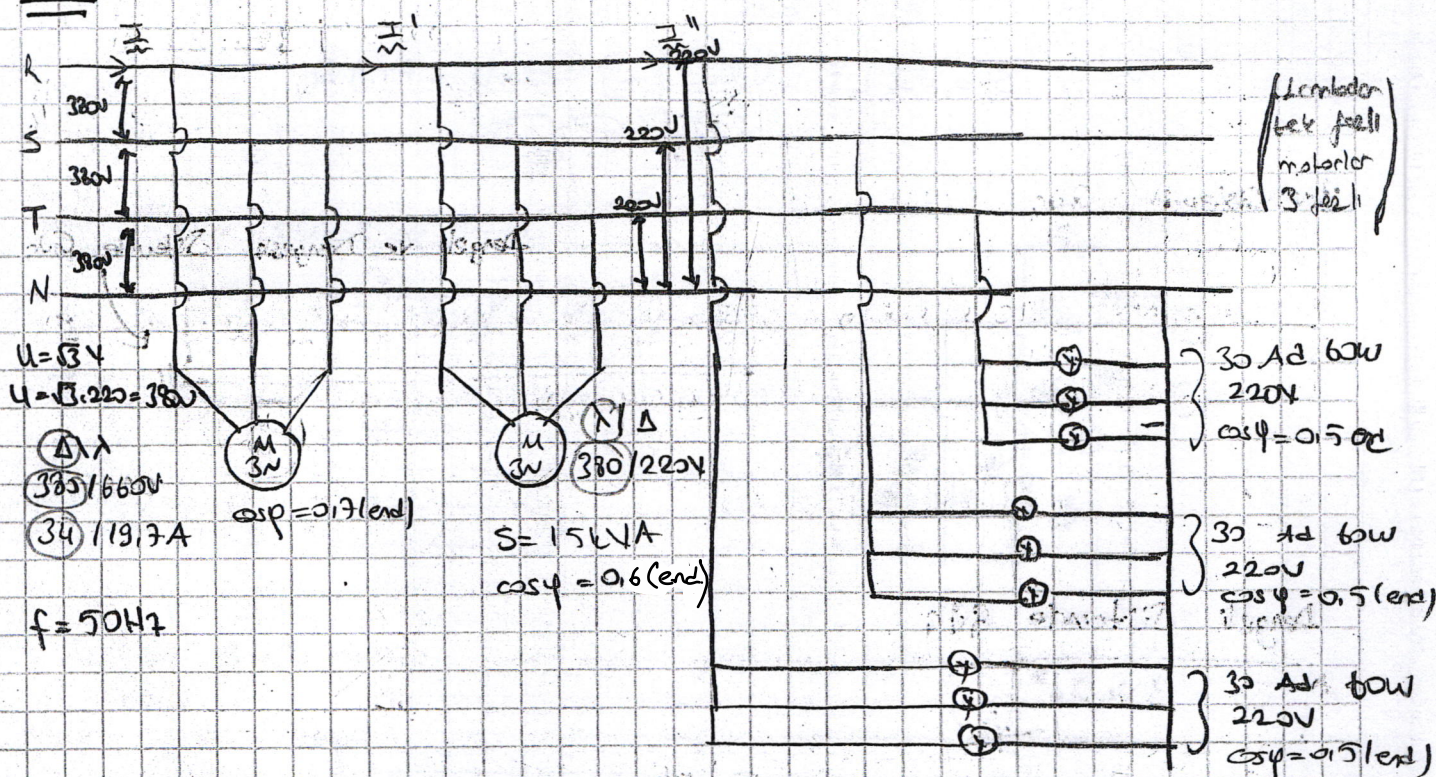
fat-fa gentlineri

$$U = \sqrt{3} V$$

ich gelernt!

formüller

$$S \approx 5 \text{ L}$$

Den

Sekilde gösterilen biçimde binaların tek fazlı ve 3 fazlı yükler bulun-
maktadır. Bu yükler 2 adet 3 fazlı motor ve fazlara dengeli
olarak dağıtılmış 90 adet floresan lambalık armatürdür.

a) Ağızdeki yüklerin toplam aktif, reaktif ve görünür güçleri, hat akımlarını, güç katsayısını hesaplayınız.

b) Bu atölyenin bir ilaeme döneminde toplam 300 saat belirtilen yüklerin tamamını çalıştırarak bilgi göre, sebekeden çekilen aktif ve reaktif enerji miktarını hesaplayınız.

c) Bu halyle atelyadaki tüm yüklerin toplam güc katsayısı 0,29 9
yükseltmek için atelye girişte bölünecek

1) $C \Delta$ (Δ bgl. kondusabach kapasitasi)

2) $C \lambda$ (λ bgl. " ") spasi bulunua.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$S_T = S_1 + S_2 + S_3$$

* 1. yük; (M1)

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 5.380 \cdot 30 \cdot 0.7$$

$$P_1 = 15665 \text{ W}$$

$$Q_1 = \sqrt{3} U I_1 \sin \varphi_1 = 5.380 \cdot 30 \cdot \sin(65.57)$$

$$Q_1 = 15981 \text{ VAR}$$

$$\varphi_1 = \arccos(0.7) = 45.57$$

* 2. yük; (M2)

$$P_2 = S \cos \varphi_2 = 15000 \cdot 0.6 = 9000 \text{ W}$$

$$\varphi_2 = \arccos(0.6) = 53.13$$

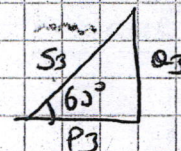
$$Q_2 = S \sin \varphi_2 = 15000 \sin(53.13) = 12000 \text{ VAR}$$

* 3. yük (Lambale)

$$P_3 = 90.60 = 5400 \text{ W}$$

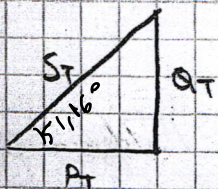
$$\varphi_3 = \arccos(0.5) = 60^\circ$$

$$Q_3 = P_3 \cdot \tan \varphi_3 = 5400 \cdot \tan 60 = 9353 \text{ VAR}$$



$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 15665 + 9000 + 5400 = 30065 \text{ W}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15981 + 12000 + 9353 = 37334 \text{ VAR}$$



$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(30065)^2 + (37334)^2} = 47935 \text{ VA}$$

$$\cos \varphi_T = \frac{P_T}{S_T} = \frac{30065}{47935} = 0.627$$

$$\varphi_T = \arccos(0.627) = 51.16^\circ$$

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} U} = \frac{47935}{\sqrt{3} \cdot 380} = 72.83 \text{ A} //$$

$$V_R = 220 / 0^\circ$$

$$I_R = 72.83 \angle -51.16^\circ \text{ A} //$$

$$I_S = I_R \angle -120^\circ = 72.83 \angle -171.16^\circ \text{ A} //$$

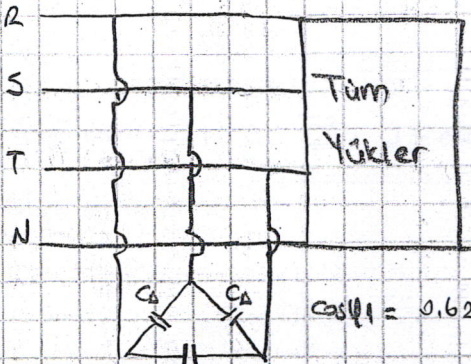
$$I_T = I_R \angle 120^\circ = 72.83 \angle 68.84^\circ \text{ A} //$$

b)

$$E = P \cdot t$$

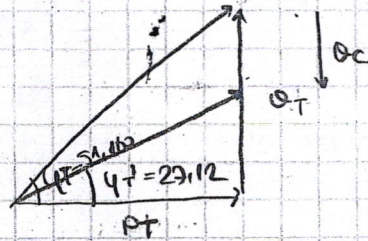
$$E_{\text{aktif}} = P \cdot t = 30065 \cdot 300 = 9019,5 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{reaktif}} = Q \cdot t = 37334 \cdot 300 = 11200,2 \text{ kVarh}$$

c) C'ler Δ bağlı iken

$$\cos \varphi_1 = 0,627 \quad \varphi_1 = 51,16^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = 0,89 \quad \varphi_2 = 27,12^\circ$$



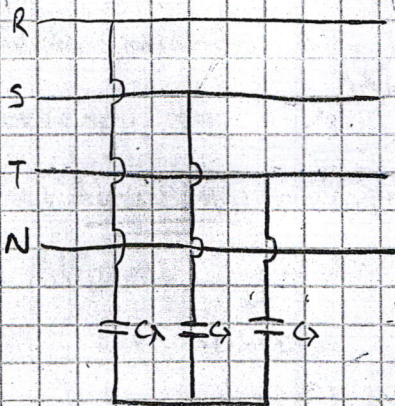
$$Q_c = P (\tan \varphi_T - \tan \varphi_1)$$

$$Q_c = 30065 (\tan 51,16^\circ - \tan 27,12^\circ)$$

$$Q_c = 21942 \text{ VAR}$$

$$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3} = \frac{21942}{3} = 7314 \text{ VAR}$$

$$C_1 = \frac{Q_{c1}}{\omega V^2} = \frac{7314}{2\pi \cdot 50 \cdot (380)^2} = 161 \mu\text{F} //$$

C'ler λ bağlı iken;

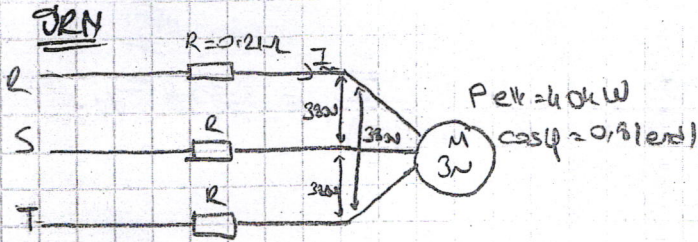
$$Q_c = 21942$$

$$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3} = 7314 \text{ VAR}$$

$$C_1 = \frac{Q_{c1}}{\omega V^2} = \frac{7314}{2\pi \cdot 50 \cdot (220)^2} = 483 \mu\text{F} //$$

Y K U F

~~No~~ Alacak gerilimde Δ bağlı kullanılırken, orta ve yüksek gerilimlerde ise
maliyet açısından uygun olması için λ bağlı kondansatör kullanılmaktadır.



Şekilde verilen 30 kW motorun

- Sekelreden çektiği akımı
- Bu motoru temsil edebileceği yıldız bağlı empedansı

d) Güç cosunu düzeltildikten sonra ve düzeltildikten sonra hatlara meydana gelen güç kaybını bulunuz. Motor 10 saat çalışırsa

her iki durum için hat direncinde

meydana gelen aktif enerji tüketimini

bulunuz.

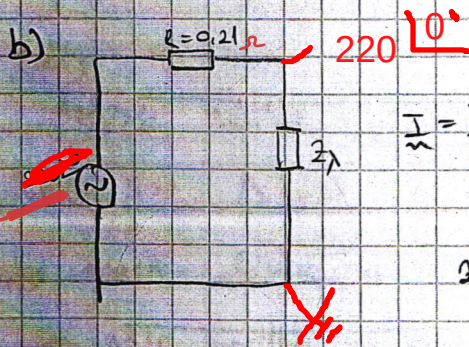
$$P = 3 \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

$$a) P = \sqrt{3} U I \cos \varphi \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.8} = 75.97 \text{ A} //$$

$$\varphi = \arccos(0.8) \Rightarrow \varphi = 36.87^\circ$$

$$\underline{\tilde{I}} = 75.97 \angle -36.87^\circ //$$

induktif olduğu için



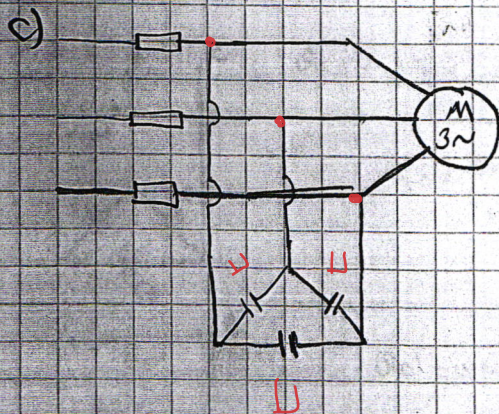
$$\underline{\tilde{I}} = \frac{\underline{\tilde{V}}}{\underline{\tilde{Z}}}$$

$$\underline{\tilde{Z}} = \frac{\underline{\tilde{V}}}{\underline{\tilde{I}}}$$

$$\underline{\tilde{Z}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{75.97 \angle -36.87^\circ} = 2.896 \angle 36.87^\circ //$$

$$\underline{\tilde{Z}} = 2.31 + j1.73$$

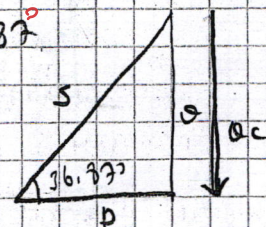
$$\left(\frac{2.31 \Omega}{2.31 \Omega} \parallel \frac{j1.73 \Omega}{j1.73 \Omega} \right) = \underline{\tilde{Z}} //$$



$$\cos \varphi = 1$$

$$\cos \varphi = 0.8 \quad \varphi = 36.87^\circ$$

$$\varphi' = 0^\circ$$



$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 75.97 \cdot \sin(36.87^\circ) = 30000 \text{ VAR}$$

$$Q = Q_c$$

$$Q_c = 30000 \text{ VAR} //$$

$$Q_{C1} = \frac{Q_C}{J} = 10000 \text{ VAR} \quad C_1 = \frac{Q_C}{\omega V^2} = \frac{10000}{2\pi 50 \cdot (380)^2} = 220,4 \mu\text{F}$$

d)

$$S_2 = P_2 = 40000 \text{ VA}$$

$$P_2 = 40000 \text{ W}$$

$$Q_2 = 0 \text{ VAR}$$

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3}U}$$

$$I_2 = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 60,77 \text{ A}$$

$$P_{\text{Kayış}} = 3I_2^2 R = 3 \cdot 60,77^2 \cdot 0,21 = 362,8 \text{ W}$$

$$P_{\text{Kayış 2}} = 3I_2^2 R = 3 \cdot 60,77^2 \cdot 0,21 = 2788 \text{ W}$$

$$\Delta P_{\text{Kayış}} = 3578,8 - 2788 = 790,8 \text{ W}$$

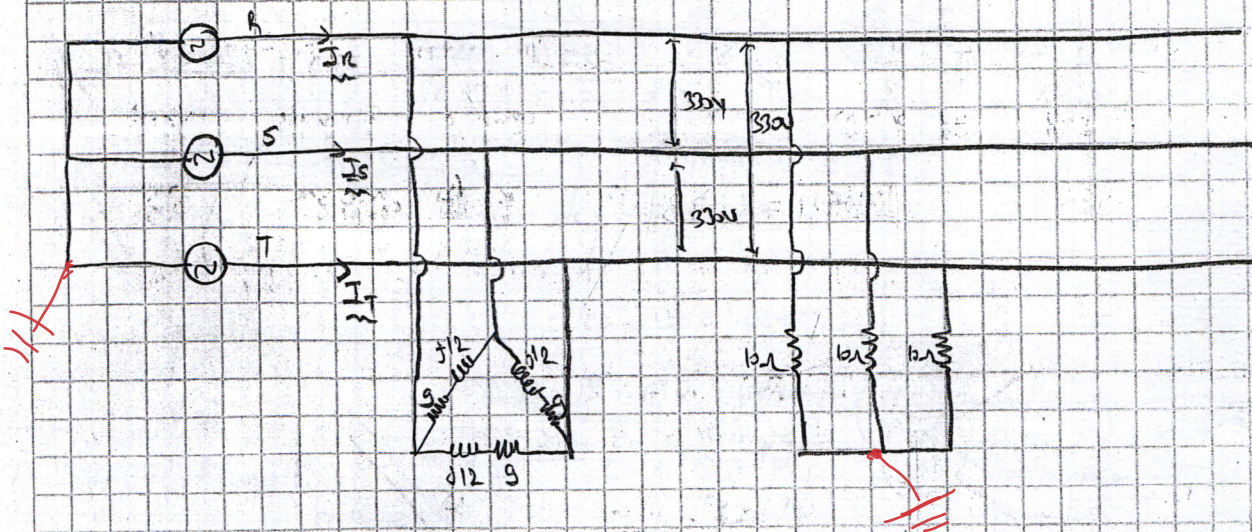
$$\Delta E_{\text{Kayış}} = \Delta P_{\text{Kayış}} t = 790,8 \cdot 10 = 7908 \text{ Wh} = 7,908 \text{ kWh}$$

ÖRNEK Şekildeki 3 fazlı sistemde gerilimler dengeli $U_L = 220 \text{ V}$ oldu göre

a) 3 N sistemin LN eşdeğerini çiziniz

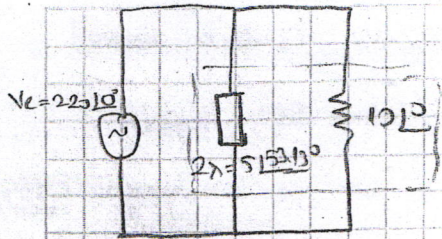
b) Hat akımlarını I_L, I_S, I_T bulunuz?

c) Fazör diyagramı üzerinde faz - nötr gerilimlerini ve faz - faz gerilimlerini ve hat akımlarını gösteriniz

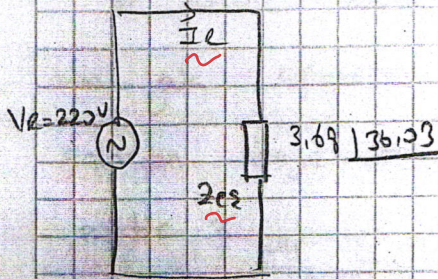


$$a) Z_A = 9 + j12 = 15 \angle 53,13^\circ$$

$$Z_Y = \frac{15 \angle 53,13^\circ}{3} = 5 \angle 53,13^\circ$$



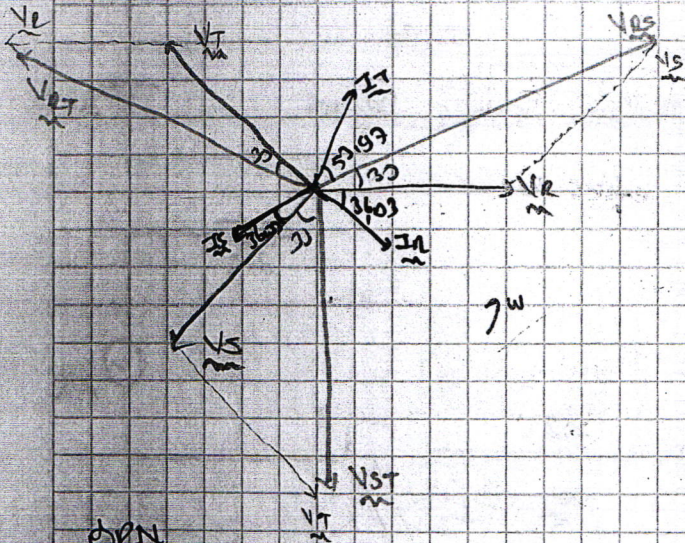
$$Z_{eq} = \frac{5 \cdot 152.13 \angle -10.1^\circ}{3 + 4j + 10} = 3.68 \angle 36.03^\circ \Omega$$



$$I_e = \frac{V_R}{Z_{eq}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{3.68 \angle 36.03^\circ} = 59.78 \angle -36.03^\circ A //$$

$$I_s = I_e \cdot \frac{11 \angle -12^\circ}{1} = 59.78 \angle -156.78^\circ //$$

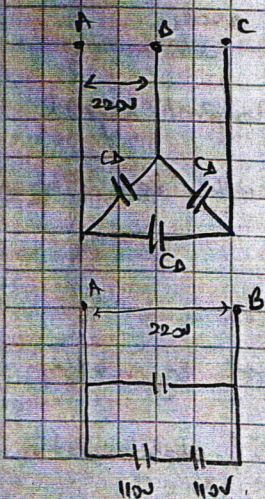
$$I_T = I_e \cdot \frac{12 \angle 0^\circ}{1} = 59.78 \angle 83.97^\circ A //$$



ÖRÖK

$Q_N = 10 \text{ VAR}$

Aşağıdaki şekilde gösterilen ve etiketinde $U_n = 400V$ ve $f = 50Hz$ $Q_n = 10 \text{ VAR}$ yazan 3Ω Δ bağlı kondansatör grubu $1N$ şebekede kullanılmak isteniyor. $1N$ devrede C ucu açık kalacak şekilde $A-B$ uçlarına $220V$ faz - nötr gerilimi uygulanırsa kondansatörün gücü kaç kVAR olur



$$Q_{C\Delta} = \frac{10000}{3} = 3333 \text{ VAR} = 3.333 \text{ kVAR}$$

$$C_{\Delta} = \frac{Q_{C\Delta}}{\omega V_{L\Delta}} = \frac{3333}{2\pi \cdot 50 \cdot 220} = 66.31 \mu F$$

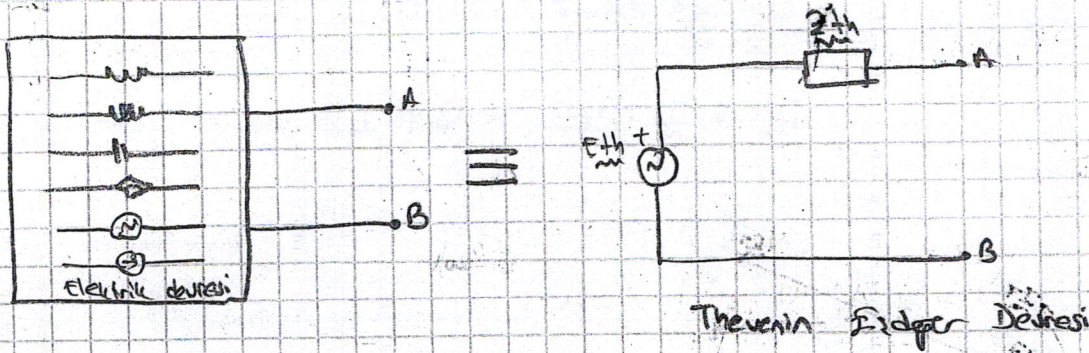
$$Q_{C'} = \omega C_{\Delta} V'^2 + 2 \omega C_{\Delta} (V'/2)^2$$

$$Q_{C'} = 2\pi \cdot 50 \cdot 66.31 \cdot 10^{-6} \cdot 220^2 + 2 (2\pi \cdot 50 \cdot 66.31 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2)$$

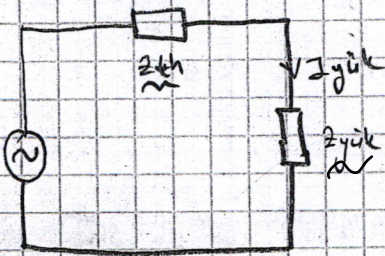
$$Q_{C'} = 1512 \text{ VAR} //$$

THEVENİN DEVRESİ (Gerilim Kaynaklı Eşdeğer Devre)

Her bir elektrik devresi bir gerilim kaynağı ve buna seri bağlı, bir empedansla ifade edilebilir. Elektrik devresinin bir gerilim kaynağı (E_{th}) ve buna seri bağlı empedansın (Z_{th}) oluşan eşdeğer devresine thevenin eşdeğeri denir.



Eşdeğer devreye $Z_{yük}$ bağlarsak



$$I_{yük} = \frac{E_{th}}{Z_{th} + Z_{yük}}$$

Böylece thevenin eşdeğer devresini kullanarak her yük için devrenin fonksiyonunu bilmekten A-B uçları arasında bağlanan empedansın geçen akımı kolayca hesaplamak mümkündür.

Thevenin Eşdeğer Devresinin Elde Edilmesi

Thevenin eşdeğer devresi elde edilirken eğer devrede bağımlı kaynak veya çok uçlu elemanlar yok ise E_{th} A-B uçları açık iken V_{AB} 'ye eşittir.

$$E_{th} = V_{AB}$$

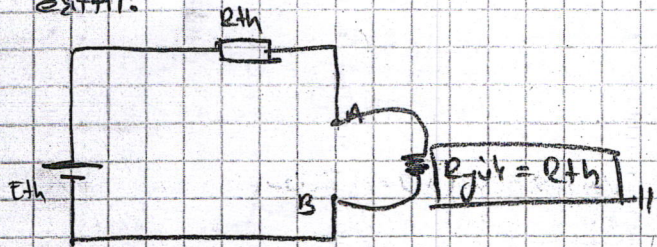
Aynı şartlarda Z_{th} gerilim kaynağını kısa devre, akım kaynakları açık devre edildikten sonra yalın devrede kaynakların etkisi kaldırıldıktan

sonra A-B uçları arasında görülen empedansa eşittir.

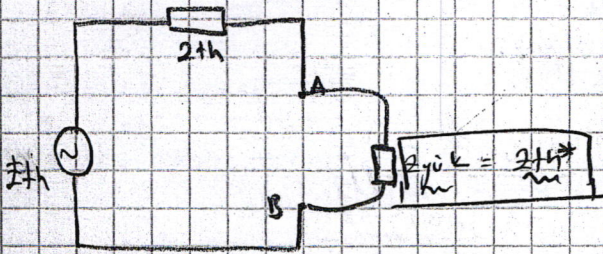
$$\underline{Z_{th} = Z_{AB}}$$

Maksimum Güç Teoremi

Bir elektrik devresine bağlanacak olan yük empedansının kaynakten maksimum güç seçilebilmesi için yük empedansının değeri yükün bağlandığı uçlardan baktığımızda görülen thevenin eşdeğer empedansına eşlenmelidir.



(DC sistemi)

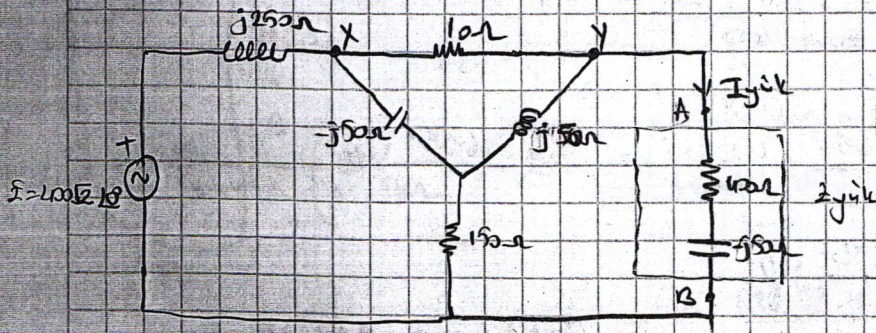


(AC sistemi)

$$\underline{Z_{yuk} = Z_{th}^*}$$

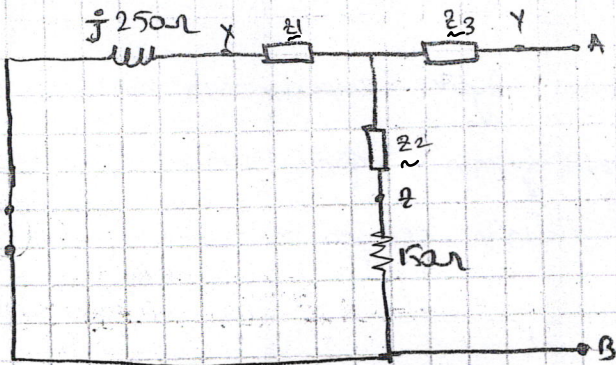
ÖRNEK

- Şekilde verilen devrede I yük akımını thevenin teoremiyle bulunuz.
- A-B uçlarına maksimum güç seçmek için bağlanması gereken Z_{yuk} empedansını bulunuz.
- Maksimum güç seçecek bu yükün gücünü (aktif) bulunuz.



$E_{th}, Z_{th} = ?$

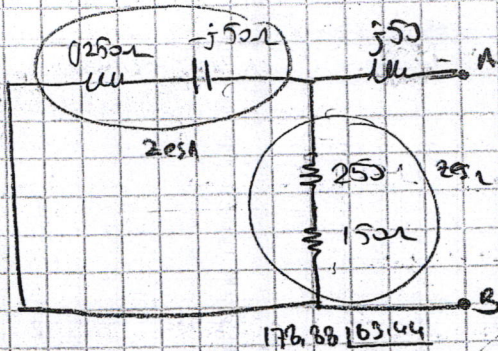
a) Z_{th} bulmak için X, Y Δ bglı devre λ 'a kıvrılır. A-B crossı açık devre edilir.



$$Z_1 = \frac{10 \cdot (-j50)}{10 + j50 - j50} = -j50 \Omega$$

$$Z_2 = \frac{(j50) \cdot (j50)}{10 + j50 - j50} = 250 \Omega$$

$$Z_3 = \frac{10 \cdot (j50)}{10 + j50 - j50} = j50 \Omega$$



$$Z_{eq1} = j250 - j50 = j200 \Omega$$

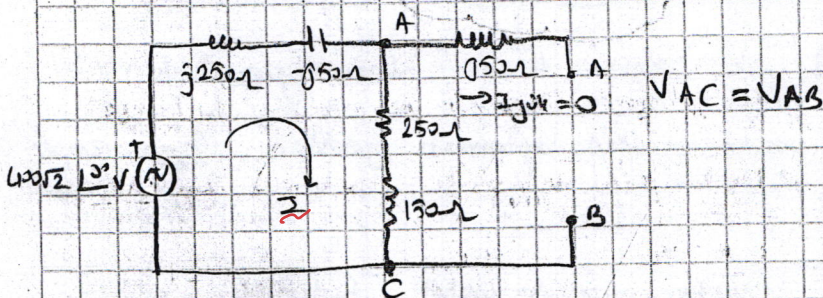
$$Z_{eq2} = 250 + 150 = 400 \Omega$$

$$Z_{eq1} \parallel Z_{eq2}$$

$$Z_{AB} = \frac{j200 \cdot 400}{400 + j200} + j50 = 176.88 \angle 63.44^\circ \Omega \parallel$$

$$= 224.72 \angle 69.15^\circ \Omega$$

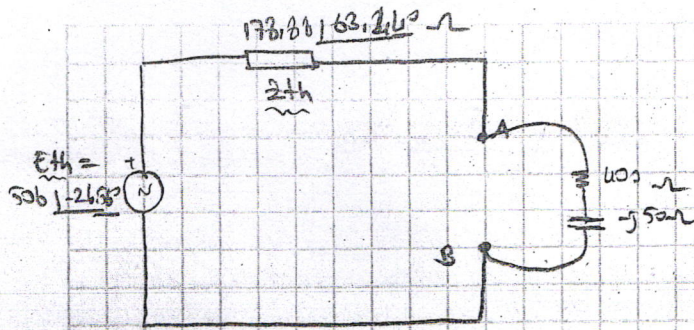
$$Z_{th} = Z_{AB} = 176.88 \angle 63.44^\circ \Omega \parallel$$



$$I = \frac{V}{Z} = \frac{400\sqrt{2} \angle 0^\circ}{400 + j200} = 1.265 \angle -26.56^\circ \text{ A}$$

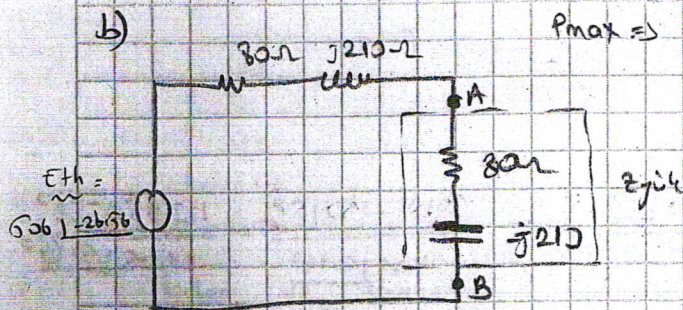
$$V_{AB} = I \cdot R = 1.265 \angle -26.56^\circ \cdot 400 \angle 0^\circ = 506 \angle -26.56^\circ \text{ V}$$

$$E_{th} = V_{AB} = 506 \angle -26.56^\circ \text{ V}$$



$$I_{\text{yük}} = \frac{506 \angle -26.56^\circ}{1800 + 210j + (400 - j50)} =$$

$$I_{\text{yük}} = 1 \angle -45^\circ \text{ A}$$



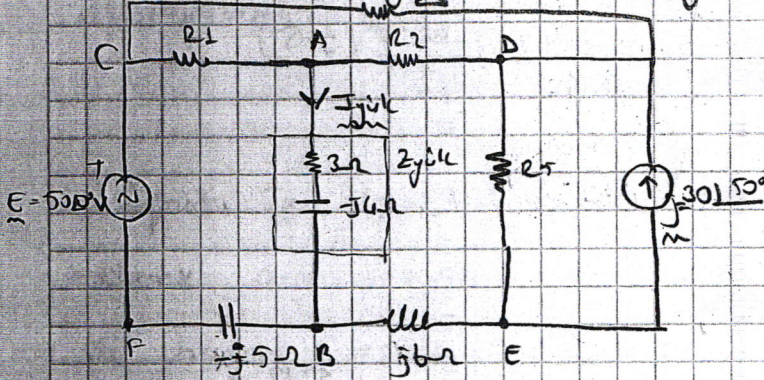
$$P_{\text{max}} \Rightarrow Z_{\text{yük}} = Z_{\text{th}}$$

$$I_{\text{yük}} = \frac{506 \angle -26.56^\circ}{80 + 80} = 3.162 \angle -26.56^\circ \text{ A}$$

$$P_{\text{maks}} = I_{\text{yük}}^2 \cdot R_{\text{yük}} = (3.162)^2 \cdot 80 = 800 \text{ W}$$

ÖRNEK

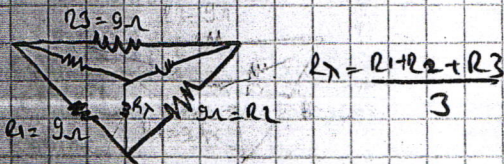
Şekilde verilen yükten geçen $I_{\text{yük}}$ 'u thevenin teoremi yardımı ile bulunuz.



$$R_1 = R_2 = R_3 = 9\Omega$$

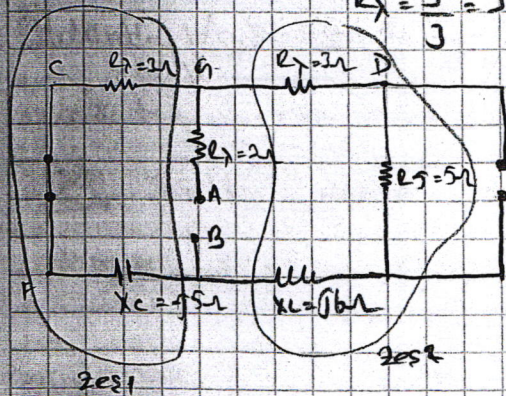
$$R_5 = 5\Omega$$

$$E_{\text{th}}, Z_{\text{th}} = ?$$



$$R_x = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

$$R_x = \frac{9}{3} = 3\Omega$$



$$Z_{\text{es1}} = (3 - j5)\Omega = 5.83 \angle -59^\circ$$

$$Z_{\text{es2}} = 3 + j5 + j6 = (3 + j6) \cdot 10 \angle 36.87^\circ$$

$$Z_{\text{es1}} \parallel Z_{\text{es2}}$$

$$Z_{AB} = \frac{Z_{\text{es1}} \cdot Z_{\text{es2}}}{Z_{\text{es1}} + Z_{\text{es2}}} + R_x$$

$$Z_{AB} = \frac{5.83 \angle -59^\circ \cdot 10 \angle 36.87^\circ}{8 + 6j + 3 - 5j} + 3 = 8.054 \angle -17.108^\circ \Omega$$

$$Z_{AB} = Z_{\text{th}} = 8.054 \angle -17.108^\circ \Omega //$$

Akımın geçtiği A-B kolu için thevenin gerilimi ve empedansını hesaplamak için A-B

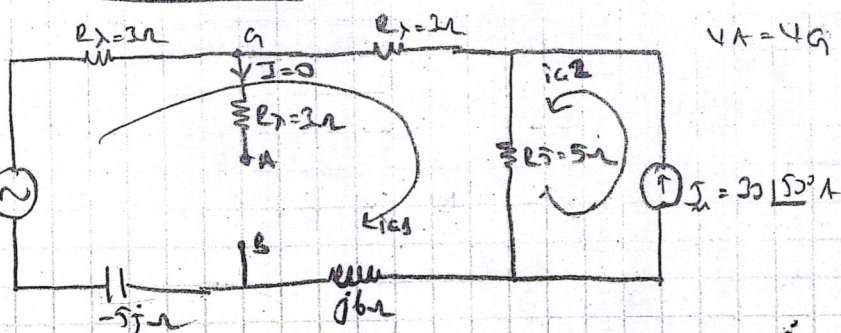
kolu açık devre edilir. Sonra kaynakların

etkisini sıfırlamak üzere gerilim kaynakları

kısa devre ve akım kaynakları açık devredilir.

Bu durumda $Z_{AB} = Z_{\text{th}}$ olacaktır.

$E_{th} = V_{AB}$ A-B ucleri cıktıken



$$V_A = 4G$$

$$V_{AB} = V_{AB}$$

$$\underline{I} = \underline{i_1} (2R_1 + R_2 + R_3 + j\omega L - j\omega C) + \underline{i_2} \cdot R_3$$

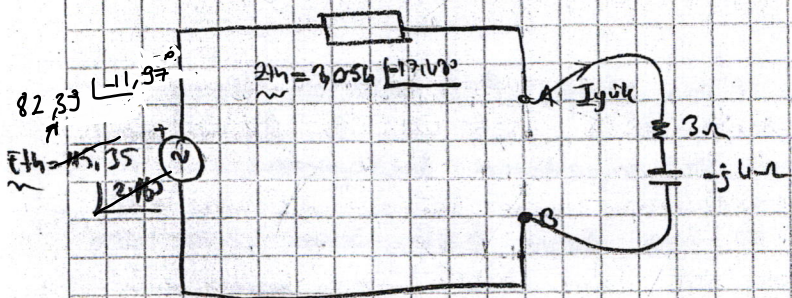
$$\underline{i_1} = \frac{\underline{E} - \underline{i_2} \cdot R_3}{(2R_1 + R_2 + R_3 + j\omega L - j\omega C)} = \frac{50 \angle 0^\circ - 30 \angle 50^\circ \cdot 5}{11 + j} = \frac{50 \angle 0^\circ - 150 \angle 50^\circ}{11.25 \angle 5.19^\circ} = \frac{123.95 \angle -117^\circ}{11.25 \angle 5.19^\circ}$$

$$\underline{i_1} = 11.22 \angle -117.19^\circ \text{ A} // 13.29 \angle -133.69^\circ \text{ A}$$

$$\underline{V_{AB}} = \underline{V_{GB}} = \underline{E} - \underline{i_1} (R_1 - j\omega C) = 50 \angle 0^\circ - 11.22 \angle -117.19^\circ (3 - j5)$$

$$\underline{V_{AB}} = 115.35 \angle 2.16^\circ \text{ V} // \Rightarrow 82.39 \angle -11.97^\circ \text{ V}$$

$$\underline{V_{th}} = \underline{V_{AB}} = \underline{V_{GB}} = 115.35 \angle 2.16^\circ \text{ V}$$



$$\underline{Z_{guk}} = (3 - j4) \Omega = 5 \angle -53.13^\circ \Omega$$

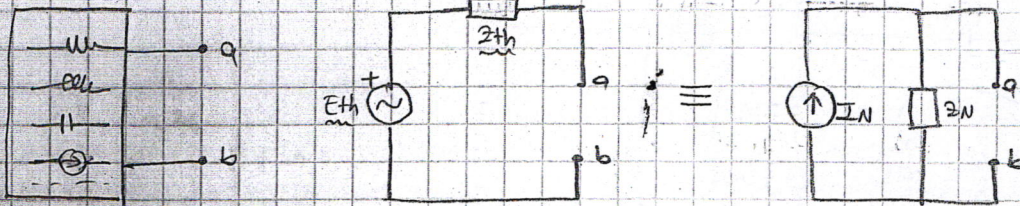
$$82.39 \angle -11.37^\circ$$

$$\underline{I_{guk}} = \frac{\underline{E_{th}}}{\underline{Z_{th}} + \underline{Z_{guk}}} = \frac{115.35 \angle 2.16^\circ}{3.054 \angle 17.10^\circ + 5 \angle -53.13^\circ}$$

$$\underline{I_{guk}} = 9.26 \angle 33.10^\circ \text{ A} // 6.61 \angle 19.04^\circ \text{ A}$$

NORTON TEOREMİ (Akım Kaynaklı Eşdeğer Devre)

İçerisinde birçok devre elemanı olan lineer bir devre bir akım kaynağı ve ona paralel bağlı bir empedansla ifade edilebilir. Devrelerin bu şekilde ifade edilmiş haline norton eşdeğer devresi denir.



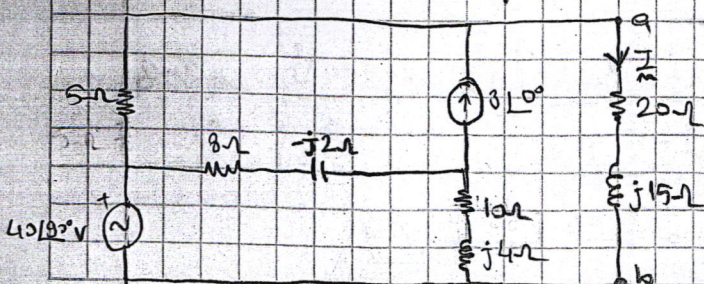
Norton ve thevenin teoremleri AC devrelerde aynı DC devrelerdeki gibi uygulanır. Eşdeğer devrelerde DC analizi olduğu gibi birbirine dönüştürülebilir.

$$E_{th} = I_N \cdot Z_N$$

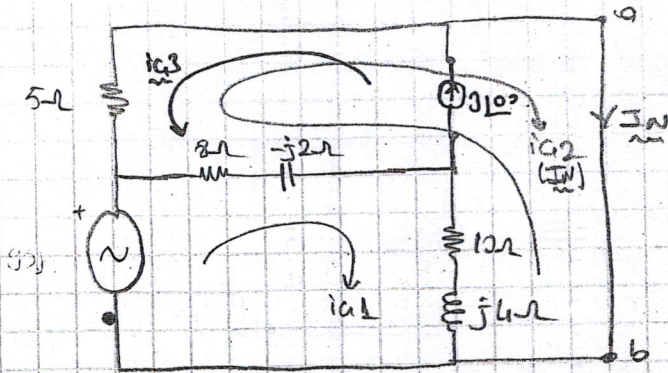
$$Z_{th} = Z_N$$

Diyudan I_N değeri bulunmak istenirse devrede a-b uçları kısa devre edilerek a-b üzerinden geçen akım bulunabilir. Bu kısa devre akımı I_N akımına eşittir. Ya da E_{th} ve Z_{th} değerleri bulunarak yine a-b uçları kısa devre edilerek geçen akım bulunabilir. Geçen bu kısa devre akımı I_N 'a eşittir. Z_N değerini diyudan bulabilmek üzerine devrede kaynaklar etkisiz hale getirilir. ve a-b uçları arasında görülen empedans bulunur. a-b uçları arasında görülen empedans $Z_{ab} = Z_N$ 'dır.

ÖRNEK Şekilde verilen devrede I_N akımını norton teoremiyle bulunun. Devrenin thevenin eşdeğer devresini elde ediniz.



I_N 'u doğrudan bulmak üzere $a-b$ uçları arasındaki yük kaldırılır ve $a-b$ uçları arası kısa devre edilir.



$$i_{a1}, i_{a2} = ? \quad I_N = i_{a2}$$

$$i_{a3} = 3 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\begin{bmatrix} 18+2j & -18-2j \\ -18-2j & 23+2j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{a2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{9}{40j} + \begin{bmatrix} 8-2j \\ 18+2j \end{bmatrix} \frac{1}{3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 18+2j & -18-2j \\ -18-2j & 23+2j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40j \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -24+6j \\ +39+6j \end{bmatrix}$$

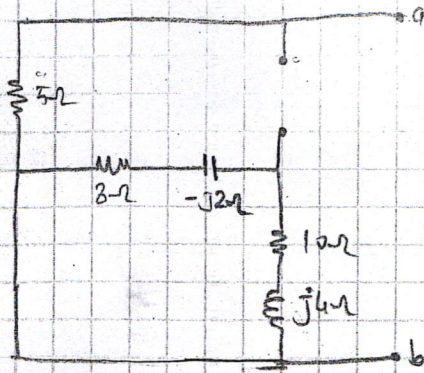
$$\begin{bmatrix} 18+2j & -18-2j \\ -18-2j & 23+2j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -24+6j \\ 39-6j \end{bmatrix}$$

$$i_{a2} = \frac{\begin{vmatrix} 18+2j & -24+6j \\ -18-2j & 39-6j \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 18+2j & -18-2j \\ -18-2j & 23+2j \end{vmatrix}} = \frac{(18+2j)(39-6j) - (-24+6j)(-18-2j)}{(18+2j)(23+2j) - (-18-2j)(-18-2j)}$$

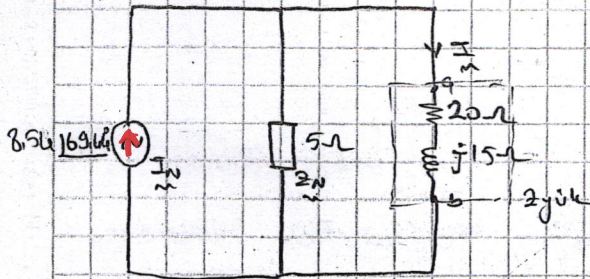
$$i_{a2} = I_N = \frac{(18+2j)(39-6j+46j-24)}{(18+2j)(23+2j-18-j2)} = \frac{15+40j}{5} = 3+8j$$

$$I_N = 8.54 \angle 69.44^\circ \text{ A}$$

2th bulmak için devrede kaynaklar etkisiz hale getirilir (gerilim kaynakları kısa devre, akım kaynakları açık devre) ve a-b uçları arasında toplam empedans bulunur



$$\underline{Z_{ab}} = \underline{Z_N} = 5\Omega$$

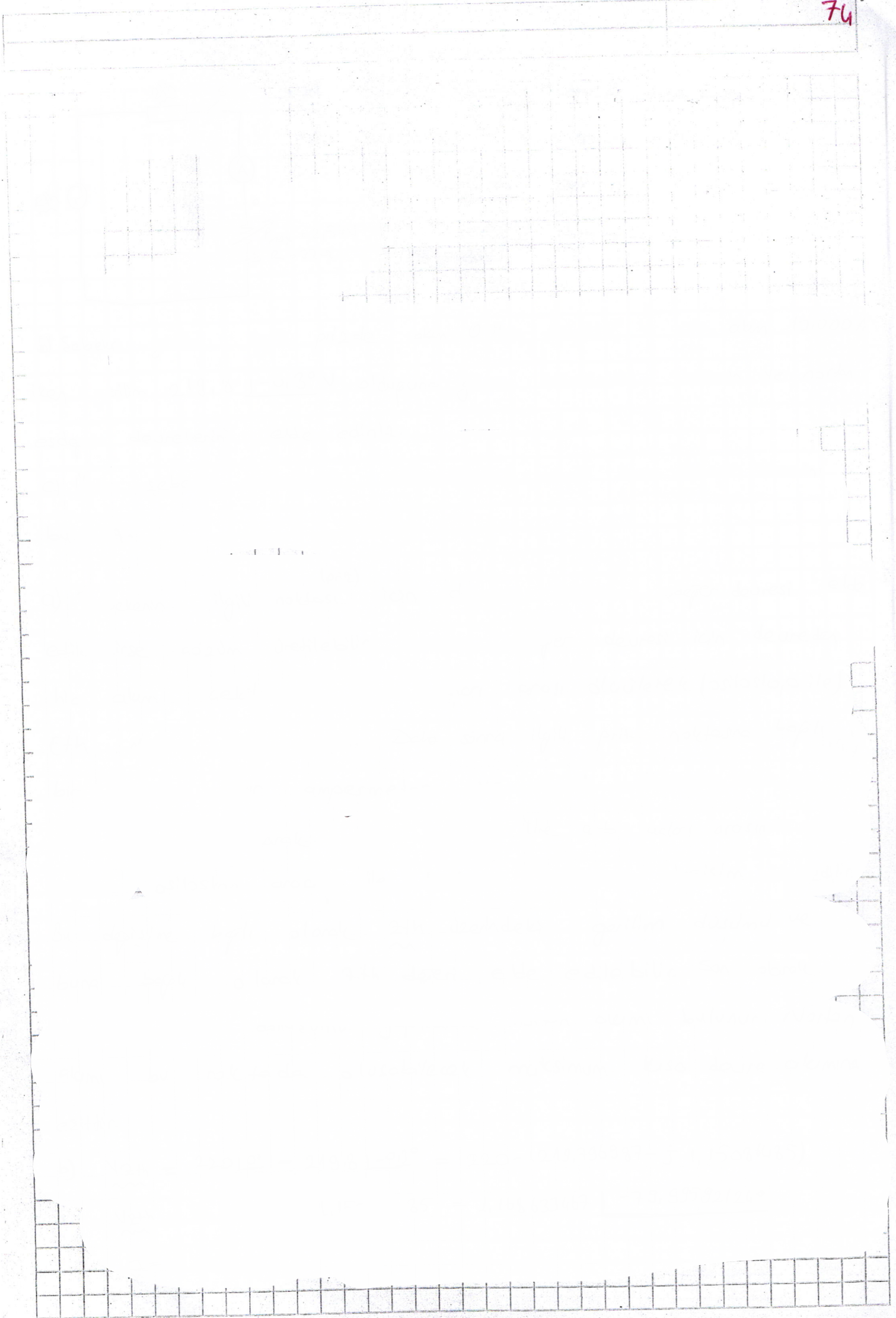


$$\underline{I} = \underline{I_{yük}}$$

$$\underline{I_{yük}} = \frac{\underline{Z_N}}{\underline{Z_N} + \underline{Z_{yük}}} \cdot \underline{I_N}$$

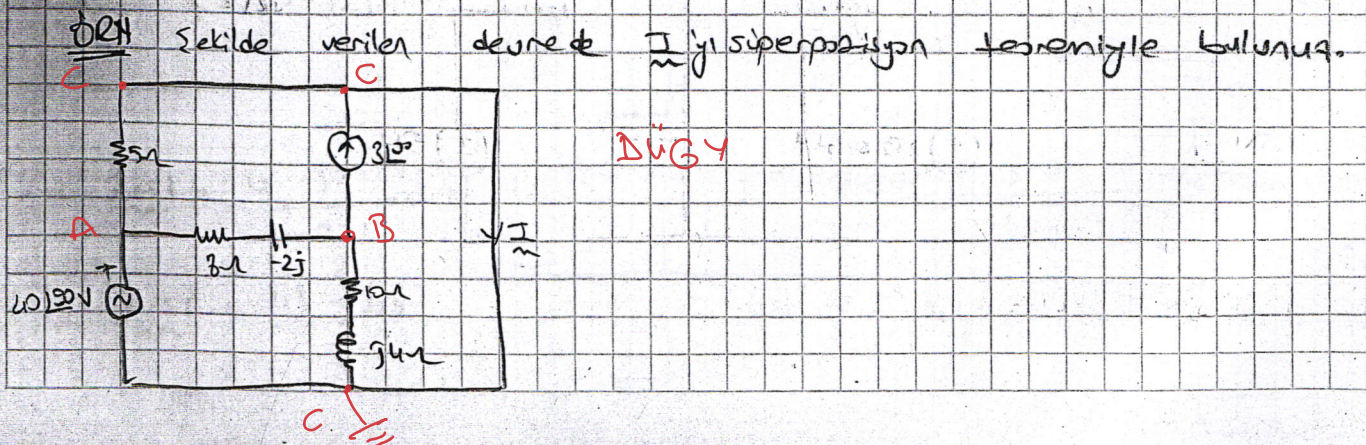
$$\underline{I_{yük}} = \frac{5}{(25 + 15j)} \cdot 85 \angle 169.66^\circ$$

$$\underline{I_{yük}} = \underline{I} = 1.465 \angle 38.68^\circ \text{ A}$$



SÜPERPOZİSYON TEOREMİ (Toplamsallık Teoremi)

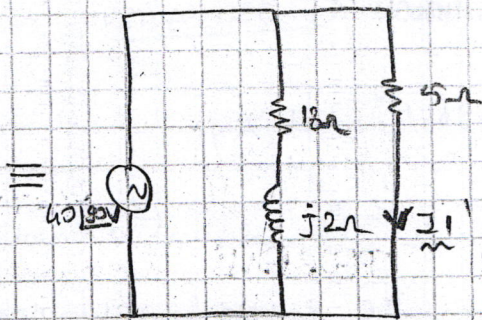
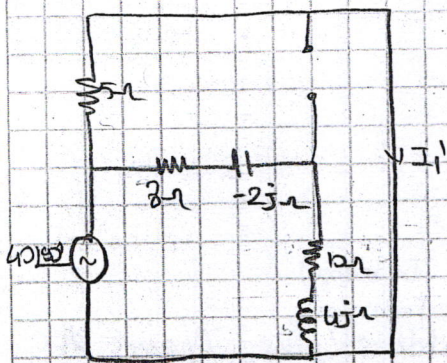
Bu teorem lineer DC devrelerde uygulanabildiği gibi lineer AC devrelerde de uygulanabilmektedir. Bu teorem özellikle farklı frekanslı kaynakların olduğu devrelerde diğer yöntemlere ve teoremlere göre ön plana çıkmaktadır. Devredeki empedanslar frekansa göre değişmekte olduğundan bu devreler SSH'de DÜĞY, GAY, JGY, KAY gibi yöntemlerle çözülemez. Ancak süperpozisyon gibi her bir kaynağın cevabını ayrı ayrı bulup t domeninde toplayan yöntemler farklı frekanslı kaynaklar içeren problemler için çözüm sunulabilir. Son olarak bu yöntem aynı frekanslı kaynakların bulunduğu devrelerde de çözüm üretebilmektedir.



Süperpozisyon teoremi her bir kaynağın cevabını ayrı ayrı bularak toplayan teoremdir. Devrede 2 adet kaynak olduğundan toplam çözüm her bir kaynağın akımları sonucunun toplamıdır.

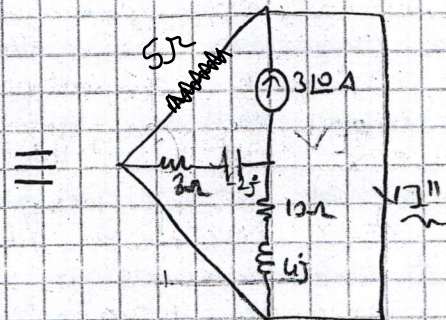
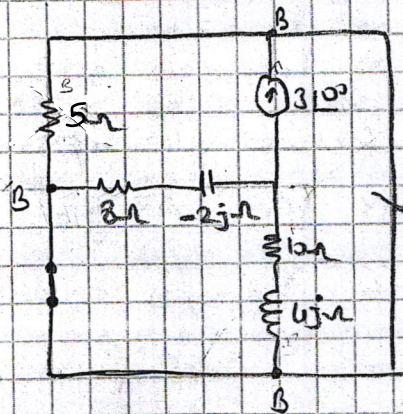
$$\underline{I}' + \underline{I}'' = \underline{I}$$

1. kaynak devrede iken;



$$\underline{I}' = \frac{40 \angle 90^\circ}{5 \angle 0^\circ} = 8 \angle 90^\circ \text{ A}$$

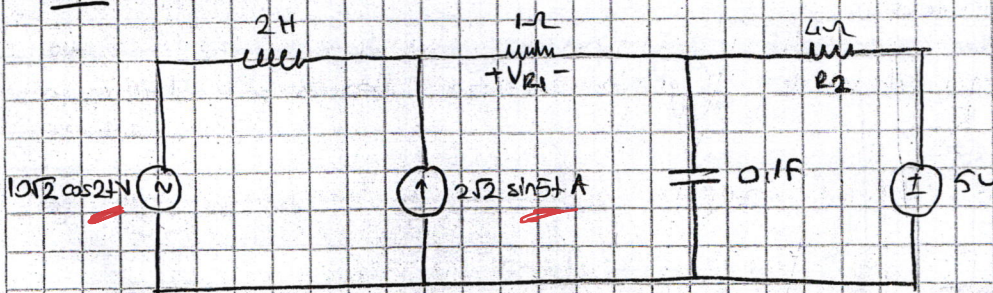
2. kaynak devrede iken;



$$\underline{I}'' = 3 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I} = \underline{I}' + \underline{I}'' = 8 \angle 90^\circ + 3 \angle 0^\circ = (3 + 8j) \text{ A} = 8.54 \angle 69.46^\circ \text{ A}$$

ÖRNEK



$V_{R1} = ?$

450

Devrede 3 farklı kaynağı bulunduğu dan ve superpozisyon teoremi ile herbirinin etkisi toplanabilir olduğundan

$$V_{R1}(t) = V_{R1}'(t) + V_{R1}''(t) + V_{R1}'''(t)$$

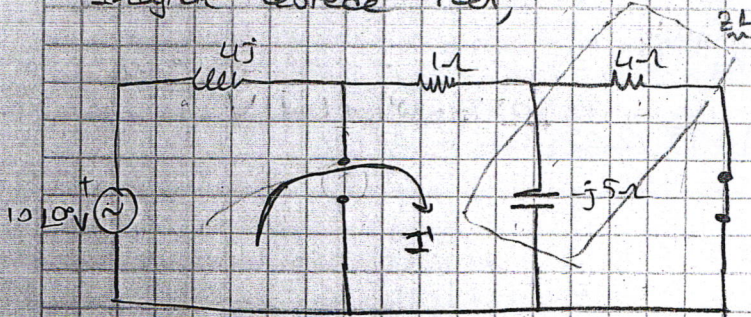
1. kaynak AC gerilim kaynağı $\omega = 2 \text{ rad/s}$

2. kaynak AC akım " $\omega = 5 \text{ rad/s}$

3. kaynak DC gerilim " $\omega = 0$

$$\omega = 0 \rightarrow 2 + f = 0 = \omega$$

1. kaynak devrede iken;



$$X_L = j\omega L = j \cdot 2 \cdot 2 = 4j$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \cdot \frac{1}{20}} = \frac{j}{20} = j0.05$$

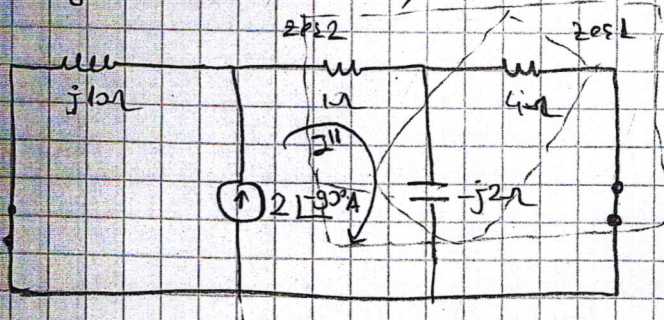
$$Z_{eq} = \frac{4 \cdot (-j5)}{4 - j5} = (2.439 - j1.951) \Omega$$

$$Z_{eq} = 2.439 - j1.951 - (3.439 + j2.069) = 4.0082 \angle 30.79^\circ \Omega$$

$$I' = \frac{10 \angle 0^\circ}{Z_{eq}} = \frac{10 \angle 0^\circ}{4.0082 \angle 30.79^\circ} = 2.498 \angle -30.79^\circ \text{ A}$$

$$V_{R1}' = I' \cdot R_1 = 2.498 \angle -30.79^\circ \text{ V}$$

2. kaynak devrede iken;



$$2\sqrt{2} \sin 5t \rightarrow 2 \angle -90^\circ \quad (\omega = 5 \text{ rad/s})$$

$$X_L = j\omega L = j5 \cdot 2 = j10 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \cdot \frac{1}{20}} = -j2 \Omega$$

$$Z_{eq1} = \frac{4 \cdot -j2}{4 - j2} = 0.8 - j1.6 \Omega$$

$$I'' = \frac{2 \angle -90^\circ}{j10 + 0.8 - j1.6} = 2.328 \angle -80^\circ \text{ A}$$

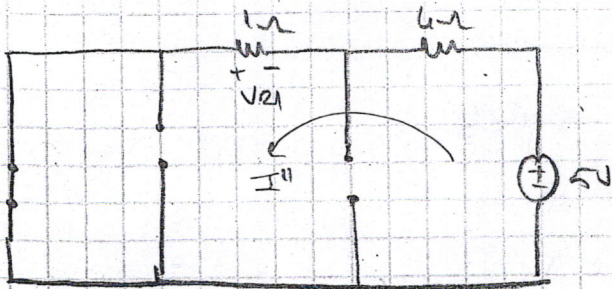
$$Z_{eq2} = 1.8 - j1.6$$

$$V_{R1}'' = I'' \cdot R_1 = 2.328 \angle -80^\circ \text{ V}$$

3. kende beglyken

$$X_L = j\omega L = 0$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \infty$$



$$I'' = \frac{5}{1+4} = 1A$$

$$V_{R1}'' = -I'' \cdot R_1 = -1V$$

$$V_{R1}(t) = V_{R1}'(t) + V_{R1}''(t) + V_{R1}'''(t)$$

$$V_{R1}(t) = \sqrt{2} \cdot 2,498 \cos(2t - 37,79^\circ) + \sqrt{2} \cdot 2,328 \cos(2t - 30^\circ) + (-1)V$$