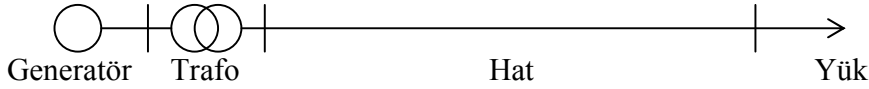


3. İLETİM SİSTEMLERİNİN GÖSTERİMLERİ

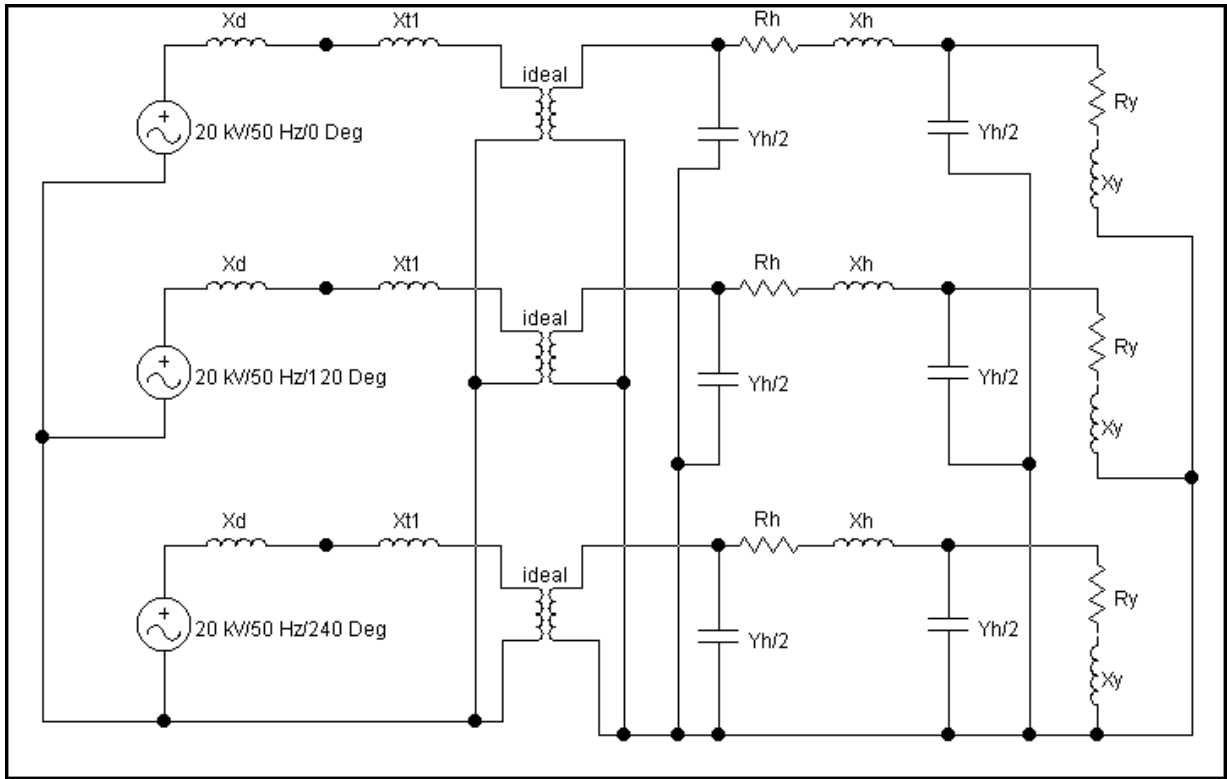
3.1. Şemalar

İletim sistemleri üç fazlı sistemler olup, sistemin dengeli olduğu kabul edildiğinden, gösterimlerde üç kutuplu şema yerine, simetriden faydalanılarak tek kutuplu şema kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde, tek hat şeması verilen basit bir iletim sisteminin; üç kutuplu, tek kutuplu ve birim değere indirgenmiş tek kutuplu şemaları görülmektedir.

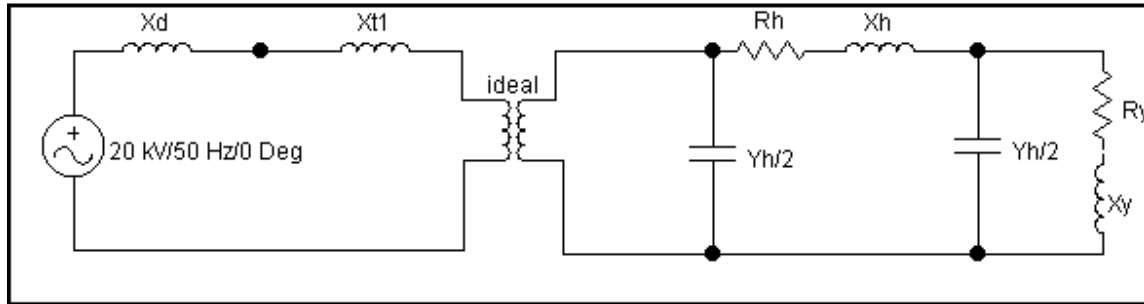
Şemalardan görülebileceği gibi, üç kutuplu devre çözüm açısından tek kutuplu devreye göre şüphesiz daha karmaşıktır. Ancak tek kutuplu devrede de, modelleme gereği ideal trafonun varlığından dolayı hesaplamalarda primere veya sekondere indirgemeler yapmak gerekecektir. Oysaki son devreden de görülebileceği gibi, birim değere çevrilmiş sistemde, ideal trafonun devrede tutulmasına gerek kalmamaktadır.



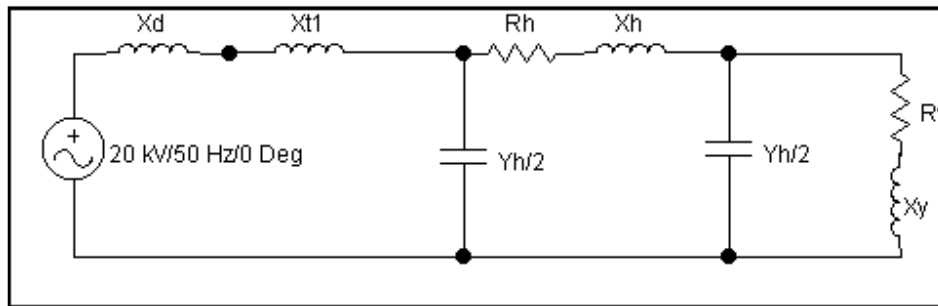
a) Tek hat şeması



b) Üç kutuplu şema



c) Tek kutuplu şema



d) Tek kutuplu şema (birim değere indirgenmiş sistem)

Şekil 3.1 Basit bir iletim sisteminin gösterimleri

3.2. Birim Değerler

Enerji iletim sistemlerinin incelenmesinde, sistemdeki elemanların (generatör, trafo, hat, yük, ...) birim (pu : per-unit) değerlerinin elde edilmesi büyük kolaylıklar sağlar. Bu amaçla aşağıdaki algoritma kullanılabilir :

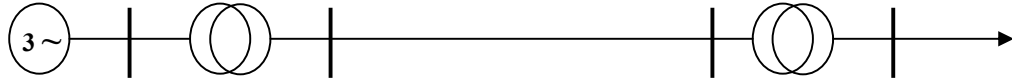
1.Adım: Baz Seçimi: Güç (S), Gerilim (U), Akım (I), Empedans (Z),...büyüklüklerinden herhangi ikisi baz seçilir. (geleneksel olarak S_{BAZ} ve U_{BAZ} alınır)

2.Adım: Diğer büyüklüklerin baz değerleri, bilinen formüller yardımıyla hesaplanır.

$$I_B = S_B / \sqrt{3} \cdot U_B \quad , \quad Z_B = U_B^2 / S_B \quad , \dots$$

3.Adım: Bir elemanın Birim Değeri = $\frac{\text{Gerçek Değer}}{\text{Baz Değer}}$ şeklinde belirlenir.

	Generatör	Trafo 1	İletim Hattı (L km)	Trafo2	Yük
Güç	S _g	St1		St1	S _{yük}
Gerilim	U _g	U ₁ / U ₂		U ₂ / U ₃	U _{yük}
Empedans	X _d	X _{t1}	Z _{hat}	X _{t1}	



BAZ	(Üretim)	(İletim)	(Yük)
Güç	S _{BAZ}	S _{BAZ}	S _{BAZ}
Gerilim	U _{BAZ} = U ₁	U _{BAZ} = U ₂	U _{BAZ} = U ₃
Akım	S _{BAZ} / √3 · U ₁	S _{BAZ} / √3 · U ₂	S _{BAZ} / √3 · U ₃
Empedans	U ₁ ² / S _{BAZ}	U ₂ ² / S _{BAZ}	U ₃ ² / S _{BAZ}

Transformatörlerden dolayı, baz gerilimi de trafoların anma çevirme oranlarında tam olarak dönüştürülür. Ancak seçilen baz gerilimi hat geriliminden farklı ise ($U_{BAZ} \neq U_2$), baz geriliminin yine trafonun anma çevirme oranlarına göre çevrilmesi gerekecektir, bu durumda baz gerilimi dağılımı ;

Gerilim	$(U_1/U_2) \cdot U_{BAZ}$	U_{BAZ}	$(U_3/U_2) \cdot U_{BAZ}$
---------	---------------------------	-----------	---------------------------

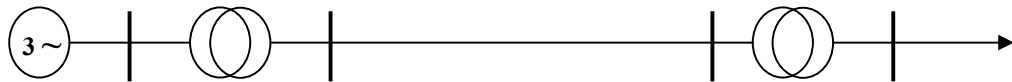
şeklinde olmalıdır. Eğer, örnekteki ikinci trafonun çevirme oranı, U₃ yüksek gerilim tarafı olmak üzere (U_3/U_4) ise baz gerilimi dağılımı;

Gerilim	$(U_1/U_2) \cdot U_{BAZ}$	U_{BAZ}	$(U_4/U_3) \cdot U_{BAZ}$
---------	---------------------------	-----------	---------------------------

şeklinde olacaktır.

Örnek 1 :

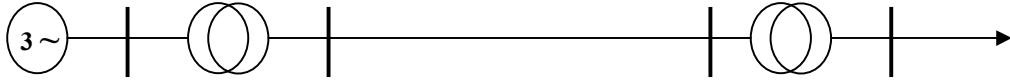
	Generatör	Trafo 1	İletim Hattı	Trafo2	Yük
Gerilim(kV)	20	20 / 380		380 / 36	36



BAZ	(Üretim)	(İletim)	(Yük)
Gerilim(kV)	20	380	36

Örnek 2 :

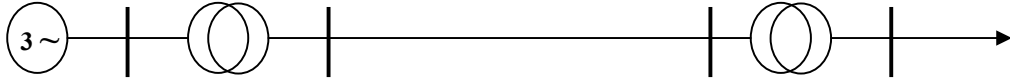
	Generatör	Trafo 1	İletim Hattı	Trafo2	Yük
Gerilim(kV)	20	20 / 380		380 / 36	36



BAZ	(Üretim)	(İletim)	(Yük)
Gerilim(kV)	$(20/380) \times 400 = 21$	400	$(36/380) \times 400 = 38$

Örnek 3 :

	Generatör	Trafo 1	İletim Hattı	Trafo2	Yük
Gerilim(kV)	20	20 / 400		360 / 36	36



BAZ	(Üretim)	(İletim)	(Yük)
Gerilim(kV)	$(20/400) \times 380 = 19$	380	$(36/360) \times 380 = 38$

3.2.1. Tek ve Üç Fazlı Devreler İçin Empedansın Baz Değeri

Tek fazlı devrelerde;

$V_B = Z_B \cdot I_B$, $Z_B = V_B / I_B$, $S_B = V_B \cdot I_B$, $I_B = S_B / V_B$ ifadelerinden tek fazlı devreler için empedans değeri;

$$Z_B = V_B^2 / S_B \quad V_B : \text{Faz Nötr Gerilimi} \quad (1)$$

olarak bulunur.

Üç fazlı devrelerde ise; (3ϕ 3Faz anlamında bir indis)

$S_B = \frac{1}{3} S_{B-3\phi}$, $V_B = U_B / \sqrt{3}$ ifadelerini (1) de yerine koyarak;

$$Z_B = \left(U_B / \sqrt{3} \right)^2 / (S_{B-3\phi} / 3)$$

$$Z_B = U_B^2 / S_{B-3\phi} \quad U_B : \text{Faz Arası Gerilimi} \quad (2)$$

olarak empedans değeri bulunur.

3.2.2. Sistemde Baz Değişimi

İletim sisteminde bulunan generatör, transformatör, büyük güçlü motorlar gibi elektriksel cihazların empedansları genellikle “ohm” olarak değil, bu cihazların kendi anma gerilim ve anma güçleri cinsinden “birim değer – pü” olarak verilir. Bu cihazların baz değerleri, kullanıldıkları bir sistemde seçilen baz değerinden farklı olabilir. Yada yukarıda bahsedildiği gibi transformatörlerin çevirme oranlarında dolayı yalnızca baz gerilim değişebilmektedir. Dolayısı ile, gerekli baz dönüşümleri yapılarak bu cihazların empedanslarına ilişkin “yeni bir birim değer” hesaplanmalıdır.

$$Z_{pü} = Z_{\Omega} / Z_B, \quad Z_B = U_B^2 / S_B, \quad Z_{pü} = Z_{\Omega} \frac{S_B}{U_B^2}$$

$$Z_{pü0} = Z_{\Omega} \frac{S_{B0}}{U_{B0}^2}, \quad Z_{pün} = Z_{\Omega} \frac{S_{Bn}}{U_{Bn}^2}$$

$Z_{pü0}$: empedansın eski birim değerini, $Z_{pün}$: empedansın yeni birim değerini ifade etmektedir.

$$Z_{pün} = Z_{pü0} \left(\frac{V_{B0}}{V_{Bn}} \right)^2 \left(\frac{S_{Bn}}{S_{B0}} \right) \quad (3)$$

(3) ifadesinde V_{B0} ve S_{B0} sırasıyla eski baz gerilimi ve baz gücü, V_{Bn} ve S_{Bn} sırasıyla yeni baz gerilimi ve baz gücü temsil etmektedir.

3.2.3. Birim Değerlerin Faydaları

Tüm bara gerilimleri "1 pü" civarında olur ve birbirleri ile kıyaslamaları kolaylaşır,

Transformatörlerin çevirme oranlarından kurtulunur,

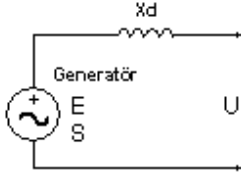
Transformatörlerin oluşturduğu kuplajlı çevre sayısı azalır,

Ancak faz kaydırıcılı ve kademe değiştiricili trafolar için model irdelenmelidir.

3.3. Sistem Elemanlarının Modelleri

3.3.1. Generatör

Generatörler en basit model olarak sürekli hal incelemelerinde, sarğı direnci ihmal edilerek sabit bir reaktans (X_d : Senkron Reaktans) gerisinde bir EMK ile modellenirler. Bunun yanında transiyent (geçici hal) subtransiyent (üst geçici hal) durumlarında E ve X_d farklı değerler alır.



Durum	EMK	Reaktans
Sürekli-Hal	E	X_d
Geçici Hal	E'	X_d'
Üst Geçici Hal	E''	X_d''

Genellikle; $E'' > E' > E$ ve $X_d'' < X_d' < X_d$

S ve U sırasıyla generatörün, anma gücü ve anma gerilimidir.

X_d kendi güç ve gerilim BAZ olmak üzere pu veya % olarak verilir.

Örnek :

$S=50$ MVA, $U = 15$ kV $X_d = 0,25$ pu verilerine göre X_d nin gerçek değerini hesaplayınız.

Bir büyüklüğün birim değeri için kullanılan ifadeye göre; (X_d) pu = $\frac{\text{Gerçek}(X_d)}{\text{Baz}(X_d)}$ olacaktır

X_d nin baz değeri ise generatörün kendi U ve S değerleri baz kabul edilerek belirlenebilir.

$$(X_d)_{\text{BAZ}} = \frac{U_{\text{BAZ}}^2}{S_{\text{BAZ}}}$$

X_d nin gerçek değeri

$$X_d = (X_d)_{\text{pu}} \cdot (X_d)_{\text{BAZ}} = 0,25 \frac{U^2}{S} = 0,25 \frac{15^2}{50} = 0,25 \frac{225}{50} = 0,25 \times 4,5 = 1,125 \Omega$$

Örnek :

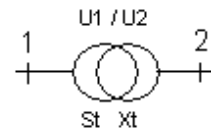
Aynı generatörün, $S_{\text{BAZ}}=100$ MVA $U_{\text{BAZ}} = 16$ kV olan bir sisteme bağlı olması durumunda X_d nin yeni birim değerini hesaplayınız.

$$(X_{dN})_{pu} = (X_{dO})_{pu} \cdot \left(\frac{U_{BO}}{U_{BN}}\right)^2 \cdot \left(\frac{S_{BN}}{S_{BO}}\right) = 0,25 \cdot \left(\frac{15}{16}\right)^2 \cdot \left(\frac{100}{50}\right) = 0,25 \cdot (0,9375)^2 \cdot 2 = 0,4395 \text{ pu}$$

3.3.2. Trafolar

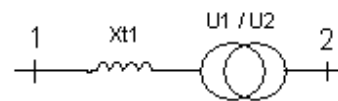
$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$St = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = \frac{U_1^2}{X_{t1}} = \frac{U_2^2}{X_{t2}}$$

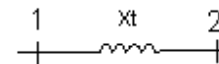
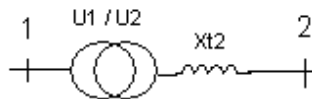


$$\frac{X_{t1}}{X_{t2}} = \frac{U_1^2}{U_2^2} = n^2$$

$$X_{t1} = n^2 \cdot X_{t2}$$



$$X_{t2} = \frac{X_{t1}}{n^2}$$

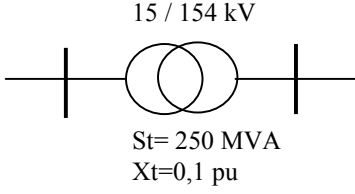


	(1) Primerden ► (2) Sekondere	(2) Sekonderden ► (1) Primere
U	1/n	n
I	n	1/n
Z	1/n ²	n ²

$S_{BAZ} = St$	$U_{BAZ} = U_1$	$Z_{BAZ-1} = \frac{U_1^2}{St}$	$X_{t-pu} = \frac{X_{t1}}{Z_{BAZ-1}}$	$X_{t-pu} = \frac{X_{t1}}{Z_{BAZ-1}} = \frac{X_{t2}}{Z_{BAZ-2}}$
	$U_{BAZ} = U_2$	$Z_{BAZ-2} = \frac{U_2^2}{St}$	$X_{t-pu} = \frac{X_{t2}}{Z_{BAZ-2}}$	

$X_{t-pu} = \frac{X_{t1}}{U_1^2/St} = \frac{X_{t2}}{U_1^2/St}$	$X_{t-pu} = \frac{X_{t1}}{U_1^2} = \frac{X_{t2}}{U_2^2}$	$X_{t-pu} = \frac{X_{t1}}{U_1^2} = \frac{n^2 \cdot X_{t2}}{(n \cdot U_2)^2} = \frac{X_{t2}}{U_2^2}$
--	--	---

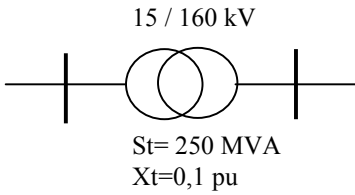
$U_{BAZ}=154 \text{ kV}$ $S_{BAZ} = 100 \text{ MVA}$ olması durumunda X_t nin yeni birim değeri ?



$$X_{t-pun} = 0,1 \cdot \left(\frac{154}{154}\right)^2 \cdot \left(\frac{100}{250}\right) = 0,04 \text{ pu}$$

$$X_{t-pun} = 0,1 \cdot \left(\frac{15}{15}\right)^2 \cdot \left(\frac{100}{250}\right) = 0,04 \text{ pu}$$

$U_{BAZ}=154 \text{ kV}$ $S_{BAZ} = 100 \text{ MVA}$ olması durumunda X_t nin yeni birim değeri ?



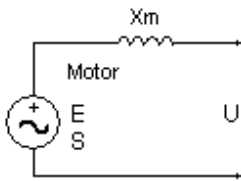
primer $U_{BAZ}=154 \text{ kV}$ olduğuna göre,

$$\text{sekonder } U_{BAZ} = 154 \cdot \left(\frac{15}{160}\right) = 14,44 \text{ kV}$$

$$X_{t-pun} = 0,1 \cdot \left(\frac{160}{154}\right)^2 \cdot \left(\frac{100}{250}\right) = 0,043 \text{ pu}$$

$$X_{t-pun} = 0,1 \cdot \left(\frac{15}{14,44}\right)^2 \cdot \left(\frac{100}{250}\right) = 0,043 \text{ pu}$$

3.3.3. Yükler



Büyük güçlerdeki motorlar, senkron generatöre benzer biçimde, bir EMK önünde reaktansla modellenirler ($U > E$) modunda çalışma olur.

Diğer yükler genellikle pasif empedans (admitansla) modellenirler

$$Z_{YÜK} = \frac{U_{YÜK}^2}{S_{YÜK}} \quad I_{YÜK} = \frac{S_{YÜK}}{S_{YÜK}} \quad I_{YÜK-pu} = \frac{I_{YÜK}}{I_{YÜK-BAZ}}$$

$$\dot{I}_{YÜK-pu} = I_{YÜK-pu} \cdot (\cos\phi - \sin\phi)$$