

# Enerji İletim Sistemleri


Ders 11



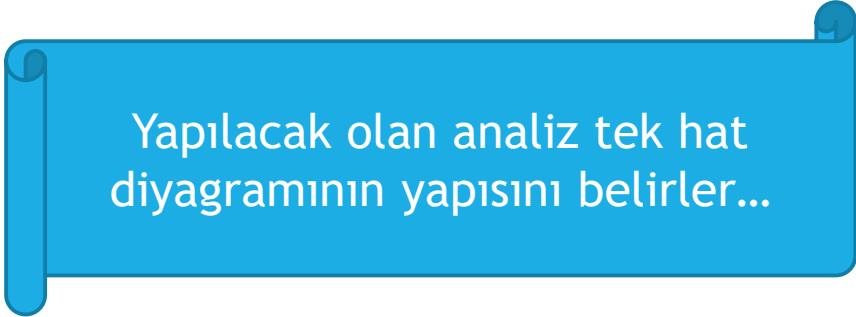
# TEK HAT, EMPEDANS VE REAKTANS DİYAGRAMLARI

# Tek Hat Diyagramı

- ▶ Sisteme dâhil olan cihazların eşdeğer devreleri yerine, bunlar için düşünülmüş standart semboller kullanılarak oluşturulan ve sadece 1 fazı ihtiva eden diyagram “**Sistemin tek hat diyagramı**” olarak adlandırılır.
  - ▶ Güç sisteminin yük etüdünde
  - ▶ Sistemin geçici rejim altındaki kararlılığı










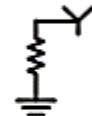


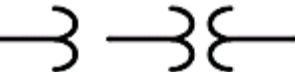




Kesici, ayırıcı ve röleler



Yapılacak olan analiz tek hat diyagramının yapısını belirler...

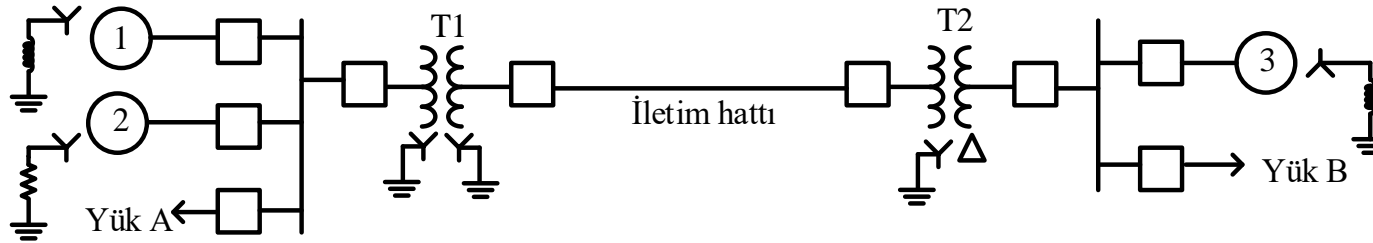
# Tek Hat Diyagramı

- Amerikan Milli Standart Enstitüsü ANSI ve Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü IEEE, Elektrik diyagramları için standart semboller tablosu yayınlamışlardır.

	Motor veya generatör		Üç fazlı üçgen bağlantı
	2 Sargılı güç transformatörü		Üç fazlı yıldız bağlantı (Nötr noktası topraksız)
	3 Sargılı güç transformatörü		Üç fazlı yıldız bağlantı (Nötr noktası direkt topraklı)
	Sigorta		Üç fazlı yıldız bağlantı (Nötr noktası direnç üzerinden topraklı)
	Akım transformatörü		Üç fazlı yıldız bağlantı (Nötr noktası reaktans üzerinden topraklı)
	Gerilim Transformatörü		Ampermetre
	Disjonktör = Kesici (Yağlı veya başka bir sıvılı)		Voltmetre
	Havalı disjonktör		

# Empedans ve Reaktans Diyagramları

- Bir enerji sisteminin tek hat diyagramı ele alınarak bundan nasıl faydalanılabileceği araştırılım.



Generatör 1: 20,000 kVA; 6,6 kV;  $X_d'' = 0,655$  pu

Generatör 2: 10,000 kVA; 6,6 kV;  $X_d'' = 1,31$  pu

Generatör 3: 30,000 kVA; 3,81 kV;  $X_d'' = 0,1452$  pu

$T_1$  ve  $T_2$  : Üç fazlı grupların her birindeki tek fazlı transformatörler,  
10000 kVA; 3,81/38,1 kV;  $X = 14,52 \Omega$  (Y.G. tarafına göre)

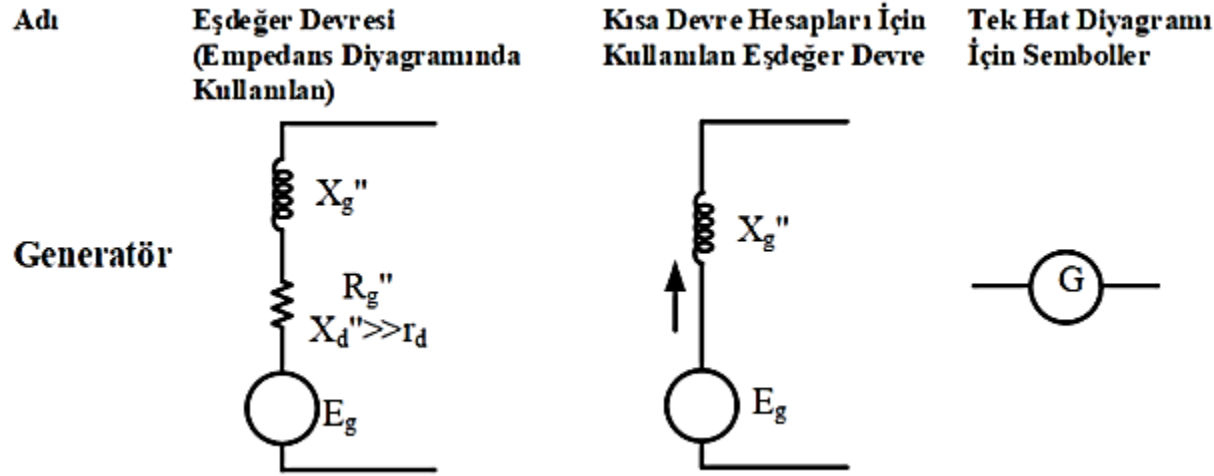
İletim hattı reaktansı:  $17,4 \Omega$

A yükü : 15,000 kW; 6,6 kV;  $\cos\theta = 0,9$  end.

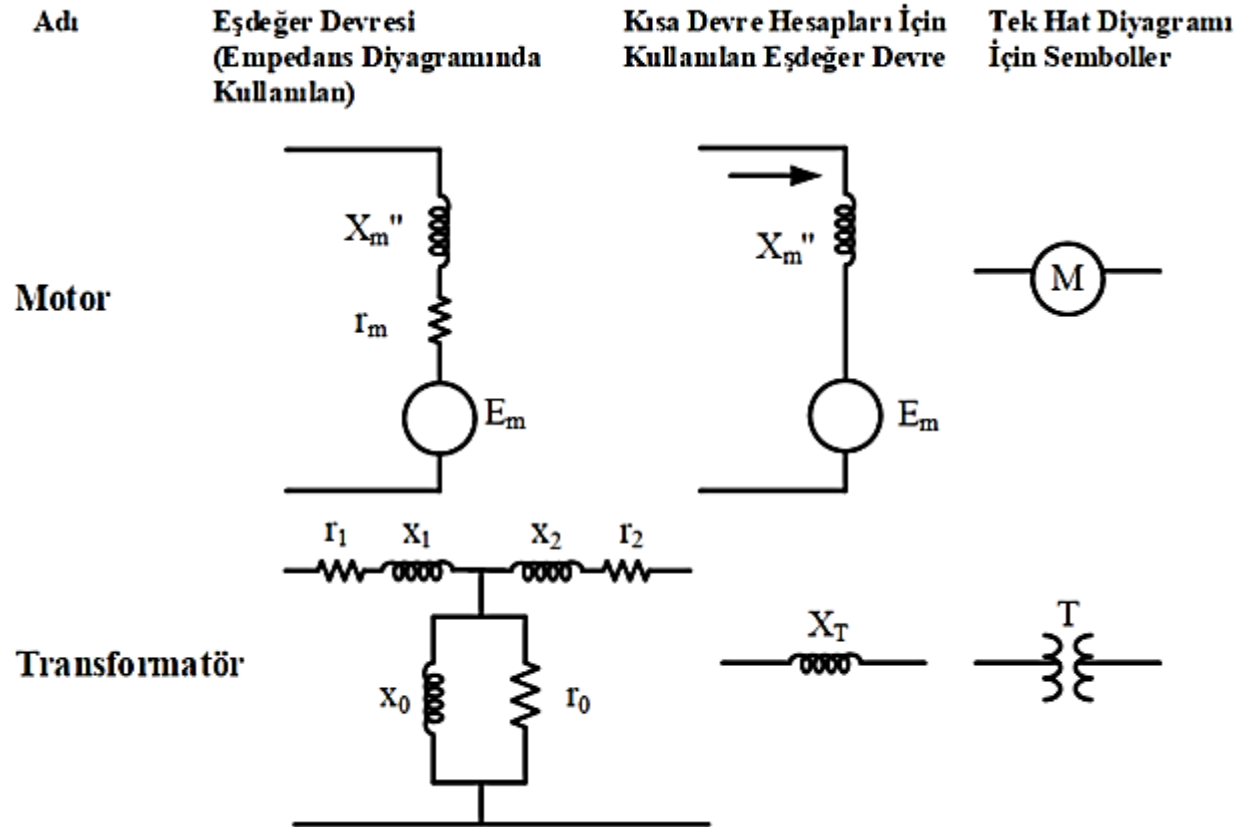
B yükü : 30,000 kW; 3,81 kV;  $\cos\theta = 0,9$  end.

# Empedans ve Reaktans Diyagramları

- Bir enerji sisteminde yük etüdü veya kısa devre etüdü yapılabilmesi için, tek hat diyagramından sistemin **empedans diyagramına** geçilmesi gerekir. Empedans diyagramına geçebilmek için sistemi meydana getiren elemanların her birinin eşdeğer devrelerinin bilinmesi gerekir.

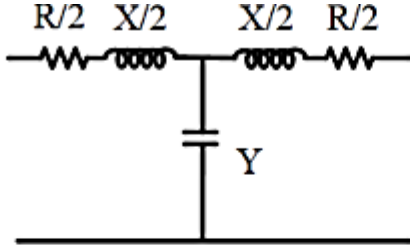
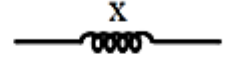
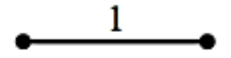
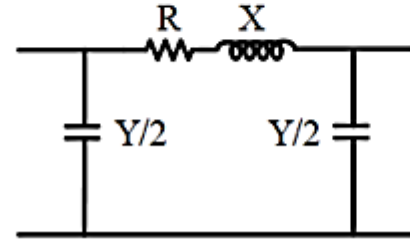
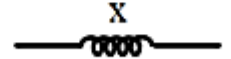
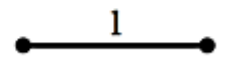


# Empedans ve Reaktans Diyagramları





# Empedans ve Reaktans Diyagramları

Adı	Eşdeğer Devresi (Empedans Diyagramında Kullanılan)	Kısa Devre Hesapları İçin Kullanılan Eşdeğer Devre	Tek Hat Diyagramı İçin Semboller
T			
Enerji Hattı			



# Empedans ve Reaktans Diyagramları

- ▶ Yük etüdü yapılacak ise, endüktif yükler seri bağlı birer direnç ve reaktans ile ifade edilirler.
- ▶ Empedans diyagramında, tek hat diyagramında görülen generatörlerin nötrleri ile toprak arasındaki akım sınırlandırıcı empedanslar gösterilmez.
- ▶ Empedans diyagramındaki bütün değerler aynı gerilime, yani transformatörlerin sekonder veya primer gerilimine göre ifade edilir.

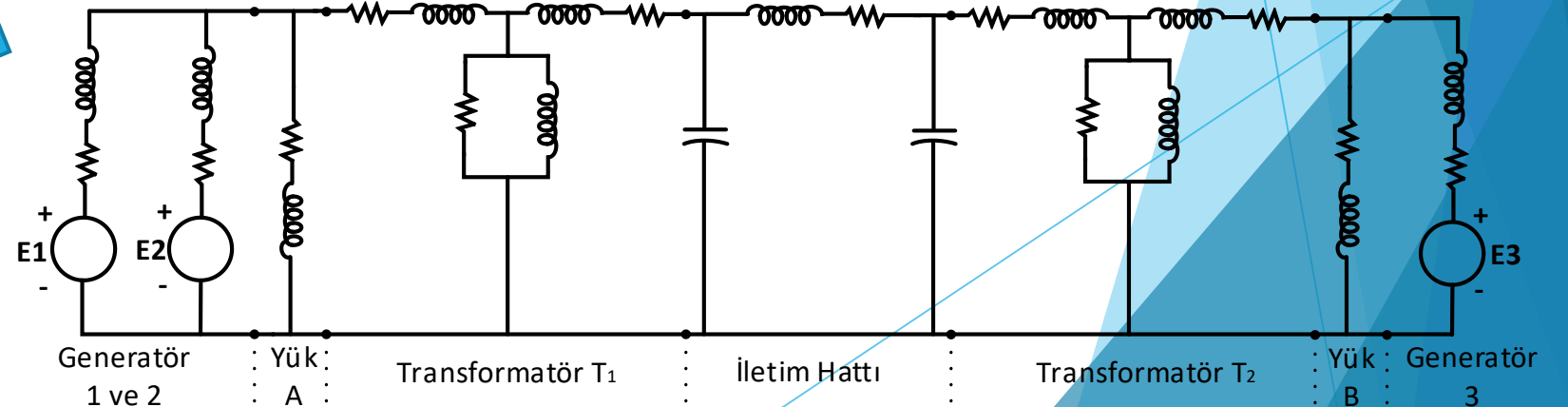
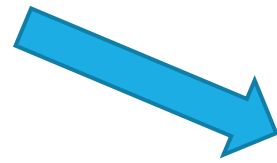
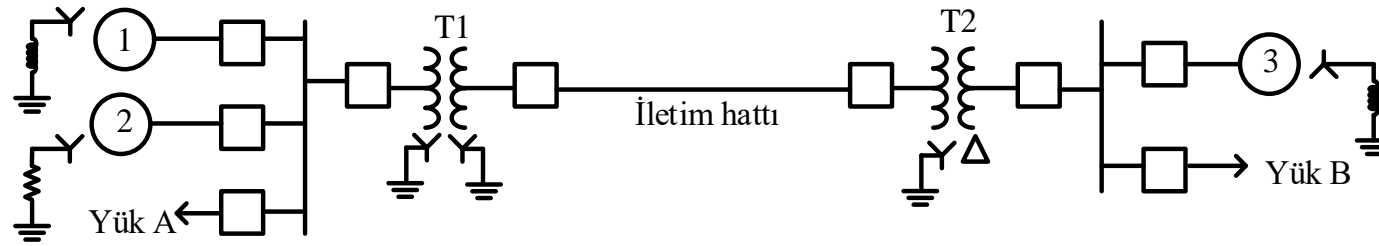
# Empedans ve Reaktans Diyagramları

- Tek hat diyagramı verilen sistemin empedans diyagramını çizmek istersek;



# Empedans ve Reaktans Diyagramları

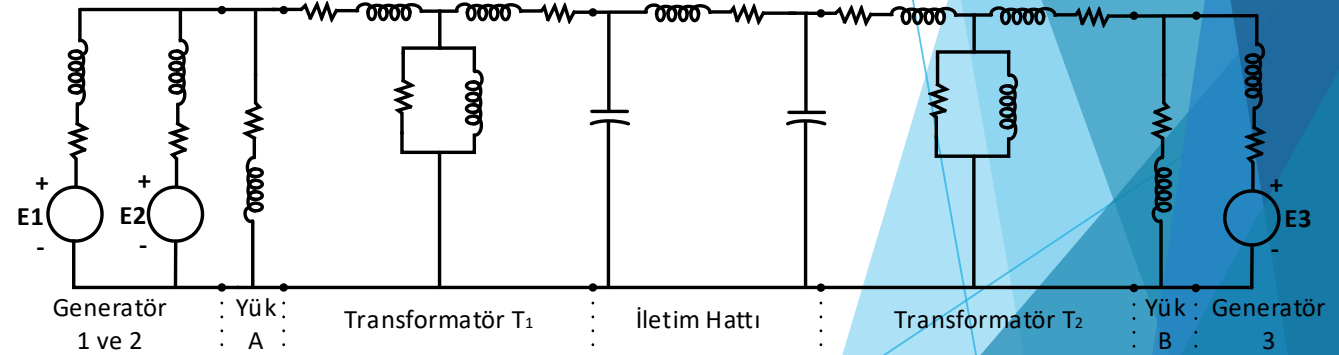
- Tek hat diyagramı verilen sistemin empedans diyagramını çizmek istersek;



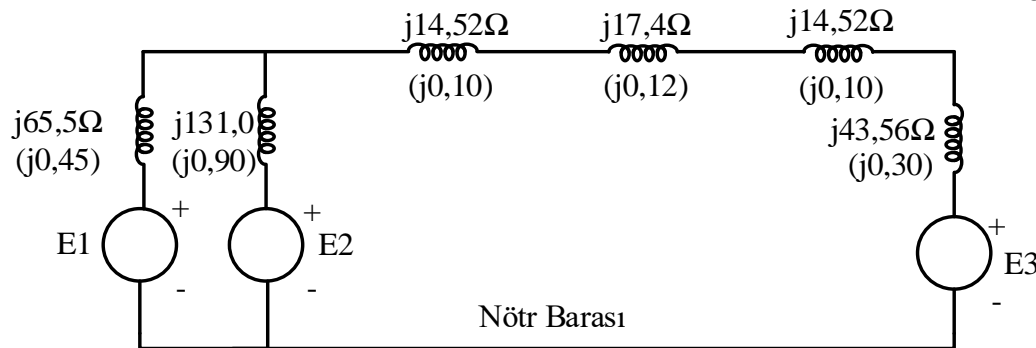
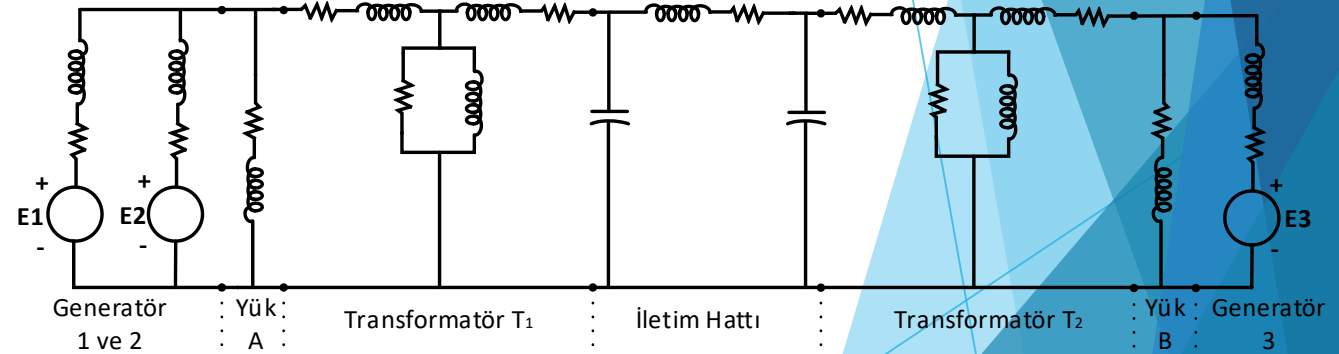
# Empedans ve Reaktans Diyagramları

- ▶ Arıza etüdü yapılırken, direnç genellikle ihmal edilebilir. Direnç ve reaktans vektörel olarak toplanacağından empedans reaktanstan pek farklı bulunmaz.
- ▶ Döner makine şeklinde olmayan yüklerin, arıza esnasında toplam hat akımı üzerindeki tesirleri azdır ve bu sebeple ihmal edilebilirler.
- ▶ Arıza hesapları için bütün statik yükler, dirençler, transformatörlerin mıknatıslanma akımlarını ve iletim hatlarının kapasitif akımlarını (kısa devre akımı yanında çok küçük kaldıkları için) ihmal edersek, sistemin **reaktans diyagramı** elde edilir.

# Empedans ve Reaktans Diyagramları



# Empedans ve Reaktans Diyagramları



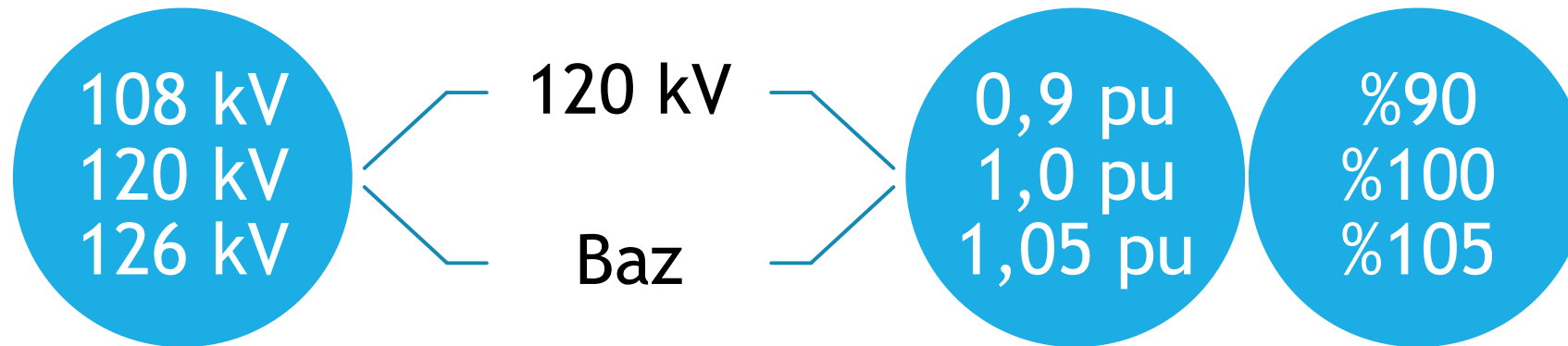


# PER-UNIT DEĞERLER



# PU DEĞERLER

- ▶ Devre hesaplamalarında herhangi bir büyüklüğün birçok değerine rastlanabilir. Mesela, hesaplamalarda gerilim büyüklüğünün 108, 120 ve 126 kV gibi değerleriyle karşılaşılmış olsun.



- ▶ Per-unit değer, verilen değer baz olarak seçilen değere göre alınan ve ondalık kesir şeklinde ifade edilen oranı olarak tanımlanır.

# PU DEĞERLERDE BAZ SEÇİMİ

- ▶ Bir devrede gerilim, akım ve kVA büyüklükleri arasında belli bağıntılar mevcuttur. Bu sebeple, bunlardan herhangi ikisi için baz değerler seçilmesi yeterlidir.
- ▶ Önce devrenin herhangi bir kısmı için baz seçilir, sonra devrenin bu kısmından transformatörler ile ayrılmış olan diğer kısımlarındaki baz değerler hesaplanır.
- ▶ Bir makine ya da cihazın p.u. değeri imalatçısı tarafından bildirilmiş ise, baz olarak makine veya cihazın nominal kV ve kVA değerlerinin alınmış olduğu düşünülür.

# PU DEĞERLERDE BAZ SEÇİMİ

## ► Tek Fazlı Bir Devre İçin

$S=V.I$  olduğu dikkate alınır;

$$\text{Baz akım, } A = \frac{\text{baz kVA}_{1\phi}}{\text{baz gerilim, kV}_{LN}} = \frac{\text{kVA}_{1\phi B}}{\text{kV}_{LNB}}$$

$$\text{Baz empedans} = \frac{\text{baz gerilim, } V_{LN}}{\text{baz akım, } A} = \frac{(\text{baz gerilim, } V_{LN})^2}{\text{baz VA}} = \frac{V_{LNB}^2}{VA_B}$$

$$\text{Baz empedans} = \frac{(\text{baz gerilim, kV}_{LN})^2}{\text{baz MVA}_{1\phi}} = \frac{\text{kV}_{LNB}^2}{\text{MVA}_{1\phi B}}$$

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

# PU DEĞERLERDE BAZ SEÇİMİ

## ► Üç Fazlı Bir Devre İçin

$$\text{Baz akım, } A = \frac{\text{baz kVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot \text{baz gerilim, kV}_{LL}} = \frac{\text{kVA}_{3\phi B}}{\sqrt{3} \cdot \text{kV}_{LLB}}$$

$$\text{Baz empedans} = \frac{(\text{baz gerilim, kV}_{LL})^2}{\text{baz MVA}_{3\phi}} = \frac{(\text{kV}_{LLB})^2}{\text{MVA}_{3\phi B}}$$

$$\text{Per – unit empedansı} = \frac{\text{gerçek empedans, } \Omega}{\text{baz empedans, } \Omega}$$

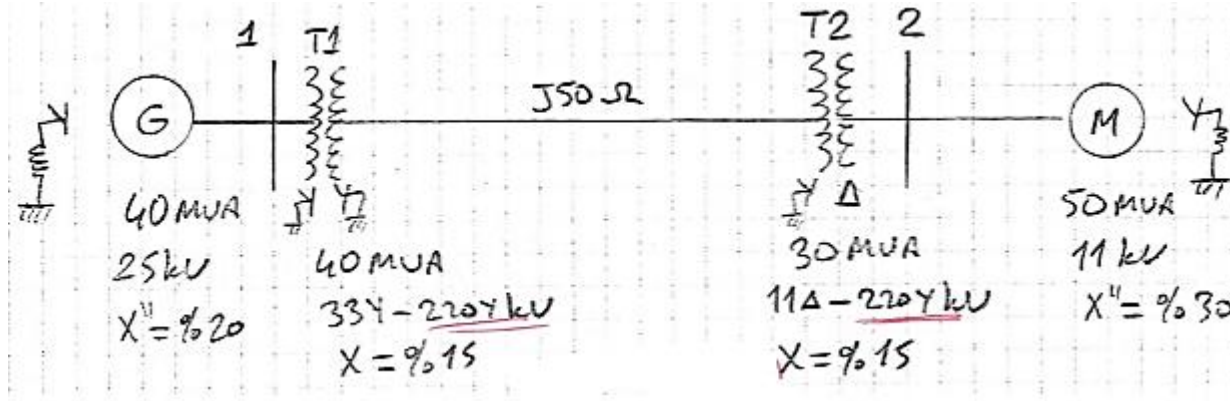
# PU DEĞERLERDE BAZ DÖNÜŞÜMÜ

- Bir baz değere göre verilen per-unit değer başka bir baz değeri için per-unit cinsinden ifade edilebilir.

$$\left. \begin{array}{l} Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} \\ Z_{pu} = \frac{Z_\Omega}{Z_B} \end{array} \right\} Z_{pu} = Z_\Omega \cdot \frac{S_B}{V_B^2} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} Z_{pu_o} = Z_\Omega \cdot \frac{S_{B_o}}{V_{B_o}^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Eski baz} \\ Z_{pu_n} = Z_\Omega \cdot \frac{S_{B_n}}{V_{B_n}^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Yeni baz} \end{array}$$

$$Z_{pu_n} = Z_{pu_o} \cdot \left( \frac{V_{B_o}}{V_{B_n}} \right)^2 \cdot \left( \frac{S_{B_n}}{S_{B_o}} \right)$$

# ÖRNEK - 1



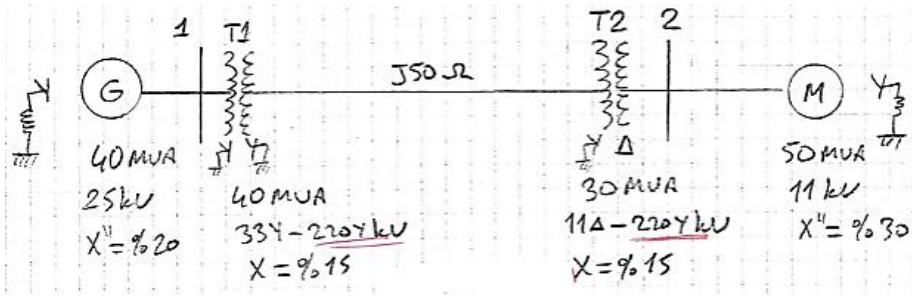
- Şekilde verilen güç sisteminin pu cinsinden reaktans diyagramını çiziniz. (Gerilim bazı 220 kV ve güç bazı 100 MVA olarak alınacaktır.)

- Generatör gerilim bazı=  $220 \cdot \frac{33}{220} = 33 \text{ kV}$

- Motor gerilim bazı=  $220 \cdot \frac{11}{220} = 11 \text{ kV}$

Transformatörlerin bağlantı şekilleri ve verilen dönüştürme oranlarına DİKKAT!!!

# ÖRNEK - 1



$$Z_{pu_n} = Z_{pu_o} \cdot \left( \frac{V_{Bo}}{V_{Bn}} \right)^2 \cdot \left( \frac{S_{Bn}}{S_{Bo}} \right)$$

Per – unit empedansı =  $\frac{\text{gerçek empedans, } \Omega}{\text{baz empedans, } \Omega}$

$$X_{g_{yeni}} = X_{g_{eski}} \cdot \left( \frac{V_{eski}}{V_{bar}} \right)^2 \cdot \frac{S_{Bar}}{S_{eski}}$$

$$= 0,20 \cdot \left( \frac{25}{33} \right)^2 \cdot \frac{100}{40} = j0,286 \text{ p.u.}$$

$$X_{m_{yeni}} = 0,30 \cdot \left( \frac{11}{11} \right)^2 \cdot \frac{100}{50} = j0,6 \text{ p.u.}$$

$$X_{T1_{yeni}} = 0,15 \cdot \left( \frac{33}{33} \right)^2 \cdot \frac{100}{40} = j0,375 \text{ p.u.}$$

$$X_{T2_{yeni}} = 0,15 \cdot \left( \frac{220}{220} \right)^2 \cdot \frac{100}{30} = j0,5 \text{ p.u.}$$

$$X_{T2_{yeni}} = 0,15 \cdot \left( \frac{11}{11} \right)^2 \cdot \frac{100}{30} = j0,5 \text{ p.u.}$$

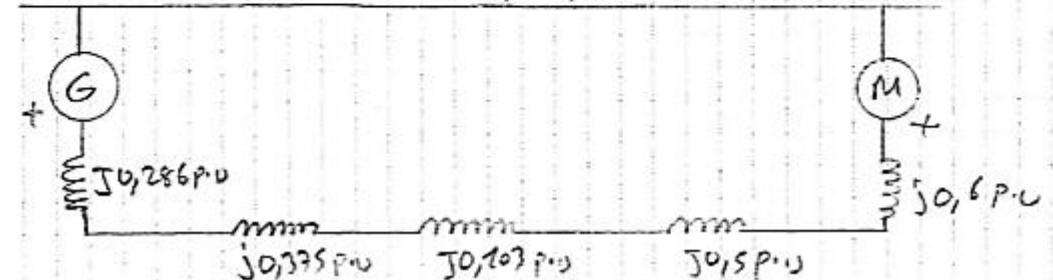
iletim hattının baz reaktansı:

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

iletim hattının p.u cinsinden reaktansı

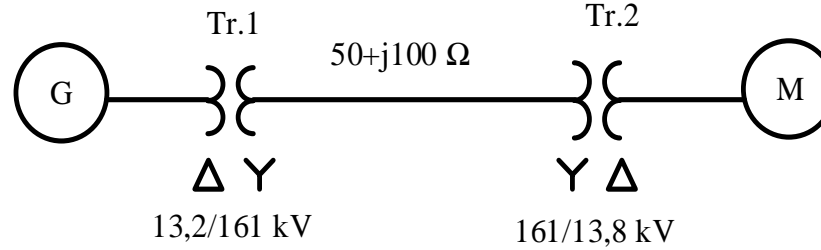
$$Z_{p.u} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_{Bar}} = \frac{350 \Omega}{484 \Omega} = j0,103 \text{ p.u.}$$

referans bara





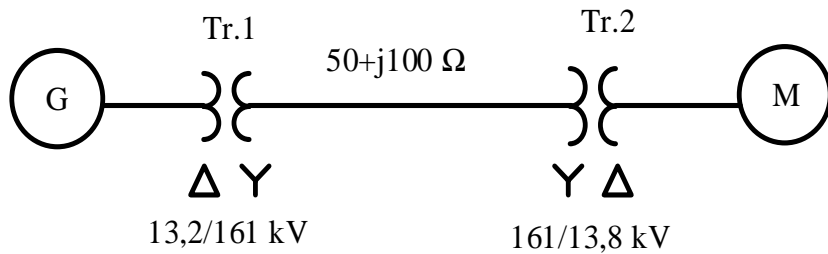
## ÖRNEK - 2



Yukarıda verilen enerji sistemi için 161 kV ve 20 MVA değerlerini baz seçerek per-unit cinsinden empedans diyagramını çiziniz.

- ▶ Generatör : 15 MVA ; 13,8 kV ;  $X'' = 0,15 \text{ per-unit}$
- ▶ Motor : 10 MVA ; 13,2 kV ;  $X'' = 0,15 \text{ per-unit}$
- ▶ Tr1 : 25 MVA ; 13,2  $\Delta$  - 161 Y kV ;  $X = 0,10 \text{ per-unit}$
- ▶ Tr2 : 15 MVA ; 13,8  $\Delta$  - 161 Y kV ;  $X = 0,10 \text{ per-unit}$

## ÖRNEK - 2



- ▶ Generatör gerilim bazı =  $161 \cdot \frac{13,2}{161} = 13,2 \text{ kV}$
- ▶ Motor gerilim bazı =  $161 \cdot \frac{13,8}{161} = 13,8 \text{ kV}$
- ▶  $X_G = 0,15 \cdot \left(\frac{13,8}{13,2}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{15}\right) = 0,2185 \text{ per - unit}$
- ▶  $X_M = 0,15 \cdot \left(\frac{13,2}{13,8}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{10}\right) = 0,2745 \text{ per - unit}$
- ▶  $X_{Tr1} = 0,10 \cdot \left(\frac{161}{161}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{25}\right) = 0,08 \text{ per - unit}$
- ▶  $X_{Tr2} = 0,10 \cdot \left(\frac{161}{161}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{15}\right) = 0,133 \text{ per - unit}$

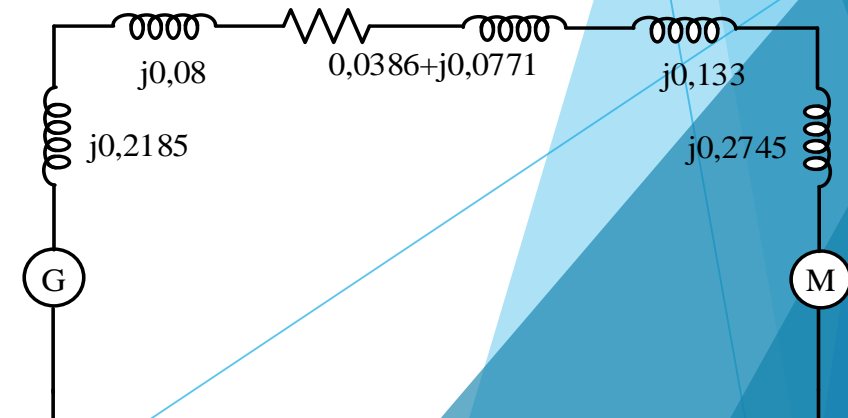
$$Z_{pu_n} = Z_{pu_o} \cdot \left(\frac{V_{Bo}}{V_{Bn}}\right)^2 \cdot \left(\frac{S_{Bn}}{S_{Bo}}\right)$$

$$\text{Per - unit empedansı} = \frac{\text{gerçek empedans, } \Omega}{\text{baz empedans, } \Omega}$$

İletim hattının per-unit reaktansını bulmak için:

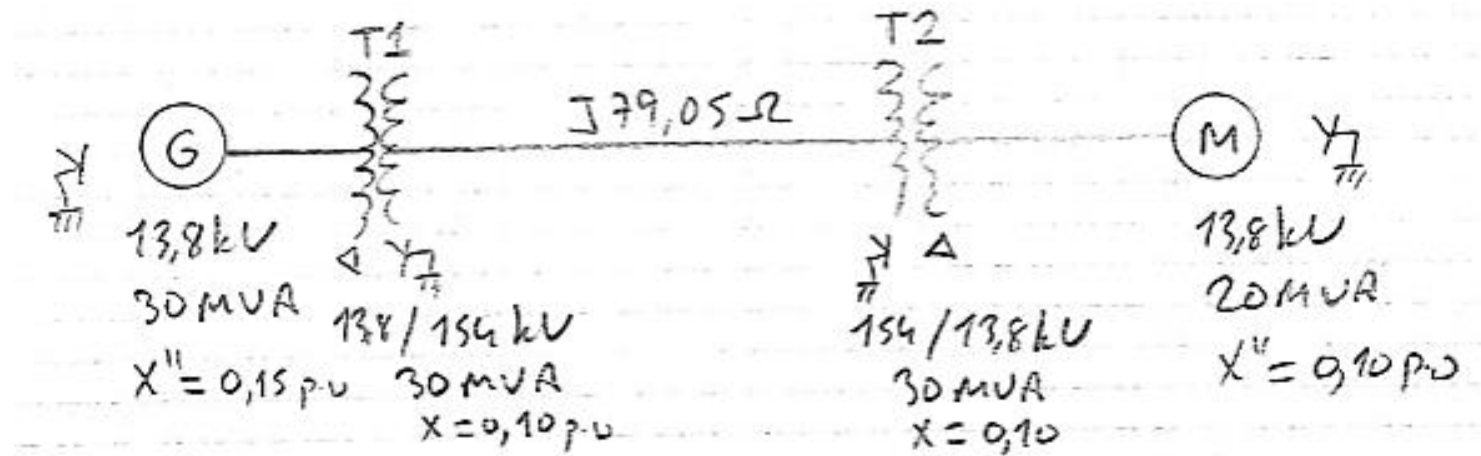
$$Z_{pu} = Z(\Omega) \cdot \frac{MVA_B}{kV_B^2} = (50 + j100) \cdot \frac{20}{161^2}$$

$$= 0,0386 + j0,0771 \text{ per - unit}$$

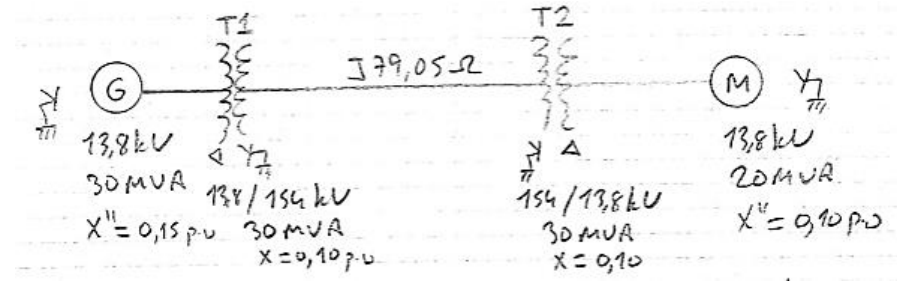


# UYGULAMA

- Aşağıda tek hat diyagramı verilen sistemde generatör değerlerini baz alarak pu cinsinden reaktans diyagramını çiziniz.



# UYGULAMA - ÇÖZÜM



İletim Hattında, bar gerilim  $13,8 \cdot \frac{154}{13,8} = 154 \text{ kV}$

Motor barasında bar gerilim  $154 \cdot \frac{13,8}{154} = 13,8 \text{ kV}$

$$X_{G\text{eni}} = j0,15 \text{ p.u.}$$

$$X_{T12} = 0,10 \cdot \left( \frac{154}{154} \right)^2 \cdot \frac{30}{30} = j0,10 \text{ p.u.}$$

$$X_{T12} = 0,1 \cdot \left( \frac{154}{154} \right)^2 \cdot \frac{30}{30} = j0,10 \text{ p.u.}$$

$$X_M = 0,10 \cdot \left( \frac{13,8}{13,8} \right)^2 \cdot \frac{30}{20} = j0,15 \text{ p.u.}$$

$$X_{\text{iletim bar}} = \frac{154^2}{30} = 790,53 \Omega$$

$$X_{\text{iletim p.u.}} = \frac{j79,05}{790,53} = j0,099 \text{ p.u.}$$

