

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sist. Faz Koor. ile Inc. ve
Çok Fazlı Sist. yük Akış Analizi

Doktora Tezi

Şerafettin Özbey

1991

12
52/221

Elek.

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE İNCELENMESİ
VE
ÇOK FAZLI SİSTEMLERDE YÜK AKIŞ ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Şerafettin ÖZBEY

İSTANBUL - 1991



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

	R 152
Kot	: 221
Alındığı Yer	: Fen Bil. E. S.
Tarih	: 17.4.95
Fatura	:
Fiyatı	: 85.000,-
Ayniyat No	: 1-5
Kayıt No	: 51077
UDC	:
Ek	:

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ENERJİ SİSTEMLERİNİN
FAZ KOORDİNATLARI İLE İNCELENMESİ
VE
ÇOK FAZLI SİSTEMLERDE YÜK AKIŞ
ANALİZİ



DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Serafettin ÖZBEY

İSTANBUL 1991



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanması ve ortaya çıkmasında kıymetli zamanlarını ayırıp, çalışmalarında, beni cesaretlendiren, destekliyen ve çalışmalarımı yakından sabırla takip eden Y.U.Müh.Fakültesi öğretim üyelerinden Sayın Hocam Prof.Dr. Hüseyin ÇAKIR'A minnet duygularımı sunar teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezin bilgisayarla yazımında yardımcı olan eşim Ulküser ÖZBEY'E teşekkürlerimi sunarım.

Şerafettin ÖZBEY

Temmuz-1991, İzmit



2.3	Endüktans matrisi ve Maxwelli katsayıları	37
2.4	Hat kapasiteleri İÇİNDEKİLER	38
2.5	Kapasite matrisi ve potansiyel katsayıları	41
2.6	BÖLÜM.1 Endüktanslar ve kapasitanslar	41
1	Giriş	1
1.1	Elektrik enerji sistemlerinin yapısı	1
1.2	Elektrik enerji sistemlerinin gelişimi	1
1.3	Çok fazlı sistemlerde gerilimlerin belirlenmesi	4
2	BÖLÜM 2	42
2.1	3-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA	42
2.2	HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	43
2.1	Giriş	6
2.2	İletim hatlarında direnç	6
2.3	Hat endüktansı	6
2.3.1	Endüktansın tanımı	6
2.3.2	İletkenin içindeki akı nedeniyle oluşan iletkenin endüktansı	9
2.3.3	İzole bir iletken dışındaki iki nokta arasında halkalanan akı	12
2.3.4	N-iletkenli bir hatta bir iletkeni halkalayan akı	13
2.3.5	Dönüşü toprak olan bir iletkenli hattın endüktansı	18
2.3.6	Simetrik üç fazlı iletim hattı endüktansı	19
2.3.7	Asimetrik üç fazlı iletim hattı endüktansları	20
2.3.8	Transpoze edilmiş demet iletkenli üç fazlı hat	23
2.4	Hat kapasiteleri	26
2.4.1	İletim hatlarında şönt admitans	26
2.4.2	Uzun bir iletken boyunca elektrik alanı	27
2.4.3	N iletkenli bir hatta bir noktanın potansiyeli	28
2.4.4	Üç fazlı hatlarda kapasite	31
3	BÖLÜM 3	
3.1	6-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA	
3.2	HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	
3.1	Hat parametreleri	34
3.2	Hat endüktansı	34



3.3	Endüktans matrisi ve Maxwell katsayıları	37
3.4	Hat kapasiteleri	39
3.5	Kapasitans matrisi ve potansiyel katsayıları	41
3.6	Sequence endüktanslar ve kapasitanslar	41
BÖLÜM 4		
12-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ		101
4.1	Hat parametreleri	42
4.2	Hat endüktansı	42
4.3	Endüktans matrisi ve Maxwell katsayıları	48
4.4	Hat kapasiteleri	48
4.5	Kapasitans matrisi ve Potansiyel katsayıları	55
4.6	Sequence endüktanslar ve kapasitanslar	55
BÖLÜM 5		
3-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ		56
5.2	Üç-fazlı generatör	56
5.3	Üç-fazlı iletim hattı	62
5.4	Üç-fazlı transformatör modelleri	63
5.5.1	Üç-fazlı sistemlerde yük akış analizi	64
5.5.2	Dengeli 3-fazlı sistemlerde yük akış analizi	64
5.5.3	Dengesiz 3 fazlı sistemlerde yük akışı	65
BÖLÜM 6		
6 FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ		114
6.1	Altı fazlı generatör	68
6.2	Altı fazlı iletim hattı	75
6.3	Altı-fazlı transformatör modelleri	78
6.4.1	Altı fazlı sistemlerde yük akış analizi	79
6.4.2	Dengeli 6 fazlı sistemlerde yük akışı	79
6.5.2	Dengesiz 6-fazlı sistemlerde yük akışı	79
BÖLÜM 7		
12-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ		126
7.1	Oniki fazlı generatör	82
7.2	Oniki fazlı iletim hattı	89



7.2	Oniki fazlı transformatör modelleri	93
7.4.1	Oniki fazlı sistemlerde yük akış analizi	94
7.4.2	Dengeli 12 fazlı sistemlerde yük akışı	95
7.4.3	Dengesiz 12 fazlı sistemlerde yük akışı	95
BÖLÜM 8		
SONUÇ VE ÖNERİLER		98
REFERANSLAR		101
EK-A		
SİMETRİLİ BİLEŞENLER		
A.1	Genel n-fazlı sistemlerde simetrili bileşen transformasyonu	107
A.2.	3-fazlı sistemlerde simetrili bileşen transformasyonu matrisi	108
A.3.	6-fazlı sistemlerde simetrili bileşen transformasyonu matrisi	109
A.4.	12-fazlı sistemlerde simetrili bileşen transformasyonu matrisi	109
EK-B		
PER-UNIT DEĞERLER		
B.1	N-fazlı sistemlerde per-unit değerler	111
B.2	6-fazlı sistemlerde per-unit değerler	112
B.3	12-fazlı sistemlerde per-unit değerler	113
EK-C		
TRANSFORMATÖRLER		
C.1	3-fazlı transformatörler	114
C.1.1	Transformatörün eşdeğer devre modeli	114
C.2.1	Yıldız-yıldız 3-fazlı transformatör	117
C.2.2	Üçgen-üçgen transformatör	119
C.2.3	Yıldız üçgen transformatör	121
C.2.4	Açık üçgen transformatör	122
C.3	3-faz/6-faz yıldız-yıldız transformatör	123
C.4	3-faz/12-faz yıldız-yıldız transformatör	125
C.5	faz kaydırıcı transformatörler	126
C.5.1	Tek-fazlı faz kaydırıcı transformatör	126
C.5.2	Üç-fazlı faz kaydırıcı transformatör	128
C.5.3	3-faz/12-faz üçgen-yıldız transformatör	130

EK-D

3-FAZ,6-FAZ VE 12-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNDE
YÜK AKIŞ VERİLERİ

133

SUMMARY

In this study, the balanced and unbalanced phase coordinate load flow have been carried out for the three-phase, six-phase and twelve-phase power systems. The thesis consists of eight main parts:

Chapter 1. The development of the power systems have been summarised briefly.

Chapter 2. The line parameters of the three-phase overhead transmission line have been derived.

Chapter 3. The six-phase transmission line parameters have been presented.

Chapter 4. The twelve-phase transmission line parameters have been presented in this section.

Chapter 5. In this section, the mathematical modelling of three-phase power system elements have been given in the phase frame of reference. The phase coordinate load flow analysis have been carried out on test system employing Gauss-Siedel technique for balanced and unbalanced situations.

Chapter 6. In this section, the mathematical modelling of six-phase power system elements have been given in the phase frame of reference. The phase coordinate load flow analysis have been carried out on composite three-phase and six-phase test system for balanced and unbalanced situations.

Chapter 7. In this section, the mathematical modelling of twelve-phase power system elements have been given in the phase frame of reference. The phase coordinate load flow analysis have been carried out on composite three-phase and twelve-phase test system for balanced and unbalanced situations.

Chapter 8. Finally, the conclusions of this study and propositions have been reported.



ÖZET

Bu çalışmada, 3-faz, 6-faz ve 12-fazlı enerji sistemlerinin dengeli ve dengesiz haller için faz büyüklükleri cinsinden yük akış analizi yapılmıştır. Tez sekiz ana bölümden meydana gelmiştir.

Birinci bölümde, enerji sistemlerinin kısaca gelişimi verilmiştir.

İkinci bölümde, 3-fazlı enerji iletim hatlarının hat parametreleri belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde, 6-fazlı enerji iletim hatlarının hat parametreleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde, 12-fazlı enerji iletim hatlarının hat parametreleri verilmiştir.

Beşinci bölümde, 3-fazlı enerji sistemlerinin faz koordinatları cinsinden analizi yapılmıştır. Analizde 3-fazlı enerji sistem elemanlarının modelleri elde edilmiştir. Elde edilen enerji sistem elemanlarının modelleri kullanılarak 3-fazlı enerji sisteminin, dengeli ve dengesiz yük akış analizi yapılmıştır.

Altıncı bölümde, 6-fazlı enerji sistem elemanlarının modelleri faz koordinatları cinsinden elde edilmiştir. Elde edilen enerji sistem elemanlarının modelleri kullanılarak, 3 fazlı ve 6-fazlı enerji sistem elemanlarından meydana gelen enerji sisteminin, dengeli ve dengesiz yük akış analizi yapılmıştır.

Yedinci bölümde, 12-fazlı enerji sistem elemanlarının modelleri faz koordinatları cinsinden elde edilmiştir. Elde edilen enerji sistem elemanlarının modelleri kullanılarak, 3 fazlı ve 12-fazlı enerji sistem elemanlarından meydana gelen enerji sisteminin, dengeli ve dengesiz yük akış analizi yapılmıştır.

Sekizinci bölümde ise, sonuç ve öneriler yer almaktadır.



BÖLÜM.1

1.Giris

Enerji kaynaklarının gelişmesi, insanların yaşam düzeylerini artıran endüstrinin gelişmesi için, bir anahtar olmuştur. Sonsuz enerji ihtiyaçlarımızı karşılamak, enerjinin talep edildiği yerde istenilen kadar verilebilmesi, enerjinin bir şekilden diğer bir şekle dönüştürülebilmesi ve biyosferimizi kirletmeden kullanılabilmesi için yeni enerji kaynaklarının keşfi, bugün dünyamızın karşı karşıya bulunduğu en büyük yarıştır. Bu yarışta, elektrik enerji sistemleri, enerji dönüşümü ve iletimi için büyük rolüyle yerini almaktadır. Endüstri, çok hızlı gelişmesi nedeniyle büyük problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemleri çözmek için bilimdeki gelişmeleri teknoloji'ye uyarlayacak, sistemin güvenilirliğini sağlayacak ve bunları gerçekleştiren de çevremizi korumaya son derece özen gösterecek mühendisler yetiştirmektir.

1.1 Elektrik enerji sistemlerinin yapısı

Elektrik enerji sistemleri: Üretim merkezleri, iletim hatları ve dağıtım sistemleri olmak üzere üç ana bileşenden meydana gelir. İletim hatları, üretim merkezlerini dağıtım sistemlerine ve üretim merkezlerini birbirine bağlayan enterkonnekte sistemi oluşturur. Dağıtım sistemleri bütün yerel yükleri iletim hatlarına bağlar.

1.2 Elektrik enerji sistemlerinin gelişimi

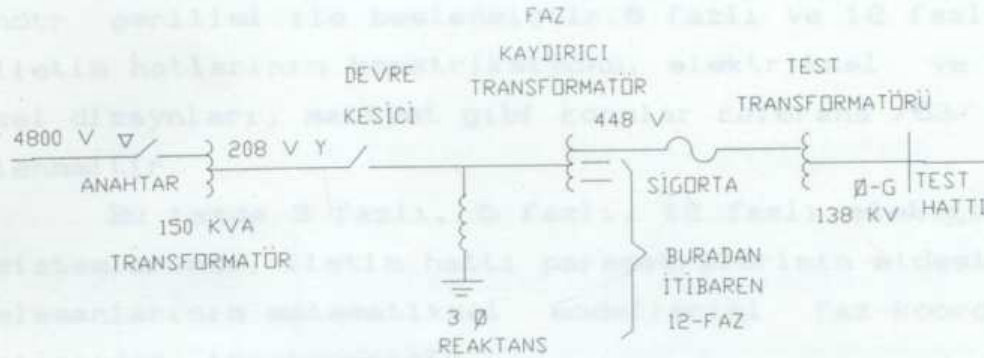
Edison'un 1880 yıllarında ampul'ü keşfi ile, ampul sokak aydınlatılmasında kullanılmaya başlandı. Bu dönemde, buhar makinası ile çalışan doğru akım generatöründe üretilen elektrik enerjisi yeraltı kablosu ile dağıtılıyordu. Bu şekildeki lokal aydınlatma sistemleri Amerika ve Avrupada hızla yayıldı. 1885-1886 yıllarında, kışın 150 lambayı besleyen ilk dağıtım sistemi deneysel olarak gerçekleştirildi.

1890 yılında 21 km. uzunluğunda alternatif akımla

enerji taşıyan ilk iletim hattı gerçekleştirildi. İlk iletim hattı tek-fazlıydı ve yalnız aydınlatma için kullanılıyordu.

İlk alternatif akım motoru da tek-fazlıydı. 1888 yılı 16 mayısta Nikola Tesla yayınladığı makalede iki-fazlı indüksiyon olayını ve senkron motoru anlatıyordu. Çok-fazlı generatörün faydaları kısa zamanda anlaşıldı ve iki fazlı enerji dağıtım sistemleri yapılmaya başlandı. Bundan sonra elektrik enerji iletim hatları çok fazlı olmaya başladı ve 1894 yılında çok sayıda 3-fazlı iletim ve dağıtım sistemleri mevcuttu. Alternatif akım'la elektrik enerjisi iletilmeye başlandığı yıllarda, gerilim de transformatör ile yükseltilmeye başlandı. 1890 yılında 3300 V, 1907 yılında 100 kV, 1913 yılında 150 kV, 1923 yılında 220 kV, 1926 yılında 244 kV, 1936 yılında 287 kV, 1953 yılında 345 kV luk gerilimlerle enerji iletimi gerçekleştirildi. İlk 500 kV luk elektrik enerji iletim hattı 1965 te işletmeye alındı. Bundan dört yıl sonra 1969 da ise 765 kV luk enerji iletim hattı gerçekleştirildi.

1917 yılına kadar enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemleri arasında bir bağlantı yoktu. Bunun sonucu olarak, elektrik sistemleri birbirlerinden bağımsız olarak işletiliyordu. Daha sonra, büyük miktardaki güç talepleri, güvenilirlik nedenleri ile komşu sistemler birleştirilerek enterkonnekte sistem oluşturuldu. Enterkonnekte sistemde, temel yük santralleri yük taleplerini karşılayabilmektedir. Ani yük artışlarına karşı yedekteki santraller üretime alınarak ani elektrik enerji talepleri giderilebilmektedir. Ani yük azalmalarında ise, yedek santrallerde üretim azaltılarak yada durdurularak sistem ekonomik bir şekilde işletilebilmektedir. Ani talep değişimlerine karşı yük arzı hidroelektrik santrallerde su savakları açılarak yada kısılarak ayarlanabilmektedir. Bu nedenle hidroelektrik santraller yedek yük santrali olarak seçilmektedir. Enterkonnekte sistem beraberinde birtakım problemlerde getirmiş olup, bu problemler tatmin edici bir şekilde çözülmüştür.



Şekil 1.1 12-fazlı sistemin tek hat diyagramı.

Elektrik enerji üretim kapasitesi, yüksek kapasiteli hidroelektrik santraller; kömür, doğal gaz , nükleer enerji, petrol'ü yakıt olarak kullanan termik santrallerle büyük çapta artmıştır . Elektrik enerjisi bugün uluslararası bir ticaret mefhumu haline gelmiştir. Elektrik enerjisinin büyük tüketim merkezlerine ekonomik olarak iletiminde, yüksek kapasiteli hatlarda , gerilimin yükseltilmesi günümüzde çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Gerilimin enerji iletim hatlarında çok yüksek değerlere çıkarılması gürültü, korona kayıpları, toprak düzeyinde artan elektrik ve magnetik alan gibi istenmeyen bir takım problemlere sebebiyet vermiştir.

Bu problemleri asgariye indirmek ve enerji taşıma kapasitesini artırmak için enerji iletim hatlarında, faz sayısını 6 ve 12 ye çıkarma fikri yeni değildir. Çok fazlı enerji iletim hatlarının patenti 1966 yılında alınmıştır. Çok fazlı enerji iletim hatları fikrine paralel olarak 6-fazlı ve 12-fazlı generatör konusu üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Elektrik enerjisinin iletiminde 1980 yılında A.B.D. de 6 fazlı bir test hattı kurulmu, 80 kV'lık faz-nötr gerilimiyle beslenmiştir. Sistemin elektrik ve mekanik

testleri 2 yıllık bir periyot üzerinden yapılarak 6 fazlı hattın yapısına uygun, bir 12 fazlı hat kurulmuştur. Şekil 1.1 de görülen 12 fazlı bu enerji iletim hattı 138 kV faz-nötr gerilimi ile beslenmiştir. 6 fazlı ve 12 fazlı enerji iletim hatlarının konstrüksiyonu, elektriksel ve mekaniksel dizaynları, maliyet gibi konular referans /53/ de incelenmiştir.

Bu tezde 3 fazlı, 6 fazlı, 12 fazlı elektrik enerji sistemlerinde, iletim hattı parametrelerinin eldesi, sistem elemanlarının matematiksel modellerini faz-koordinatları cinsinden inceleyeceğiz.

Enerji sistemlerinin iletimi ve planlanması için esas olarak incelenmesi gereken yük akış analizi, arıza hesapları ve stabilite analizidir.

1.3 Çok fazlı sistemlerde gerilimlerin belirlenmesi

Çok fazlı sistem gerilimlerinin belirlenmesi için pekçok tanım yapılabilir. Birinci tanım olarak, faz-toprak gerilimi ve ardışık iki faz arasındaki gerilim, faz sayılarının fonksiyonu olmaları nedeniyle, klasik güç sistemlerindeki adlandırmayı teklif edebiliriz. Faz sayısının 6 dan büyük olmas durumlarda faz-toprak gerilimi, ardışık faz-faz geriliminden büyüktür. Bu nedenle ardışık faz-faz gerilimi ne izolasyon karakteristiğini ne de yükleme kabiliyetini yansıtır. Mümkün olan ikinci tanım: 3 fazlı kümelere oluşan ve çok fazlı sistemi meydana getiren faz-faz gerilimleridir. Örnek: Eğer bir altı fazlı sistem, 2 tane 3 fazlı 138 kV'luk sistemde faz kaydırılması ile meydana getirilmiş ise, bu sistem 138 kV'luk 6 fazlı sistem olarak tanımlanabilir. Bu terminolojiye güç sistemi mühendisleri aşinadır. Bu tanım 6 fazdan daha çok faz sayısında mesafe ve izolasyon gereksinimleri için eksiklikler taşımaktadır. Üçüncü mümkün olan tanım ise faz-toprak gerilimidir. Bu tanıma az alışkın olmamıza rağmen, bu izolasyon gereksinimlerine ve güç kapasitesi anlayışımızla uzlaşmaktadır. Bilgi için Tablo.1 de 3-faz, 6-faz, 12-faz ve 24-fazlı sistemler

için faz-toprak, faz-faz gerilimleri verilmiştir.

2-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA
HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Tablo 1. Faz-toprak ve faz-faz gerilimleri

Faz-toprak gerilimleri (kV)	Faz-faz (ardk-faz) gerilimleri (kV)			
	3-faz	6-faz	12-faz	24-faz
80	138	80	41	21
133	230	133	69	35
199	345	199	103	52
289	500	289	150	75
442	765	442	229	115

Doğru akım karşı gösterdiği direnç birbirinden farklıdır. Alternatif akım karşı ise aynıdır. Bu nedenle...

İletim hattındaki akım karşı...
Burada 1 amper akım karşı...
Direnç değeri...
Referans...
Bu nedenle...

2.3 Batı endüktansı
2.3.1 Endüktansın tanımı
İki iletken arasındaki endüktans...
Birinci iletken endüktans...



BÖLÜM 2

3-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

2.1 Giriş

Enerji iletim hatları, elektrik enerji sistemlerinin atar damarlarını teşkil ederler. Yüksek kapasiteli hatlardaki gelişmeler büyük miktarlardaki enerjinin uzak mesafelere taşınmasını mümkün kılmıştır.

İletim hatlarını karakterize eden elektriksel hat sabitleri (Hattın normal işletilmesi halinde) diren, endüktans ve kapasitansdır. Genellikle hatlarda izolasyonun mükemmelliği düşünülerek kaçak geçirgenlik ihmal edilir. Enerji iletim hatlarının hesabında endüktans ve kapasite direkt olarak kullanılmaz. Bunun yerine eşitliklerde endüktif reaktans ve kapasitif reaktans kullanılır.

2.2 İletim hatlarında direnç

İletim hatlarının direnci, hatlarda güç kaybına sebep olduğu için çok önemlidir. Bir iletkenin alternatif akıma ve doğru akıma karşı gösterdiği dirençler birbirinden farklıdır. Alternatif akımda önemli olan efektif dirençtir. Bu ise

$$R = \frac{\text{İletkendeki güç kaybı}}{|I|^2} \quad (2.1)$$

şeklinde hesaplanan bir büyüklüktür. Burada I amper olarak iletkendeki akımın efektif değeridir. Dirençle ilgili bilgi referans /12/, /13/ ve /14/ da detaylı olarak anlatıldığı için burada kısaca değinilmiştir.

2.3 Hat endüktansı

2.3.1 Endüktansın tanımı

İki temel denklem endüktansı tanımlamada bize yardım eder. Birinci temel denklem endüklenen gerilimle ilgili olup

,devreyi halkalayan akının zamanla değişimine bağlı olup aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$e = \frac{dr}{dt} \quad (2.2)$$

burada e, volt olarak endüklenen gerilimi ifade eder, r ise Weber-tur cinsinden devreyi halkalayan akıdır.

İkinci temel denklem, devredeki akımın zamanla değişimi ile ilgilidir. Devredeki akımın değişimi, devreyi halkalayan akının değişimine sebep olmaktadır. Buna göre endüklenen gerilim

$$e = L \frac{di}{dt} \quad (2.3)$$

dir. Burada

L=orantı sabiti

L=devrenin endüktansı, H

e=endüklenen gerilim, V

di/dt=akımın zamanla değişimi, A/s

dir. (2.2) ve (2.3) denklemleri yardımıyla L, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L = \frac{dr}{di} \quad (2.4)$$

Permeabilite (μ) sabit ise, devreyi halkalayan akı zamanla lineer olarak değişir. Bu durumda endüktans

$$L = \frac{\tau}{I} \quad (2.5)$$

olarak yazılabilir. Şimdi burada, self endüktansın tanımı verilebilir. Bir devreyi halkalayan akının, o devrenin içinden geçen akıma oranına, o devrenin endüktansı denir. Bir devreyi halkalayan akı



$$\tau = Li \quad (2.6)$$

olarak da yazılabilir. Denklem (2.6) da, i akımın ani değeri ise, τ da akımın ani değeridir. Sinüsoidal alternatif devre akımlarında, devreyi halkalayan akılarda sinüsoidaldir ve devreyi halkalayan akı fazör olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\psi = LI \quad (2.7)$$

ψ ve I faz değerleri ise, reel olan L değeri (2.5) ve (2.7) denklemlerindeki L nin aynıdır.

Devreyi halkalayan akıya bağlı olarak gerilim düşümleri fazör olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$V = j\omega LI \quad (2.8a)$$

$$V = j\omega \psi \quad (2.8b)$$

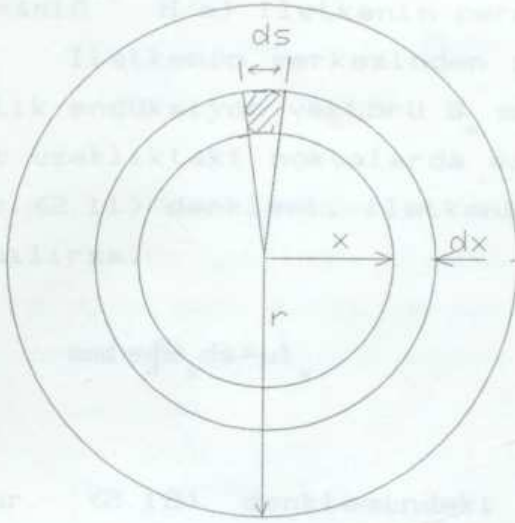
Karşılıklı endüktans: bir devre , ikinci bir devredeki akımın meydana getirdiği akı tarafından halkalanıyorsa ; birinci devreyi halkalayan ikinci devrenin oluşturduğu akımın , ikinci devre akımına oran diye tanımlanır . Eğer I_2 akımı , birinci devreyi halkalayan ψ_{12} akısını oluşturmuşsa, karşılıklı endüktans

$$M_{12} = \frac{\psi_{12}}{I_2} \quad (2.9)$$

olur. Birinci devrede, karşılıklı endüktans nedeniyle meydana gelen gerilim düşümü aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_1 = j\omega M_{12} I_2 = j\omega \psi_{12} \quad (2.10)$$

Karşılıklı endüktans, iletim hatlarnın telefon hatlarına etkisi ve paralel hatlarda kuplaj konularını incelerken çok önemlidir.



Şekil 2.1 Silindirik bir iletkenin kesiti.

2.3.2 İletkenin içindeki akı nedeniyle oluşan iletkenin endüktansı

Hat iletkeninin içinde, akıdaki değişme nedeniyle meydana gelen gerilimi, endüklenen devre gerilimine dahil etmek ve bu nedenle meydana gelen endüktansıda devre endüktansına dahil etmek gerekir. İletim hatlarında endüktansın gerçek değerini elde etmek için her bir iletkenin içindeki akı göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 2.1 de kesiti görülen uzun silindirik bir iletkenden, dönüş iletkeni mümkün olduğu kadar uzakta olsun. Bu durumda, bu iletkene dönüş iletkeninin magnetik etkisi ihmal edilebilir.

B magnetik indüksiyon vektörünün bir kapalı çevre boyunca çizgisel integrali o evre içinden geçen akımların toplamının μ katına eşittir (Amper kanunu).

$$\oint B ds = \mu \sum I \quad (2.11)$$

Burada μ (Bağıl permeabilite) $= \mu_r = \mu / \mu_0$, uzayın permeabilitesi



$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H/m) iletkenin permeabilitesidir.

İletkenin merkezinden x uzaklığında bir noktada magnetik endüksiyon vektörü B_x olsun. İletkenin merkezinden eşit uzaklıktaki noktalarda simetri nedeniyle B_x ler sabittir. (2.11) denklemi, iletkenin merkezinden x uzaklığı için yazılırsa,

$$\text{mmf} = \oint B_x ds = \mu I_x \quad (2.12)$$

olur. (2.12) denklemindeki integralide alarak (2.13) eşitliği elde edilir.

$$2\pi x B_x = \mu I_x \quad (2.13)$$

İletken içindeki akımın düzgün dağıldığını kabul ederek, akım yoğunluğu

$$J = I / \pi r^2$$

olarak yazılır. πx^2 alanından geçen akım

$$I_x = J \pi x^2 = I x^2 / r^2 \quad (2.14)$$

dir. (2.13) denkleminde (2.14) eşitliğini kullanıp B_x e göre düzenlenirse

$$B_x = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} \quad (2.15)$$

elde edilir.

Kalınlığı dx olan silindirik eleman yüzeyinin normalinden geçen akı, B_x kere bu yüzeyin alanıdır, bu yüzey dx defa iletkenin uzunluğudur. Buna göre birim uzunluktan geçen akı

$$d\phi = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} dx \quad \text{Wb/m} \quad (2.16)$$

olarak formüle edilebilir . Silindirik elemandaki akı nedeniyle birim uzunluğa isabet eden halkalanan $d\psi$ akısı, birim uzunluğun akısı ve akının halkaladığı akım tarafından meydana getirilmiş olup

$$d\psi = \frac{\mu x^2}{\pi r^2} d\phi \quad (2.17)$$

2.3.2 İzole bir iletken dışındaki

dir. (2.16) denklemindeki $d\phi$ (2.17) de kullanılırsa

$$d\psi = \frac{\mu I x^3}{2\pi r^2} dx \quad \text{Wbt/m} \quad (2.18)$$

elde edilir. (2.18) denkleminin iletkenin merkezinden dış yüzeyine kadar entegre edilirse, iletkenin içinde halkalanan toplam akı

$$\psi_1 = \int_0^r \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx$$

$$\psi_1 = \frac{\mu I}{8\pi} \quad \text{Wbt/m} \quad (2.19)$$

olarak elde edilir. Endüktans ise,



$$L_1 = \frac{\mu}{8\pi} \quad \text{H/m} \quad (2.20)$$

dir. Buraya kadar, silindirik iletkenin içindeki akı nedeni ile meydana gelen birim uzunluğun endüktansı bulundu. Bundan sonra birim uzunluğun endüktansına, sadece endüktans denecek ve kullanırken de buna dikkat edilecektir.

2.3.3 İzole bir iletken dışındaki iki nokta arasında halkalanan akı

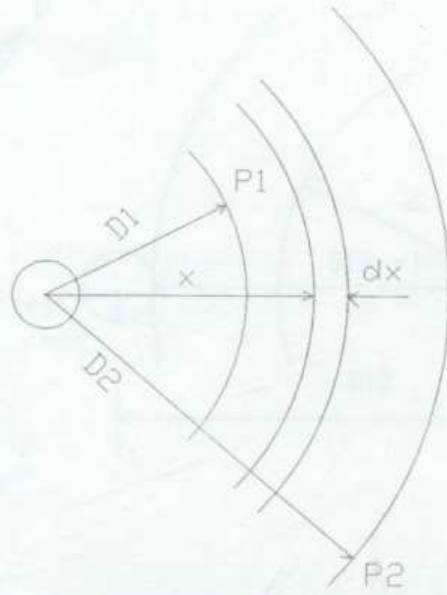
Şekil 2.2 de I akımını taşıyan iletkenin merkezinden D_1 uzaklığındaki P_1 noktası ve D_2 uzaklığındaki P_2 noktası görülmektedir. P_1 ve P_2 noktaları arasındaki akı yolu silindiriktir. Bu iki nokta arasında, iletkenin merkezinden x uzaklığında birim elemandaki akı yoğunluğu vektörü B_x olsun. Bu eleman etrafındaki akı yoğunluğu vektörü, Amper kanunu uygulanarak

$$B_x = \frac{\mu I}{2\pi x} \quad (2.21)$$

bulunur. Kalınlığı dx olan birim elemandan geçen akı

$$d\phi = \frac{\mu I}{2\pi x} dx \quad \text{Wb/m} \quad (2.22)$$

olur. Bu akı nümerik olarak $d\phi$ akısına eşittir ve iletken içindeki tüm akımı halkalamaktadır. P_1 ile P_2 noktaları arasında halkalanan akı, $d\phi$ yi, $x=D_1$ den $x=D_2$ ye kadar entegre etmekle bulunur.



Sekil 2.2 İletken dışında P1 ve P2 noktalar.

$$\psi_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu I}{2\pi x} dx = \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (2.23)$$

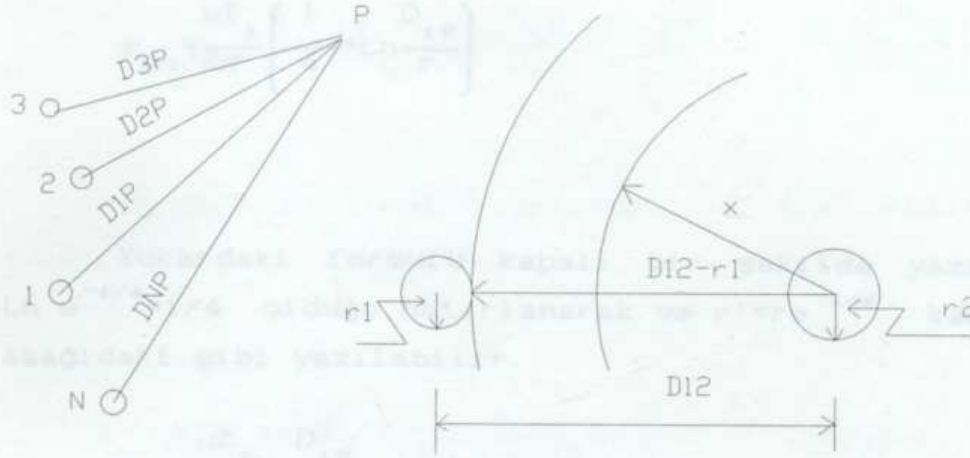
P_1 ile P_2 noktaları arasındaki akı nedeniyle endüktans L_{12} da 1. iletkeni halkalayan akı bulunmak isteniyor.

$$L_{12} = \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (2.24)$$

olur.

2.3.4.N-iletkenli bir hatta bir iletkeni halkalayan akı

Genel bir hal olarak N iletkenli hattın bir iletkeni ni halkalayan akı bulunmak isteniyor.Şekil 2.3 de görülen bu hattın 1,2,3,...,N iletkenleri sırasıyla $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$



a-) Akımlarının toplamı sıfır b-) Yarıçapları farklı olan n iletkenli hat. iki iletken.

Sekil 2.3 Yarıçapları farklı n ve iki iletkenli hat.

fazör akımlarını taşıyınlar ve akımların toplamı da sıfır olsun. Bu iletkenlerden çok uzakta bir P noktasının bu iletkenlere uzaklıkları $D_{1P}, D_{2P}, D_{3P}, \dots, D_{NP}$ olsun. Bu durumda 1. iletkeni halkalayan akı bulunmak isteniyor.

Buna gre:

I_1 akımı nedeniyle 1.iletkeni halkalayan akı (2.20) ve (2.24) eşitlikleri yardımıyla aşağıdaki gibi yazılır.

$$\psi_{1P1} = \frac{\mu I_1}{8\pi} + \frac{\mu I_1}{2\pi} \ln \frac{D_{1P}}{r}$$

$$\psi_{1P1} = \frac{\mu I_1}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D_{1P}}{r} \right) \quad (2.25)$$

Yukardaki formülü kapalı bir şekilde yazmak için: $\ln e^{-1/4} = 1/4$ olduğu hatırlanarak ve $r' = r e^{-1/4}$ kabulü ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\psi_{1P1} = \frac{\mu I_1}{2\pi} \ln \frac{D_{1P}}{r'} \quad (2.25a)$$

Şimdi, I_2 akımı nedeniyle 1. iletkeni halkalayan akı (ψ_{1P2}) hesaplanmak isteniyor. 2. iletken den geçen I_2 akımı nedeniyle 1. iletkeni halkalayan akı, $D_{12} - r_1$ uzaklığından itibaren halkalamaya başlar. Şekil 2.3b de bu durum görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 2.3b den de görüldüğü gibi, 2. iletken den x uzaklığındaki noktalarda, 2. iletken akımının meydana getirdiği akı 1. iletkeni halkalamaya başlamamış durumdadır. İletkenler arası uzaklığın, iletkenlerin yarıçapına göre çok büyük olması nedeniyle, $D_{12} - r_1 \cong D_{12}$ olarak kabul edilebilir ve bu kabul diğer iletkenler içinde geçerli olur. Yukarda söylenenlerin ışığı altında,

$$\psi_{1P2} = \frac{\mu I_2}{2\pi} \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}} \quad (2.25b)$$

formülü yazılabilir. Birinci iletkeni P noktasına kadar halkalayan akı, bütün iletkenler göz önüne alınarak aşağıdaki gibi yazılabilir.



$$\psi_{1P} = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_1 \ln \frac{D_{1P}}{r} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{D_{3P}}{D_{13}} + \dots + I_N \ln \frac{D_{NP}}{D_{1N}} \right] \quad (2.25c)$$

(2.25c) denklemi logaritmik terimler açılıp yeniden düzenlenirse

$$\psi_{1P} = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots + I_N \ln \frac{1}{D_{1N}} + I_1 \ln D_{1P} + I_2 \ln D_{2P} + I_3 \ln D_{3P} + \dots + I_N \ln D_{NP} \right] \quad (2.25d)$$

olur. letkenlerdeki akımların toplamı

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = 0 \quad (2.26a)$$

dır ve (2.26a) denklemi I_N ye göre düzenlenirse

$$I_N = -(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_{N-1}) \quad (2.26b)$$

olur. (2.26b) denklemi (2.25d) denkleminin ikinci satırında kullanılırsa (2.26c) eşitliği elde edilir.

$$\psi_{1P} = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots + I_N \ln \frac{1}{D_{1N}} + I_1 \ln D_{1P} + I_2 \ln D_{2P} + I_3 \ln D_{3P} + \dots - (I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_{N-1}) \ln D_{NP} \right] \quad (2.26c)$$

Yukarda elde edilen denklem düzenlenirse aşağıdaki formül yazılabilir.

$$\psi_{1P} = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots + I_N \ln \frac{1}{D_{1N}} \right. \\ \left. + I_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{NP}} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{NP}} + I_3 \ln \frac{D_{3P}}{D_{NP}} + \dots + I_{N-1} \ln \frac{D_{(N-1)P}}{D_{NP}} \right] \quad (2.26)$$

(2.26.d)

şeklinde yazılabilir.

Şimdi, P noktası sonsuza götürülsün. Bu durumda (2.26d) denkleminin ikinci satırındaki uzaklıkların oranı $(D_{1P}/D_{NP}, D_{2P}/D_{NP}, D_{3P}/D_{NP}, \dots, D_{(N-1)P}/D_{NP})$ 1 e yakınsar ve logaritmalarda sıfıra eşit olur. Bu söylenenlerin ışığı altında (2.26d) denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\psi_1 = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_1 \ln \frac{1}{r} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots + I_N \ln \frac{1}{D_{1N}} \right] \quad (2.27)$$

(2.27) denklemi 1.iletkeni halkalayan toplam akıyı temsil eder. Benzer şekilde diğer iletkenleri halkalayan akılarda kolayca yazılabilir. (2.27) eşitliği kapalı formda i. iletken için aşağıdaki gibi yazılır.

$$\psi_i = \frac{\mu}{2\pi} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (2.28)$$

Burada

$$D_{ii} = r' = re^{-1/4}$$

dür. i. iletkenin endüktansı



$$L_i = \psi_i / I_i \quad (2.29)$$

olur yada

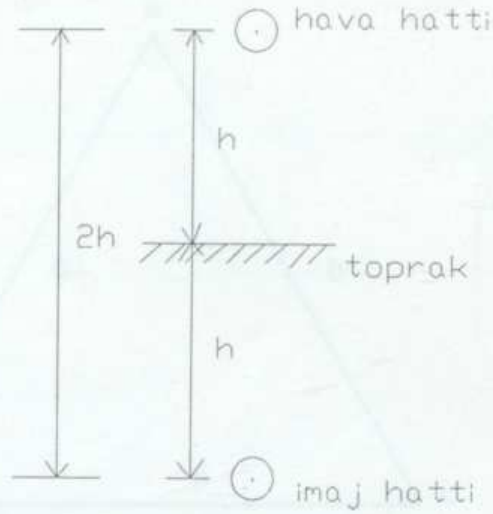
$$L_i = \frac{\mu}{2\pi I_i} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir.

2.3.5 dönüşü toprak olan bir iletkenli hattın endüktansı

Şimdiye kadarki incelemelerde, toprağın iletkenlere etkisi ihmal edilmiştir. Burada tek iletkenli hattın endüktans hesabını toprağın etkisini de göz önünde bulundurarak vermekte amaç, görüntü (imaj) metodunu, teoriye girmeden basitçe anlatabilmektir. Şekil 2.4 ten görüleceği gibi hava hattı toprak yüzeyinden h kadar yüksekte olup iletken içinden I akımı geçmektedir. Toprak yüzeyinden h kadar derinlikteki iletken ise $-I$ akımı geçmektedir. Toprak yüzeyinden h kadar derinlikteki iletken, hava hattının görüntüsü (imajı)dır. Yani toprak içinde farzettığımız hat, sanki toprak yüzeyi ayna'da, hava hattının görüntüsü onu oluşturmudur. Tabiki bu yalnız ve yalnız bir faraziye, fakat bu model hat empedans değerlerinin hesabında tam doğru sonuçları vermektedir. Hava ve imaj hattının toprak düzeyinde meydana getirdikleri magnetik alan vektörleri bir birbine eşit ve zıt yönlüdür. Bu nedenle toprak düzeyinde meydana gelen magnetik akı sıfır olur. Şimdi (2.28) denklemi hava hattına uygulanarak bu hattı halkalayan akı

$$\psi = \frac{\mu I}{2\pi} \left[\ln \frac{1}{r} - \ln \frac{1}{2h} \right] = \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{2h}{r} \quad (2.31)$$



Şekil 2.4 İletim hattı ve görüntüsü.

olarak elde edilir ve hattın endüktansı da

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{2h}{r} \quad (2.32)$$

olarak yazılabilir.

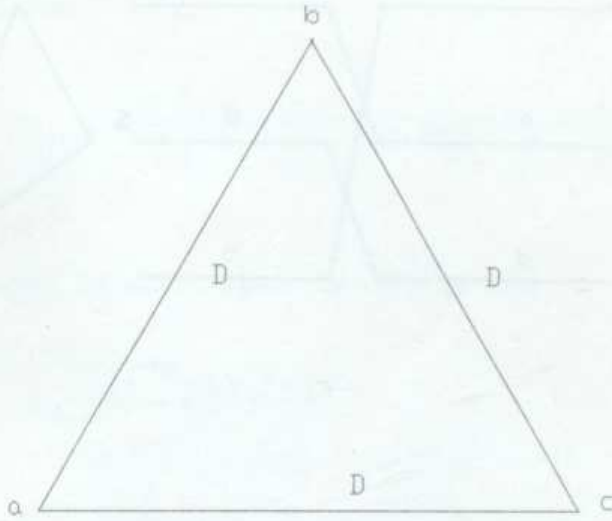
2.3.6 Simetrik üç fazlı iletim hattı endüktansı

Şekil 2.5 de görülen hatta 2.28 denklemi uygulanırsa a fazını halkalayan akı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\psi_a = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{1}{r} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{D} \right) \quad (2.33)$$

$I_a = -(I_b + I_c)$ olduğu hatırlanırsa yukardaki denklem

$$\psi_a = \frac{\mu}{2\pi} I_a \ln \frac{D}{r} \quad (2.33)$$



Şekil 2.5 İletkenleri eşit aralıklı yerleştirilmiş 3-fazlı enerji iletim hattı.

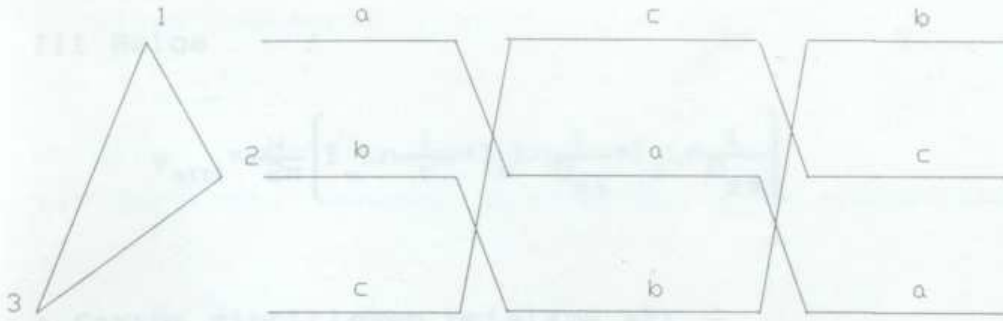
olur ve a fazının endüktansı da

$$L_a = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad (2.34)$$

olarak yazılır . Simetri nedeniyle üç fazın endüktansları birbirine eşittir.

2.3.7 Asimetrik üç fazlı iletim hattı endüktansları

Üç fazlı iletim hattının faz iletkenleri arasında eşit uzaklık bulunmadığı zaman, her bir fazın endüktansı birbirinden farklıdır ve bu farklılığı gidermek için iletim hattı transpoze edilir. Şekil 2.6 da iletim hattının transpozisi görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi iletim hattı üç eşit parçaya bölünür ve her bir parçadaki iletken konfigürasyonu Şekil 2.6 ya uydurulur. Endüktans hesabı için bir faza ait akı üç bölge için yazılır ve ortalaması alınır.



Şekil 2.6 Uç-fazlı iletim hattı ve transpozisi.

rak endüktans hesabına geçilir. Şimdi (2.28) denklemi kullanarak, a fazını halkalayan akı aşağıdaki gibi yazılabilir.

İçeriden akı,

I. Bölge

$$\psi_{aI} = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{1}{r} + I_b \ln \frac{1}{D_{12}} + I_c \ln \frac{1}{D_{31}} \right) \quad (2.35a)$$

II. Bölge

$$\psi_{aII} = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{1}{r} + I_b \ln \frac{1}{D_{23}} + I_c \ln \frac{1}{D_{12}} \right) \quad (2.35b)$$



III. Bölge

$$\psi_{aIII} = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{1}{r'} + I_b \ln \frac{1}{D_{31}} + I_c \ln \frac{1}{D_{23}} \right) \quad (2.35c)$$

a fazını zincirleyen ortalama akı

$$\psi_a = \frac{\psi_{aI} + \psi_{aII} + \psi_{aIII}}{3}$$

$$\psi_a = \frac{\mu}{2\pi} \left(3I_a \ln \frac{1}{r'} + I_b \ln \frac{1}{D_{12} D_{23} D_{31}} + I_c \ln \frac{1}{D_{12} D_{23} D_{31}} \right) \quad (2.35d)$$

olur. $I_a = -(I_b + I_c)$ yi (2.35d) de kullanılırsa ortalama halka-
layan akı,

I. Bölge

$$\psi_a = \frac{\mu}{2\pi} I_a \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}}{r'} \quad (2.36)$$

olur. a fazının ortalama endüktansı ise

$$L_a = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D_{eq}}{r'} \quad (2.37)$$

dir. Burada

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$



II. Bölge

ortalama geometrik uzunluk,

$$D_s = r'$$

ortalama geometrik yarıçap

tır. Yukardaki işlemler b ve c fazı için tekrarlanırsa

III. Bölge

$$L_a = L_b = L_c$$

olduğu görülür.

2.3.8 Transpoze edilmiş demet iletkenli üç fazlı hat

Şekil 2.7, demet iletkenli ve 3 fazlı enerji iletim hattı hakkında bir fikir vermektedir. Böyle hatlarda korona riski azaldığı gibi hat reaktansında da azalma beklenebilir. Bu hatta bir faza ait akımın yarısı bir iletkende diğer yarısında demet iletkenin diğerinde taşınmaktadır.

Böyle transpoze edilmiş hatta, bir faza ait endüktans bulmak yeterlidir. a fazının endüktansını bulmak için 1. iletkeni halkalyan akı aşağıdaki gibi yazılabilir.

I. Bölge

$$\psi_{aI} = \frac{\mu}{2\pi} \left[\frac{I_a}{2} \ln \frac{1}{r'} + \frac{I_a}{2} \ln \frac{1}{d} + \frac{I_b}{2} \ln \frac{1}{D} + \frac{I_b}{2} \ln \frac{1}{D+d} + \frac{I_c}{2} \ln \frac{1}{2D} + \frac{I_c}{2} \ln \frac{1}{2D+d} \right]$$

Yukardaki eşitlik, $D \gg d$ olduğu hatırlanarak düzenlenir ve aşağıda yazılacak eşitliklerde de bu göz önünde bulundurulursa, aşağıdaki eşitlikler kolayca yazılabilir.

$$\psi_{aI} = \frac{\mu}{2\pi} \left[I_a \ln \frac{1}{\sqrt{r'd}} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{2D} \right]$$

(2.38a)

II. Bölge

$$\psi_{aII} = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{l}{\sqrt{r'd}} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{D} \right) \quad (2.38b)$$

III. Bölge

$$\psi_{aIII} = \frac{\mu}{2\pi} \left(I_a \ln \frac{l}{\sqrt{r'd}} + I_b \ln \frac{1}{2D} + I_c \ln \frac{1}{D} \right) \quad (2.38c)$$

Birinci iletkeni halkalayan ortalama akı

$$\psi_{1a} = \frac{\psi_{aI} + \psi_{aII} + \psi_{aIII}}{3} = \frac{\mu}{2\pi} \left(3I_a \ln \frac{l}{\sqrt{r'd}} + I_b \ln \frac{1}{2D} + I_c \ln \frac{1}{2D} \right) \quad (2.38d)$$

olur.

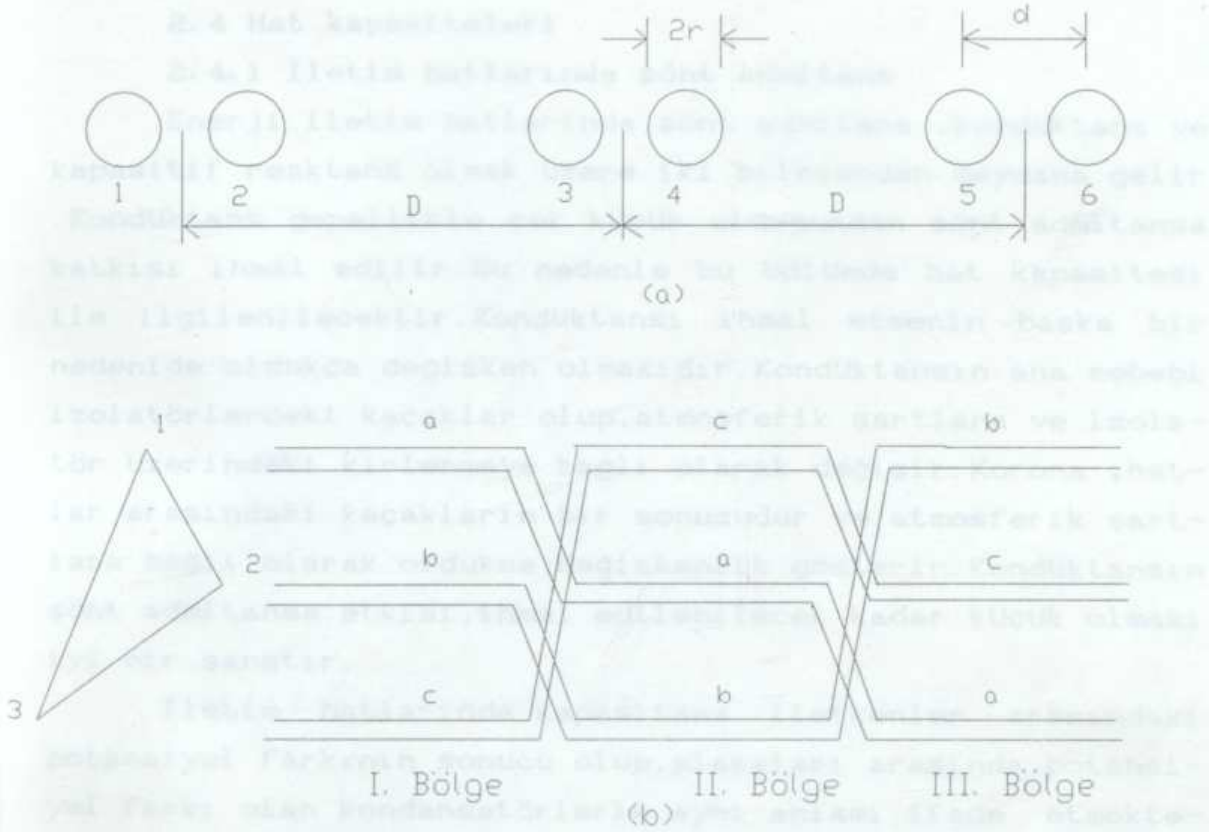
$$I_a = -(I_b + I_c)$$

dir ve yukardaki denklem,

$$\psi_{1a} = \frac{\mu}{2\pi} I_a \ln \frac{D^3 \sqrt{2}}{\sqrt{r'd}} \quad (2.39)$$

olur. Birinci iletkenin $I_a/2$ akımı geçtiğinden, bu iletkenin endüktansı

$$L_{1a} = \frac{\psi_{1a}}{I_a/2} = \frac{\mu}{2\pi} 2 \ln \frac{D^3 \sqrt{2}}{\sqrt{r'd}} \quad (2.40)$$



Şekil 2.7 Uç-fazlı, iki demet iletkenli hat ve transpozisi.

olur. a fazına ait 1 ve 2 nolu iletkenler paralel olduklarından bu faza ait endüktans

$$L_a = \frac{L_{1a}}{2} = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D^2 \sqrt{2}}{r'd} \quad (2.41)$$

olarak elde edilir. Diğer fazlara ait endüktanslar da a fazının endüktansına eşittir.

Endüktansı bilinen enerji iletim hattının endüktif reaktans ise

$$X = \omega L$$

eşitliğiyle hesaplanır.

$$(2.42)$$

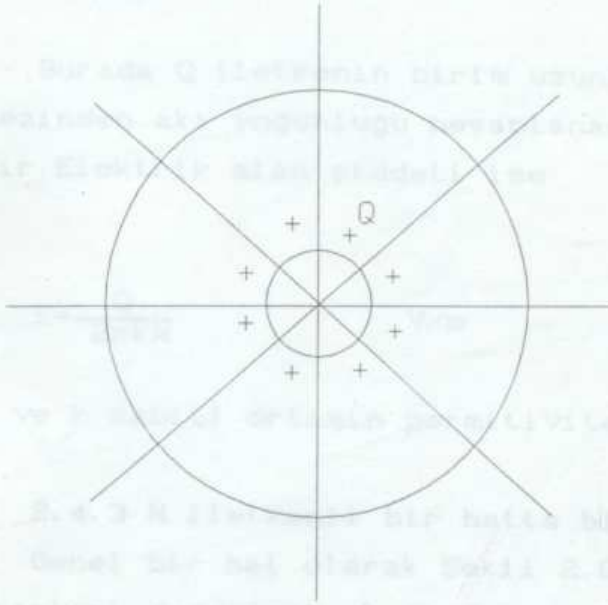
2.4 Hat kapasiteleri

2.4.1 İletim hatlarında şönt admitans

Enerji iletim hatlarında şönt admitans ,kondüktans ve kapasitif reaktans olmak üzere iki bileşenden meydana gelir .Kondüktans genellikle çok küçük olduğundan şönt admitansa katkısı ihmal edilir.Bu nedenle bu bölümde hat kapasitesi ile ilgilenilecektir.Kondüktansı ihmal etmenin başka bir nedenide oldukça değişken olmasıdır.Kondüktansın ana sebebi izolatörlerdeki kaçaklar olup,atmosferik şartlara ve izolatör üzerindeki kirlenmeye bağlı olarak değişir.Korona ,hatlar arasındaki kaçakların bir sonucudur ve atmosferik şartlara bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterir.Kondüktansın şönt admitansa etkisi,ihmal edilebilecek kadar küçük olması iyi bir şanstır.

İletim hatlarında kapasitans iletkenler arasındaki potansiyel farkının sonucu olup,plakaları arasında potansiyel farkı olan kondansatörlerle aynı anlamı ifade etmektedir.İletkenler arasındaki kapasite,yükün potansiyel farkı başına yegane elemanıdır.Paralel iletkenler arasındaki kapasite , iletkenlerin boyutlarına ve aralarındaki uzaklığa bağlı sabit bir büyüklüktür. Uzunluğu 80 km den küçük hatlarda kapasite genellikle ihmal edilir.Uzun ve yüksek gerilimli hatlarda kapasite artan bir önem taşımaktadır.

İletim hatlarında alternatif gerilimin bir noktada , artan ve azalan ani değerlerine bağlı olarak, bu noktada iletkende artan ve azalan elektrik yüklerinin oluşmasına sebep olur.Bu yüklerin akışı akımı oluşturur.Bu akım şarj akımı olup , hatlarda gerilime bağlı olarak değişen şarj vedeşarj olaylarından oluşmaktadır.Şarj akımı iletim hattı açık olsa bile hat boyunca akmaktadır.Şarj akımı hat boyunca gerilim düşümüne sebep olduğu gibi,güç faktörü ve verimede etki etmektedir.

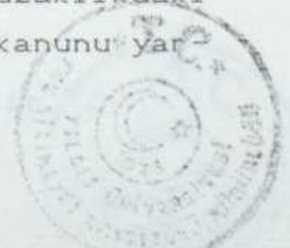


Şekil 2.8 İzole edilmiş bir hat ve akısı.

2.4.2 Uzun bir iletken boyunca elektrik alanı

Elektrik alanı, iletim hatlarında kapasiteyi incelerken çok önem arz etmektedir. Elektrik akısı, pozitif yüklü bir iletkeniden kaynaklanır ve negatif yüklü bir iletkenide son bulur. Bir iletkeniden çıkan toplam elektrik akısı, o iletkenin sahip olduğu toplam şarj yükünün nümerik değerine eşittir (Gauss kanunu). Elektrik akı yoğunluğu, birim alana isabet eden akı olarak tanımlanır.

Eğer elektrik yüklü uzun silindirik bir iletken, diğer iletkenlerden izole edilmişse, yükler iletkenin çevresinde üniform olarak dağılmıştır ve akı da radyaldır. İletkeniden eşit uzaklıktaki noktalarda, potansiyel ve elektrik akı yoğunlukları eşittir. Şekil 2.8 de izole edilmiş üniform şarjlı bir iletken görülmektedir. İletkeniden x uzaklıktaki noktalarda, elektrik akı yoğunluğu vektörü Gauss kanunu yardımıyla aşağıdaki gibi yazılır.



$$D = \frac{Q}{2\pi x} \quad C/m^2 \quad (2.43)$$

Burada Q iletkenin birim uzunluğunun yükü, x iletkenin merkezinden akı yoğunluğu hesaplanan nokta arasındaki uzaklıktır. Elektrik alan şiddeti ise

$$E = \frac{Q}{2\pi k x} \quad V/m \quad (2.43)$$

olur ve k sabiti ortamın permitivitesi dir.

2.4.3 N iletkenli bir hatta bir noktanın potansiyeli

Genel bir hal olarak Şekil 2.9 da görülen 1,2,3,...,N iletkenleri sırasıyla $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N$ şarj yüklerini taşırlar. Şimdi, P ve M noktaları arasındaki potansiyel farkı bulunmak isteniyor. Bunun için önce birinci iletkenin birim uzunluğundaki şarj yükleri nedeniyle P ve M noktaları arasındaki potansiyel farkı aşağıdaki gibi yazılabilir.

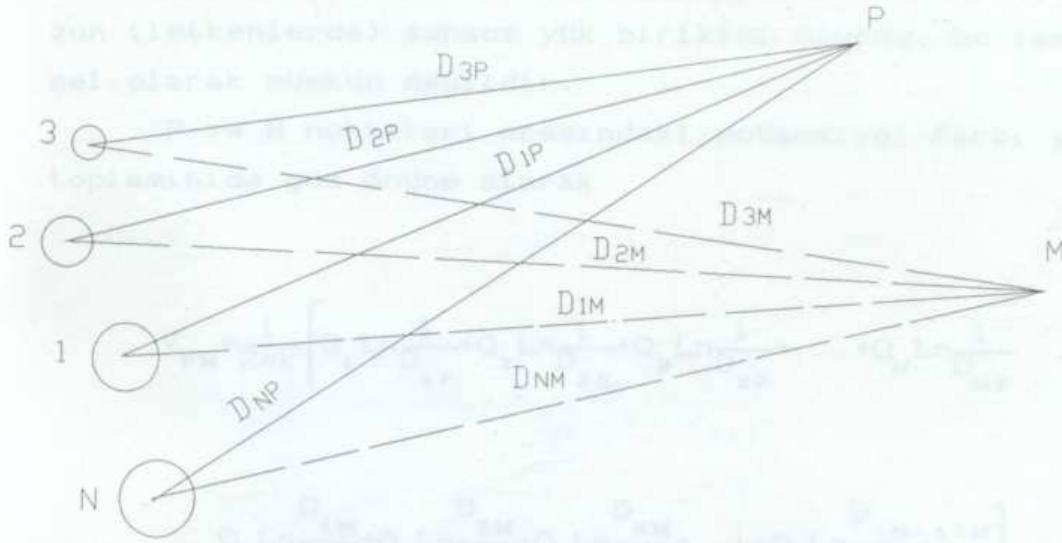
$$V_{1PM} = \frac{Q_1}{2\pi k} \int_{D_{1P}}^{D_{1M}} \frac{1}{x} dx \quad (2.44)$$

Süper pozisyon teoremine göre P ve M noktaları arasındaki potansiyel farkı, her bir iletkenin meydana getirdiği potansiyel farklarının toplamına eşittir. Buna göre

$$V_{PM} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_1 \ln \frac{D_{1M}}{D_{1P}} + Q_2 \ln \frac{D_{2M}}{D_{2P}} + Q_3 \ln \frac{D_{3M}}{D_{3P}} + \dots + Q_N \ln \frac{D_{NM}}{D_{NP}} \right) \quad (2.45a)$$

olur. (2.45a) denklemi aşağıdaki gibi de yazılabilir.





Şekil 2.9 Yüklerinin toplamı sıfır olan n iletkenli, sonsuz uzun iletim hattı.

$$V_{PM} = \frac{1}{2\pi k} \left[Q_1 \ln \frac{1}{D_{1P}} + Q_2 \ln \frac{1}{D_{2P}} + Q_3 \ln \frac{1}{D_{3P}} + \dots + Q_N \ln \frac{1}{D_{NP}} \right. \\ \left. + Q_1 \ln D_{1M} + Q_2 \ln D_{2M} + Q_3 \ln D_{3M} + \dots + Q_N \ln D_{NM} \right]$$

(2.45b)

Toprağın etkisi göz önüne alındığında, hat yüklerinin cebrik toplamı sıfıra eşittir.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N = 0$$

ve

$$Q_N = -(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{N-1})$$

dir. Eğer bu doğru olmasaydı hat iletkenlerinde (sonsuz uzun iletkenlerde) sonsuz yük birikimi olurdu, bu ise fiziksel olarak mümkün değildir.

P ve M noktaları arasındaki potansiyel farkı yüklerin toplamınıda göz önüne alarak

$$V_{PM} = \frac{1}{2\pi k} \left[Q_1 \ln \frac{1}{D_{1P}} + Q_2 \ln \frac{1}{D_{2P}} + Q_3 \ln \frac{1}{D_{3P}} + \dots + Q_N \ln \frac{1}{D_{NP}} \right] \quad (2.45c)$$

$$Q_1 \ln \frac{D_{1M}}{D_{NM}} + Q_2 \ln \frac{D_{2M}}{D_{NM}} + Q_3 \ln \frac{D_{3M}}{D_{NM}} + \dots + Q_N \ln \frac{D_{(N-1)M}}{D_{NM}} \right]$$

olarak yazılabilir. M noktası sonsuza götürüldüğünde, (2.45c) denkleminin ikinci satırındaki uzunluklar oranı 1'e yakınsar ve logaritmalarıda sıfır olur. Bu ise N iletkenli bir iletim hattının P noktasında meydana getirdiği potansiyel tanımını verir ve P noktasındaki potansiyel aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_P = \frac{1}{2\pi k} \left[Q_1 \ln \frac{1}{D_{1P}} + Q_2 \ln \frac{1}{D_{2P}} + Q_3 \ln \frac{1}{D_{3P}} + \dots + Q_N \ln \frac{1}{D_{NP}} \right] \quad (2.46)$$

(2.46) denklemi kapalı formda

$$V_P = \frac{1}{2\pi k} \sum_{i=1}^N Q_i \ln \frac{1}{D_{iP}} \quad (2.47)$$

olarak yazılır. Hat iletkenlerinin içindeki elektrik alanı sıfır olduğundan iletken içindeki potansiyel sıfırdır.

2.4.4 Uç fazlı hatlarda kapasite

Uç faz iletkenlerinin yarıçapları r olsun .Şekil 2.10 da iletken konfigirasyonu görülen bu hatta her bir bölge için (2.47)denklemleri uygulanarak aşağıdaki formüller yazılır.

I. Bölge

$$V_a = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{1}{r} + Q_b \ln \frac{1}{D_{12}} + Q_c \ln \frac{1}{D_{31}} \right) \quad (2.48a)$$

$$V_b = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{1}{D_{12}} + Q_b \ln \frac{1}{r} + Q_c \ln \frac{1}{D_{23}} \right) \quad (2.48b)$$

buradan,

$$V_{abI} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{D_{12}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{12}} + Q_c \ln \frac{D_{23}}{D_{31}} \right) \quad (2.48c)$$

yazılır.

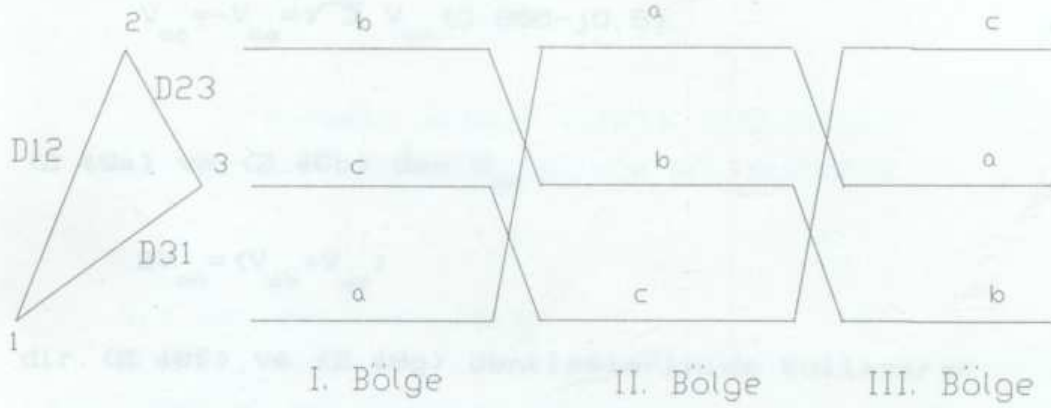
II. Bölge

$$V_{abII} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{D_{23}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{23}} + Q_c \ln \frac{D_{31}}{D_{12}} \right) \quad (2.48d)$$

III. Bölge

$$V_{abIII} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{D_{31}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{31}} + Q_c \ln \frac{D_{12}}{D_{23}} \right) \quad (2.48e)$$

olur. Uç bölge için hesaplanan gerilimlerin ortalaması ise



Şekil 2.10 Uç-fazlı iletim hattı ve transpozisi.

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad (2.48f)$$

olarak bulunur.

Burada

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

dir. Benzer şekilde

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi k} \left(Q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + Q_c \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad (2.48g)$$

olarak yazılabilir.

$$V_{ab} = \sqrt{3} V_{an} (0.866 + j0.5)$$

(2.49a)

$$V_{ac} = -V_{ca} = \sqrt{3} V_{an} (0.866 - j0.5) \quad (2.49b)$$

(2.49a) ve (2.49b) den V_{an}

$$3V_{an} = (V_{ab} + V_{ac})$$

dir. (2.48f) ve (2.48g) denklemlerini kullanarak

$$3V_{an} = \frac{1}{2\pi k} \left(2Q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{eq}} + Q_c \ln \frac{r}{D_{eq}} \right) \quad (2.50)$$

olarak yazılır. Dengeli üç fazlı sistemlerde

$$Q_a = -(Q_b + Q_c)$$

dir. Buna göre

$$3V_{an} = \frac{3}{2\pi k} Q_a \ln \frac{D_{eq}}{r} \quad (2.51)$$

yazılır. Kapasite ise

$$C_n = \frac{Q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi k}{\ln(D_{eq}/r)} \quad (2.52)$$

olur. Üç-fazlı enerji iletim hatlarında toprağın kapasiteye etkisi incelenmiyecektir.



3. BÖLÜM

6-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

3.1 Hat parametreleri

6 fazlı elektrik iletim hattının, 3 fazlı sistemlerde olduğu gibi, 4 ana parametresi vardır . Bunlar diren(R), endüktans(L), kapasite(C), kondüktans(G)tır . Bu parametrelerden kondüktans(G) ve diren(R) ikinci bölümde anlatılan 3 fazlı sistemlerdekinin aynıdır. Endüktans ve kapasitans parametrelerinin değerleri, iletkenlerin konfigirasyonuna ve hat geometrisine bağlı olarak değişir. Bu bölümde hattın endüktans ve kapasitans değerlerinin hesapları ile ilgilenilecektir; ayrıca hattın dairesel transpoze ve tam transpozisi durumları için, endüktans ve kapasite formülleri verilecektir.

3.2 Hat endüktansı

İkinci bölümde elde edilen (2.28) formülü, N iletkenli bir elektrik enerji iletim hattında, i. iletkeni halkalayan akıyı vermekteydi. Bu formül

$$\psi_i = \frac{\mu}{2\pi} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (3.1)$$

idi. Burada

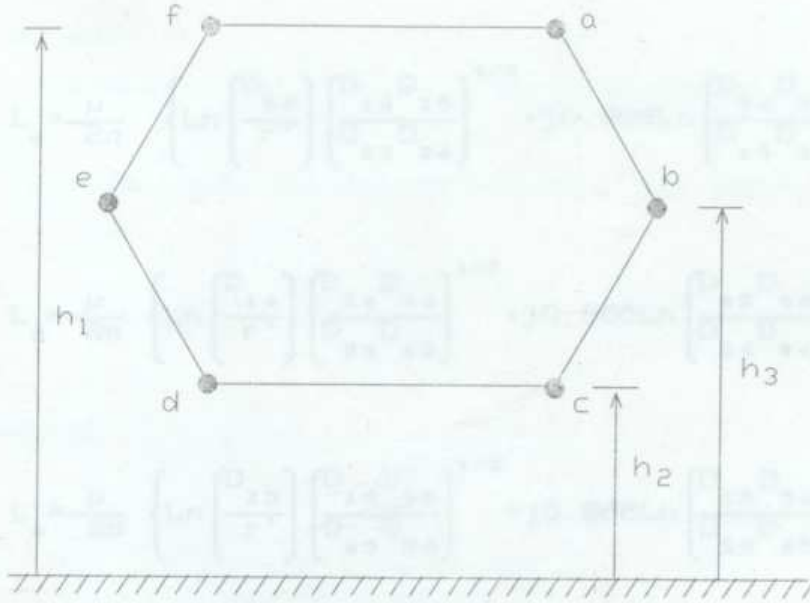
I_k = k. iletkenin akımı

D_{ik} = i. iletkenle k. iletken arasındaki uzunluk

$D_{ii} = r' = re^{-1/4}$

r = iletkenin yarıçapı

dir. (2.30) eşitliği ile verilen i. iletkenin endüktans formülü aşağıdaki gibidir.



Sekil 3.1 Altı-fazlı enerji iletim hattında iletkenler.

$$L_i = \frac{\psi_i}{I_i} = \frac{\mu}{2\pi I_i} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (3.2)$$

Sekil 3.1 de asimetric 6 fazlı iletim hattı iletkenlerinin konfigirasyonu görölmektedir. a fazını referans alıp, 6 faz akımının dengeli olduğunu kabul ederek, hat endüktansları (3.1) veya (3.2) formülüyle aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L_a = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{D_{14}}{r'} \right) \left(\frac{D_{13} D_{15}}{D_{12} D_{16}} \right)^{1/2} + j0.866 \ln \left(\frac{D_{12} D_{13}}{D_{15} D_{16}} \right) \right\}$$

$$L_b = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \ln \left(\frac{D_{25}}{r'} \right) \left(\frac{D_{13} D_{35}}{D_{12} D_{23}} \right)^{1/2} + j0.866 \ln \left(\frac{D_{23} D_{24}}{D_{12} D_{26}} \right) \right\}$$

$$L_c = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{36}}{r'} \right) \left(\frac{D_{13} D_{35}}{D_{23} D_{34}} \right)^{1/2} + j0.866 \text{Ln} \left(\frac{D_{34} D_{35}}{D_{13} D_{35}} \right) \right\} \quad (3.3)$$

$$L_d = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{14}}{r'} \right) \left(\frac{D_{24} D_{46}}{D_{34} D_{45}} \right)^{1/2} + j0.866 \text{Ln} \left(\frac{D_{45} D_{46}}{D_{24} D_{34}} \right) \right\}$$

$$L_e = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{25}}{r'} \right) \left(\frac{D_{15} D_{35}}{D_{45} D_{56}} \right)^{1/2} + j0.866 \text{Ln} \left(\frac{D_{15} D_{56}}{D_{35} D_{45}} \right) \right\}$$

$$L_f = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{36}}{r'} \right) \left(\frac{D_{26} D_{46}}{D_{16} D_{56}} \right)^{1/2} + j0.866 \text{Ln} \left(\frac{D_{46} D_{56}}{D_{16} D_{26}} \right) \right\}$$

Denklem (3.3) ile verilen endüktanslar, devrenin 6 fazlı dengesiz devre olması nedeniyle birbirinden farklı kompleks ifadelerdir. İletim hattı dairesel transpozeyle dengeli duruma getirilebilir ve efektif hat endüktansı

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{1}{r'} \right) \left(\frac{D_{12} D_{24}}{D_{12}} \right)^{2/3} \left(\frac{D_{13} D_{25}}{D_{16}} \right)^{1/3} \right\} \quad (3.4)$$

olur . Eğer iletkenler düzgün altıgenin köşelerinde ise endüktans

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \text{Ln} \left(\frac{2\sqrt{3} D}{r'} \right) \quad (3.5)$$

olur. Burada

D =ardışık iki iletken arasındaki uzunluktur.

İletim hattı transpoze edilmiş ise endüktans

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{D_{eq}}{r} \quad (3.6)$$

dır. Burada

$$D_{eq} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n-1} \prod_{j=i+1}^n D_{ij}} \quad , n=6$$

olup, buna geometrik ortalama uzunluk denir. Gerek 6-faz gerekse 12-fazlı hatlarda transpoze teorik olarak mümkün fakat tatbikatta zor olduğu görülmektedir.

3.3 Endüktans matrisi ve Maxwell katsayıları

(3.2) denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$[\psi] = [L][I] = (\mu/2\pi)[M][I] \quad (3.7)$$

Burada $[L]$ matrisi 6×6 boyutunda, altı köşegen elemanı birbirine eşit, 5 tane farklı karşılıklı elemanı içermektedir.

Bununla birlikte bu 5 tane farklı elemandan dairesel simetri nedeniyle, ancak 3 tanesi birbirinden farklı olur.

Buna göre endüktans matrisi aşağıdaki gibi yazılır.



$$[L] = \begin{bmatrix} L_s & L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} & L_{m2} & L_{m1} \\ L_{m1} & L_s & L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} & L_{m2} \\ L_{m2} & L_{m1} & L_s & L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} \\ L_{m3} & L_{m2} & L_{m1} & L_s & L_{m1} & L_{m2} \\ L_{m2} & L_{m3} & L_{m2} & L_{m1} & L_s & L_{m1} \\ L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} & L_{m2} & L_{m1} & L_s \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Endüktans matrisinin elemanları

$$L_{ii} = (\mu/2\pi) \ln(1/r') \quad (3.9)$$

$$L_{ij} = (\mu/2\pi) \ln(1/D_{ij}) \quad i \neq j \quad i, j = 1, 2, \dots, 6$$

dir. Yukardaki (3.8) ve (3.9) denklemlerinde toprağın etkisi ihmal edilmiştir. (3.7) eşitliğindeki [M] matrisine Maxwell'in katsayı matrisi denir ve elemanları toprağın etkiside göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi yazılabılır.

$$M_{ii} = \ln(2h_i/r') \quad i, j = 1, 2, \dots, 6 \quad (3.10)$$

$$M_{ij} = \ln(H_{ij}/D_{ij}) \quad i \neq j$$

Burada

h_i = i. iletkenin toprak yüzeyinden yüksekliği

D_{ij} = i. iletkenle, j. iletken arasındaki uzaklık

H_{ij} = i. iletkenle, j. iletkenin görüntüsü arasındaki uzaklıktır.

[M] matrisinin elemanları birbirinden farklıdır; fakat hat transpoze edilirse (3.8) denklemi formunda bir denklem elde edilir.

3.4 Hat kapasiteleri

Enerji iletim hatlarında, 6 tane faz-toprak ve 15 tane de faz-faz gerilimi vardır. Faz-faz gerilimleri 4 grupta karakterize edilirki, bunlardan 3 grubun gerilimlerinin mutlak değerleri ve faz farkları birbirinden farklıdır. Bunun sonucu olarakta bir fazın kapasitesi diğerlerinininkinden farklı olur. Bu bölümde faz-nötr kapasite ifadeleri verilecektir.

Herhangi iki faz arasındaki gerilim (mesela a ile b) (2.47) formülü yardımıyla aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left[Q_a \ln \frac{D_{ab}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{ba}} + Q_c \ln \frac{D_{cb}}{D_{ca}} + Q_d \ln \frac{D_{bd}}{D_{da}} + Q_e \ln \frac{D_{eb}}{D_{ea}} + Q_f \ln \frac{D_{fb}}{D_{fa}} \right] \quad (3.11)$$

a fazı ile b fazı arasındaki kapasite

$$C_{ab} = \frac{Q_a}{V_{ab}} \quad (3.12)$$

dir. Şekil 3.1 de hat konfigirasyonu verilen 6-fazlı sisteme (3.11) ve (3.12) denklemleri, toprağın etkisi ihmal edilerek uygulanırsa, faz-nötr kapasiteleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_{an} = C_{dn} = \frac{2\pi k}{0.5 \left[\ln(D_{13} D_{36}^2 / r D_{16} D_{25}) + j \ln(D_{13} D_{25} / r D_{16})^{1.73} \right]} \quad (3.13)$$

$$C_{bn} = C_{en} = \frac{2\pi k}{0.5 [\ln(D_{13} D_{25}^2 / r D_{16} D_{36}) + j \ln(D_{13} D_{36} / r D_{16})^{1.73}]}$$

$$C_{cn} = C_{fn} = \frac{2\pi k}{0.5 [\ln(D_{16} D_{36} D_{26}^2 / r D_{13} D_{12}^2) + j \ln(D_{16} D_{36} D_{26}^2 / r D_{12}^2)^{1.73}]}$$

Eğer iletim hattı dairesel transpoze edilmişse, efektif faz-nötr kapasitesi aşağıdaki gibi olur.

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln[(1/r)(D_{13} D_{25} D_{26}^2 D_{36}^3 / D_{16} D_{12}^2)^{1/3}]} \quad (3.14)$$

İletkenler simetrik olarak dizilmiş ise ,faz-nötr kapasitesi

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln \frac{2\sqrt{3} D}{r}} \quad (3.15)$$

dir.

Toprağın kapasiteye etkisi :faz iletkenlerinin yerden yüksekliklerinin farklı olması nedeniyle,faz-nötr kapasiteleri birbirinden farklıdır.Hat dairesel transpoze edilirse, efektif kapasite aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln \frac{2\sqrt{3} D}{r} - \ln \frac{1}{2} \sqrt{\frac{H_{13}^2 H_{14}^2 H_{15}^2 H_{24}^2 H_{25}^2}{h_{12}^2 h_{23}^2 h_{34}^2 H_{16}^2 H_{26}^2 H_{36}^2}}} \quad (3.16)$$

(3.16) eşitliğinden anlaşılabacağı gibi toprağın kapasiteye etkisi,iletim hattının kapasitesini büyötmektedir.

3.5 Kapasitans matrisi ve potansiyel katsayıları

Toprak yüzeyinden yüksekte N iletkenli bir iletim hattı iletkenlerinin potansiyeli

$$[V]=[P][Q/2\pi k] \quad (3.17)$$

dir. [P] potansiyel katsayılar matrisinin elemanları

$$\begin{aligned} P_{ii} &= \ln(2h_i/r) \\ P_{ij} &= \ln(H_{ij}/D_{ij}) \quad i, j=1, 2, \dots, N \\ & \quad i \neq j \end{aligned} \quad (3.18)$$

dir. [P] Matrisinin inversi alınarak kapasite matrisi elde edilir. Burada

h_i = i. iletkenin toprak yüzeyinden yüksekliğidir.

D_{ij} = i. iletkenle, j. iletken arasındaki uzaklıktır.

H_{ij} = i. iletkenle, j. iletkenin görüntüsü arasındaki uzaklıktır.

3.6. Sequence endüktanslar ve kapasitanslar

6-fazlı enerji iletim hatlarında endüktans ve kapasitans'ın sequence değerleri:

$$L_0 = L_s + 5L_m = \text{sıfır-sequence endüktans}$$

$$L_1 = L_2 = \dots = L_5 = L_s - L_m = \text{diğer sequence endüktanslar} \quad (3.19)$$

$$C_0 = C_s + 5C_m = \text{sıfır-sequence kapasitans}$$

$$C_1 = C_2 = \dots = C_5 = C_s - C_m = \text{diğer sequence kapasitanslar dir.}$$

Yukardaki eşitliklerin eldesi için kullanılan transformasyon matrisinin eldesi, gerek 6-faz , gerekse 12-faz'lı sistemler için anlatılmayacaktır.

4. BÖLÜM

12-FAZLI ENERJİ İLETİM HATLARINDA HAT PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Hat parametreleri

12 fazlı elektrik iletim hattının, 3 fazlı sistemlerde olduğu gibi, 4 ana parametresi vardır. Bunlar diren(R), endüktans(L), kapasite(C), kondüktans(G)tır .Bu parametrelerden kondüktans(G) ve diren(R) ikinci bölümde anlatılan 3 fazlı sistemlerdekinin aynıdır. Endüktans ve kapasitans parametrelerinin değerleri,iletkenlerin konfigirasyonuna ve hat geometrisine bağlı olarak değişir. Bu bölümde hattın endüktans ve kapasitans değerlerinin hesapları ile ilgilenilecektir; ayrıca hattın dairesel transpozisi durumu için, endüktans ve kapasite formülleri verilecektir.

4.2 Hat endüktansı

İkinci bölümde elde edilen (2.28) formülü,N iletkenli bir elektrik enerji iletim hattında,i. iletkeni halkalayan akıyı vermekteydi. Bu formül

$$\psi_i = \frac{\mu}{2\pi} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (4.1)$$

idi. Burada

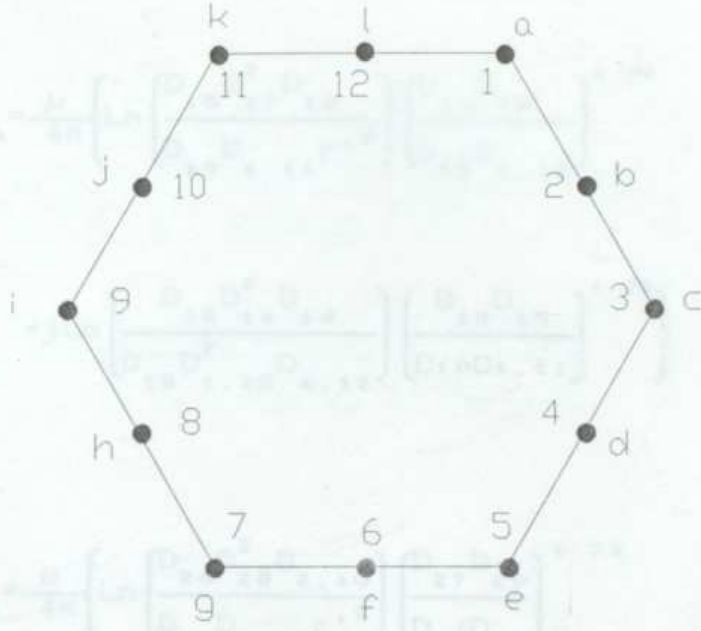
I_k = k. iletkenin akımı

D_{ik} = i. iletkenle k. iletken arasındaki uzunluk

$D_{ii} = r' = re^{-1/4}$

r=iletkenin yarıçapı

dır. (2.30) eşitliği ile verilen i. iletkenin endüktans formülü aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1 Oniki-fazlı enerji iletim hattında iletkenler.

$$L_i = \frac{\psi_i}{I_i} = \frac{\mu}{2\pi I_i} \sum_{k=1}^N I_k \ln \frac{1}{D_{ik}} \quad (4.2)$$

Şekil 4.1 de asimetrik 12 fazlı iletim hattı iletkenlerinin konfigirasyonu görülmektedir. a fazını referans alıp, 12 faz akımının dengeli olduğunu kabul ederek, hat endüktansları (4.1) veya (4.2) formülüyle aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L_a = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{15} D_{17}^2 D_{19}}{D_{13} D_{1,11} r'^2} \right) \left(\frac{D_{16} D_{18}}{D_{12} D_{1,12}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{12} D_{14}^2 D_{16}}{D_{18} D_{1,10}^2 D_{1,12}} \right) \left(\frac{D_{13} D_{15}}{D_{19} D_{1,11}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3a)$$

$$L_b = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{26} D_{28}^2 D_{2,10}}{D_{24} D_{2,12} r'^2} \right) \left(\frac{D_{27} D_{29}}{D_{23} D_{21}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{23} D_{25}^2 D_{27}}{D_{29} D_{2,11}^2 D_{21}} \right) \left(\frac{D_{24} D_{26}}{D_{2,10} D_{2,12}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3b)$$

$$L_c = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{37} D_{39}^2 D_{3,11}}{D_{35} D_{31} r'^2} \right) \left(\frac{D_{38} D_{3,10}}{D_{34} D_{32}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{34} D_{36}^2 D_{38}}{D_{3,10} D_{3,12}^2 D_{32}} \right) \left(\frac{D_{35} D_{37}}{D_{3,11} D_{31}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3c)$$

$$L_d = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{48} D_{4,10}^2 D_{4,12}}{D_{46} D_{42} r'^2} \right) \left(\frac{D_{49} D_{4,11}}{D_{45} D_{43}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{45} D_{47}^2 D_{49}}{D_{4,11} D_{41}^2 D_{43}} \right) \left(\frac{D_{46} D_{48}}{D_{4,12} D_{42}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3d)$$

$$L_e = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{59} D_{5,11}^2 D_{51}}{D_{57} D_{59} r^2} \right) \left(\frac{D_{5,10} D_{5,12}}{D_{56} D_{54}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{56} D_{58}^2 D_{5,10}}{D_{5,12} D_{52}^2 D_{54}} \right) \left(\frac{D_{57} D_{53}}{D_{51} D_{59}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3e)$$

$$L_f = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{6,10} D_{6,12}^2 D_{62}}{D_{68} D_{64} r^2} \right) \left(\frac{D_{6,11} D_{61}}{D_{67} D_{65}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{67} D_{69}^2 D_{6,11}}{D_{61} D_{69}^2 D_{65}} \right) \left(\frac{D_{57} D_{53}}{D_{62} D_{64}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3f)$$

$$L_g = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{7,11} D_{71}^2 D_{73}}{D_{79} D_{75} r^2} \right) \left(\frac{D_{7,12} D_{72}}{D_{78} D_{76}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{78} D_{7,10}^2 D_{7,12}}{D_{72} D_{74}^2 D_{78}} \right) \left(\frac{D_{79} D_{7,11}}{D_{73} D_{75}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3g)$$

$$L_h = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{8,12} D_{82}^2 D_{84}}{D_{8,10} D_{86} r^2} \right) \left(\frac{D_{81} D_{83}}{D_{89} D_{87}} \right)^{1.79} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{89} D_{8,11}^2 D_{81}}{D_{83} D_{85}^2 D_{87}} \right) \left(\frac{D_{8,10} D_{8,12}}{D_{84} D_{86}} \right)^{1.79} \right\} \quad (4.3h)$$

$$L_i = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{91} D_{93}^2 D_{95}}{D_{9,11} D_{97} r^2} \right) \left(\frac{D_{92} D_{94}}{D_{9,10} D_{98}} \right)^{1.73} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{9,10} D_{9,12}^2 D_{92}}{D_{94} D_{96}^2 D_{98}} \right) \left(\frac{D_{9,11} D_{91}}{D_{95} D_{97}} \right)^{1.73} \right\} \quad (4.3i)$$

$$L_j = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{10,2} D_{10,4}^2 D_{10,6}}{D_{10,12} D_{10,8} r^2} \right) \left(\frac{D_{10,3} D_{10,5}}{D_{10,11} D_{10,9}} \right)^{1.73} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{10,11} D_{10,1}^2 D_{10,3}}{D_{10,5} D_{10,7}^2 D_{10,9}} \right) \left(\frac{D_{10,12} D_{10,2}}{D_{10,6} D_{10,8}} \right)^{1.73} \right\} \quad (4.3j)$$

$$L_k = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{D_{11,3} D_{11,5}^2 D_{11,7}}{D_{11,1} D_{11,9} r^2} \right) \left(\frac{D_{11,4} D_{11,6}}{D_{11,12} D_{11,10}} \right)^{1.73} \right. \\ \left. + j \text{Ln} \left(\frac{D_{11,12} D_{11,2}^2 D_{11,4}}{D_{11,6} D_{11,8}^2 D_{11,10}} \right) \left(\frac{D_{11,1} D_{11,3}}{D_{11,7} D_{11,9}} \right)^{1.73} \right\} \quad (4.3k)$$

$$L_l = \frac{\mu}{4\pi} \left\{ \ln \left(\frac{D_{12,4}^2 D_{12,6} D_{12,8}}{D_{12,2} D_{12,10} r'^2} \right) \left(\frac{D_{12,5} D_{12,7}}{D_{12,1} D_{12,11}} \right)^{1.73} \right. \\ \left. + j \ln \left(\frac{D_{12,1}^2 D_{12,3} D_{12,5}}{D_{12,7} D_{12,9} D_{12,11}} \right) \left(\frac{D_{12,2} D_{12,4}}{D_{12,8} D_{12,10}} \right)^{1.73} \right\} \quad (4.31)$$

Denklem(4.3) deki endüktanslar,devrenin 12-fazlı dengersiz devre olması nedeniyle birbirinden farklı kompleks ifadelerdir. Fakat Şekil 5.1 den görüleceği gibi birbirine eşit endüktanslar iki grupta toplanabilir.

Birinci grup : düzgün altıgenin köşelerinde bulunan iletkenlerin endüktansları

$$L_a = L_c = L_e = L_g = L_i = L_k = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{4\sqrt{3}(13)^{0.866} D}{r'} \right) \quad (4.4)$$

dır.Burada D peşpeşe iki faz arasındaki uzaklıktır.

İkinci grup : düzgün altıgenin kenar ortaylarında bulunan iletkenlerin endüktansları

$$L_b = L_d = L_f = L_h = L_j = L_l = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{6(13)^{0.866} D}{r'} \right) \quad (4.5)$$

olur.Endüktansların farklı olması devrenin dengersiz olmasının sonucu olup,iletim hattı dairesel transpozeyle dengeli duruma getirilebilir ve efektif hat endüktansı da

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{(2\sqrt{3})^{1.5} (13)^{0.866} D}{r'} \right) \quad (4.6)$$

olur.

4.3 Endüktans matrisi ve Maxwell katsayıları

(4.2) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[\psi] = [L][I] = (\mu/2\pi)[M][I] \quad (4.7)$$

Burada [L] matrisi 12x12 boyutunda, endüktans matrisidir ve elemanları

$$L_{ii} = (\mu/2\pi) \ln(1/r')$$

$$L_{ij} = (\mu/2\pi) \ln(1/D_{ij}) \quad i \neq j \quad i, j = 1, 2, \dots, 12 \quad (4.8)$$

dır. Yukardaki (4.8) denkleminde toprağın etkisi ihmal edilmiştir. (4.7) eşitliğindeki [M] matrisine ise Maxwell'in katsayı matrisi denir ve elemanları toprağın etkiside göz önünde bulundurularak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_{ii} = \ln(2h_i/r')$$

$$i, j = 1, 2, \dots, 12$$

$$M_{ij} = \ln(H_{ij}/D_{ij})$$

$$i \neq j$$

$$(4.9)$$

Burada

h_i = i. iletkenin toprak yüzeyinden yüksekliği

D_{ij} = i. iletkenle, j. iletken arasındaki uzaklık

H_{ij} = i. iletkenle, j. iletkenin görüntüsü arasındaki uzaklıktır.

4.4 Hat kapasiteleri

12-fazlı enerji iletim hatlarında, 12 tane faz-toprak ve 66 tanede faz-faz gerilimi vardır. Faz-faz gerilimleri 6 grupta karakterize edilirki, her bir grubun gerilimlerinin

mutlak değerleri ve faz farkları birbirinden farklıdır. Bunun sonucu olarakta bir fazın kapasitesi diğerlerininkinden farklı olur . Bu bölümde faz-nötr ve fazlar arası kapasite değerleri çıkarılacaktır.Şekil 5.1'i göz önüne alarak, herhangi iki faz arasındaki gerilim (mesala a ile b), (2.47) formülü yardımıyla aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi k} \left[Q_a \ln \frac{D_{12}}{r} + Q_b \ln \frac{r}{D_{12}} + Q_c \ln \frac{D_{23}}{D_{13}} + Q_d \ln \frac{D_{24}}{D_{14}} + Q_e \ln \frac{D_{25}}{D_{15}} \right. \\ \left. + Q_f \ln \frac{D_{26}}{D_{16}} + Q_g \ln \frac{D_{27}}{D_{17}} + Q_h \ln \frac{D_{28}}{D_{18}} + Q_i \ln \frac{D_{29}}{D_{19}} + Q_j \ln \frac{D_{2,10}}{D_{1,10}} \right. \\ \left. + Q_k \ln \frac{D_{2,11}}{D_{1,11}} + Q_l \ln \frac{D_{2,12}}{D_{1,12}} \right] \quad (4.10)$$

a fazı ile b fazı arasındaki kapasite ise

$$C_{ab} = Q_a / V_{ab} \quad (4.11)$$

dir. Şekil 4.1 de hat konfigirasyonu verilen sisteme (4.10) ve (4.11) denklemleri uygulanırsa, fazlar arası 132 kapasite değerleri bulunur. Bu kapasite değerlerini 12 grupta toplamak mümkündür ve her bir grubun kapasitesi sanal ifadelerdir ve mutlak değerleri birbirine eşittir. Bu 12 gruptan 6 grubun (66 kapasite) kapasitesi düzgün altıgenin köşelerine yerleştirilmiş iletkenlerle ilgili olup, kapasite formülleri aşağıdadır.

Birinci grup: (ard arda iletkenler arasındaki kapasite)

$$\begin{aligned} C_{ab} &= C_{cd} = C_{ef} = C_{gh} = C_{ij} = C_{kl} \\ &= \frac{2\pi k}{0.134 \ln(161.68D/r) + j0.5 \ln(55.513D/r)} \end{aligned} \quad (4.12a)$$

$$\begin{aligned} C_{al} &= C_{cb} = C_{ed} = C_{gf} = C_{ih} = C_{kj} \\ &= \frac{2\pi k}{0.134 \ln(161.68D/r) - j0.5 \ln(55.513D/r)} \end{aligned} \quad (4.12b)$$

Yukardaki $C_{ab}, \dots, C_{kj}$ oniki kapasitenin mutlak değerleri birbirine eşit olup aşağıdaki gibidir.

$$C_{ab} = \frac{2\pi k}{\sqrt{[0.134 \ln(161.68D/r)]^2 + [0.5 \ln(55.513D/r)]^2}} \quad (4.12c)$$

İkinci grup: (bir faz atlayarak iki faz arasındaki kapasite)

$$\begin{aligned} C_{ac} &= C_{ce} = C_{eg} = C_{gi} = C_{ik} = C_{ka} = C_{ak} = C_{ca} = C_{ec} = C_{ge} = C_{ig} = C_{ki} \\ &= \frac{2\pi k}{\ln(63.87D/r)} \end{aligned} \quad (4.12d)$$

Üçüncü grup: (iki faz atlayarak 51 fazlar arasındaki kapasite)

$$C_{ad}=C_{cf}=C_{eh}=C_{gj}=C_{il}=C_{kb}=C_{aj}=C_{cl}=C_{eb}=C_{gd}=C_{if}=C_{kh}$$

$$= \frac{2\pi k}{\sqrt{[\ln(63.87D/r)]^2 + [\ln(55.513D/r)]^2}} \quad (4.12e)$$

Dördüncü grup: (Üç faz atlayarak fazlar arasındaki kapasite)

$$C_{ae}=C_{cg}=C_{ei}=C_{gk}=C_{ia}=C_{kc}=C_{ai}=C_{ck}=C_{ea}=C_{gc}=C_{ie}=C_{kg}$$

$$= \frac{2\pi k}{1.73\ln(63.87D/r)} \quad (4.12f)$$

Beşinci grup: (dört faz atlayarak fazlar arasındaki kapasite)

$$C_{af}=C_{ch}=C_{ej}=C_{gl}=C_{ib}=C_{kd}=C_{ah}=C_{cj}=C_{el}=C_{gb}=C_{id}=C_{kf}$$

$$= \frac{2\pi k}{\sqrt{[1.866\ln(59.75D/r)]^2 + [0.5\ln(55.513D/r)]^2}} \quad (4.12g)$$

Altıncı grup: (zıt fazlar arasındaki kapasite)

$$C_{ag}=C_{ci}=C_{ek}=C_{ga}=C_{ic}=C_{ke} = \frac{2\pi k}{2\ln(63.87D/r)} \quad (4.12h)$$

Geri kalan altı grubun kapasiteleri ,düzgün altıgenin kenar ortaylarındaki faz iletkenleriyle (b,d,f,h,j,l) ilgili olup,mutlak değerleri aşağıdaki gibidir.

Yedinci grup:

$$C_{bc}=C_{de}=C_{fg}=C_{hi}=C_{jk}=C_{la}=C_{ba}=C_{dc}=C_{fe}=C_{hg}=C_{ji}=C_{lk}$$

$$= \frac{2\pi k}{\sqrt{[0.134 \ln(21.767D/r)]^2 + [0.5 \ln(63.87D/r)]^2}} \quad (4.12i)$$

Sekizinci grup:

$$C_{bd}=C_{df}=C_{fh}=C_{hj}=C_{jl}=C_{lb}=C_{bl}=C_{db}=C_{fd}=C_{hf}=C_{jh}=C_{li}$$

$$= \frac{2\pi k}{\ln(55.313D/r)} \quad (4.12j)$$

Dokuzuncu grup:

$$C_{be}=C_{dg}=C_{fi}=C_{hk}=C_{ja}=C_{lc}=C_{bk}=C_{da}=C_{fc}=C_{he}=C_{ig}=C_{li}$$

$$= \frac{2\pi k}{\sqrt{[\ln(55.313D/r)]^2 + [\ln(63.87D/r)]^2}} \quad (4.12k)$$

Onuncu grup:

$$C_{bf}=C_{dh}=C_{fj}=C_{hl}=C_{jb}=C_{ld}=C_{bj}=C_{dl}=C_{fb}=C_{hd}=C_{jf}=C_{lg}$$

$$= \frac{2\pi k}{1.73 \ln(55.313D/r)} \quad (4.12l)$$

Onbirinci grup:

$$C_{bg}=C_{di}=C_{fk}=C_{ha}=C_{jc}=C_{le}=C_{bi}=C_{dk}=C_{fa}=C_{hc}=C_{je}=C_{lg}$$

$$= \frac{2\pi k}{\sqrt{[1.866\text{Ln}(59.135D/r)]^2 + [0.5\text{Ln}(63.87D/r)]^2}} \quad (4.12m)$$

Onikinci

grup:

$$C_{bh}=C_{dj}=C_{fl}=C_{hb}=C_{jd}=C_{lf} = \frac{2\pi k}{2\text{Ln}(55.313D/r)} \quad (4.12n)$$

Yukardaki oniki grup , eğer hat dairesel transpoze edilirse,fazlar aras kapasite altı grupta toplanır.

Birinci grup:

$$C_{ab} = \frac{2\pi k}{0.5176\text{Ln}(59.44D/r)} \quad (4.13a)$$

İinci grup:

$$C_{bh} = \frac{2\pi k}{\text{Ln}(59.44D/r)} \quad (4.13b)$$

Üçüncü grup:

$$C_{ad} = \frac{2\pi k}{1.414\text{Ln}(59.44D/r)} \quad (4.13c)$$



Dördüncü grup:

$$C_{ae} = \frac{2\pi k}{1.73 \ln(59.44D/r)} \quad (4.13d)$$

Beşinci grup:

$$C_{af} = \frac{2\pi k}{1.9318 \ln(59.44D/r)} \quad (4.13e)$$

Altıncı grup:

$$C_{ag} = \frac{2\pi k}{2 \ln(59.44D/r)} \quad (4.13f)$$

12 faz-nötr kapasiteleri (toprağın etkisi ihmal edildiğinde) iki grupta toplanır. Birinci grup, faz iletkenlerinin düzgün altıgenin köşelerinde bulunması hali; ikinci grup, faz iletkenlerinin düzgün altıgenin kenar ortaylarında bulunması durumudur. Birinci gruptaki her bir kapasite değeri $0.52 C_{ab}$, ikinci gruptaki kapasitelerin her birinin değeri ise $0.52 C_{bc}$ dir. Eğer hat dairesel olarak transpoze edilirse her bir hattın faz-nötr kapasitesi $0.52 C_{ab}$ 'ye eşit olur. 0.52 değeri 12-fazlı sistemde faz-faz gerilimi ile faz-nötr gerilimleri arasındaki orandır.

Toprağın kapasiteye etkisi:

Hat kapasitesine toprağın etkisini katmak için imaj metodu kullanılır. Aşıkardırki 12-faz iletkeninden her birinin kendi görüntüsünden ve farklı fazların imajlarının örnek olarak a fazına uzaklıkları farklıdır. Bu farklılıklar iletim hattını dairesel olarak transpoze ederek giderilebilir. Bu düşüncelerin ışığı altında nötr'e göre efektif kapasite

$$C_n = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} C_{ni} \quad (4.14)$$

dir. Burada C_{ni} transpoze edilen hatta, i. pozisyonundaki bir fazın nötr'e göre kapasitesidir.

4.5 Kapasitans matrisi ve Potansiyel katsayıları

Toprak yüzeyinden yüksekte N iletkenli bir iletim hattı iletkenlerinin potansiyeli

$$[V] = [P][Q/2\pi k] \quad (4.15)$$

dir. [P] potansiyel katsayılar matrisinin elemanları

$$\begin{aligned} P_{ii} &= \ln(2h_i/r) \\ P_{ij} &= \ln(H_{ij}/D_{ij}) \end{aligned} \quad \begin{aligned} i, j &= 1, 2, \dots, N \\ i &\neq j \end{aligned} \quad (4.16)$$

dir. [P] Matrisinin inversi alınarak kapasite matrisi elde edilir. Burada

h_i = i. iletkenin toprak yüzeyinden yüksekliğidir.

D_{ij} = i. iletkenle, j. iletken arasındaki uzaklıktır.

H_{ij} = i. iletkenle, j. iletkenin görüntüsü arasındaki uzaklıktır.

4.6. Sequence endüktanslar ve kapasitanslar

12-fazlı enerji iletim hatlarında endüktans ve kapasitans'ın sequence değerleri:

$$\begin{aligned} L_0 &= L_s + 11L_m = \text{sıfır-sequence endüktans} \\ L_1 &= L_2 = \dots = L_{11} = L_s - L_m = \text{diğer sequence endüktanslar} \\ C_0 &= C_s + 11C_m = \text{sıfır-sequence kapasitans} \\ C_1 &= C_2 = \dots = C_{11} = C_s - C_m = \text{diğer sequence kapasitanslar dir.} \end{aligned}$$

BÖLÜM 5

3-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ

5.1 Bu bölümde enerji sistemlerinin analizi, Fortescue tarafından 1918 de bulunan simetrik bileşenler teorisi kullanılarak yapılacaktır.

5.2 Üç-fazlı generatör

3-fazlı genel bir devre elemanı Şekil 5.1 deki gibidir. Bu elemanın empedans formunda denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_{P'}^a + E_P^a = Z_P^a I_{P'}^a + V_P^a \quad (5.1)$$

Burada

$$V_{P'}^a = [V_4 \quad V_5 \quad V_6]^T$$

$$E_P^a = [E_a \quad E_b \quad E_c]^T$$

$$V_P^a = [V_1 \quad V_2 \quad V_3]^T$$

$$Z_P^a = (3 \times 3) \text{ boyutunda empedans matrisi} = [Y_P^a]^{-1}$$

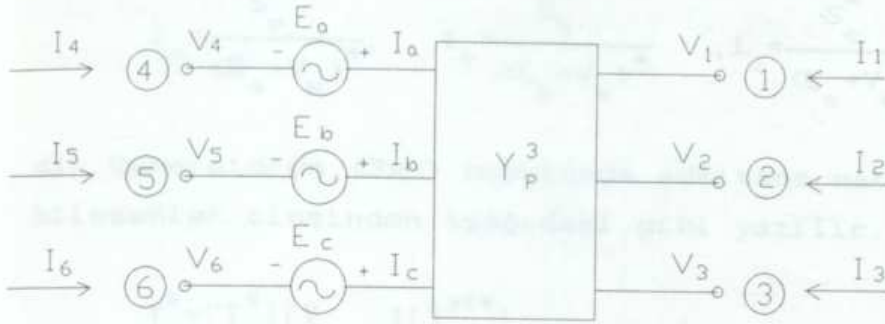
$$I_{P'}^a = [I_4 \quad I_5 \quad I_6]^T$$

dir. Şekil 5.1 de görülen gerilim ve akımların yönleri göz önünde bulundurularak, 3-fazlı elemanın düğüm denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} I_P^a \\ I_{P'}^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^a & -Y_P^a & -Y_P^a \\ -Y_P^a & Y_P^a & Y_P^a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^a \\ V_{P'}^a \\ E_P^a \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Burada

$$I_P^a = [I_1 \quad I_2 \quad I_3]^T$$



Şekil 5.1 Uç-fazlı genel devre elemanı.

dir. Eğer E_a, E_b, E_c dengeli iç gerilimler ve 4., 5., 6. düğümler yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse, Şekil 5.1 generatör modelini temsil eder.

Dengeli iç gerilimler kümesi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$E_a^a = [1 \quad a^2 \quad a] E_a \quad (5.3)$$

Burada

$$a = e^{j2\pi/3}$$

dür.

Eğer 4-6 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirildiyse

$$I_N = I_4 + I_5 + I_6 \quad (5.4)$$

ve

$$V_N = V_4 = V_5 = V_6 \quad (5.5)$$

olur. İç gerilimler ise

$$E_p^a = [E_a + V_N \quad E_b + V_N \quad E_c + V_N]^T \quad (5.6)$$

olarak yazılabilir. I_p^a akım vektörü

$$I_a = \frac{S_a^*}{(E_a + V_N)^*}; \quad I_b = \frac{S_b^*}{(E_b + V_N)^*}; \quad I_c = \frac{S_c^*}{(E_c + V_N)^*} \quad (5.7)$$

dir. Generatörün, (3x3) boyutunda, admitans matrisi, simetrik bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_P^3 = [T_s^3] [Y_{comp}] [T_s^{3T*}] \quad (5.8)$$

Burada

$[T_s^3]$, 3-fazlı simetrik bileşenler transformasyon matrisi,

$$Y_{comp} = \text{diag}[y_0, y_1, y_2] \quad (5.9)$$

dir. y_0, y_1, y_2 de generatörün sıfır, pozitif, negatif sequence admitansdır. Y_P^3 aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_P^3 = \begin{bmatrix} y_s & y_{m1} & y_{m2} \\ y_{m2} & y_s & y_{m1} \\ y_{m1} & y_{m2} & y_s \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

(5.8) eşitliğindeki matematiksel işlemler yapıldıktan sonra (5.10) eşitliğinin elemanları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} y_s &= (1/3) (y_0 + y_1 + y_2) \\ y_{m1} &= (1/3) (y_0 + a y_1 + a^2 y_2) \\ y_{m2} &= (1/3) (y_0 + a^2 y_1 + a y_2) \end{aligned}$$

(5.10), (5.6) ve (5.7) denklemlerindeki Y_P^3, E_P^3, I_P^3

değerlerini (5.2) denkleminde yerine yazıp, V_N ve E_a 'nın ortak terimlerini toplayıp, gerekli işlemler yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{pmatrix} Y_P^3 & -y_0 & -y_1 \\ & -y_0 & -a^2 y_1 \\ & -y_0 & -ay_1 \\ -Y_P^3 & y_0 & y_1 \\ & y_0 & a^2 y_1 \\ & y_0 & ay_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_P^3 \\ V_N \\ E_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_P^3 \\ S_a^* / (E_a + V_N)^* \\ S_b^* / (E_b + V)^* \\ S_c^* / (E_c + V_N)^* \end{pmatrix} \quad (5.11)$$

N düğümüne ait (5.4) formülü, (5.11) formülünün son üç eşitliğinin toplamı olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} -y_0 & -y_0 & -y_0 & 3y_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_P^3 \\ V_N \\ E_a \end{pmatrix} = I_N \quad (5.12)$$

İlerde kullanmak için aşağıdaki eşitliği burada yazmak doğru olur.

$$E_P^3 = [1 \quad a \quad a^2] E_a \quad (5.13)$$

(5.11) formülündeki son 3 eşitliği elde edip, içler dışlar çarpımı yapıp toplayarak (5.14) eşitliği elde edilebilir.

$$-y_0 V_1 V_N^* - y_0 V_2 V_N^* - y_0 V_3 V_N^* + 3y_0 V_N V_N^* - y_1 V_1 E_a^* \quad (5.14)$$

$$-ay_1 V_2 E_a^* - a^2 y_1 V_3 E_a^* + 3y_1 E_a E_a^* = S_a^* + S_b^* + S_c^*$$

(5.14) denkleminin ilk 4 terimi, V_N^* 'la (5.12) denkleminin çarpımına eşittir. Eger nötr düğümüne hiç bir akım enjekte edilmiyorsa, genellikle $I_N = 0$ alınır ve (5.14) eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} -y_1 & ay_1 & -a^2 y_1 & 3y_1 \\ E_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^a \\ E_a \end{bmatrix} = \frac{S_a^* + S_b^* + S_c^*}{E_a^*} \quad (5.15)$$

Eger nötr düğümü y_{No} admitansı üzerinden topraklanmışsa (5.4) denklemi aşağıdaki gibi modifiye edilir.

$$I_N = I_4 + I_5 + I_6 + y_{No} V_N \quad (5.16)$$

Buradan I_N ,

$$\begin{bmatrix} -y_0 & -y_0 & -y_0 & 3y_0 + y_{No} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^a \\ V_N \end{bmatrix} = I_N \quad (5.17)$$

olarak elde edilir.

$I_N = 0$ alınıp, $V_N^* = I_N^*$ değeri (5.14) te yerine yazılırsa

$$\begin{bmatrix} -y_1 & ay_1 & -a^2y_1 & 3y_1 \\ E_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^3 \\ E_a \end{bmatrix} = \frac{S_a^* + S_b^* + S_c^*}{E_a^*} + \frac{y_{NO} |V_N|^2}{E_a^*} \quad (5.18)$$

olur. 3-fazlı generatörün nihai denklemi (5.11) denkleminin ilk üç eşitliğiyle (5.11) ve (5.18) denkleminde meydana gelmiş olup ($I_N=0$), aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_1 & -\bar{Y}_1 & -\bar{Y}_0 \\ -\bar{Y}_2 & 3y_1 & 0 \\ -\bar{Y}_0^T & 0 & (3y_0 + y_{NO}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p^3 \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \frac{\sum S^*}{E^*} + \frac{y_{NO} |V_N|^2}{E_a^*} \quad (5.19)$$

Burada,

$$\bar{Y}_1 = [1 \quad a^2 \quad a] T y_1$$

$$\bar{Y}_2 = [1 \quad a \quad a^2] y_1$$

$$\bar{Y}_0 = [1 \quad 1 \quad 1]^T y_0$$

dir.

5.3 Uç-fazlı iletim hattı

Orta ve uzun 3-fazlı enerji iletim hatları nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{bmatrix} I_{PS}^3 \\ I_{PR}^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^3 + \frac{1}{2} Y_{Sh}^3 & -Y_P^3 \\ -Y_P^3 & Y_P^3 + \frac{1}{2} Y_{Sh}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{PS}^3 \\ V_{PR}^3 \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

Burada aşağıdaki değerler hattın

$Y_P^3 = (3 \times 3)$ boyutunda admitans matrisi

$Y_{Sh}^3 = (3 \times 3)$ boyutunda şönt admitans matrisi

$I_{PS}^3 = (3 \times 1)$ boyutunda hatbaşı akımı

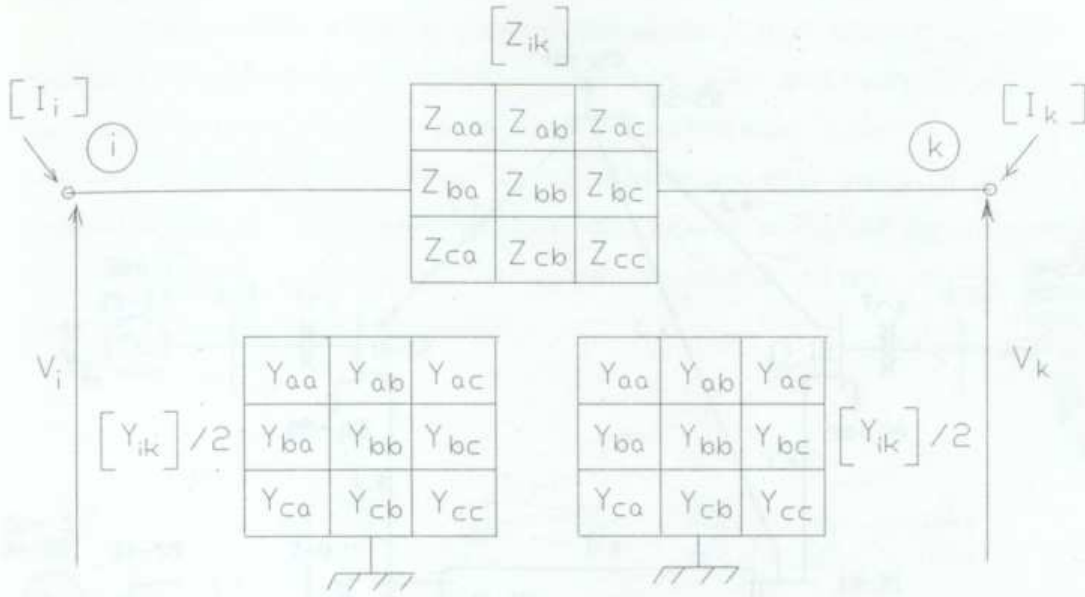
$I_{PR}^3 = (3 \times 1)$ boyutunda hatsonu akımı

$V_{PS}^3 = (3 \times 1)$ boyutunda hatbaşı gerilimi

$V_{PR}^3 = (3 \times 1)$ boyutunda hatsonu gerilimi

dir. Şekil 5.2 de enerji iletim hattının modeli görülmektedir. 3-fazlı enerji iletim hattının faz-koordinatlar ile temsili

$$Y_P^3 = \begin{bmatrix} Y_s & Y_{m1} & Y_{m2} \\ Y_{m2} & Y_s & Y_{m1} \\ Y_{m1} & Y_{m2} & Y_s \end{bmatrix} \quad (5.21)$$



Şekil 5.2 İletim hattı modeli.

denklemleri aracılığıyla sağlanır.

(5.21) denklemindeki matris elemanları

$$y_s = (1/3) (y_o + y_1 + y_2)$$

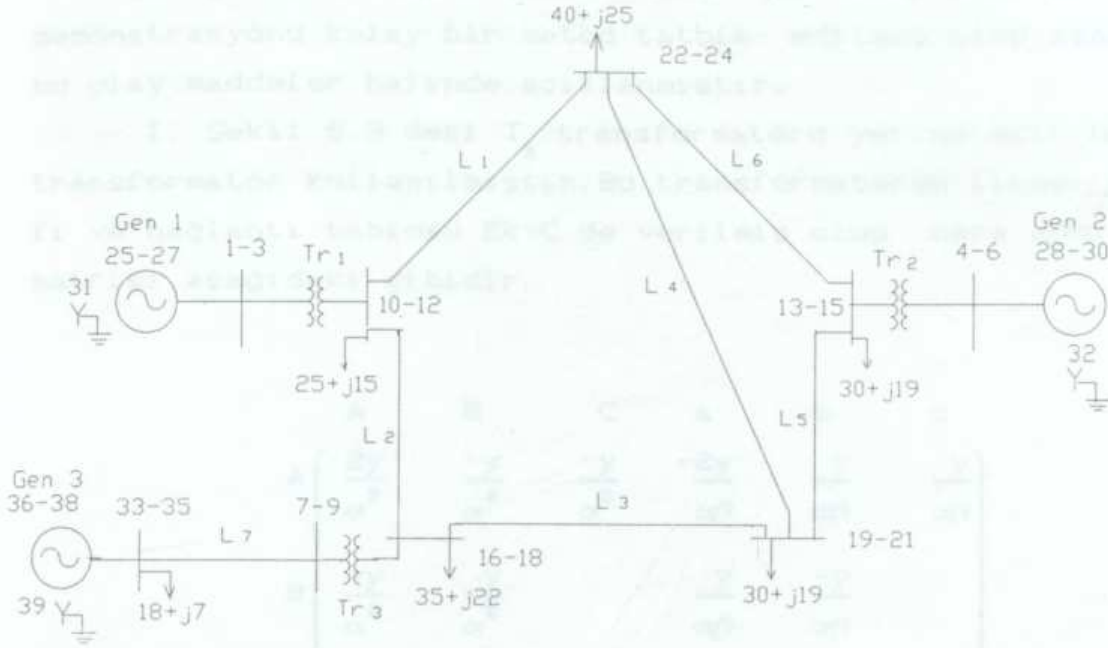
$$y_{m1} = (1/3) (y_o + ay_1 + a^2 y_2)$$

$$y_{m2} = (1/3) (y_o + a^2 y_1 + ay_2)$$

dir.

5.4 Üç-fazlı transformatör modelleri

3-fazlı transformatör modelleri Ek-C de verilmiş olup ayrıca burada incelenmeyecektir.



Şekil 5.3 Örnek enerji sistemi.

5.5.1 Uç-fazlı sistemlerde yük akış analizi

Şekil 5.3 deki 3-fazlı 39 baralı güç sisteminde yükler MW ve Mvar olarak verilmiştir. Tablo 5.1 ,5.2 ,5.3 de ki değerler 100 MVA bazına göre verilmiştir.

5.5.2 Dengeli 3-fazlı sistemlerde yük akış analizi

Talep yükleri ($P+jQ$) şeklinde verilen dengeli sistemin faz-koordinatları ile yük akışı tablo D.1 de verilmiştir. Generatörlerin nötr'leri bara numarasına haiz olup, direkt olarak topraklanmıştır. Tablo D.1 deki gerilim değerlerine dikkat edilirse 10-20 baralarında faz kayması vardır. Bu faz kaymaları yıldız-üçgen transformator kullanılması nedeniyle otomatik olarak meydana gelmiştir. Yük akış analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.00001 yakınsama ile elde edilmiştir.

5.5.3 Dengesiz 3 fazlı sistemlerde yük akışı

Dengesiz 3-fazlı sistemlerde yük akış analizi için demonstrasyonu kolay bir metod tatbik edilmiş olup, aşağıda bu olay maddeler halinde açıklanmıştır.

I. Şekil 5.3 deki T_3 transformatörü yerine açık-Uçgen transformatör kullanılmıştır. Bu transformatörün lineer grafi ve bağlantı tablosu Ek-C de verilmiş olup bara admitans matrisi aşağıdaki gibidir.

$$Y_{\text{bara}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{pmatrix} \frac{2y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-2y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} \\ \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{y}{\alpha^2} & & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\alpha\beta} & \\ \frac{-y}{\alpha^2} & & \frac{-y}{\alpha^2} & \frac{-2y}{\alpha\beta} & & \frac{-y}{\alpha\beta} \\ \frac{-2y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{2y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{-y}{\beta^2} \\ \frac{y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\alpha\beta} & & \frac{-y}{\beta^2} & \frac{y}{\beta^2} & \\ \frac{y}{\alpha\beta} & & \frac{-y}{\alpha\beta} & \frac{-y}{\beta^2} & & \frac{y}{\beta^2} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (5.22)$$

Burada $\alpha = \sqrt{3}(1+t_\alpha)$ ve $\beta = \sqrt{3}(1+t_\beta)$ dir. t_α ile t_β değerleri transformatörün kademe değiştirme oranları olup sırasıyla A,B,C ve a,b,c taraflarına aittir. Örnek güç sisteminde A,B,C uçları 7,8,9 numaralı baraya ; a,b,c uçlarında 16,17,18 numaralı baraya bağlanmıştır. Yük akışında β 'ya ait kademe oranı -0.025 'e ayarlanmıştır.

II. 10 ve 22 numaralı faz iletkenleri açılmış olup, tümüyle ihmal edilmemiştir; çünkü diğer iletkenlerle aralarında kapasite ve kuplaj vardır. Yeni iki düğüm (40,41) ilave edilmiş ve bu düğümlerle, açık devre bırakılan hat

uçları numaralandırılmıştır.

III. Son olarak 19,20,21 numaralı baralardaki yükler sırasıyla $(10+j6)$, $(12+j8)$, $(8+j5)$ olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan yük akışı programı dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır. Sonuçlar 0.0003 yakınsama ile elde edilmiş olup tablo D.2 de verilmiştir.

1, 2, 3	22, 23, 24	0.0	0.17	0.0	0.000
11, 24, 25	26, 27, 28	0.0	0.17	0.0	0.000

Tablo 5.2 Transformatör verileri

Düğünden	Düğüme	Geçirgenlik
1, 2, 3	10, 11, 12	Üçgen yalıtım 0.002
4, 5, 6	13, 14, 15	Üçgen yalıtım 0.002

Tablo 5.1 İletim hattı verileri

Düğünden	Düğüme	±Sequence bileşenler			Sıfır sequence b.		
		R_1	X_1	B_1	R_0	X_0	B_0
10, 11, 12	23, 24, 25	0.0146	0.0660	0.0108	0.0456	0.1944	0.0068
10, 11, 12	16, 17, 18	0.0110	0.0495	0.0080	0.0342	0.1458	0.0050
16, 17, 12	19, 20, 21	0.0091	0.0413	0.0068	0.0285	0.1215	0.0043
19, 20, 21	22, 23, 24	0.0055	0.0248	0.0041	0.0171	0.0729	0.0026
19, 20, 21	13, 14, 15	0.0036	0.0165	0.0027	0.0114	0.0486	0.0017
13, 14, 15	22, 23, 24	0.0073	0.0330	0.0054	0.0228	0.0972	0.0034
7, 8, 9	33, 34, 35	0.0073	0.0330	0.0054	0.0228	0.0972	0.0034

Tablo 5.2 Generatör verileri

Düğünden	Düğüme	Sequence bileşenler			
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	25,26,27	0.0	0.0967	0.0	0.0467
4, 5, 6	28,29,30	0.0	0.17	0.0	0.085
13,34,35	36,37,38	0.0	0.17	0.0	0.085

Tablo 5.3 Transformatör verileri

Düğünden	Düğüme	Bağlantı	
		Sekli	X
1, 2, 3	10,11,12	Üçgen-yıldız	0.053
4, 5, 6	13,14,15	Üçgen-yıldız	0.12
7, 8, 9	16,17,18	Üçgen-yıldız	0.16

(Transformatörlerin yıldız noktası direkt topraklıdır.)

BÖLÜM 6

6 FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ

6.1 Altı fazlı generatör

Pekçok araştırmacı ve mühendis, daha büyük güçlere çıkmak için 6-fazlı generatörleri düşünmekte ve uygulama alanında kullanmak istemektedirler . 6-fazlı generatör modeli 3-fazlı generatör modeline benzer şekilde yapılmaktadır.

Altı-fazlı genel bir devre elemanı Şekil 6.1 de görülmektedir . Bu elemanın empedans formunda denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_P^\phi + E_P^\phi = Z_P^\phi I_P^\phi + V_P^\phi \quad (6.1)$$

Burada

$$V_P^\phi = [V_7 \quad V_8 \quad V_9 \quad V_{10} \quad V_{11} \quad V_{12}]^T$$

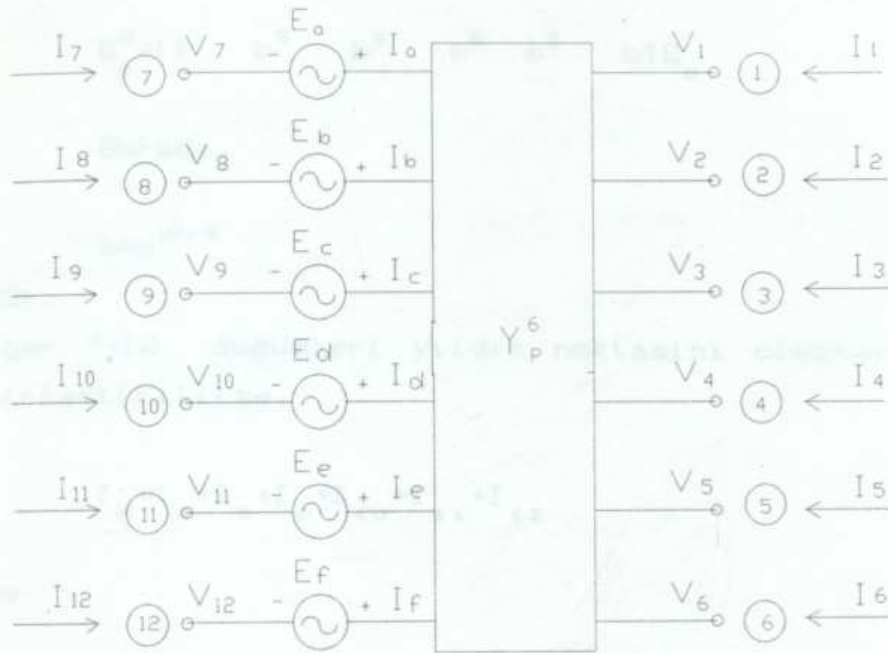
$$E_P^\phi = [E_a \quad E_b \quad E_c \quad E_d \quad E_e \quad E_f]^T$$

$$V_P^\phi = [V_1 \quad V_2 \quad V_3 \quad V_4 \quad V_5 \quad V_6]^T$$

$$Z_P^\phi = (6 \times 6) \text{ boyutunda empedans matrisi} = [Y_P^\phi]^{-1}$$

$$I_P^\phi = [I_7 \quad I_8 \quad I_9 \quad I_{10} \quad I_{11} \quad I_{12}]^T$$

dır. Şekil 6.1 de görülen, gerilim ve akımların yönleri göz önünde bulundurularak , 6-fazlı elemanın düğüm denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.



Şekil 6.1 Altı fazlı genel devre elemanı.

$$\begin{bmatrix} I_P^\sigma \\ I_{P'}^\sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^\sigma & -Y_P^\sigma & -Y_P^\sigma \\ -Y_P^\sigma & Y_P^\sigma & Y_P^\sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^\sigma \\ V_{P'}^\sigma \\ E_P^\sigma \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Burada

$$I_P^\sigma = [I_1 \ I_2 \ I_3 \ I_4 \ I_5 \ I_6]^\top$$

dir. Eğer $E_a, E_b, E_c, E_d, E_e, E_f$ dengeli iç gerilimler ve 7,8,9, 10,11,12 düğümleri yıldız noktası oluşturacak şekilde birleştirilirse, Şekil 6.1 generatör modelini temsil eder.

Dengeli iç gerilimler kümesi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$E_p^{\delta} = [1 \quad b^5 \quad b^4 \quad b^3 \quad b^2 \quad b] E_a \quad (5.3)$$

Burada,

$$b = e^{j\pi/3}$$

dür.

Eğer 7-12 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse,

$$I_N = I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12} \quad (6.4)$$

ve

$$V_N = V_7 = V_8 = V_9 = V_{10} = V_{11} = V_{12} \quad (6.5)$$

olur. İç gerilimler ise

$$E_p^{\delta} = [E_a + V_N \quad E_b + V_N \quad E_c + V_N \quad E_d + V_N \quad E_e + V_N \quad E_f + V_N] \quad (6.6)$$

olarak yazılabilir. I_p^{δ} akım vektörü

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{S_a^*}{(E_a + V_N)^*} & I_b &= \frac{S_b^*}{(E_b + V_N)^*} & I_c &= \frac{S_c^*}{(E_c + V_N)^*} \\ I_d &= \frac{S_d^*}{(E_d + V_N)^*} & I_e &= \frac{S_e^*}{(E_e + V_N)^*} & I_f &= \frac{S_f^*}{(E_f + V_N)^*} \end{aligned} \quad (6.7)$$

dir. Generatörün, (6x6) boyutunda, admitans matrisi, simetrik bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_p^{\delta} = [T_s^{\delta}] [Y_{comp}] [T_s^{\delta}]^T \quad (6.8)$$



Burada

$[T_s^{\sigma}]$ =6-fazlı simetrik bileşenler transformasyon matrisi,

$$Y_{comp} = \text{diag}[y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5] \quad (6.9)$$

dir. $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ de generatörün sıfır ve beş tane sequence admitansdır.

Y_P^{σ} aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_P^{\sigma} = \begin{bmatrix} y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} \\ y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} \\ y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} \\ y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} \\ y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

(6.8) eşitliğindeki matematiksel işlemler yapıldıktan sonra (6.10) eşitliğinin elemanları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_s = \frac{1}{6}(y_0 + \sum y_i) = \frac{1}{6}(y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5)$$

$$y_{m1} = \frac{1}{6}(y_0 + \sum b^i y_i) = \frac{1}{6}(y_0 + by_1 + b^2 y_2 + b^3 y_3 + b^4 y_4 + b^5 y_5)$$

$$y_{m2} = \frac{1}{6}(y_0 + \sum b^{2i} y_i) = \frac{1}{6}(y_0 + b^2 y_1 + b^4 y_2 + y_3 + b^2 y_4 + b^4 y_5)$$

$$y_{m3} = \frac{1}{6}(y_0 + \sum b^{3i} y_i) = \frac{1}{6}(y_0 - y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5)$$

$$y_{m4} = \frac{1}{6}(y_0 + \sum b^{4i} y_i) = \frac{1}{6}(y_0 + b^4 y_1 + b^2 y_2 + y_3 + b^4 y_4 + b^2 y_5)$$

$$y_{m5} = \frac{1}{6}(y_0 + \sum b^{5i} y_i) = \frac{1}{6}(y_0 + b^5 y_1 + b^4 y_2 - y_3 + b^2 y_4 + by_5)$$

(6.10), (6.6) ve (6.7) denklemlerindeki $Y_P^\sigma, E_P^\sigma, I_P^\sigma$ değerlerini (6.2) denkleminde yerine yazıp, V_N ve E_a nin ortak terimlerini toplayıp, gerekli işlemler yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{pmatrix} Y_P^\sigma \\ -Y_P^\sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -y_0 & -y_1 \\ -y_0 & -b^* y_1 \\ -y_0 & by_1 \\ -y_0 & y_1 \\ -y_0 & b^* y_1 \\ -y_0 & -by_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_P^\sigma \\ E_a \\ V_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_P^\sigma \\ S_a^*/(V_N + E_a)^* \\ S_b^*/(V_N + E_b)^* \\ S_c^*/(V_N + E_c)^* \\ S_d^*/(V_N + E_d)^* \\ S_e^*/(V_N + E_e)^* \\ S_f^*/(V_N + E_f)^* \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

N düğümüne ait (6.4) formülü, (6.11) formülünün son altı eşitliğinin toplamı olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[-y_0 \quad -y_0 \quad -y_0 \quad -y_0 \quad -y_0 \quad -y_0 \quad 6y_0 \quad 0] \begin{pmatrix} V_P^{\sigma} \\ V_N \\ E_a \end{pmatrix} = I_N \quad (6.12)$$

İlerde kullanmak için aşağıdaki denklem hatırdâ tutulmalıdır.

$$E_P^{\sigma*} = [1 \quad b \quad -b^* \quad -1 \quad -b \quad -b^*] E_a^* \quad (6.13)$$

(6.11) formülündeki son 6 eşitliği elde edip, içler dışlar çarpımı yapıp toplayarak (6.14) eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned} & -y_0 V_1 V_N^* - y_0 V_2 V_N^* - y_0 V_3 V_N^* - y_0 V_4 V_N^* - y_0 V_5 V_N^* - y_0 V_6 V_N^* \\ & + 6y_0 V_N V_N^* - y_1 V_1 E_a^* - by_1 V_2 E_a^* + b^* y_1 V_3 E_a^* + y_1 V_4 E_a^* + by_1 V_5 E_a^* \\ & - b^* y_1 V_6 E_a^* + 6y_1 E_a E_a^* = S_a^* + S_b^* + S_c^* + S_d^* + S_e^* + S_f^* \end{aligned} \quad (6.14)$$

(6.14) denkleminin ilk 4 terimi, V_N^* la (6.12) denkleminin çarpımına eşittir. Eğer nötr düğümüne hiç bir akım enjekte edilmiyorsa, genellikle $I_N=0$ alınır ve (6.14) eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} -y_1 & -by_1 & b^*y_1 & y_1 & by_1 & -b^*y_1 & 6y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^o \\ E_a \end{bmatrix} =$$

$$\frac{S_a^* + S_b^* + S_c^* + S_d^* + S_e^* + S_f^*}{E_a^*}$$

(6.15)

Eğer nötr düğümü y_{No} admitansı üzerinden topraklanmışsa (6.4) denklemi aşağıdaki gibi modifiye edilir.

$$I_N = I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12} + y_{No} V_N \quad (6.16)$$

Buradan I_N

$$\begin{bmatrix} -y_o & -y_o & -y_o & -y_o & -y_o & -y_o & 6y_o + y_{No} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^o \\ V_N \end{bmatrix} = I_N \quad (6.17)$$

olarak elde edilir.

$I_N = 0$ alınıp, $V_N^* I_N$ değeri (6.14) te yerine yazılırsa

$$\begin{bmatrix} -y_1 & -by_1 & b^*y_1 & y_1 & by_1 & -b^*y_1 & 6y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^o \\ E_a \end{bmatrix} =$$

$$\frac{S_a^* + S_b^* + S_c^* + S_d^* + S_e^* + S_f^*}{E_a^*} + \frac{y_{No} |V_N|^2}{E_a^*}$$

(6.18)



olur. 6-fazlı generatörün nihai denklemi (6.11) denkleminin ilk üç eşitliğiyle (6.11) ve (6.18) denkleminden meydana gelmiş olup $(IN=N)$, aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} Y_P^\sigma & -\bar{Y}_1 & -\bar{Y}_0 \\ -\bar{Y}_2 & 6y_1 & 0 \\ -\bar{Y}_0^T & 0 & (6y_0 + y_{NO}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^\sigma \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_P^\sigma \\ \frac{\Sigma^*}{E_a^*} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Burada,

$$\bar{Y}_1 = [1 \quad b^* \quad b^{2*} \quad b^{3*} \quad b^{4*} \quad b^{5*}]^T y_1$$

$$\bar{Y}_2 = [1 \quad b \quad b^2 \quad b^3 \quad b^4 \quad b^5]^T y_1$$

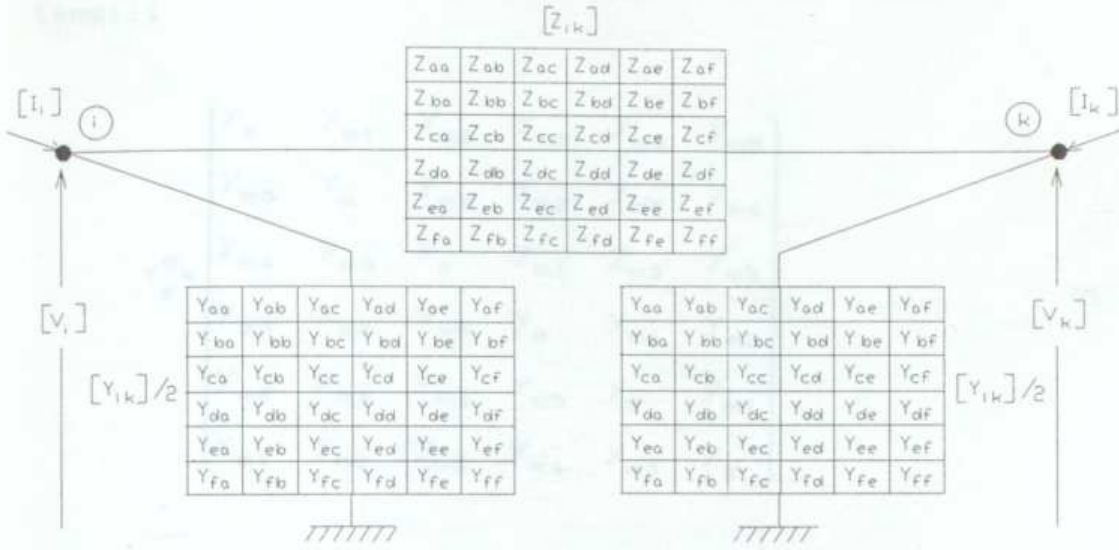
$$\bar{Y}_0 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T y_0$$

dır.

6.2 Altı fazlı iletim hattı

Orta ve uzun 6-fazlı enerji iletim hatları nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.





Şekil 6.2 6-fazlı iletim hattı modeli.

$$\begin{bmatrix} I_{PS}^{\sigma} \\ I_{PR}^{\sigma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^{\sigma} + \frac{1}{2} Y_{Sh}^{\sigma} & -Y_P^{\sigma} \\ -Y_P^{\sigma} & Y_P^{\sigma} + \frac{1}{2} Y_{Sh}^{\sigma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{PS}^{\sigma} \\ V_{PR}^{\sigma} \end{bmatrix} \quad (6.20)$$

Burada aşağıdaki değerler hattın

$Y_P^{\sigma} = (6 \times 6)$ boyutunda admitans matrisi

$Y_{Sh}^{\sigma} = (6 \times 6)$ boyutunda şönt admitans matrisi

$I_{PS}^{\sigma} = (6 \times 1)$ boyutunda hatbaşı akımı

$I_{PR}^{\sigma} = (6 \times 1)$ boyutunda hatsonu akımı

$V_{PS}^{\sigma} = (6 \times 1)$ boyutunda hatbaşı gerilimi

$V_{PR}^{\sigma} = (6 \times 1)$ boyutunda hatsonu gerilimi

dir. Şekil 6.2 de enerji iletim hattının modeli görülmektedir. 6-fazlı enerji iletim hattının faz-koordinatları ile temsili

$$Y_P^G = \begin{pmatrix} y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} \\ y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} \\ y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} \\ y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} & y_{m2} \\ y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s & y_{m1} \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & y_{m5} & y_s \end{pmatrix} \quad (6.21)$$

denklemi aracılığıyla sağlanır.

(6.21) denklemindeki matris elemanları

$$y_s = \frac{1}{6}(y_o + \sum y_i) = \frac{1}{6}(y_o + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5)$$

$$y_{m1} = \frac{1}{6}(y_o + \sum b^i y_i) = \frac{1}{6}(y_o + b y_1 + b^2 y_2 + b^3 y_3 + b^4 y_4 + b^5 y_5)$$

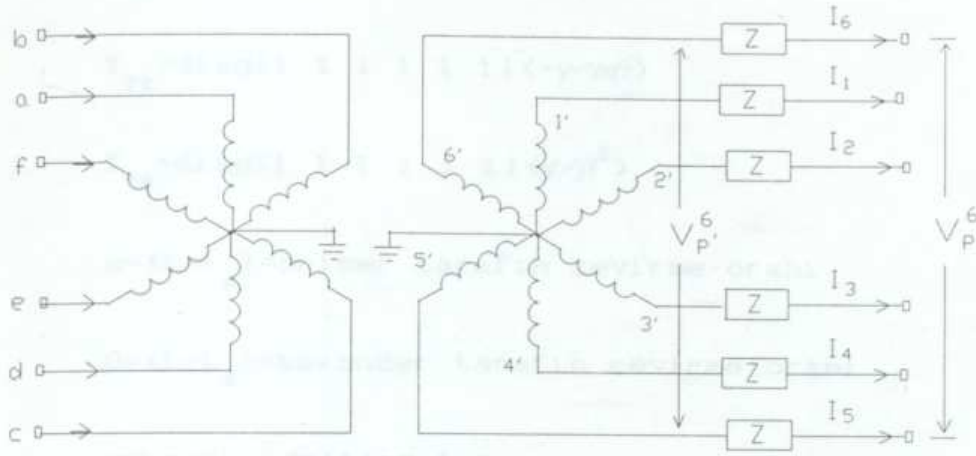
$$y_{m2} = \frac{1}{6}(y_o + \sum b^{2i} y_i) = \frac{1}{6}(y_o + b^2 y_1 + b^4 y_2 + y_3 + b^2 y_4 + b^4 y_5)$$

$$y_{m3} = \frac{1}{6}(y_o + \sum b^{3i} y_i) = \frac{1}{6}(y_o - y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5)$$

$$y_{m4} = \frac{1}{6}(y_o + \sum b^{4i} y_i) = \frac{1}{6}(y_o + b^4 y_1 + b^2 y_2 + y_3 + b^4 y_4 + b^2 y_5)$$

$$y_{m5} = \frac{1}{6}(y_o + \sum b^{5i} y_i) = \frac{1}{6}(y_o + b^5 y_1 + b^4 y_2 - y_3 + b^2 y_4 + b y_5)$$

dir.



Şekil 6.3 6-fazlı transformatör.

6.3 Altı-fazlı transformatör modelleri

6-faz/6-faz, primeri ve sekonderi yıldız bağlı transformatör Şekil 6.3 de görülmektedir. Ek-C de anlatıldığı gibi, 6-fazlı transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Bu bölümde bu transformatörün bağlantı tablosu yerine; bağlantı tablosundan yararlanılarak elde edilen, 6-faz/6-faz (Y-Y) transformatörün bara admitans matrisi verilecektir.

$$Y_{TR} = \begin{matrix} & \begin{matrix} a \dots f & 1 \dots 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ \vdots \\ f \\ 1 \\ \vdots \\ 6 \end{matrix} & \left(\begin{array}{c|c} Y_{T1} & Y_{T2} \\ \hline Y_{T2} & Y_{T3} \end{array} \right) \end{matrix} \quad (6.22)$$

Burada

$$Y_{T1} = \text{diag}[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1](y/\alpha^2)$$

$$Y_{T2} = \text{diag}[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1](-y/\alpha\beta)$$

$$Y_{T3} = \text{diag}[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1](y/\beta^2)$$

$\alpha = (1+t_p)$ = primer tarafın çevirme oranı

$\beta = (1+t_s)$ = sekonder tarafın çevirme oranı

y = kaçak admitans tır.

6.4.1 Altı fazlı sistemlerde yük akış analizi

Şekil 6.4 deki 6-fazlı 99 baralı güç sisteminde yükler MW ve Mvar olarak verilmiştir. Tablo 6.1 ,6.2 ,6.3 deki değerler 100 MVA bazına göre verilmiştir.

6.4.2 Dengeli 6 fazlı sistemlerde yük akışı

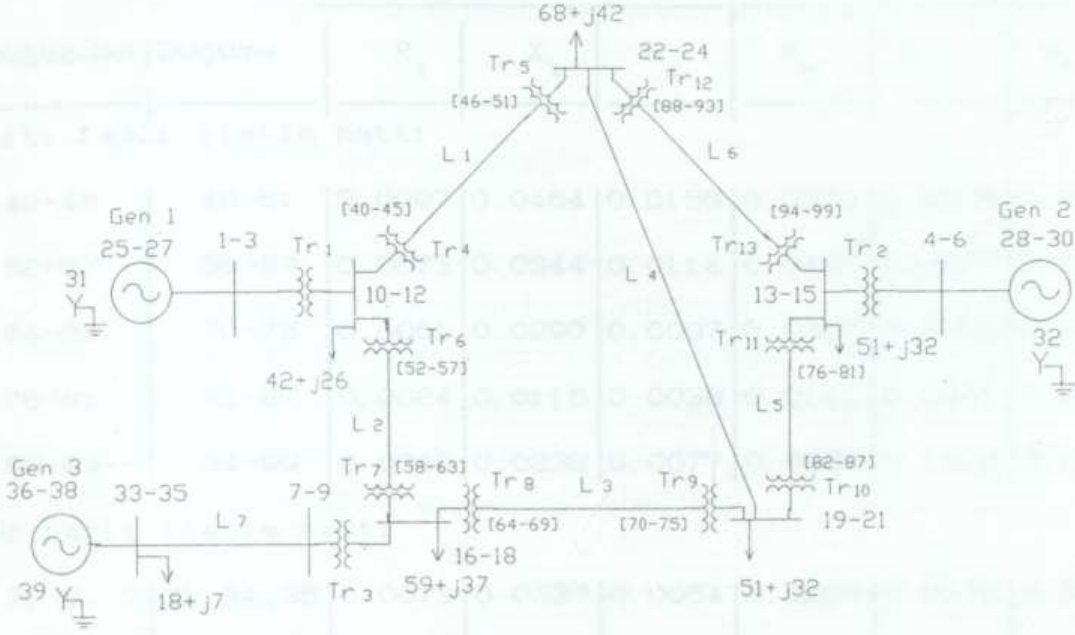
Talep yükleri $(P+jQ)$ olarak verilen dengeli sistemin faz-koordinatlar ile yük akışı tablo D.3 te verilmiştir.

Generatörlerin nötr'lerine bara numarası verilmiş olup direkt olarak topraklanmıştır. Tablo D.3 deki gerilim değerlerine dikkat edilirse 10-99 baralarında faz kayması vardır. Bu faz kaymaları yıldız-üçgen transformatör kullanılması nedeniyle otomatik olarak meydana gelmiştir . Yük akış analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.00002 yakınsama ile elde edilmiştir.

5.5.2 Dengesiz 6-fazlı sistemlerde yük akışı

Dengesiz 6-fazlı sistemlerde yük akış analizi için demonstrasyonu kolay bir metod tatbik edilmiş olup ,aşağıda bu olay maddeler halinde açıklanmıştır.

I. Şekil 6.4 deki T_2 transformatör yerine açık üçgen transformatör kullanılmıştır . Bu transformatörün



Şekil 6.4 Örnek enerji sistemi.

lineer grafi ve bağlantı tablosu Ek-C de verilmiş olup bara admitans matrisi (5.22) eşitliği ile verilmiştir.

II. 19 ve 22 numaralı faz iletkenleri açılmış olup, tümüyle ihmal edilmemiştir; çünkü diğer iletkenlerle aralarında kapasite ve kuplaj vardır. Yeni iki düğüm (100,101) ilave edilmiş ve bu düğümlerle, açık devre bırakılan hat uçları numaralandırılmıştır.

III. Son olarak 16,17,18 numaralı baralardaki yükler dengesiz olarak alınmış ve dengesizlik normal değerlere göre sırasıyla % 120 ,% 100 ,% 80 olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan yük akış programı dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır. Sonuçlar 0.0008 yakınsama ile elde edilmiş olup tablo D.4 de verilmiştir.

Tablo 6.1 İletim hattı verileri

		±Sequence bileşenler			Sıfır sequence b.		
Düğünden	Düğüme	R_1	X_1	B_1	R_0	X_0	B_0
Altı fazlı iletim hattı							
40-45	46-51	0.0097	0.0464	0.0156	0.0572	0.3605	0.0038
52-57	58-63	0.0073	0.0344	0.0114	0.0431	0.2677	0.0028
64-69	70-75	0.0061	0.0290	0.0097	0.0357	0.2256	0.0024
76-81	82-87	0.0024	0.0116	0.0038	0.0141	0.0901	0.0010
88-93	94-99	0.0049	0.0232	0.0077	0.0286	0.1802	0.0019
Üç fazlı iletim hattı							
7, 8, 9	33,34,35	0.0073	0.0330	0.0054	0.0228	0.0972	0.0034
19,20,21	22,23,24	0.0055	0.0248	0.0041	0.0171	0.0729	0.0026

Tablo 6.2 Generatör verileri

Düğünden	Düğüme	Sequence bileşenler			
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	25,26,27	0.0	0.0967	0.0	0.0467
4, 5, 6	28,29,30	0.0	0.17	0.0	0.085
13,34,35	36,37,38	0.0	0.17	0.0	0.085

Tablo 6.3 Transformatör verileri

Düğünden	Düğüme	Bağlantı	
		Sekli	X
1, 2, 3	10,11,12	Üçgen-yıldız	0.053
4, 5, 6	13,14,15	Üçgen-yıldız	0.12
7, 8, 9	16,17,18	Üçgen-yıldız	0.16

(Transformatörlerin yıldız noktası direkt topraklıdır.)

3-faz/6-faz transformatörlerde(T4-T13) $x=0.08$ p.u dir.

BÖLÜM 7

12-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN FAZ KOORDİNATLARI İLE ANALİZİ

7.1 Oniki fazlı generatör

Pekçok araştırmacı ve mühendis, daha büyük güçlere çıkmak için 12-fazlı generatörleri düşünmekte ve uygulama alanında kullanmak istemektedirler. 12-fazlı generatör modeli 3 ve 6-fazlı generatör modeline benzer şekilde yapılmaktadır. Genel 12-fazlı bir devre elemanı Şekil 7.1 de görülmektedir. Bu elemanın empedans formunda denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$V_{P'}^{12} + E_P^{12} = Z_P^{12} I_{P'}^{12} + V_P^{12} \quad (6.1)$$

Burada

$$V_{P'}^{12} = [V_{13} \quad V_{14} \quad V_{15} \quad \dots \quad V_{24}]^T$$

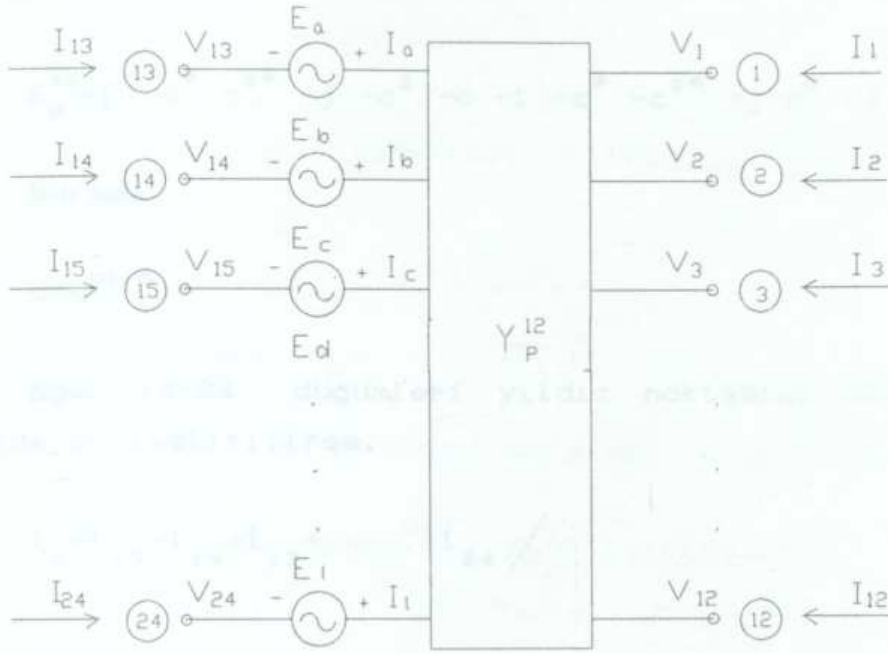
$$E_P^{12} = [E_a \quad E_b \quad E_c \quad \dots \quad E_l]^T$$

$$V_P^{12} = [V_1 \quad V_2 \quad V_3 \quad \dots \quad V_{12}]^T$$

$$Z_P^{12} = (12 \times 12) \text{ boyutunda empedans matrisi} = [Y_P^{12}]^{-1}$$

$$I_{P'}^{12} = [I_{13} \quad I_{14} \quad I_{15} \quad \dots \quad I_{24}]^T$$

dir. Şekil 7.1 de görülen, gerilim ve akımların yönleri göz önünde bulundurularak, 12-fazlı elemanın düğüm denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.



Şekil 7.1 12-fazlı genel devre elemanı.

$$\begin{bmatrix} I_P^{12} \\ I_{P'}^{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^{12} & -Y_P^{12} & -Y_P^{12} \\ -Y_P^{12} & Y_P^{12} & Y_P^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^{12} \\ V_{P'}^{12} \\ E_P^{12} \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

Burada

$$I_P^{12} = [I_1 \quad I_2 \quad I_3 \quad \dots \quad I_{12}]^T$$

dir. Eğer $E_a, E_b, E_c, \dots, E_l$ dengeli iç gerilimler ve 13,14,15, ...,24 numaralı düğümler yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse, Şekil 7.1 generatör modelini temsil

eder. Dengeli iç gerilimler kümesi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$E_p^{12} = [1 \ c^* \ c^{2*} \ -j \ -c^2 \ -c \ -1 \ -c^* \ -c^{2*} \ -j \ c^2 \ c]^T E_a \quad (7.3)$$

Burada

$$c = e^{j\pi/6}$$

dir.

Eğer 13-24 düğümleri yıldız noktasını oluşturacak şekilde birleştirilirse,

$$I_N = I_{13} + I_{14} + I_{15} + \dots + I_{24} \quad (7.4)$$

ve

$$V_N = V_{13} = V_{14} = V_{15} = \dots = V_{24} \quad (7.5)$$

olur. İç gerilimler ise

$$E_p^{12} = [E_a + V_N \ E_b + V_N \ E_c + V_N \ \dots \ E_l + V_N]^T \quad (7.6)$$

olarak yazılabilir. I_p^{12} akım vektörü

$$I_a = \frac{S_a^*}{(E_a + V_N)^*} \quad I_b = \frac{S_b^*}{(E_b + V_N)^*} \quad I_c = \frac{S_c^*}{(E_c + V_N)^*} \quad (7.7)$$

$$I_d = \frac{S_d^*}{(E_d + V_N)^*} \quad \dots \quad I_l = \frac{S_l^*}{(E_l + V_N)^*}$$

dir. Generatörün, (12×12) boyutunda, admitans matrisi, simetrikli bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_P^{12} = [T_s^{12}] [Y_{comp}] [T_s^{12}]^T \quad (7.8)$$

Burada

$[T_s^{12}]$ = 12-fazlı simetrik bileşenler transformasyon

matrisi

$$Y_{comp} = \text{diag}[y_0, y_1, \dots, y_{11}] \quad (7.9)$$

dir. $y_0, y_1, \dots, y_{11}$ de generatörün sıfır ve 11 tane sequence admitansdır.

Y_P^{12} matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y_P^{12} = \begin{pmatrix} y_s & y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{m11} \\ y_{m11} & y_s & y_{m1} & \dots & y_{m10} \\ y_{m10} & y_{m9} & y_s & \dots & y_{m9} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & \dots & y_{m1} \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & \dots & y_s \end{pmatrix} \quad (7.10)$$

(7.8) eşitliğindeki matematiksel işlemler yapıldıktan sonra (7.10) eşitliğinin elemanları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_s = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} y_i) \\ = \frac{1}{12} (y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11})$$

$$y_{m1} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^i y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^1 y_1 + c^2 y_2 + c^3 y_3 + c^4 y_4 + c^5 y_5 \\ + c^6 y_6 + c^7 y_7 + c^8 y_8 + c^9 y_9 + c^{10} y_{10} + c^{11} y_{11})$$

$$y_{m2} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{2i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^2 y_1 + c^4 y_2 + c^6 y_3 + c^8 y_4 \\ + c^{10} y_5 + c^{12} y_6 + c^2 y_7 + c^4 y_8 + c^6 y_9 + c^8 y_{10} + c^{10} y_{11})$$

$$y_{m3} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{3i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^3 y_1 + c^6 y_2 + c^9 y_3 + c^{12} y_4 + c^3 y_5 \\ + c^6 y_6 + c^9 y_7 + c^{12} y_8 + c^3 y_9 + c^6 y_{10} + c^9 y_{11})$$

$$y_{m4} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{4i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^4 y_1 + c^8 y_2 + c^{12} y_3 + c^4 y_4 + c^8 y_5 + c^{12} y_6 \\ + c^4 y_7 + c^8 y_8 + c^{12} y_9 + c^4 y_{10} + c^8 y_{11})$$

$$y_{m5} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{5i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^5 y_1 + c^{10} y_2 + c^{15} y_3 + c^{20} y_4 + c^{25} y_5 \\ + c^{30} y_6 + c^{35} y_7 + c^{40} y_8 + c^{45} y_9 + c^{50} y_{10} + c^{55} y_{11})$$

$$y_{m6} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{6i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^6 y_1 + c^{12} y_2 + c^{18} y_3 + c^{24} y_4 + c^{30} y_5 + c^{36} y_6 \\ + c^{42} y_7 + c^{48} y_8 + c^{54} y_9 + c^{60} y_{10} + c^{66} y_{11})$$

$$y_{m7} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{7i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^7 y_1 + c^2 y_2 + c^9 y_3 + c^4 y_4 + c^{11} y_5 + c^6 y_6 + c y_7 + c^8 y_8 + c^3 y_9 + c^{10} y_{10} + c^5 y_{11})$$

$$y_{m8} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{8i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^8 y_1 + c^4 y_2 + y_3 + c^8 y_4 + c^4 y_5 + y_6 + c^8 y_7 + c^4 y_8 + y_9 + c^8 y_{10} + c^4 y_{11})$$

$$y_{m9} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{9i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^9 y_1 + c^6 y_2 + c^3 y_3 + y_4 + c^9 y_5 + c^6 y_6 + c^3 y_7 + y_8 + c^9 y_9 + c^6 y_{10} + c^3 y_{11})$$

$$y_{m10} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{10i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^{10} y_1 + c^8 y_2 + c^6 y_3 + c^4 y_4 + c^2 y_5 + y_6 + c^{10} y_7 + c^8 y_8 + c^6 y_9 + c^4 y_{10} + c^2 y_{11})$$

$$y_{m11} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{11i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^{11} y_1 + c^{10} y_2 + c^9 y_3 + c^8 y_4 + c^7 y_5 + c^6 y_6 + c^5 y_7 + c^4 y_8 + c^3 y_9 + c^2 y_{10} + c y_{11})$$

(7.10), (7.6) ve (7.7) denklemlerindeki $y_P^{12}, E_P^{12}, I_P^{12}$

değerlerini (7.2) denkleminde yerine yazıp, V_N ve E_a nın ortak terimlerini toplayıp, gerekli işlemler yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{bmatrix} Y_P^{12} & -\bar{Y}'_1 & -\bar{Y}'_0 \\ -\bar{Y}'_2 & 12y_1 & 0 \\ -\bar{Y}'_0^T & 0 & (12y_0 + y_{No}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_P^{12} \\ E_a \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_P^{12} \\ \frac{E S^*}{E_a^*} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7.13)$$

Burada,

$$\bar{Y}'_1 = [1 \quad c \quad c^2 \quad j \quad \dots \quad -j \quad c^{2*} \quad c^*] y_1^T$$

$$\bar{Y}'_2 = [1 \quad c^* \quad c^{2*} \quad -j \quad \dots \quad j \quad c^2 \quad c] y_1^T$$

$$\bar{Y}'_0 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad 1 \quad 1] y_0^T$$

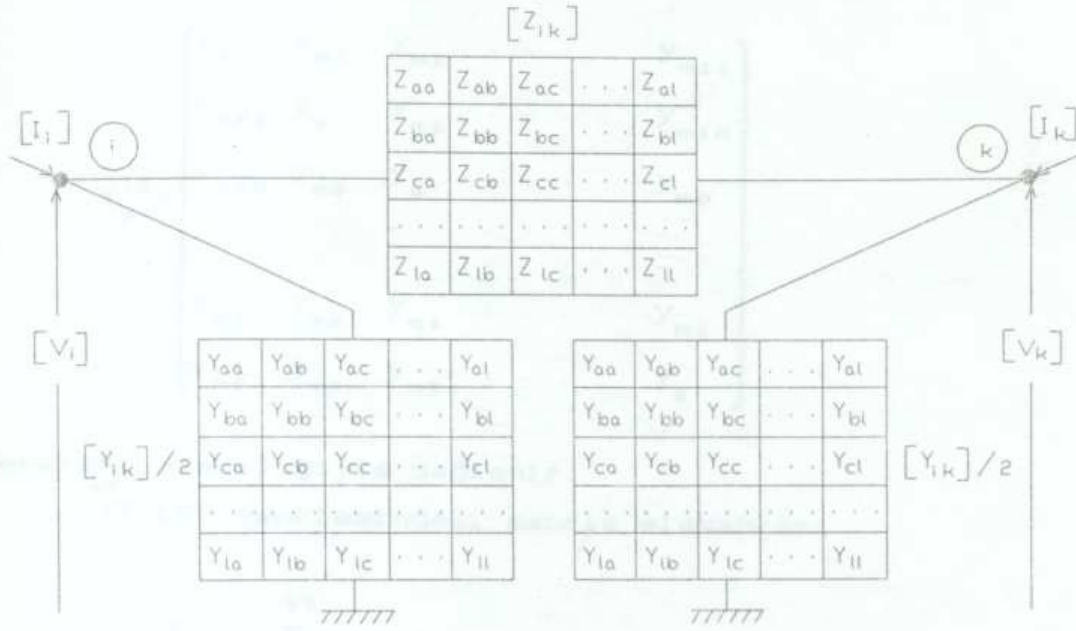
dır.

7.2 Oniki fazlı iletim hattı

Orta ve uzun 12-fazlı enerji iletim hatları nominal veya eşdeğer π devresi ile aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{bmatrix} I_{PS}^{12} \\ I_{PR}^{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_P^{12} + \frac{1}{2} Y_{Sh}^{12} & -Y_P^{12} \\ -Y_P^{12} & Y_P^{12} + \frac{1}{2} Y_{Sh}^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{PS}^{12} \\ V_{PR}^{12} \end{bmatrix} \quad (7.14)$$





Şekil 7.2 12-Fazlı enerji iletim hattı modeli.

Burada aşağıdaki değerler hattın

Y_p^{12} = (12x12) boyutunda admitans matrisi

Y_{sh}^{12} = (12x12) boyutunda şönt admitans matrisi

I_{PS}^{12} = (12x1) boyutunda hatbaşı akımı

I_{PR}^{12} = (12x1) boyutunda hatsonu akımı

V_{PS}^{12} = (12x1) boyutunda hatbaşı gerilimi

V_{PR}^{12} = (12x1) boyutunda hatsonu gerilimi

dir. Şekil 7.2 de enerji iletim hattının modeli görülmektedir. 12-fazlı enerji iletim hattının faz-koordinatları ile temsili

$$Y_P^{12} = \begin{bmatrix} y_s & y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{m11} \\ y_{m11} & y_s & y_{m1} & \dots & y_{m10} \\ y_{m10} & y_{m9} & y_s & \dots & y_{m9} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m2} & y_{m3} & y_{m4} & \dots & y_{m1} \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & \dots & y_s \end{bmatrix} \quad (7.15)$$

denklemleri aracılığıyla sağlanır.

(7.15) denklemindeki matris elemanları

$$y_s = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} y_i)$$

$$= \frac{1}{12} (y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11})$$

$$y_{m1} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^i y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^1 y_1 + c^2 y_2 + c^3 y_3 + c^4 y_4 + c^5 y_5$$

$$+ c^6 y_6 + c^7 y_7 + c^8 y_8 + c^9 y_9 + c^{10} y_{10} + c^{11} y_{11})$$

$$y_{m2} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{2i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^2 y_1 + c^4 y_2 + c^6 y_3 + c^8 y_4$$

$$+ c^{10} y_5 + c^0 y_6 + c^2 y_7 + c^4 y_8 + c^6 y_9 + c^8 y_{10} + c^{10} y_{11})$$

$$y_{m3} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{3i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^3 y_1 + c^6 y_2 + c^9 y_3 + y_4 + c^3 y_5$$

$$+ c^6 y_6 + c^9 y_7 + y_8 + c^3 y_9 + c^6 y_{10} + c^9 y_{11})$$

$$y_{m4} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{4i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^4 y_1 + c^8 y_2 + y_3 + c^4 y_4 + c^8 y_5 + y_6 \\ + c^4 y_7 + c^8 y_8 + y_9 + c^4 y_{10} + c^8 y_{11})$$

$$y_{m5} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{5i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^5 y_1 + c^{10} y_2 + c^3 y_3 + c^8 y_4 + c y_5 \\ + c^6 y_6 + c^{11} y_7 + c^4 y_8 + c^9 y_9 + c^2 y_{10} + c^7 y_{11})$$

$$y_{m6} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{6i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^6 y_1 + y_2 + c^6 y_3 + y_4 + c^6 y_5 + y_6 \\ + c^6 y_7 + y_8 + c^6 y_9 + y_{10} + c^6 y_{11})$$

$$y_{m7} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{7i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^7 y_1 + c^2 y_2 + c^9 y_3 + c^4 y_4 + c^{11} y_5 \\ + c^6 y_6 + c y_7 + c^8 y_8 + c^3 y_9 + c^{10} y_{10} + c^5 y_{11})$$

$$y_{m8} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{8i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^8 y_1 + c^4 y_2 + y_3 + c^8 y_4 + c^4 y_5 \\ + y_6 + c^8 y_7 + c^4 y_8 + y_9 + c^8 y_{10} + c^4 y_{11})$$

$$y_{m9} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{9i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^9 y_1 + c^6 y_2 + c^3 y_3 + y_4 + c^9 y_5 \\ + c^6 y_6 + c^3 y_7 + y_8 + c^9 y_9 + c^6 y_{10} + c^3 y_{11})$$

$$y_{m10} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{10i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^{10} y_1 + c^8 y_2 + c^6 y_3 + c^4 y_4 + c^2 y_5 + y_6 + c^{10} y_7 + c^8 y_8 + c^6 y_9 + c^4 y_{10} + c^2 y_{11})$$

$$y_{m11} = \frac{1}{12} (y_0 + \sum_{i=1}^{12} c^{11i} y_i) = \frac{1}{12} (y_0 + c^{11} y_1 + c^{10} y_2 + c^9 y_3 + c^8 y_4 + c^7 y_5 + c^6 y_6 + c^5 y_7 + c^4 y_8 + c^3 y_9 + c^2 y_{10} + c y_{11})$$

dır.

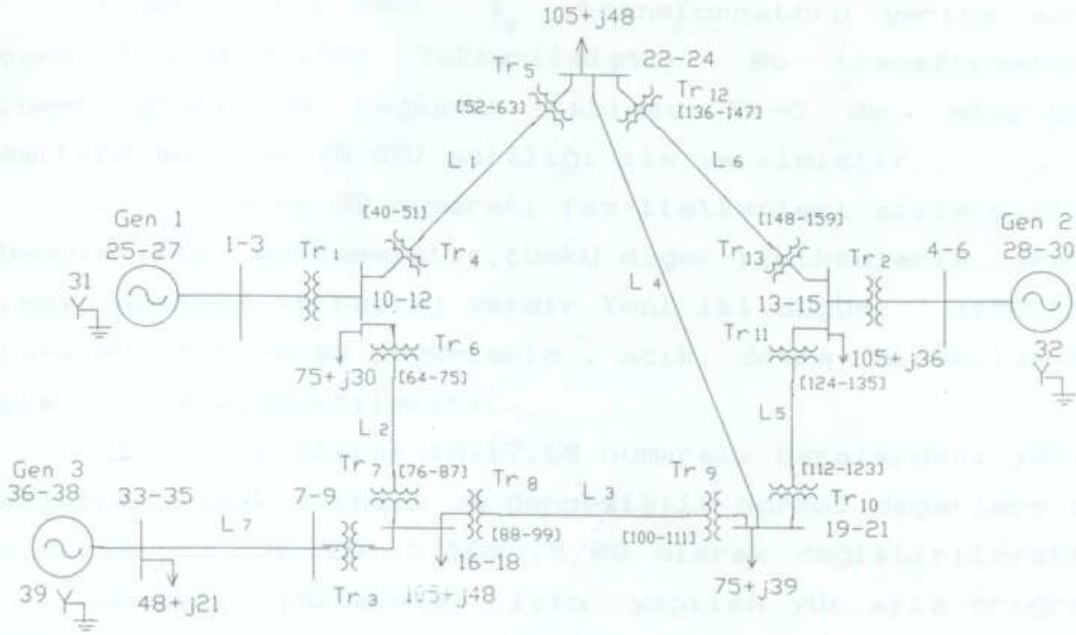
7.2 Oniki fazlı transformatör modelleri

12-faz/12-faz, primeri ve sekonderi yıldız bağlı transformatör Şekil 7.3 de görülmektedir. Ek-C anlatıldığı gibi, transformatörün paralel sargıları, eşdeğer tek-fazlı transformatrünün temsili olarak alınabilir. Bu bölümde bu transformatörün bağlantı tablosu yerine; bağlantı tablosundan yararlanılarak elde edilen, 12-faz/12-faz (Y-Y) transformatörün bara admitans matrisi verilecektir.

$$Y_{TR} = \begin{matrix} & \begin{matrix} a \dots l & 1 \dots 12 \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ \vdots \\ l \\ 1 \\ \vdots \\ 12 \end{matrix} & \left(\begin{array}{c|c} Y_{T1} & Y_{T2} \\ \hline Y_{T2} & Y_{T3} \end{array} \right) \end{matrix} \quad (7.16)$$

Burada





Şekil 7.4 12-fazlı örnek enerji sistemi.

7.4.2 Dengeli 12 fazlı sistemlerde yük akışı

Talep yükleri $(P+jQ)$ olarak verilen dengeli sistemin faz-koordinatları ile yük akışı tablo D.5 te verilmiştir.

Generatörlerin nötrlerine bara numarası verilmiş olup direkt olarak topraklanmıştır. Tablo D.5 deki gerilim değerlerine dikkat edilirse 10-159 baralarında faz kayması vardır. Bu faz kaymaları yıldız-üçgen transformatör kullanılması nedeniyle otomatik olarak meydana gelmiştir. Yük akış analizinde Gauss-Seidel tekniği kullanılmış ve sonuçlar 0.0008 yakınsama ile elde edilmiştir.

7.4.3 Dengesiz 12 fazlı sistemlerde yük akışı

Dengesiz 12-fazlı sistemlerde yük akış analizi için demonstrasyonu kolay bir metod tatbik edilmiş olup, aşağıda

bu olay maddeler halinde açıklanmıştır.

I.Şekil 7.4 deki T_2 transformatörü yerine açık-
üçgen transformatör kullanılmıştır . Bu transformatörün
lineer grafi ve bağlantı tablosu Ek-C de olup bara
admitans matrisi (5.22) eşitliği ile verilmiştir.

II. 19 ve 22 numaralı faz iletkenleri açılmış olup,
tümüyle ihmal edilmemiştir;çünkü diğer iletkenlerle arala-
rında kapasite ve kuplaj vardır.Yeni iki düğüm (160,161)
ilave edilmiş ve bu düğümlerle , açık devre bırakılan hat
uçları numaralandırılmıştır.

III. Son olarak 16,17,18 numaralı baralardaki yükler
dengesiz olarak alınmış ve dengesizlik normal değerlere gö-
re sırasıyla % 120 ,% 100 ,% 80 olarak değiştirilmiştir.

Dengeli yüklemeler için yapılan yük akış programı
dengesiz yüklemeler için de kullanılmıştır.Sonuçlar 0.0008
yakınsama ile elde edilmiş olup tablo D.6 da verilmiştir.

Tablo 7.1 İletim hattı verileri

		±Sequence bileşenler			Sıfır sequence b.		
Düğüm	Düğüme	R_1	X_1	B_1	R_0	X_0	B_0
12-fazlı iletim hattı							
40-51	52-63	0.0097	0.0464	0.0156	0.0572	0.3605	0.0038
64-75	76-87	0.0073	0.0344	0.0114	0.0431	0.2677	0.0028
88-99	100-111	0.0061	0.0290	0.0097	0.0357	0.2256	0.0024
112-123	124-135	0.0024	0.0116	0.0038	0.0141	0.0901	0.0010
136-147	148-159	0.0049	0.0232	0.0077	0.0286	0.1802	0.0019
Üç fazlı iletim hattı							
7, 8, 9	33,34,35	0.0073	0.0330	0.0054	0.0228	0.0972	0.0034
19,20,21	22,23,24	0.0055	0.0248	0.0041	0.0171	0.0729	0.0026

Tablo 7.2 Generatör verileri

Düğümünden	Düğüme	Sequence bileşenler			
		R_1	X_1	R_0	X_0
1, 2, 3	25,26,27	0.0	0.0967	0.0	0.0467
4, 5, 6	28,29,30	0.0	0.17	0.0	0.085
13,34,35	36,37,38	0.0	0.17	0.0	0.085

Tablo 7.3 Transformatör verileri

Düğümünden	Düğüme	Bağlantı	
		Şekli	X
1, 2, 3	10,11,12	Uçgen-yıldız	0.053
4, 5, 6	13,14,15	Uçgen-yıldız	0.12
7, 8, 9	16,17,18	Uçgen-yıldız	0.16

(Transformatörlerin yıldız noktası direkt topraklıdır.)

3-faz/12-faz transformatörlerde (T4-T13) $x=0.08$ p.u dir.



BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda hızla artan enerji taleplerini karşılayabilmek için üretilen elektrik enerjisinin, üretim merkezlerinden tüketim bölgelerine ekonomik olarak ulaştırılması için iletim hatlarında gerilimi yükseltme yoluna başvurulmuştur. Daha yüksek gerilimlere geçme bazı teknik ve ekonomik problemleri de beraberinde getirmiştir.

Büyük güçlerin çok uzun mesafelere ekonomik olarak iletilme fikri yeni bazı görüşlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bunlardan birincisi doğru akımla enerji iletimidir. Günümüzde geniş olarak gündemdedir. Bu alternatiflerden bir diğeri ise gerilimi artırma yerine faz sayısını artırma fikridir. Bu görüşe paralel olarak 1980 yılında A.B.D de önce 6-fazlı test hattı kurularak incelemelere başlanmış ve bir müddet sonra da 12-fazlı iletim hattı denemeye başlanmıştır. 12-fazlı iletim hattına ait bazı veriler şöyledir.

- Faz-nötr gerilimi 138 kV tur.
- Hat uzunluğu 366 metredir.
- Peşpeşe iki faz iletkeni arasındaki açıklık 0.91 metre.
- İletkenler 954 kcmil cardinal ACSR ile dizayn edilmiş
- Koruyucu iletken yoktur.

Yukarda kısaca özellikleri verilen 12-fazlı iletim hattı çok-fazlı enerji sistemlerinin uygulama alanına girdiğini göstermektedir. Tezde yapılan çalışmalar da bu doğrultuda olup çok-fazlı enerji sistemlerinin analizinde elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalara yapılan katkılar, getirilen yenilikler ve temenniler aşağıdaki gibidir.

1) Dengeli n-fazlı bir iletim hattının bir noktada meydana getirdiği magnetik alan ifadesi elde edilmiştir.

2) Elde edilen magnetik alan formülünden faydalanılarak 3-faz, 6-faz ve 12-fazlı iletim hattının endüktans formülleri elde edilmiştir.

3) Dengeli n-fazlı enerji iletim hattının bir noktada meydana getirdiği potansiyel formülü elde edilmiştir.

4) n-fazlı iletim hattının bir noktada meydana getirdiği potansiyel formülünden faydalanılarak 3-faz, 6-faz ve 12-fazlı iletim hatlarının hat kapasitesi formülleri elde edilmiştir.

5) Faz koordinatları ile 3-faz, 6-faz ve 12-fazlı enerji sistemini meydana getiren elemanların modelleri çıkarılmıştır.

6) 3-faz/6-faz, 3-faz/12-faz, 6-faz/6-faz, 12-faz/12-faz, 3-faz/3-fazlı transformatör modelleri graf teorisi yardımı ile (bazıları ilk defa olmak üzere) elde edilmiştir.

7) Kaynaklarda, 3-faz ve 6-fazlı enerji sistem elemanlarından meydana gelen örnek enerji sisteminin yük akışı, 6-fazlı elemanların 3-fazlı eşdeğerleri alınarak elde edilmiştir.

8) Tezde, 3-faz ve 6-fazlı enerji sistem elemanlarından meydana gelen örnek enerji sisteminin yük akış (elemanların orijinal modellerinde hiç bir değişiklik yapılmadan) gerçekleştirilmiştir.

9) Tezde, 3-faz ve 12-fazlı enerji sistem elemanlarından meydana gelen örnek enerji sisteminin yük akışı (elemanların orijinal modellerinde hiç bir değişiklik yapılmadan) gerçekleştirilmiştir.

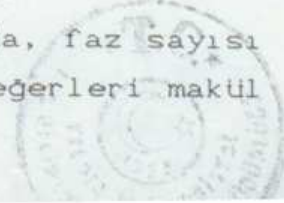
10) Yukarıda ifade edilen yük akışları dengeli ve dengesiz enerji sistemleri için elde edilmiş olup sonuçlar EK-D 'de verilmiştir.

11) Sistemdeki elemanların modellerinde bir transformasyona gitmeden gerçekleştirilen yük akış analizi sonuçlarından, faz sayısı arttıkça transfer edilen gücün arttığı (ilk defa) gözlenmiştir.

12) Per-unit tekniği n-fazlı sistemlere uygulanmıştır.

13) 6 faz ve 12 fazlı enerji sistemlerinde simetrik bileşen transformasyon matrisleri verilmiştir.

14) Yukarıda söylenenlerin ışığı altında, faz sayısı arttıkça, iletilen güç artmış ve gerilim değerleri makul



değerlerde kaldığı ilk defa gözlenmiştir.

15)İletim hatlarında faz sayısını artırma düşüncesi generatörlerde de faz sayısını artırmayı akla getirmiş ve bu konuda pek çok çalışma yapılmış, 6-fazlı ve 12-fazlı generatör modelleri, faz koordinatları ile gerçekleştirilmiştir.

16)Yurdumuzda,üretim merkezleri ile büyük çaplı tüketim merkezleri arasındaki mesafeler çok büyüktür.Bu günlerde hala teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilen çok-fazlı enerji iletimi üzerindeki çalışmalar yoğunlaştırılarak uygulama alanı bulmak suretiyle büyük güçlerin uzun mesafelere iletimi çok-fazlı hatlarla ve alışık olduğumuz gerilim değerleri ile gerçekleştirilebilir.

1. A. D. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
2. A. D. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
3. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
4. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
5. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
6. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
7. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
8. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
9. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.
10. D. A. N. Salati, M. A. Langdon, and R. A. D. L. 'The 12-Phase System for the Transmission of Power in Phase-Shifted 12-Phase System', IEEE Trans., Vol. 100, No. 1, January, 1955, pp. 11-20.



REFERANSLAR

1. A.Y. Siframkrishnan , R.G. Janaki Raman M. Arjunamani and K.Raman Nayar, 'Three phase Gauss-Siedel load flow algoritm ' , J. Inst. Eng.(India)part ELS,60(1980), pp. 240-244.
2. A. Augugliaro , L. Dusonchet , and A.Spataro, 'Mixed three-phase and six-phase power system analysis using symmetrical components method' , Electrical Power & Energy Systems,Vol. 9, No.4, October 1987, pp. 233-240
3. A.O.M.Saleh and M.A. Laughton, 'Phase coordinate load flow and fault analysis program', Int.J.Electr.Power Energ.syst.,2(1980),pp.193-200.
4. A.O.M. Saleh, M.A. Laughton, and M.A. G.T. Stone, ' M-to N-phase transformer models in phase co-ordinates' ,IEE Proc., Vol. 132, Pt. C, No 1, JANUARY 1985, pp. 41-48.
5. Arrillaga J., and Harker B.J., 'Fast decoupled three-phase load flow', Proc.IEE, Vol. 125,No.8, August 1978
6. Badawy E.H, El-Sherbiny M.K, and Ibrahim A.A. 'Transposition Inductance and Capacitance of Six-Phase Transmission Lines', Modelling, Simulation & Control, AMSE Press, Vol. 24, No. 4,1989, pp. 19-30.
7. BAYRAM M., 'Elektrik Santralları ve şebekeleri'.İ.T.U. 1980.
8. Binsaroor A.S. and Tiwari S.N, 'Evaluation of Twelve-Phase(Multiphase)Transmission Line Parameters',Electrical Power Systems Research, 15(1988), pp. 63-76.
9. Binsaroor A.S. and Tiwari S.N, 'Six-phase power transmission:evaluation of line parameters', Symp.EHV-UHV AC, HV-DC Transmission systems, bangalore, May 1987,Central Board of Irrigation and Power Publication ,New Delhi,pp.SV-17-21.
10. Birt K.A.,Graffy J.J., McDonald J.D.,and El-Abiad A.H. , ' Three phase load flow program ' ,IEEE,Trans., Vol.Pas-95, no. 1, January/February 1976. pp. 59-65.

11. Chandrasekaran A. and Broadwater R.P., 'Application of Levinson Algorithm for Fault Calculations in High Phase Order Transmission Systems', Mathl Comput. Modelling, Vol. 11, 1988, pp. 321-324.
12. ÇAKIR H., 'Enerji iletimi (Elektrik Hesaplar)'. Yildiz 1989.
13. ÇAKIR H., 'Elektrik Güç Sistemleri Analizi'. Istanbul, 1986.
14. DALFES M., 'Elektroteknik'. D.M.M.A, İSTANBUL
15. DAVID C. YU and SHIN-TZO CHEN, 'An Assessment of Programming Languages in Power Engineering Applications', Electric Power Systems Research, 15(1988), pp. 99-105.
16. Dommel H.W., 'Overhead Line Parameters from Handbook Formulas and Computer Programs', IEEE Trans., Vol. PAS-104, No. 2, February 1985, pp. 366-372.
17. Elgerd O.I., 'Electric energy systems theory An introduction', McGraw-Hill Book Company, 1982.
18. Grant I.S. and Stewart J.R., 'Mechanical and electrical characteristics of EHV high phase order overhead transmission', IEEE Trans, PAS-103(1984), pp. 3380-3385.
19. Grant I.S., and Longo V.J., 'Economic Incentives for Larger Transmission Conductors', IEEE Trans., Vol. PAS-100, No.9, September 1981, pp. 4291-4297.
20. Ibrahim A.A., and Abdel-Sattar S., 'Electric Field Calculations on Six Phase Overhead Transmission Lines', Modelling, Simulation & Control, A, AMSE Press, Vo. 24, No 4, 1989, pp. 31-38.
21. J.L Willems, 'The analysis of interconnected three phase and polyphase power systems', IEEE PES Summer Meeting, Vancouver, B.C., Paper A 79 504-2, July 1979.
22. Kallaur E., and Stewart J.R, 'Uprating Without Reconductoring The Potential of Six-Phase', IEEE New York U.S.A. xv+40 pp conference. 13015 Oct. 1982 Location Montreal QUE, CANADA.
23. L.O Barthold and H.C Barnes, 'High phase order power tranmision', Electra, No 24, 1973, pp. 139-153.

24. L. Roy, B.H. Rao and M.A. Laughton, 'Analysis of unbalanced polyphase networks. Part II. Load flow analysis' IEEE PES Winter Meeting, New York, Paper A 79 026-6 February 1979.
25. Luke Yu, and F. A. Denbrock, ' Computer modeling of complex multiconductor high voltage transmission systems ', IEEE/CSEE Joint Conference on High-Voltage Transmission Systems in China (Cat. No.87CH2597-1) pp. 324-8.
26. M.A Laughton, 'Analysis of Unbalanced Polyphase Networks by the Method of Phase Coordinates , Part I- System representation in Phase Frame of Reference '. Proceedings of the IEE , vol. 115 ,August 1968 , pp.1163-1172.
27. M.A. Laughton and A.O.M. Saleh , 'Unified phase-coordinate load flow and fault analysis of polyphase networks ', Int.J.Electr. Power Energ.Syst., 2(1980), pp.181-192.
28. M. A. Laughton, ' The analysis of unbalanced polyphase networks by the methods of phase co-ordinates. Part 2. Fault analysis', Proc.Inst. Electr.Eng ., 115(1969) pp.857-865.
29. MAKRAM E.B. and GIRGIS A.A., 'A Generalized Computer Technique for the Development of the Three-Phase Impedance Matrix for Unbalanced Power Systems', Electric Power Systems Research, 15(1988), pp. 41-50.
30. M. CHEN, and W.E. Dillon, 'Power System Modeling', Proc. IEEE , Vol. 62 , No. 7, July 1974, pp.901-915.
31. M.M. CHOUDHARY and L.P. SINGH, ' Generalized Mathematical Modeling of n-Phase Power Systems ', Electric Machines and Power Systems, 10(1985), pp. 367-378.
32. Nanda S.P., Tiwari S.N. and Singh L.P, 'Fault analysis of six-phase systems ', Electr.Power Syst.Res., 4(1981) pp. 201-211.
33. N.B Bhatt, S.S. Venketa, W.C. Guyker and W.H. Booth, 'Six Phase (Multiphase) Power Transmission Systems:



- Fault Analysis'. IEEE Transactions on PAS, vol PAS-96 no 3, May-June 1977, pp.758-767.
34. Pal U. and Singh L.P., 'Feasibility and Fault Analysis of Multiphase (twelve phase) Systems', Journal of the Institution of Engineers(India), vol.65, pt EL4 February 1985, pp. 188-195
35. R.C. Wasley and M.A. Shlash, 'Newton-Raphson algorithm for 3-phase load flows ', proc. Inst. Electr. Eng. 121 (1974)
36. S.Cristina, and M. D'Amore, 'Prediction of the optimum coupling for PLC propagation on double circuit and high phase order transmission lines', IEEE Trans., PAS-103, No. 2, February 1984, pp. 256-264.
37. S.S. Venketa, W.C. Guyker, J.K. Kondragunta and N.B. Bhatt, ' EPPC-A computer program for six-phase transmission line desing', IEEE Trans, PAS-101 (1982) pp. 1859-1869.
38. Stagg G.W. and El-Abiad A.H., 'Computer Method in Power system Analysis'. McGraw-Hill Book company, New York 1968.
39. Stewart J.R., ' Characteristics of Twelve-Phase Power Transmission ', U . S. Department of Energy, 1988.
40. Stewart J.R. and Wilson D.D., 'High Phase Order Transmission - A Feasibility Analysis, Part I-Steady State Considerations' IEEE Trans., vol. PAS-97, no.6 November/Deccember 1978, pp. 2300-2307.
41. Stewart J.R. and Wilson D.D.' High Phase Order Transmission-A Feasibility Analysis, Part II-Overvoltages and Insulation Requirements'. IEEE Trans.vol PAS-97 no. 6, November/December 1978, pp. 2308-2317.
42. Stewart J.R. and Grant I.S., 'High Phase Order-Ready for Aplication ', IEEE Trans., vol PAS-101, no 6 June 1982, pp. 1757-1767.
43. Stewart J.R., Kallaur E. and Grant I.S, ' Economics of high phase order transmission ', IEEE Trans, PAS-103 (1984), pp. 3386-3392.

44. Stewart J.R. and Grant I.S., 'High phase order ready for application, IEEE Trans., PAS 101 (1982) pp. 1757-1767.
45. Swarup S. and Singh L.P., 'Generalised mathematical modelling of multi-phase (6-phase and 12-phase) power system network for analysis in phasor coordinates', J. Inst. Eng. (India), 66-EL-5(1986), pp. 188-195.
46. TARKAN N., 'Elektrik iletim şebekelerinin işletilmesi ve Korunması', I.T.U. 1982.
47. Tiwari S.N. and Singh L.P., 'Six-Phase (Multiphase) Power Transmission Systems: A Generalized Investigation of the Load Flow Problem', Electric Power Systems Research, 5(1982), pp. 285-297.
48. Tiwari S.N. and Singh L.P., 'Six-Phase (Multiphase) Power Systems: Some Aspects of Modelling and Fault Analysis' Electric Power Systems Research, 6(1983), pp. 193-202.
49. Tiwari S.N. and Singh L.P., 'Six-Phase (Multiphase) Power Systems: Transient Stability Analysis', Electric Power Systems Research, 9(1985), pp. 273-281.
50. Tiwari S.N. and Singh L.P., 'Steady state modelling of six phase (multiphase) power transmission system', Int. J. electr. Power Energ. syst., 4(1983), pp. 120-128.
51. Tiwari S.N. and Singh L.P., 'Mathematical modelling and analysis of multiphase systems', IEEE Trans., PAS-101 (1982), pp. 1784-1793.
52. UMURKAN N., 'Çok Fazlı Enerji Sistemlerinin incelenmesi ve üç fazlı sistemlerle Karşılaştırılması'. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, Haziran-1991.
53. W.C Guyker, W.H Booth, M.A Jansen, S.S Venketa, E.K Stanek and N.B. Bhatt, '138 kV six phase transmission feasibility', Paper presented at American Power Conference 1978.
54. William D. Stevenson, Jr., 'Element of Power System Analysis', McGraw-Hill Book company, 1975.
55. Wilson D.D and Stewart J.R, 'Switching surge characteristics of six-phase transmission lines', IEEE.

- Trans., PAS-103(1984), pp. 3393-3401.
56. Wilson D.D and Stewart J.R., '12-Phase as Transmission Alternative' ,IEEE/CSEE Joint Conference on High-Voltage Transmission Systems in China (Cat.No.87CH2597-1), pp.695-700.
57. YU L. and Denbrock F.A., 'computer modelling of complex multiconductor high voltage-transmission systems', IEEE/CSEE joint conference on high-voltage transmission systems in China(Cat.No.87CH2579-1), 1987 pp. 324-8.
58. YÜKSELER H.N., 'Tabakalı Heterogen Anizotrop Ortamlarda Sınır Değer Problemleri'.Doçentlik Tezi,I.T.U. 1982.



SİMETRİLİ BİLEŞENLER

A.1 Genel n-fazlı sistemlerde simetrik bileşen transformasyonu

N-fazlı sistemlerde karşılıklı kuplajı elimine etmek için, en çabuk yol, N-fazlı simetrik bileşen transformasyonunu kullanmaktır. Bu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$V_P^N = [T_S^N] V_S \quad (A.1)$$

Burada

$$V_S^N = \begin{pmatrix} V_S^0 \\ V_S^1 \\ V_S^2 \\ \vdots \\ V_S^{N-1} \end{pmatrix} = (N \times 1) \text{ boyutunda } N\text{-tane sequence eleman vektörü,}$$

$$V_P^N = \begin{pmatrix} V_P^1 \\ V_P^2 \\ V_P^3 \\ \vdots \\ V_P^N \end{pmatrix} = (N \times 1) \text{ boyutunda } N\text{-faz'a ait faz gerilimleri vektörü,}$$

$$[T_S^N] = [t_{ij}] = (N \times N) \text{ boyutunda transformasyon matrisi}$$

dir, ve

$$t_{ij} = a^{-(i-1)(j-1)} \quad (A.2)$$

$$a = e^{j2\pi/N}$$

olarak alınır. Burada

$$[T_S^N]^{-1} = [t_{ij}^{-1}]$$

dir. Benzer şekilde

$$I_P^N = [T_S^N] I_S^N$$

$$I_S^N = [T_S^N]^{-1} I_P^N$$

olur. Yukardaki genel bağıntılardan faydalanarak 3,6,12-fazlı sistemlerin transformasyon matrisleri aşağıdaki gibi yazılır.

A.2. 3-fazlı sistemlerde simetrik bileşen transformasyonu matrisi

(A.2) ile verilen tanımda, N faz sayısı 3 tür; a tabanını üç-fazlı sistemlerde aynen kullanılacaktır.

$$a = e^{j2\pi/3}$$

tür. Transformasyon matrisi 3-fazlı sistemler için

$$T_S^3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (A.3)$$

olarak yazılır.

A.3. 6-fazlı sistemlerde simetrik bileşen transformasyonu matrisi

(A.2) ile verilen tanımda, N faz sayısı 6'dır ve karışıklığı önlemek için burada α tabanı yerine b tabanı kullanılacaktır. Buna göre b:

$$b = e^{j\pi/3}$$

olur. Transformasyon matrisi, 6-fazlı sistemler için aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_s^6 = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & b^5 & b^4 & b^3 & b^2 & b \\ 1 & b^4 & b^2 & 1 & b^4 & b^2 \\ 1 & b^3 & 1 & b^3 & 1 & b^3 \\ 1 & b^2 & b^4 & 1 & b^2 & b^4 \\ 1 & b & b^2 & b^3 & b^4 & b^5 \end{bmatrix} \quad (A.4)$$

A.4. 12-fazlı sistemlerde simetrik bileşen transformasyonu matrisi

(A.2) ile verilen tanımda, N faz sayısı 12'dir ve karışıklığı önlemek için burada α tabanı yerine c tabanı kullanılacaktır. Buna göre c:

$$c = e^{j\pi/6}$$

olur. Transformasyon matrisi ise, 12-fazlı sistemler için

aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_{12}^{12} = \frac{1}{\sqrt{12}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & c^{11} & c^{10} & c^9 & c^8 & c^7 & c^6 & c^5 & c^4 & c^3 & c^2 & c \\ 1 & c^{10} & c^8 & c^6 & c^4 & c^2 & 1 & c^{10} & c^8 & c^6 & c^4 & c^2 \\ 1 & c^9 & c^6 & c^3 & 1 & c^9 & c^6 & c^3 & 1 & c^9 & c^6 & c^3 \\ 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 & 1 & c^8 & c^4 \\ 1 & c^7 & c^2 & c^9 & c^4 & c^{11} & c^6 & c^8 & c^3 & c^{10} & c^5 \\ 1 & c^6 & 1 & c^6 & 1 & c^6 & 1 & c^6 & 1 & c^6 & 1 & c^6 \\ 1 & c^5 & c^{10} & c^3 & c^8 & c^6 & c^{11} & c^4 & c^9 & c^2 & c^7 \\ 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 & 1 & c^4 & c^8 \\ 1 & c^3 & c^6 & c^9 & 1 & c^3 & c^6 & c^9 & 1 & c^3 & c^6 & c^9 \\ 1 & c^2 & c^4 & c^6 & c^8 & c^{10} & 1 & c^2 & c^4 & c^6 & c^8 & c^{10} \\ 1 & c & c^2 & c^3 & c^4 & c^5 & c^6 & c^7 & c^8 & c^9 & c^{10} & c^{11} \end{bmatrix}$$

(A. 5)



EK-B

PER-UNIT DEĞERLER

B.1 N-fazlı sistemlerde per-unit değerler

Uç-fazlı sistemlerde kullanılan per-unit hesap mantığı uygun bir yaklaşımla N-fazlı sistemlerde de kullanılır.

Bunun için temel denklem aşağıdaki gibidir.

$$\text{Per-unit değer} = \frac{\text{Gerçek değer (SI sisteminde)}}{\text{Temel değer (SI sisteminde)}} \quad (\text{B.1})$$

Per-unit olarak ölçeklendirme işlemi , aşağıdaki aksiyomatik prensiplere dayanır.

1- Temel güç (S_{baz}),güç sisteminin bütün baralarında aynı değere sahiptir.

2- Sistemdeki her bir bara için elektriksel büyüklüklerin (Güç,gerilim,akım ve empedans) yalnız ve yalnız bir temel değeri vardır.Bu baz değerler faz ve sequence değere uygulanır.Esas baz değerler gerilim ve güç ,keyfi olarak sistemdeki her hangi bir nokta için tanımlanabilir.

$S_{\text{baz}} = VA$ olarak,toplam N-fazın görünen baz gücüdür ve bu güç,sistemdeki her bir bara için aynıdır.

V_{baz} =Volt olarak baz gerilimidir. Bu baz değeri transformatörün primerinde ve sekonderinde farklı değerlere sahiptir.Keyfi olarak seçilen bir baz değeri N-fazlı sistemin diğer noktaları için hesaplanır.

$$V_{\text{baz}} = V_{\text{LN}} \text{ (Nominal)}$$

Burada

V_{LN} (Nominal)=Volt olarak nominal faz-nötr geriliminin efektif değeridir.

Akım ve empedansların baz değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I_{\text{baz}} = \frac{S_{\text{baz}} / N}{V_{\text{baz}}} \quad (\text{B.2})$$

$$Z_{baz} = \frac{V_{baz}}{I_{baz}} \quad (B.3)$$

V_{baz} da olduğu gibi, I_{baz} ve Z_{baz} değerleri transformatörün primeri ve sekonderinde farklı olduğu gibi her bir bara için de farklı değerlere sahiptir.

B.2 6-fazlı sistemlerde per-unit değerler

Burada N-fazlı sistem için yapılan kabuller geçerlidir. Buna göre

$$\text{Per-unit değer} = \frac{\text{Gerçek değer (SI sisteminde)}}{\text{Temel değer (SI sisteminde)}}$$

Akım:

$$I_{baz} = \frac{S_{baz} / 6}{V_{baz}}$$

Empedans:

$$Z_{baz} = \frac{V_{baz}}{I_{baz}}$$

dir.

$V_{baz} = V_{LN}$ (Nominal): ilgili yerin nominal faz-nötr

gerilimidir.

S_{baz} = 6-fazın VA olarak görünen gücüdür.



TRANSFORMATÖRLER

B.3 12-fazlı sistemlerde per-unit değerler

Burada N-fazlı sistem için yapılan kabuller geçerli-
dir. Buna göre 12-fazlı per-unit değeri, 12-fazlı
sistem için ideal transformatörün temel değeri
ve temel Admittansı y olsun.

$$\text{Per-unit değer} = \frac{\text{Gerçek değer (SI sisteminde)}}{\text{Temel değer (SI sisteminde)}}$$

Akım:

$$I_{\text{baz}} = \frac{S_{\text{baz}} / 12}{V_{\text{baz}}}$$

Empedans:

$$Z_{\text{baz}} = \frac{V_{\text{baz}}}{I_{\text{baz}}}$$

dir.

$V_{\text{baz}} = V_{\text{LN}}$ (Nominal): ilgili yerin nominal faz-nötr

gerilimidir.

S_{baz} = 12-fazın VA olarak görünen gücüdür.



TRANSFORMATÖRLER

C.1 3-fazlı transformatörler

C.1.1 Transformatörün eşdeğer devre modeli

Şekil C.1a'da, per-unit formunda, şematik görünüşü verilen tek-fazlı ideal transformatörün çevirme oran $(1+t):1$ ve kaçak admitansı y olsun.

İdeal transformatörün sargıları arasındaki bağıntı

$$V_s = (1+t)V_r \quad (C.1)$$

$$i_r = -(1+t)i_s$$

dir. Transformatörün uçları arasındaki eşitlik ise,

$$i_r = yV_r - \frac{yV_r}{1+t} \quad (C.2)$$

$$i_s = \frac{-i_r}{1+t} = \frac{yV_s}{(1+t)^2} - \frac{yV_r}{1+t}$$

olur. Transformatörün düğümleri j, k, p, q olsun ve transformatörün topraklanmadığı farzedilsin. Buna göre,

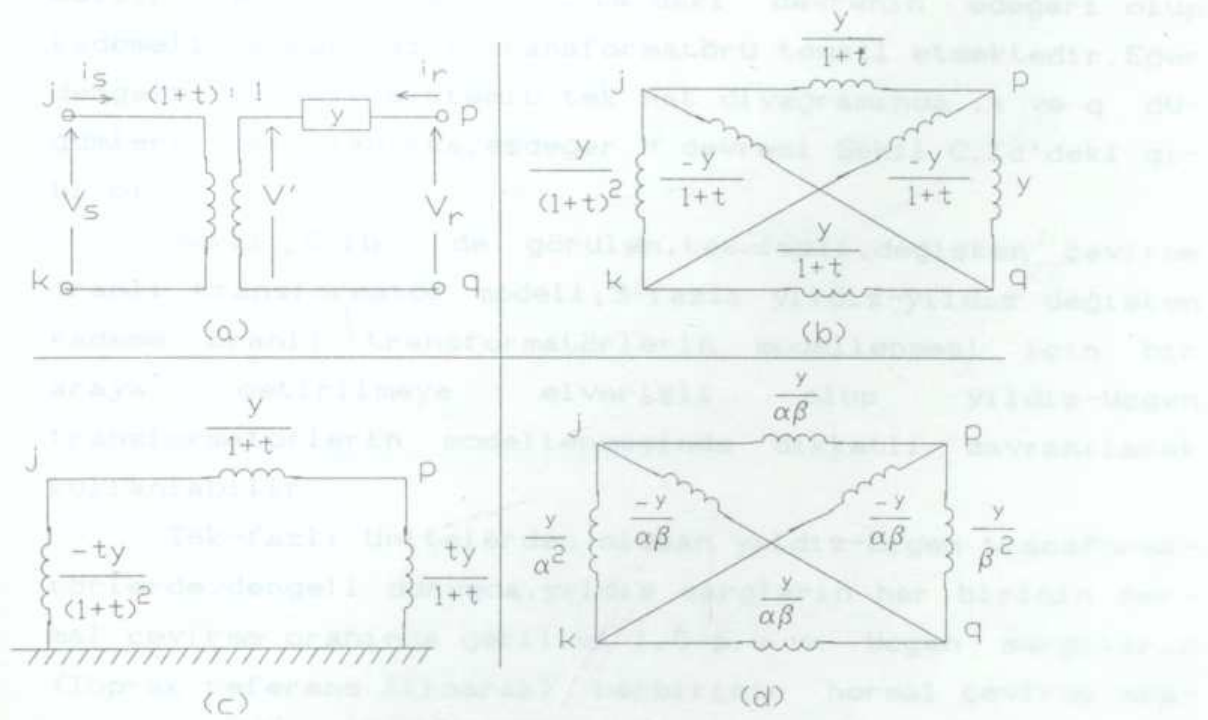
$$V_s = V_j - V_k \quad \text{ve} \quad V_r = V_p - V_q$$

olur.

n - düğümlü bir devrenin her bir düğümlüne enjekte edilen akımları düğüm gerilimleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} I_j &= \sum_m I_{jm} + i_s \\ &= \sum_m (V_j - V_m) y_{jm} + \frac{y}{(1+t)^2} (V_j - V_k) - \frac{y}{1+t} (V_p - V_q) \end{aligned} \quad (C.3)$$

(C.3) eşitliğinde, toplam m zerinden alınmış olup, m tane düğümü j düğümlüne bağlamakta, fakat k, p, q düğümleri ile m düğümleri arasında bir bağlantı içermemektedir. (C.3)



Şekil C.1 Tek fazlı transformatörün p.u formunda sematik gösterilişleri.

denklemini transformatörün her bir düğümü için yazılırsa,

$$I_j = \left(\sum_m y_{jm} + \frac{y}{(1+t)^2} \right) V_j - \frac{y}{(1+t)^2} V_k - \frac{y}{1+t} V_p + \frac{y}{1+t} V_q + \sum_m -y_{jm} V_m \quad (C.4a)$$

$$I_k = -\frac{y}{(1+t)^2} V_j + \left(\sum_m y_{km} + \frac{y}{(1+t)^2} \right) V_k + \frac{y}{(1+t)} V_p - \frac{y}{1+t} V_q + \sum_m -y_{km} V_m \quad (C.4b)$$

$$I_p = -\frac{y}{(1+t)} V_j + \frac{y}{(1+t)} V_k + \left(\sum_m y_{pm} + y \right) V_p - y V_q + \sum_m -y_{pm} V_m \quad (C.4c)$$

$$I_q = \frac{y}{(1+t)} V_j - \frac{y}{(1+t)} V_k + y V_p + \left(\sum_m y_{qm} + y \right) V_q - \sum_m -y_{qm} V_m \quad (C.4d)$$

elde edilir. Yukardaki düğüm admitans bağıntıları

$$I = YV + Y'V \quad (C.5)$$

formunda yazılabilir. (C.4) denkleminin ışığı altında Y matrisini oluşturan eşdeğer devre Şekil C.1b'deki gibi elde

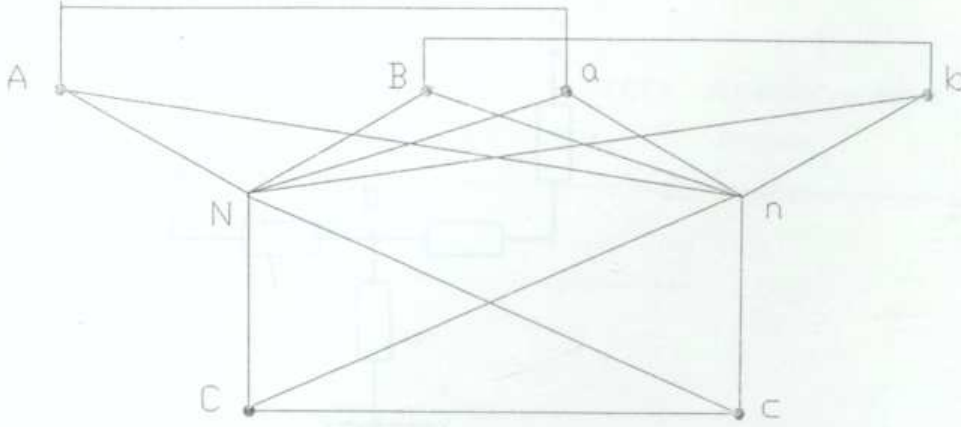
edilir . Bu devre Şekil C.1a'daki devrenin edeğeri olup kademeli ve tek-fazlı transformatörü temsil etmektedir. Eğer dengeli üç-fazlı sistemin tek hat diyagramında ,k ve q düğümleri topraklanırsa,eşdeğer π devresi Şekil C.1c'deki gibi olur.

Şekil C.1b de görölen,tek-fazlı,değişken çevirme oranlı transformatör modeli;3-fazlı yıldız-yıldız değişken kademe oranlı transformatörlerin modellenmesi için bir araya getirilmeye elverişli olup yıldız-üçgen transformatörlerin modellenmesinde dikkatli davranılarak kullanılabilir.

Tek-fazlı ünitelerden oluşan yıldız-üçgen transformatörlerde,dengeli durumda,yıldız sargıların her birinin normal çevirme oranında gerilimi 1.0 p.u ve üçgen sargıların (Toprak referans alınarak) herbirinin normal çevirme oranında gerilimi 1.732 p.u'e eşittir.Transformatörün üçgen tarafında efektif kademe oranının p.u olarak gösterilmesinde $\sqrt{3}$ değerine gereksinme vardır.

Üçgen-üçgen veya kademe oranı yıldız tarafında olan üçgen-yıldız transformatörün eşdeğer devresi için,Şekil C.1a devresi , efektif kademe oranı iki tarafta olacak şekilde modifiye edilmeye izin vermektedir.Üçgen-üçgen transformatörü ,üçgen-yıldız ve yıldız-üçgen transformatörlerinin sıfır empedans üzerinden seri bağlı olarak gözönüne alınıp, eşdeğer tek-fazlı devre modeli çıkarılabilir.Her iki transformatörün yıldız noktaları topraklanmıştır. Her bir transformatörün kaçak empedansları,üçgen-üçgen transformatörün ' künün yarısı kadar olur .İki tane tek-fazlı simetrik seri bağlı devrenin admitans matrisi ile temsili,düğümmler 4' e indirgendikten sonra (i,k ve p,q)Şekil C.1d'de göröldüğü gibi olur.Şekil C.1d' de,değıştirme oranları (sabit veya değişken olabilir) α , β olan bir transformatörün tek-fazlı eşdeğer devresi görölmektedir .Bu, tek-fazlı transformatör modeli birleştirilerek çok fazlı transformatörlerin modellenmesinde kullanılabilir.





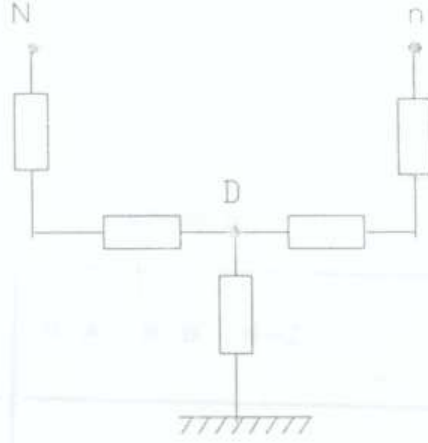
Şekil C.2a yıldız-yıldız bağlı transformatörün eşdeğer devresi.

Şekil C.2b Yıldız-yıldız bağlı 3-fazlı topraklanmış transformatör

C.2.1 Yıldız-yıldız 3-fazlı transformatör

Yıldız-yıldız bağlı, üç-fazlı transformatör veya oto-transformatörün , 2 devresi için lineer graf, Şekil C.2' de görülmektedir. Transformatörün eşdeğer devresini elde etmek için, transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Şekil C.1d' de verilen genel devreden 3-fazlı sözü edilen transformatör devresinin modeli yukardaki düşünce tarzı ile çıkarılır. Bütün böyle devrelerin modelini elde etmek için aynı düşünce tarzıyla hareket edilir. Pratikte α ve β lar 1.0 p.u olarak alınabilir. Eğer nötr, doğrudan doğruya topraklanmış veya bir empedans üzerinden topraklanmışsa, bağlantı tablosunda ilgili ilaveler veya çıkarmalar yapılır.

Şekil C.2b deki gibi nötr noktası bir empedans üzerinden topraklanmış ise, bağlantı tablosuna aşağıdaki terimler eklenir.



Sekil C.2b Empedansla nötr'ü topraklanmış
transformatör.

y_{ND}

N-D;

y_{nD}

n-D;

y_{D0}

D-0

Burada 0, eşdeğer toprak düğümünü temsil etmektedir.

Eğer nötr düğümleri doğrudan doğruya topraklanmışsa N ve n düğümleri tek bir düğüm (toprak) olur ve $N-n (=3y/\alpha\beta)$ yok olur.

Bu durumda N-n gereksiz olur ve bağlantı tablosundan çıkarılır. Şekil C.2a'daki devrenin bağlantı tablosu aşağıdaki gibidir.



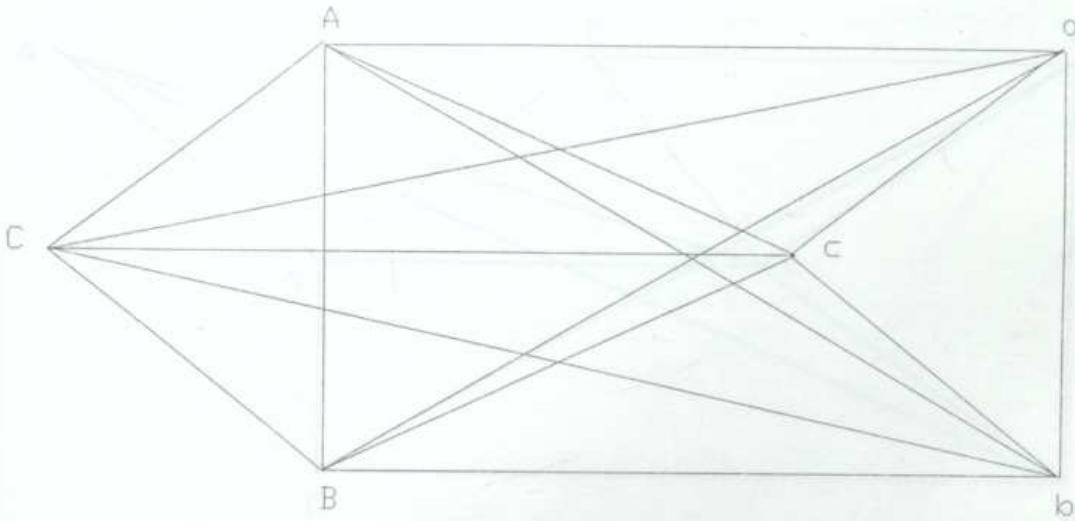
Tablo C.1 Yıldız-yıldız bağlı transformatörün bağlantı tablosu. $\alpha=1+t_\alpha$, $\beta=1+t_\beta$

Admitans	Düğüm
$\frac{y}{\alpha^2}$	N-A , N-B , N-C
$\frac{y}{\beta^2}$	n-a , n-b , n-c
$\frac{y}{\alpha\beta}$	A-a , B-b , C-c
$\frac{-y}{\alpha\beta}$	n-A , n-B , n-C , N-a , N-b , N-c
$\frac{3y}{\alpha\beta}$	N-n

C.2.2 Üçgen-Üçgen transformatör

3-Fazlı Üçgen-Üçgen transformatörün lineer grafi Şekil C.3 te görülmektedir. Transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Yani Şekil C.1d'de verilen genel devreden 3-fazlı devrenin modeli çıkarılabilir. Buna göre transformatör devresinin bağlantı tablosu aşağıdaki gibidir.



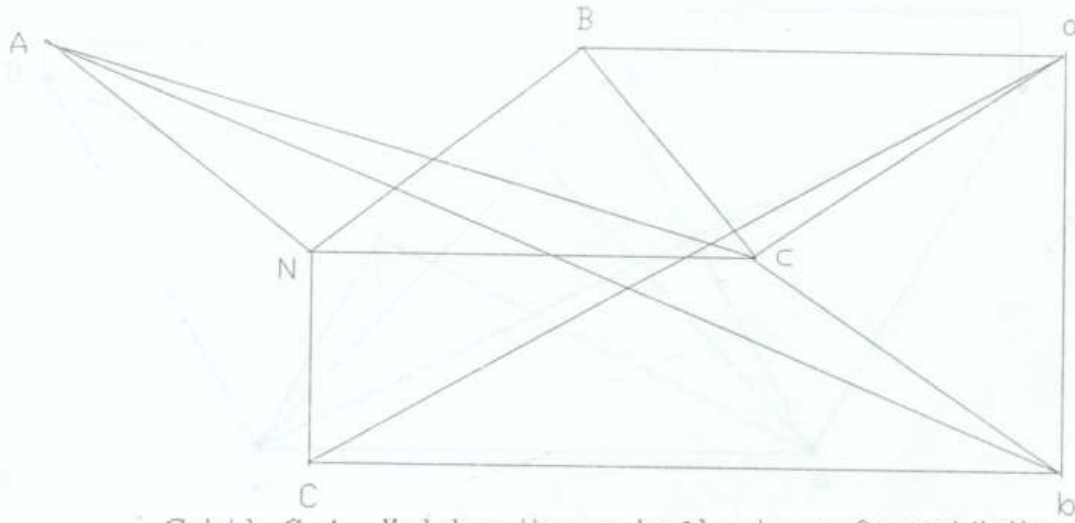


Şekil C.4 Üçgen-Üçgen bağlı transformatörün eşdeğer devresi.

Tablo C.2 Üçgen-Üçgen bağlı transformatörün bağlantı tablosu. $\alpha = \sqrt{3}(1+t_\alpha)$, $\beta = \sqrt{3}(1+t_\beta)$

Admitans	Düğümle r
$\frac{y}{\alpha^2}$	A-B ,B-C ,C-A
$\frac{y}{\beta^2}$	a-b ,b-c ,c-a
$\frac{2y}{\alpha\beta}$	A-a ,B-b ,C-c
$\frac{-y}{\alpha\beta}$	A-b ,B-c,C-a ,a-B ,b-C,c-A





Şekil C.4 Yıldız-Üçgen bağlı transformatörün eşdeğer devresi.

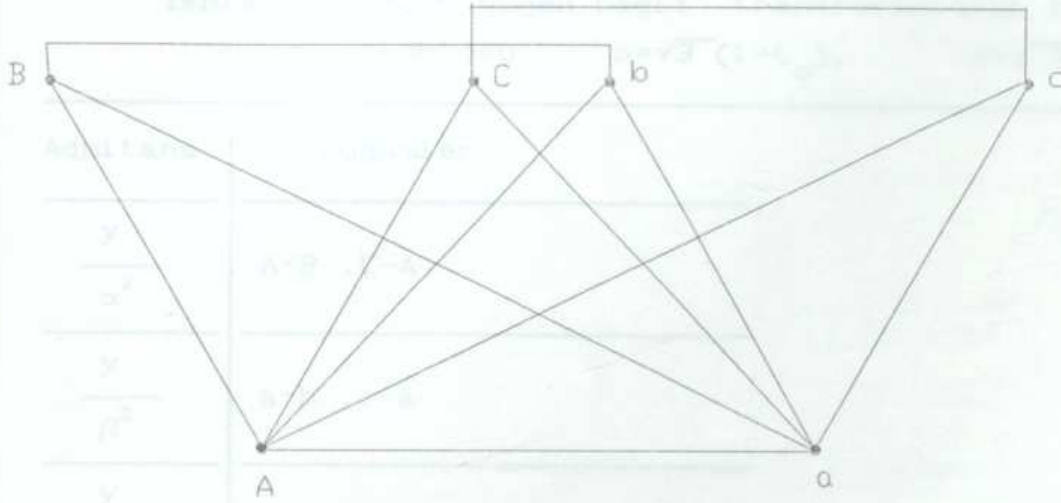
C.2.3 Yıldız Üçgen transformatör

3 fazlı yıldız-üçgen transformatörün lineer grafi Şekil C.4 te görülmektedir. Transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Yani Şekil C.1d'de verilen genel devreden 3-fazlı devrenin modeli çıkarılabilir. Buna göre transformatör devresinin bağlantı tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo C.3 Yıldız-Üçgen bağlı transformatörün bağlantı tablosu. $\alpha=1+t_\alpha$, $\beta=\sqrt{3}(1+t_\beta)$

Admitans	Düğümler
$\frac{y}{\alpha^2}$	A-N , B-N , C-N
$\frac{y}{\beta^2}$	a-b , b-c , c-a
$\frac{y}{\alpha\beta}$	A-c , B-a , C-b
$\frac{-y}{\alpha\beta}$	A-b , B-c , C-a





Sekil C.5 Açık-Üçgen bağlı transformatörün eşdeğer devresi.

C.2.4 Açık üçgen transformatör

3 fazlı açık-üçgen transformatörün lineer grafi Şekil C.5 te görülmektedir. Transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Yani Şekil C.1d'de verilen genel devreden 3-fazlı devrenin modeli çıkarılabilir. Buna göre transformatör devresinin bağlantı tablosu aşağıdaki gibidir.

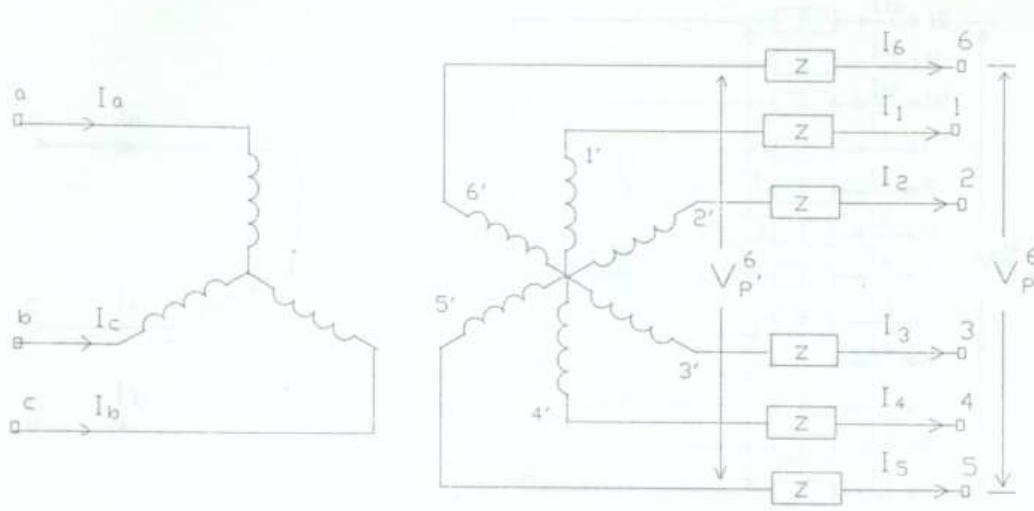
Tablo C.4 Açık-Uçgen bağlı transformatörün bağlantı tablosu. $\alpha=\sqrt{3}(1+t_\alpha)$, $\beta=\sqrt{3}(1+t_\beta)$

Admitans	Düğümmler
$\frac{y}{\alpha^2}$	A-B ,C-A
$\frac{y}{\beta^2}$	a-b ,c-a
$\frac{y}{\alpha\beta}$	B-b ,C-c
$\frac{-y}{\alpha\beta}$	A-b ,A-c,B-a,C-a
$\frac{2y}{\alpha\beta}$	A-a

C.3 3-faz/6-faz yıldız-yıldız transformatör

3-Fazlı/6-faz, yıldız-yıldız transformatörün şematik temsili Şekil C.6 da görülmektedir. Transformatörün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Yani Şekil C.1d'de verilen genel devreden 3-faz/6-faz, yıldız-yıldız devrenin modeli çıkarılabilir. Buna göre transformatör devresinin bağlantı tablosu aşağıdaki gibidir.





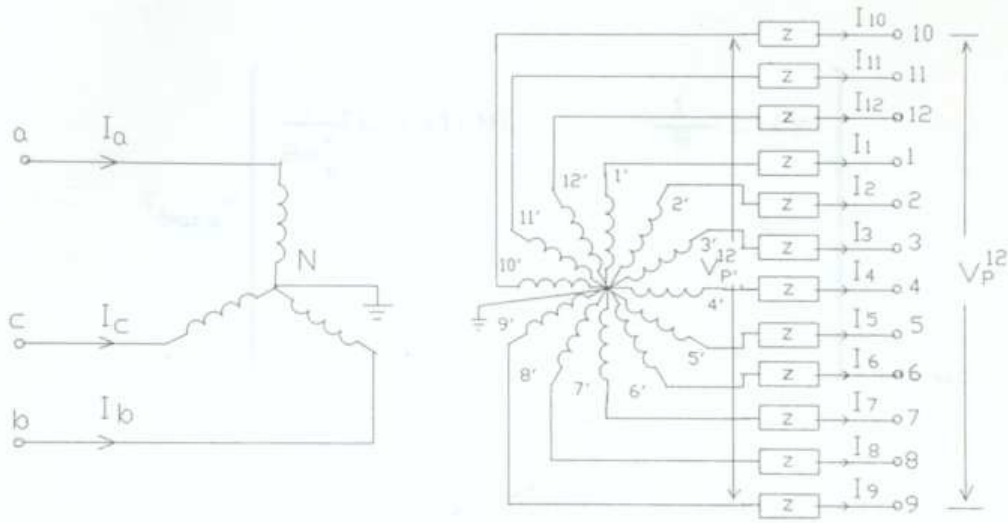
Şekil C.6 Üç-faz/altı-faz, yıldız-yıldız

transformatör: sematik gösterilişi.

Tablo C.5 Üç-faz/altı-faz,yıldız-yıldız transformatörün bağlantı tablosu. $\alpha=1+t_{\alpha}$, $\beta=1+t_{\beta}$

Admitans	Düğüm ler
$\frac{2y}{\alpha^2}$	a-N ,b-N ,c-N
$\frac{y}{\beta^2}$	1-n,2-n,3-n,4-n,5-n,6-n
$\frac{y}{\alpha\beta}$	a-1,b-3,c-5,2-N,4-N,6-N
$\frac{-y}{\alpha\beta}$	a-4,b-6,c-2,1-N ,3-N,5-N





Şekil C.7 Üç-faz/oniki-faz, yıldız-yıldız transformatorün şematik gösterilişi.

C.4 3-faz/12-faz yıldız-yıldız transformator

3-Faz/12-faz,yıldız-yıldız transformatorün şematik temsili Şekil C.7 de görülmektedir.Transformatorün paralel sargılarının her biri tek-fazlı transformatorün eşdeğer devresi olarak düşünülebilir. Yani Şekil C.1d'de verilen genel devreden 3-faz/12-faz yıldız-yıldız devrenin modeli ve bağlantı tablosu çıkarılabilir.

Burada konunun detayna girmeden 3-faz/12-faz yıldız-yıldız transformatorün bara admitans matris eşitliği verilecektir.Bu matris tezdeki yük akış analizinde kullanılmamıştır.Tezde faz kaydırıcı transformator yardımı ile elde edilen 3-faz/12-faz,Üçgen-yıldız transformator modeli kullanılmıştır.



$$Y_{\text{bara}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{8\alpha_T^2} [L][y][M] & -\frac{1}{8} [L][y] \\ -\frac{1}{\alpha_T} [y][M] & [y] \end{bmatrix} \quad (C.6)$$

Burada

$$M^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

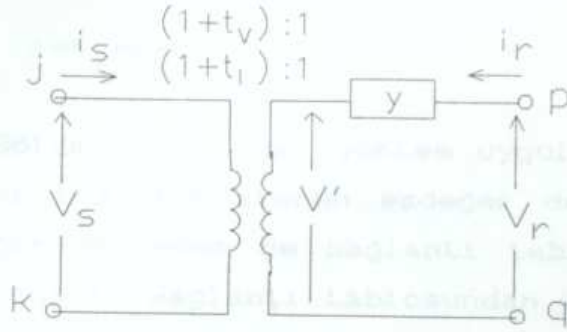
$$L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -2 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & -2 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -2 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 2 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

C.5 faz kaydırıcı transformatörler

C.5.1 Tek-fazlı faz kaydırıcı transformatör

Bölüm C.1.1 de anlatılan ideal transformatörün yaklaşık eşdeğer devresini Şekil C.8 deki gibi çizebiliriz. Bu durumda ideal transformatör, faz kaydırıcı ideal transformatör olmuştur. İdeal transformatörün primer ve sekonder taraflarına ait VI* çarpımının korunumu göz önünde tutularak, akım ve gerilim değerlerine ait çevirme oranlarında farklılık yapılabilir.





Şekil C.8 Tek-fazlı faz kaydırıcı transformatör.

Tablo C.6 Faz kaydırıcı tek fazlı transformatörün çift giriş bağlantı tablosu. $\alpha_I = 1+t_I$, $\alpha_V = 1+t_V$, $\beta = 1+t_\beta$

Admitans	Düğümmler
$\frac{y}{\alpha_I \alpha_V}$	j-k, k-j
$\frac{-y}{\alpha_I \beta}$	j-p, k-q
$\frac{y}{\alpha_I \beta}$	j-q, k-p
$\frac{-y}{\alpha_V \beta}$	p-j, q-k
$\frac{y}{\alpha_V \beta}$	p-k, q-j
$\frac{-y}{\beta^2}$	p-q, q-p

Buna göre

$$V_s = (1+t_V) V'$$

$$I_r = -(1+t_I) I_s$$

olur. Burada



$$1+t_v=1+t+jq$$

$$1+t_I=1+t-jq$$

dur. Bölüm C.1.1 deki yöntem uygulanarak, tek-fazlı faz kaydırıcı transformatörün eşdeğer devresi elde edilebilir. bu eşdeğer devreden de bağlantı tablosu Tablo C.6 daki gibi yazılabilir. Bağlantı tablosundan yararlanarak (C.7) eşitliği (bara admitans matrisi) yazılır.

Bara admitans matrisindeki j,k,p ve q düğümleri Şekil C.8 de görülmektedir. $\alpha_I=1+t_I$ ve $\alpha_v=1+t_v$ değiştirme oranları j-k tarafına, β ise p-q tarafına aittir.

Eğer $\alpha_I=\alpha_v$ ise transformatör faz kaydırıcı transformatör değil, tek fazlı transformatör olur.

$$Y_{\text{bara}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} j & k & p & q \end{matrix} \\ \begin{matrix} j \\ k \\ p \\ q \end{matrix} & \begin{bmatrix} y & -y & -y & y \\ \alpha_I \alpha_v & \alpha_I \alpha_v & \alpha_I \beta & \alpha_I \beta \\ -y & y & y & -y \\ \alpha_I \alpha_v & \alpha_I \alpha_v & \alpha_I \beta & \alpha_I \beta \\ -y & y & y & -y \\ \alpha_v \beta & \alpha_v \beta & \beta^2 & \beta^2 \\ y & -y & -y & y \\ \alpha_v \beta & \alpha_v \beta & \beta^2 & \beta^2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (C.7)$$

C.5.2 Üç-fazlı faz kaydırıcı transformatör

Faz kaydırıcı transformatörün bara admitans matrisini elde etmek için, 3-fazlı üçgen-yıldız transformatörün paralel sargılarının her biri, tek-fazlı faz kaydırıcı transformatörün eşdeğer devresi olarak düşünülür. Bu düşünce tar-

zı ile sözü edilen transformatörün çift giriş bağlantı tablosu Tablo C.7 de bara admitans matrisi de denklem C.8 de verilmiştir.

Tablo C.7 Faz kaydırıcı üç fazlı transformatörün çift giriş bağlantı tablosu. $\alpha_I = 1+t_I$, $\alpha_V = 1+t_V$, $\beta = \sqrt{3}(1+t_\beta)$

Admitans	Düğümmler
$\frac{y}{\alpha_I \alpha_V}$	A-N, B-N, C-N, N-A, N-B, N-C
$\frac{-y}{\alpha_I \beta}$	A-b, B-c, C-a
$\frac{y}{\alpha_I \beta}$	A-c, B-a, C-b
$\frac{-y}{\alpha_V \beta}$	a-C, b-A, c-B
$\frac{y}{\alpha_V \beta}$	a-B, b-C, c-A
$\frac{y}{\beta^2}$	a-b, b-c, c-a, b-a, c-b, a-c



	a	b	c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a	X	X ₁	X ₁	-X ₄	-X ₅	-X ₄	-X ₅			X ₄	X ₅	X ₄	X ₅		
b	X ₁	X	X ₁	X ₄	X ₅			-X ₄	-X ₅	-X ₄	-X ₅			X ₄	X ₅
c	X ₁	X ₁	X			X ₄	X ₅	X ₄	X ₅			-X ₄	-X ₅	-X ₄	-X ₅
1	-X ₆	X ₆		X ₂											
2	-X ₅	X ₅			X ₃										
3	-X ₆		X ₆			X ₂									
4	-X ₅		X ₅				X ₃								
5		-X ₆	X ₆					X ₂							
6		-X ₅	X ₅						X ₃						
7	X ₆	-X ₆								X ₂					
8	X ₅	-X ₅									X ₃				
9	X ₆		-X ₆									X ₂			
10	X ₅		-X ₅										X ₃		
11		X ₆	-X ₆											X ₂	
12		X ₅	-X ₅												X ₃

Y_{bara} =

(C.10)

Burada

$$X = \frac{8y}{\beta^2}, \quad X_1 = \frac{-4y}{\beta^2}, \quad X_2 = \frac{y}{\alpha_I \alpha_v}, \quad X_3 = \frac{y}{\alpha^2}$$

$$X_4 = \frac{y}{\alpha_v \beta}, \quad X_5 = \frac{y}{\alpha \beta}, \quad X_6 = \frac{y}{\alpha_I \beta}$$

ve

$$1+t_v = 1+t+jq$$

$$1+t_I = 1+t-jq$$

$$\alpha_I = 1+t_I$$

$$\alpha_v = 1+t_v$$

$$\alpha = 1+t_\alpha$$



$$\beta = \sqrt{3}(1+t_{\beta})$$

dir.

3-FAZLI 3-FAZ VE 10-FAZLI ENERJİ SİSTEMİNİN
FONKSİYONEL VERİLERİ



EK-D

Yük Akış No	Yük Akış	Yük Akış	Yük Akış	Yük Akış	Yük Akış	Yük Akış
1	25	14.743	25	1	20.000	15.712
2	26	14.981	26	2	20.000	16.045
3	27	14.744	27	3	20.000	16.712
4	28	14.981	28	4	20.000	16.132
5	29	14.981	29	5	20.000	16.202
6	30	14.981	30	6	20.000	16.141
10	10	11.732	10	10	11.732	11.732
11	17	11.732	11	11	11.732	11.732
12	18	11.732	12	12	11.732	11.732
10	22	10.404	10	17	10.404	10.404
11	23	10.413	11	18	10.404	10.404
12	24	10.404	12	19	10.404	10.404
13	19	10.404	13	13	10.404	10.404
14	20	10.404	14	14	10.404	10.404
15	21	10.404	15	15	10.404	10.404
13	25	3.131	13	13	3.131	3.131
14	26	3.143	14	14	3.143	3.143
15	27	3.107	15	15	3.107	3.107
16	16	3.270	16	16	3.270	3.270
17	20	3.240	17	17	3.240	3.240
18	21	3.221	18	18	3.221	3.221
19	22	3.200	19	19	3.200	3.200
20	23	3.189	20	20	3.189	3.189
21	24	3.186	21	21	3.186	3.186
7	28	3.080	7	7	3.080	3.080
8	29	3.022	8	8	3.022	3.022
9	30	3.000	9	9	3.000	3.000
22	25	3.007	22	22	3.007	3.007
23	26	3.000	23	23	3.000	3.000
24	27	3.000	24	24	3.000	3.000

3-FAZ,6-FAZ VE 12-FAZLI ENERJİ SİSTEMLERİNDE

YÜK AKIŞ VERİLERİ



Tablo D.1 Faz koordinatlarında 3-fazlı dengeli yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-29.885	-14.749	25	1	29.885	15.712
2	26	-29.985	-14.581	26	2	29.985	15.545
3	27	-30.077	-14.744	27	3	30.077	15.716
4	28	-19.661	-9.406	28	4	19.661	10.133
5	29	-19.643	-9.497	29	5	19.643	10.223
6	30	-19.571	-9.420	30	6	19.571	10.141
10	16	11.332	3.853	16	10	-11.318	-4.665
11	17	11.275	3.940	17	11	-11.260	-4.752
12	18	11.216	3.860	18	12	-11.202	-4.673
10	22	10.464	5.253	22	10	-10.445	-6.349
11	23	10.413	5.311	23	11	-10.394	-6.408
12	24	10.364	5.259	24	12	-10.345	-6.357
13	19	6.542	1.756	19	13	-6.541	-2.043
14	20	6.559	1.701	20	14	-6.558	-1.988
15	21	6.583	1.752	21	15	-6.581	-2.039
13	22	3.121	0.877	22	13	-3.120	-1.462
14	23	3.143	0.830	23	14	-3.142	-1.415
15	24	3.167	0.874	24	15	-3.166	-1.459
16	19	3.273	3.628	19	16	-3.271	-4.360
17	20	3.249	3.632	20	17	-3.247	-4.364
18	21	3.231	3.630	21	18	-3.229	-4.363
19	22	-0.200	0.070	22	19	0.200	-0.517
20	23	-0.183	0.044	23	20	0.183	-0.491
21	24	-0.166	0.068	24	21	0.166	-0.515
7	33	-3.660	-6.316	33	7	3.663	5.728
8	34	-3.623	-6.387	34	8	3.626	5.798
9	35	-3.566	-6.328	35	9	3.570	5.740
33	36	-9.667	-8.058	36	33	9.667	8.299
34	37	-9.626	-8.124	37	34	9.626	8.366
35	38	-9.569	-8.071	38	35	9.569	8.309



Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.056	-1.464	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.056	-121.493	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.056	118.550	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.054	-1.323	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.055	-121.376	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.055	118.694	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.055	-2.248	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.056	-122.300	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.055	117.770	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.049	87.660	0.000	0.000	8.333	5.000
11	3	1.049	-32.284	0.000	0.000	8.333	5.000
12	3	1.049	-152.300	0.000	0.000	8.333	5.000
13	3	1.044	87.393	0.000	0.000	10.000	6.333
14	3	1.044	-32.548	0.000	0.000	10.000	6.333
15	3	1.044	-152.562	0.000	0.000	10.000	6.333
16	3	1.046	87.392	0.000	0.000	11.670	7.333
17	3	1.046	-32.550	0.000	0.000	11.670	7.333
18	3	1.046	-152.565	0.000	0.000	11.670	7.333
19	3	1.044	87.340	0.000	0.000	10.000	6.333
20	3	1.044	-32.601	0.000	0.000	10.000	6.333
21	3	1.044	-152.615	0.000	0.000	10.000	6.333
22	3	1.044	87.343	0.000	0.000	13.333	8.333
23	3	1.044	-32.598	0.000	0.000	13.333	8.333
24	3	1.044	-152.612	0.000	0.000	13.333	8.333
25	1	1.070	0.000	29.885	15.712	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.024	29.985	15.545	0.000	0.000
27	1	1.070	120.024	30.077	15.716	0.000	0.000
28	4	1.070	0.373	19.661	10.132	0.000	0.000
29	4	1.071	-119.684	19.837	9.888	0.000	0.000
30	4	1.071	120.381	19.378	9.806	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.057	-2.209	0.000	0.000	6.000	2.333
34	3	1.058	-122.261	0.000	0.000	6.000	2.333
35	3	1.057	117.808	0.000	0.000	6.000	2.333
36	4	1.070	-1.377	9.667	8.299	0.000	0.000
37	4	1.071	-121.434	9.820	8.030	0.000	0.000
38	4	1.071	118.631	9.375	7.974	0.000	0.000
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tablo D.2 Faz koordinatlarında 3-fazlı dengesiz yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-39.467	-20.362	25	1	39.467	22.089
2	26	-37.656	-19.989	26	2	37.655	21.580
3	27	-39.071	-18.605	27	3	39.072	20.240
4	28	-18.581	-12.766	28	4	18.582	13.551
5	29	-20.872	-13.025	29	5	20.872	13.959
6	30	-19.418	-14.772	30	6	19.419	15.697
10	16	26.262	12.413	16	10	-26.163	-12.857
11	17	16.483	11.576	17	11	-16.462	-12.254
12	18	18.788	4.978	18	12	-18.740	-5.685
40	41	-0.493	0.836	41	40	0.497	-0.872
11	23	14.049	4.369	23	11	-14.103	-5.312
12	24	11.901	7.043	24	12	-11.784	-7.993
13	19	2.831	4.116	19	13	-2.829	-4.396
14	20	4.892	2.033	20	14	-4.892	-2.316
15	21	2.673	4.408	21	15	-2.671	-4.695
13	22	6.507	4.543	22	13	-6.502	-5.087
14	23	1.289	2.395	23	14	-1.291	-2.970
15	24	2.158	0.904	24	15	-2.155	-1.484
16	19	16.369	6.841	19	16	-16.335	-7.422
17	20	4.633	6.000	20	17	-4.635	-6.708
18	21	7.599	-1.765	21	18	-7.593	1.050
19	22	6.782	3.378	22	19	-6.779	-3.792
20	23	-1.540	1.907	23	20	1.541	-2.344
21	24	1.095	-1.661	24	21	-1.094	1.221
7	33	-3.519	-1.631	33	7	3.520	1.023
8	34	-2.084	-1.944	34	8	2.085	1.334
9	35	-2.956	-0.167	35	9	2.957	-0.445
33	36	-10.181	-3.736	36	33	10.181	3.915
34	37	-8.860	-4.185	37	34	8.859	4.327
35	38	-9.809	-2.231	38	35	9.810	2.381

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.051	-1.945	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.051	-121.878	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.052	118.103	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.049	-2.295	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.049	-122.548	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.046	117.637	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.063	86.698	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.064	-33.138	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.067	-153.245	0.000	0.000	0.000	0.000
10	6	1.043	87.105	0.000	0.000	9.061	5.437
11	6	1.041	-33.067	0.000	0.000	9.031	5.419
12	6	1.041	-153.005	0.000	0.000	9.029	5.417
13	6	1.029	86.094	0.000	0.000	10.592	6.708
14	6	1.033	-33.485	0.000	0.000	10.674	6.760
15	6	1.036	-153.523	0.000	0.000	10.742	6.803
16	6	1.033	86.447	0.000	0.000	12.457	7.827
17	6	1.035	-33.450	0.000	0.000	12.494	7.851
18	6	1.036	-153.406	0.000	0.000	12.529	7.873
19	6	1.028	86.075	0.000	0.000	12.683	8.455
20	6	1.033	-33.538	0.000	0.000	10.667	6.400
21	6	1.036	-153.521	0.000	0.000	8.582	5.364
22	6	1.027	85.962	0.000	0.000	14.050	8.781
23	6	1.033	-33.510	0.000	0.000	14.229	8.893
24	6	1.036	-153.509	0.000	0.000	14.302	8.939
25	1	1.070	0.000	39.467	22.089	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.024	37.655	21.580	0.000	0.000
27	1	1.070	120.024	39.072	20.240	0.000	0.000
28	4	1.070	-0.683	18.582	13.551	0.000	0.000
29	4	1.071	-120.740	21.065	13.623	0.000	0.000
30	4	1.071	119.325	19.225	15.361	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	6	1.064	86.747	0.000	0.000	6.790	2.640
34	6	1.065	-33.109	0.000	0.000	6.799	2.644
35	6	1.067	-153.190	0.000	0.000	6.827	2.655
36	4	1.070	87.629	10.181	3.915	0.000	0.000
37	4	1.071	-32.356	9.052	3.992	0.000	0.000
38	4	1.071	-152.363	9.617	2.045	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	0.233	1.863	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	0.230	2.484	0.000	0.000	0.000	0.000
1	39	-15.365	-15.365	29	-4	20.658	17.045
2	39	-15.540	-15.540	29	5	20.723	17.045
3	39	-15.485	-15.485	30	0	20.518	17.217
33	33	-14.570	-14.570	35	32	14.570	12.885
34	33	-14.597	-14.472	37	31	14.597	12.844
35	33	-14.509	-12.443	38	29	14.509	12.885
19	23	-3.525	-3.742	22	14	3.525	0.814
20	23	-3.531	-3.812	23	21	3.531	0.814
21	24	-3.512	-3.762	24	22	3.512	0.809
7	33	-9.540	-10.530	33	7	9.540	8.645
8	34	-9.594	-10.593	34	8	9.594	10.180
9	35	-9.430	-10.550	35	9	9.430	10.111
40	45	-10.210	-4.152	45	40	-10.210	-5.754
41	47	-10.182	-4.902	47	41	-10.182	-5.881
42	48	-10.224	-4.281	48	42	-10.224	-5.843
43	49	-10.219	-4.153	49	43	-10.219	-5.784
44	50	-10.189	-4.208	50	44	-10.189	-5.811
45	51	-10.224	-4.231	51	45	-10.224	-5.839
52	56	-8.302	-3.181	56	52	-8.302	-3.343
53	57	-8.285	-3.211	57	53	-8.285	-3.404
54	58	-8.413	-3.242	58	54	-8.408	-3.435
55	59	-8.367	-3.181	59	55	-8.361	-3.353
56	60	-8.305	-3.211	60	56	-8.300	-3.402
57	61	-8.413	-3.242	61	57	-8.408	-3.435
64	70	-2.952	-0.295	70	64	-2.981	-0.379
65	71	-2.950	-0.292	71	65	-2.908	-0.371
66	72	-2.918	-0.290	72	66	-2.979	-0.370
67	73	-2.983	-0.297	73	67	-2.996	-0.376
68	74	-2.922	-0.293	74	68	-2.987	-0.374
69	75	-2.978	-0.299	75	69	-2.979	-0.370
76	80	-1.574	-1.177	80	76	-1.574	-0.370
77	81	-1.702	-1.148	81	77	-1.702	-0.370
78	84	-1.581	-1.133	84	78	-1.581	-0.370
79	85	-1.572	-1.177	85	79	-1.572	-0.370
80	86	-1.702	-1.137	86	80	-1.702	-0.370
81	87	-1.585	-1.131	87	81	-1.585	-0.370



Tablo D.3 Faz koordinatlarında 6-fazlı dengeli yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-50.771	-23.430	25	1	50.771	26.186
2	26	-50.753	-23.036	26	2	50.753	25.772
3	27	-51.046	-23.239	27	3	51.046	26.011
4	28	-29.658	-15.356	28	4	29.658	17.096
5	29	-29.723	-15.540	29	5	29.723	17.292
6	30	-29.518	-15.485	30	6	29.518	17.217
33	36	-14.670	-12.320	36	33	14.670	12.886
34	37	-14.697	-12.472	37	34	14.697	13.044
35	38	-14.509	-12.443	38	35	14.509	13.006
19	22	-3.635	-0.742	22	19	3.636	0.314
20	23	-3.651	-0.812	23	20	3.651	0.384
21	24	-3.583	-0.792	24	21	3.584	0.365
7	33	-8.649	-10.530	33	7	8.661	9.991
8	34	-8.684	-10.689	34	8	8.696	10.150
9	35	-8.499	-10.650	35	9	8.511	10.111
40	46	10.210	4.152	46	40	-10.198	-5.754
41	47	10.139	4.208	47	41	-10.127	-5.811
42	48	10.224	4.231	48	42	-10.212	-5.833
43	49	10.210	4.152	49	43	-10.199	-5.754
44	50	10.139	4.208	50	44	-10.127	-5.811
45	51	10.224	4.231	51	45	-10.212	-5.833
52	58	8.397	2.151	58	52	-8.391	-3.343
53	59	8.325	2.211	59	53	-8.320	-3.404
54	60	8.413	2.242	60	54	-8.408	-3.435
55	61	8.397	2.151	61	55	-8.391	-3.343
56	62	8.325	2.211	62	56	-8.320	-3.404
57	63	8.413	2.243	63	57	-8.408	-3.435
64	70	2.982	2.350	70	64	-2.981	-3.370
65	71	2.969	2.353	71	65	-2.968	-3.374
66	72	2.978	2.350	72	66	-2.977	-3.370
67	73	2.981	2.350	73	67	-2.980	-3.370
68	74	2.969	2.353	74	68	-2.968	-3.374
69	75	2.978	2.350	75	69	-2.977	-3.370
76	82	3.674	1.177	82	76	-3.674	-1.575
77	83	3.703	1.148	83	77	-3.703	-1.546
78	84	3.664	1.133	84	78	-3.663	-1.531
79	85	3.673	1.177	85	79	-3.673	-1.575
80	86	3.703	1.147	86	80	-3.702	-1.546
81	87	3.662	1.131	87	81	-3.662	-1.529

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
88	94	-2.843	-1.492	94	88	2.844	0.683
89	95	-2.878	-1.460	95	89	2.878	0.650
90	96	-2.831	-1.440	96	90	2.832	0.631
91	97	-2.844	-1.493	97	91	2.844	0.684
92	98	-2.878	-1.459	98	92	2.878	0.650
93	99	-2.831	-1.440	99	93	2.832	0.631

29	4	1.075	-0.245	29.038	17.000	0.000	0.000
30	4	1.071	-121.322	29.925	16.958	0.000	0.000
31	4	1.071	112.743	29.324	15.891	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.050	-3.945	0.000	0.000	0.000	0.000
34	3	1.051	-124.004	0.000	0.000	0.000	0.000
35	3	1.050	114.975	0.000	0.000	0.000	0.000
36	4	1.075	-0.245	14.925	17.000	0.000	0.000
37	4	1.075	-124.004	14.925	16.958	0.000	0.000
38	4	1.075	112.743	14.925	15.891	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.047	-2.509	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.048	-122.580	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.048	117.550	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.044	-2.850	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.045	-122.909	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.044	117.172	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.046	-4.056	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.047	-124.114	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.046	115.969	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.036	86.011	0.000	0.000	14.000	8.667
11	3	1.036	-33.917	0.000	0.000	14.000	8.667
12	3	1.036	-153.963	0.000	0.000	14.000	8.667
13	3	1.027	85.189	0.000	0.000	17.000	10.667
14	3	1.027	-34.742	0.000	0.000	17.000	10.667
15	3	1.027	-154.774	0.000	0.000	17.000	10.667
16	3	1.030	85.149	0.000	0.000	19.667	12.333
17	3	1.030	-34.781	0.000	0.000	19.667	12.333
18	3	1.030	-154.817	0.000	0.000	19.667	12.333
19	3	1.025	84.856	0.000	0.000	17.000	10.667
20	3	1.025	-35.073	0.000	0.000	17.000	10.667
21	3	1.025	-155.108	0.000	0.000	17.000	10.667

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
22	3	1.025	84.904	0.000	0.000	22.667	14.000
23	3	1.025	-35.025	0.000	0.000	22.667	14.000
24	3	1.025	-155.062	0.000	0.000	22.667	14.000
25	1	1.070	0.000	50.771	26.186	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.072	50.753	25.772	0.000	0.000
27	1	1.070	120.072	51.046	26.011	0.000	0.000
28	4	1.070	-0.265	29.658	17.096	0.000	0.000
29	4	1.071	-120.322	29.916	16.956	0.000	0.000
30	4	1.071	119.742	29.324	16.881	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.050	-3.946	0.000	0.000	6.000	2.333
34	3	1.051	-124.004	0.000	0.000	6.000	2.333
35	3	1.050	116.075	0.000	0.000	6.000	2.333
36	4	1.070	-2.675	14.670	12.886	0.000	0.000
37	4	1.071	-122.732	14.890	12.708	0.000	0.000
38	4	1.071	117.332	14.315	12.670	0.000	0.000
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	1.033	85.576	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	1.033	25.605	0.000	0.000	0.000	0.000
42	3	1.033	-34.353	0.000	0.000	0.000	0.000
43	3	1.033	-94.424	0.000	0.000	0.000	0.000
44	3	1.033	-154.396	0.000	0.000	0.000	0.000
45	3	1.033	145.647	0.000	0.000	0.000	0.000
46	3	1.029	85.347	0.000	0.000	0.000	0.000
47	3	1.030	25.378	0.000	0.000	0.000	0.000
48	3	1.030	-34.582	0.000	0.000	0.000	0.000
49	3	1.029	-94.654	0.000	0.000	0.000	0.000
50	3	1.030	-154.623	0.000	0.000	0.000	0.000
51	3	1.030	145.418	0.000	0.000	0.000	0.000
52	3	1.034	85.655	0.000	0.000	0.000	0.000
53	3	1.035	25.683	0.000	0.000	0.000	0.000
54	3	1.034	-34.275	0.000	0.000	0.000	0.000
55	3	1.034	-94.346	0.000	0.000	0.000	0.000
56	3	1.035	-154.317	0.000	0.000	0.000	0.000
57	3	1.034	145.725	0.000	0.000	0.000	0.000
58	3	1.033	85.510	0.000	0.000	0.000	0.000
59	3	1.033	25.541	0.000	0.000	0.000	0.000
60	3	1.033	-34.419	0.000	0.000	0.000	0.000
61	3	1.033	-94.490	0.000	0.000	0.000	0.000
62	3	1.033	-154.459	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
63	3	1.033	145.581	0.000	0.000	0.000	0.000
64	3	1.028	85.023	0.000	0.000	0.000	0.000
65	3	1.029	25.057	0.000	0.000	0.000	0.000
66	3	1.028	-34.906	0.000	0.000	0.000	0.000
67	3	1.028	-94.977	0.000	0.000	0.000	0.000
68	3	1.029	-154.943	0.000	0.000	0.000	0.000
69	3	1.028	145.093	0.000	0.000	0.000	0.000
70	3	1.027	84.986	0.000	0.000	0.000	0.000
71	3	1.028	25.020	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	1.027	-34.944	0.000	0.000	0.000	0.000
73	3	1.027	-95.015	0.000	0.000	0.000	0.000
74	3	1.028	-154.980	0.000	0.000	0.000	0.000
75	3	1.027	145.056	0.000	0.000	0.000	0.000
76	3	1.026	85.036	0.000	0.000	0.000	0.000
77	3	1.026	25.073	0.000	0.000	0.000	0.000
78	3	1.026	-34.894	0.000	0.000	0.000	0.000
79	3	1.026	-94.964	0.000	0.000	0.000	0.000
80	3	1.026	-154.927	0.000	0.000	0.000	0.000
81	3	1.026	145.106	0.000	0.000	0.000	0.000
82	3	1.026	85.015	0.000	0.000	0.000	0.000
83	3	1.026	25.051	0.000	0.000	0.000	0.000
84	3	1.026	-34.915	0.000	0.000	0.000	0.000
85	3	1.026	-94.985	0.000	0.000	0.000	0.000
86	3	1.026	-154.949	0.000	0.000	0.000	0.000
87	3	1.026	145.085	0.000	0.000	0.000	0.000
88	3	1.026	85.032	0.000	0.000	0.000	0.000
89	3	1.026	25.067	0.000	0.000	0.000	0.000
90	3	1.026	-34.898	0.000	0.000	0.000	0.000
91	3	1.026	-94.969	0.000	0.000	0.000	0.000
92	3	1.026	-154.933	0.000	0.000	0.000	0.000
93	3	1.026	145.102	0.000	0.000	0.000	0.000
94	3	1.026	85.064	0.000	0.000	0.000	0.000
95	3	1.027	25.101	0.000	0.000	0.000	0.000
96	3	1.027	-34.865	0.000	0.000	0.000	0.000
97	3	1.026	-94.936	0.000	0.000	0.000	0.000
98	3	1.027	-154.899	0.000	0.000	0.000	0.000
99	3	1.026	145.134	0.000	0.000	0.000	0.000



Tablo D.4 Faz koordinatlarında 6-fazlı dengesiz yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-61.031	-37.184	25	1	61.032	41.806
2	26	-57.233	-35.796	26	2	57.233	39.906
3	27	-60.815	-33.248	27	3	60.815	37.562
4	28	-36.766	-10.594	28	4	36.766	12.845
5	29	-24.682	-15.315	29	5	24.682	16.627
6	30	-27.432	-3.071	30	6	27.432	4.214
33	36	-14.735	-14.421	36	33	14.734	15.083
34	37	-13.626	-13.373	37	34	13.625	13.934
35	38	-15.509	-12.710	38	35	15.511	13.330
100	101	-0.274	-0.013	101	100	0.275	-0.003
20	23	-1.670	6.180	23	20	1.674	-6.580
21	24	-3.412	2.673	24	21	3.410	-3.086
7	33	-8.219	-12.391	33	7	8.234	11.867
8	34	-7.018	-11.286	34	8	7.030	10.745
9	35	-8.875	-10.676	35	9	8.887	10.139
40	46	10.527	1.934	46	40	-10.515	-3.565
41	47	9.840	4.630	47	41	-9.828	-6.235
42	48	12.454	3.737	48	42	-12.438	-5.314
43	49	10.526	1.935	49	43	-10.515	-3.565
44	50	9.840	4.630	50	44	-9.828	-6.234
45	51	12.455	3.737	51	45	-12.439	-5.314
52	58	11.880	8.509	58	52	-11.865	-9.717
53	59	10.910	6.991	59	53	-10.898	-8.209
54	60	10.014	8.467	60	54	-10.002	-9.673
55	61	11.879	8.508	61	55	-11.864	-9.716
56	62	10.911	6.990	62	56	-10.899	-8.207
57	63	10.016	8.467	63	57	-10.003	-9.673
64	70	4.557	6.688	70	64	-4.552	-7.724
65	71	2.677	7.769	71	65	-2.673	-8.801
66	72	4.526	8.740	72	66	-4.520	-9.750
67	73	4.556	6.686	73	67	-4.552	-7.723
68	74	2.678	7.769	74	68	-2.674	-8.800
69	75	4.528	8.741	75	69	-4.522	-9.751
76	82	5.237	0.609	82	76	-5.236	-1.015
77	83	5.002	-4.337	83	77	-5.001	3.937
78	84	0.754	-1.677	84	78	-0.754	1.277
79	85	5.234	0.605	85	79	-5.233	-1.012
80	86	4.997	-4.338	86	80	-4.997	3.939
81	87	0.753	-1.676	87	81	-0.753	1.276

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
88	94	-1.066	-1.957	94	88	1.067	1.130
89	95	-2.841	-0.923	95	89	2.842	0.114
90	96	-1.052	0.137	96	90	1.053	-0.945
91	97	-1.066	-1.957	97	91	1.066	1.131
92	98	-2.841	-0.923	98	92	2.842	0.114
93	99	-1.053	0.138	99	93	1.053	-0.946

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.034	-3.057	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.035	-122.886	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.038	116.990	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.051	86.810	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.045	-32.137	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.065	-152.343	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.042	-5.172	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.045	-125.107	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.046	114.761	0.000	0.000	0.000	0.000
10	6	1.021	85.374	0.000	0.000	14.581	9.026
11	6	1.018	-34.887	0.000	0.000	14.514	8.985
12	6	1.015	-154.651	0.000	0.000	14.411	8.922
13	6	1.051	82.187	0.000	0.000	18.769	11.777
14	6	1.031	-33.348	0.000	0.000	18.085	11.348
15	6	0.946	-156.330	0.000	0.000	15.216	9.547
16	6	1.027	84.067	0.000	0.000	24.885	15.606
17	6	1.029	-36.134	0.000	0.000	20.823	13.058
18	6	1.025	-155.446	0.000	0.000	16.527	10.363
19	6	1.023	84.199	0.000	0.000	21.342	13.391
20	6	1.001	-36.444	0.000	0.000	17.044	10.694
21	6	1.010	-156.485	0.000	0.000	13.866	8.700
22	6	1.016	84.909	0.000	0.000	23.377	14.438
23	6	1.000	-36.384	0.000	0.000	22.651	13.990
24	6	1.009	-156.444	0.000	0.000	23.079	14.254
25	1	1.070	0.000	61.032	41.806	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.024	57.233	39.906	0.000	0.000
27	1	1.070	120.024	60.815	37.562	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
28	4	1.070	90.065	36.766	12.845	0.000	0.000
29	4	1.071	-29.992	24.876	16.292	0.000	0.000
30	4	1.071	-149.999	27.238	3.878	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	6	1.046	-5.078	0.000	0.000	6.568	2.554
34	6	1.049	-125.029	0.000	0.000	6.606	2.569
35	6	1.050	114.877	0.000	0.000	6.610	2.570
36	4	1.070	-3.792	14.734	15.083	0.000	0.000
37	4	1.071	-123.849	13.819	13.598	0.000	0.000
38	4	1.071	116.216	15.317	12.994	0.000	0.000
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	1.019	114.771	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	1.014	55.015	0.000	0.000	0.000	0.000
42	3	1.012	-5.392	0.000	0.000	0.000	0.000
43	3	1.019	-65.229	0.000	0.000	0.000	0.000
44	3	1.014	-124.988	0.000	0.000	0.000	0.000
45	3	1.012	174.605	0.000	0.000	0.000	0.000
46	3	1.017	114.516	0.000	0.000	0.000	0.000
47	3	1.010	54.790	0.000	0.000	0.000	0.000
48	3	1.009	-5.691	0.000	0.000	0.000	0.000
49	3	1.017	-65.484	0.000	0.000	0.000	0.000
50	3	1.010	-125.213	0.000	0.000	0.000	0.000
51	3	1.009	174.306	0.000	0.000	0.000	0.000
52	3	1.041	114.733	0.000	0.000	0.000	0.000
53	3	1.038	54.989	0.000	0.000	0.000	0.000
54	3	1.034	-5.265	0.000	0.000	0.000	0.000
55	3	1.040	-65.268	0.000	0.000	0.000	0.000
56	3	1.038	-125.016	0.000	0.000	0.000	0.000
57	3	1.034	174.732	0.000	0.000	0.000	0.000
58	3	1.037	114.551	0.000	0.000	0.000	0.000
59	3	1.035	54.818	0.000	0.000	0.000	0.000
60	3	1.031	-5.414	0.000	0.000	0.000	0.000
61	3	1.037	-65.450	0.000	0.000	0.000	0.000
62	3	1.035	-125.166	0.000	0.000	0.000	0.000
63	3	1.031	174.582	0.000	0.000	0.000	0.000
64	3	1.024	113.824	0.000	0.000	0.000	0.000
65	3	1.022	54.215	0.000	0.000	0.000	0.000
66	3	1.016	-6.071	0.000	0.000	0.000	0.000
67	3	1.024	-66.178	0.000	0.000	0.000	0.000
68	3	1.022	-125.791	0.000	0.000	0.000	0.000
69	3	1.016	173.924	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
70	3	1.022	113.775	0.000	0.000	0.000	0.000
71	3	1.020	54.200	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	1.013	-6.113	0.000	0.000	0.000	0.000
73	3	1.022	-66.226	0.000	0.000	0.000	0.000
74	3	1.020	-125.806	0.000	0.000	0.000	0.000
75	3	1.013	173.882	0.000	0.000	0.000	0.000
76	3	1.017	113.850	0.000	0.000	0.000	0.000
77	3	1.009	54.356	0.000	0.000	0.000	0.000
78	3	1.004	-6.261	0.000	0.000	0.000	0.000
79	3	1.016	-66.153	0.000	0.000	0.000	0.000
80	3	1.009	-125.660	0.000	0.000	0.000	0.000
81	3	1.004	173.727	0.000	0.000	0.000	0.000
82	3	1.016	113.817	0.000	0.000	0.000	0.000
83	3	1.010	54.318	0.000	0.000	0.000	0.000
84	3	1.004	-6.268	0.000	0.000	0.000	0.000
85	3	1.016	-66.186	0.000	0.000	0.000	0.000
86	3	1.009	-125.698	0.000	0.000	0.000	0.000
87	3	1.005	173.720	0.000	0.000	0.000	0.000
88	3	1.016	114.074	0.000	0.000	0.000	0.000
89	3	1.006	54.457	0.000	0.000	0.000	0.000
90	3	1.004	-6.233	0.000	0.000	0.000	0.000
91	3	1.016	-66.927	0.000	0.000	0.000	0.000
92	3	1.006	-125.550	0.000	0.000	0.000	0.000
93	3	1.004	173.761	0.000	0.000	0.000	0.000
94	3	1.016	114.083	0.000	0.000	0.000	0.000
95	3	1.006	54.492	0.000	0.000	0.000	0.000
96	3	1.004	-6.218	0.000	0.000	0.000	0.000
97	3	1.016	-66.918	0.000	0.000	0.000	0.000
98	3	1.006	-125.514	0.000	0.000	0.000	0.000
99	3	1.004	173.776	0.000	0.000	0.000	0.000
100	3	0.214	0.668	0.000	0.000	0.000	0.000
101	3	0.214	0.777	0.000	0.000	0.000	0.000



Tablo D.5 Faz koordinatlarında 12-fazlı dengeli yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-56.137	-27.311	25	1	56.136	30.772
2	26	-56.367	-30.754	26	2	56.367	34.440
3	27	-53.074	-29.500	27	3	53.074	32.787
4	28	-70.700	-15.534	28	4	70.700	23.797
5	29	-70.603	-17.646	29	5	70.603	26.056
6	30	-68.696	-16.912	30	6	68.696	24.835
33	36	-50.405	-15.248	36	33	50.403	19.592
34	37	-50.523	-16.781	37	34	50.522	21.238
35	38	-49.072	-16.164	38	35	49.074	20.356
19	22	0.473	-2.124	22	19	-0.480	1.714
20	23	0.441	-2.513	23	20	-0.439	2.036
21	24	0.676	-2.376	24	21	-0.670	1.982
7	33	-34.324	-8.423	33	7	34.409	8.221
8	34	-34.415	-9.942	34	8	34.502	9.757
9	35	-32.988	-9.369	35	9	33.067	9.147
40	52	6.603	2.358	52	40	-6.598	-3.969
41	53	4.555	2.628	53	41	-4.552	-4.248
42	54	7.550	2.343	54	42	-7.544	-3.941
43	55	5.279	2.755	55	43	-5.275	-4.365
44	56	7.134	1.524	56	44	-7.129	-3.145
45	57	5.081	2.069	57	45	-5.078	-3.701
46	58	6.603	2.358	58	46	-6.598	-3.969
47	59	4.555	2.628	59	47	-4.552	-4.248
48	60	7.550	2.343	60	48	-7.544	-3.941
49	61	5.279	2.755	61	49	-5.275	-4.365
50	62	7.134	1.524	62	50	-7.128	-3.145
51	63	5.081	2.069	63	51	-5.078	-3.701
64	76	4.191	1.882	76	64	-4.189	-3.071
65	77	2.742	1.945	77	65	-2.741	-3.138
66	78	4.440	1.885	78	66	-4.439	-3.069
67	79	2.926	1.979	79	67	-2.925	-3.166
68	80	4.360	1.668	80	68	-4.359	-2.864
69	81	2.894	1.809	81	69	-2.893	-3.009
70	82	4.191	1.881	82	70	-4.189	-3.070
71	83	2.742	1.945	83	71	-2.741	-3.137
72	84	4.441	1.885	84	72	-4.439	-3.069
73	85	2.926	1.979	85	73	-2.925	-3.166
74	86	4.361	1.668	86	74	-4.359	-2.864
75	87	2.894	1.809	87	75	-2.893	-3.009

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
88	100	3.011	0.917	100	88	-3.011	-1.925
89	101	2.008	1.066	101	89	-2.007	-2.075
90	102	3.779	0.886	102	90	-3.778	-1.887
91	103	2.577	1.159	103	91	-2.577	-2.162
92	104	3.402	0.229	104	92	-3.402	-1.244
93	105	2.397	0.620	105	93	-2.397	-1.637
94	106	3.011	0.916	106	94	-3.010	-1.923
95	107	2.008	1.067	107	95	-2.008	-2.076
96	108	3.779	0.886	108	96	-3.778	-1.887
97	109	2.577	1.158	109	97	-2.577	-2.162
98	110	3.403	0.229	110	98	-3.402	-1.244
99	111	2.397	0.620	111	99	-2.397	-1.637
112	124	-5.857	0.968	124	112	5.858	-1.359
113	125	-4.285	-0.301	125	113	4.286	-0.092
114	126	-6.155	0.929	126	114	6.156	-1.317
115	127	-4.497	-0.416	127	115	4.497	0.025
116	128	-6.099	1.242	128	116	6.100	-1.636
117	129	-4.538	-0.162	129	117	4.538	-0.234
118	130	-5.857	0.970	130	118	5.858	-1.361
119	131	-4.285	-0.300	131	119	4.286	-0.093
120	132	-6.156	0.927	132	120	6.157	-1.315
121	133	-4.495	-0.415	133	121	4.495	0.024
122	134	-6.100	1.242	134	122	6.100	-1.635
123	135	-4.535	-0.161	135	123	4.536	-0.235
136	148	-5.421	0.876	148	136	5.422	-1.672
137	149	-4.131	-0.334	149	137	4.132	-0.463
138	150	-5.760	0.908	150	138	5.761	-1.697
139	151	-4.385	-0.383	151	139	4.386	-0.410
140	152	-5.619	1.219	152	140	5.620	-2.019
141	153	-4.347	-0.124	153	141	4.347	-0.679
142	154	-5.422	0.878	154	142	5.423	-1.672
143	155	-4.131	-0.334	155	143	4.132	-0.463
144	156	-5.760	0.907	156	144	5.762	-1.697
145	157	-4.385	-0.384	157	145	4.386	-0.409
146	158	-5.619	1.219	158	146	5.620	-2.019
147	159	-4.346	-0.125	159	147	4.347	-0.678

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.043	-2.786	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.040	-122.830	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.041	117.386	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.038	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.035	-119.964	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.036	120.263	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.037	-1.717	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.034	-121.758	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.035	118.445	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.024	85.708	0.000	0.000	25.000	10.000
11	3	1.029	-34.206	0.000	0.000	25.000	10.000
12	3	1.028	-154.492	0.000	0.000	25.000	10.000
13	3	1.017	85.604	0.000	0.000	35.000	12.000
14	3	1.023	-34.296	0.000	0.000	35.000	12.000
15	3	1.021	-154.630	0.000	0.000	35.000	12.000
16	3	1.019	85.415	0.000	0.000	35.000	16.000
17	3	1.025	-34.493	0.000	0.000	35.000	16.000
18	3	1.023	-154.789	0.000	0.000	35.000	16.000
19	3	1.000	81.605	0.000	0.000	25.000	13.000
20	3	1.086	-33.869	0.000	0.000	25.000	13.000
21	3	0.976	-152.336	0.000	0.000	25.000	13.000
22	3	1.001	81.593	0.000	0.000	35.000	16.000
23	3	1.086	-33.882	0.000	0.000	35.000	16.000
24	3	0.976	-152.353	0.000	0.000	35.000	16.000
25	1	1.070	0.000	56.136	30.772	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.024	56.367	34.440	0.000	0.000
27	1	1.070	120.024	53.074	32.787	0.000	0.000
28	4	1.070	6.282	70.700	23.797	0.000	0.000
29	4	1.070	-113.743	70.603	26.056	0.000	0.000
30	4	1.070	126.306	68.696	24.835	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.042	-1.148	0.000	0.000	16.000	7.000
34	3	1.039	-121.190	0.000	0.000	16.000	7.000
35	3	1.041	118.989	0.000	0.000	16.000	7.000
36	4	1.070	3.260	50.403	19.592	0.000	0.000
37	4	1.070	-116.764	50.522	21.238	0.000	0.000
38	4	1.070	123.284	49.074	20.356	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	1.025	145.680	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	1.025	115.672	0.000	0.000	0.000	0.000
42	3	1.022	85.336	0.000	0.000	0.000	0.000
43	3	1.023	55.325	0.000	0.000	0.000	0.000
44	3	1.026	25.407	0.000	0.000	0.000	0.000
45	3	1.026	-4.602	0.000	0.000	0.000	0.000
46	3	1.025	-34.321	0.000	0.000	0.000	0.000
47	3	1.025	-64.328	0.000	0.000	0.000	0.000
48	3	1.022	-94.664	0.000	0.000	0.000	0.000
49	3	1.023	-124.675	0.000	0.000	0.000	0.000
50	3	1.026	-154.592	0.000	0.000	0.000	0.000
51	3	1.026	175.399	0.000	0.000	0.000	0.000
52	3	1.022	145.530	0.000	0.000	0.000	0.000
53	3	1.023	115.575	0.000	0.000	0.000	0.000
54	3	1.020	85.161	0.000	0.000	0.000	0.000
55	3	1.021	55.209	0.000	0.000	0.000	0.000
56	3	1.026	25.240	0.000	0.000	0.000	0.000
57	3	1.027	-4.715	0.000	0.000	0.000	0.000
58	3	1.022	-34.471	0.000	0.000	0.000	0.000
59	3	1.023	-64.426	0.000	0.000	0.000	0.000
60	3	1.020	-94.839	0.000	0.000	0.000	0.000
61	3	1.021	-124.790	0.000	0.000	0.000	0.000
62	3	1.026	-154.760	0.000	0.000	0.000	0.000
63	3	1.027	175.287	0.000	0.000	0.000	0.000
64	3	1.025	145.748	0.000	0.000	0.000	0.000
65	3	1.025	115.751	0.000	0.000	0.000	0.000
66	3	1.023	85.426	0.000	0.000	0.000	0.000
67	3	1.023	55.427	0.000	0.000	0.000	0.000
68	3	1.028	25.490	0.000	0.000	0.000	0.000
69	3	1.029	-4.508	0.000	0.000	0.000	0.000
70	3	1.025	-34.253	0.000	0.000	0.000	0.000
71	3	1.025	-64.250	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	1.023	-94.575	0.000	0.000	0.000	0.000
73	3	1.023	-124.572	0.000	0.000	0.000	0.000
74	3	1.028	-154.510	0.000	0.000	0.000	0.000
75	3	1.029	175.494	0.000	0.000	0.000	0.000
76	3	1.024	145.679	0.000	0.000	0.000	0.000
77	3	1.024	115.710	0.000	0.000	0.000	0.000
78	3	1.022	85.352	0.000	0.000	0.000	0.000
79	3	1.022	55.363	0.000	0.000	0.000	0.000
80	3	1.027	25.417	0.000	0.000	0.000	0.000
81	3	1.028	-4.552	0.000	0.000	0.000	0.000
82	3	1.024	-34.322	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
83	3	1.024	-64.291	0.000	0.000	0.000	0.000
84	3	1.022	-94.649	0.000	0.000	0.000	0.000
85	3	1.022	-124.617	0.000	0.000	0.000	0.000
86	3	1.027	-154.582	0.000	0.000	0.000	0.000
87	3	1.028	175.449	0.000	0.000	0.000	0.000
88	3	1.021	145.494	0.000	0.000	0.000	0.000
89	3	1.021	115.502	0.000	0.000	0.000	0.000
90	3	1.019	85.136	0.000	0.000	0.000	0.000
91	3	1.019	55.141	0.000	0.000	0.000	0.000
92	3	1.025	25.208	0.000	0.000	0.000	0.000
93	3	1.025	-4.785	0.000	0.000	0.000	0.000
94	3	1.021	-34.508	0.000	0.000	0.000	0.000
95	3	1.021	-64.499	0.000	0.000	0.000	0.000
96	3	1.019	-94.865	0.000	0.000	0.000	0.000
97	3	1.019	-124.858	0.000	0.000	0.000	0.000
98	3	1.025	-154.791	0.000	0.000	0.000	0.000
99	3	1.025	175.217	0.000	0.000	0.000	0.000
100	3	1.020	145.451	0.000	0.000	0.000	0.000
101	3	1.021	115.475	0.000	0.000	0.000	0.000
102	3	1.018	85.080	0.000	0.000	0.000	0.000
103	3	1.018	55.106	0.000	0.000	0.000	0.000
104	3	1.024	25.157	0.000	0.000	0.000	0.000
105	3	1.024	-4.819	0.000	0.000	0.000	0.000
106	3	1.020	-34.551	0.000	0.000	0.000	0.000
107	3	1.021	-64.526	0.000	0.000	0.000	0.000
108	3	1.018	-94.920	0.000	0.000	0.000	0.000
109	3	1.018	-124.893	0.000	0.000	0.000	0.000
110	3	1.024	-154.842	0.000	0.000	0.000	0.000
111	3	1.024	175.183	0.000	0.000	0.000	0.000
112	3	1.020	145.555	0.000	0.000	0.000	0.000
113	3	1.020	115.575	0.000	0.000	0.000	0.000
114	3	1.017	85.173	0.000	0.000	0.000	0.000
115	3	1.017	55.191	0.000	0.000	0.000	0.000
116	3	1.023	25.248	0.000	0.000	0.000	0.000
117	3	1.024	-4.734	0.000	0.000	0.000	0.000
118	3	1.020	-34.449	0.000	0.000	0.000	0.000
119	3	1.020	-64.428	0.000	0.000	0.000	0.000
120	3	1.017	-94.829	0.000	0.000	0.000	0.000
121	3	1.017	-124.807	0.000	0.000	0.000	0.000
122	3	1.024	-154.749	0.000	0.000	0.000	0.000
123	3	1.024	175.272	0.000	0.000	0.000	0.000
124	3	1.020	145.594	0.000	0.000	0.000	0.000
125	3	1.020	115.603	0.000	0.000	0.000	0.000
126	3	1.017	85.214	0.000	0.000	0.000	0.000
127	3	1.017	55.219	0.000	0.000	0.000	0.000
128	3	1.023	25.289	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
129	3	1.024	-4.705	0.000	0.000	0.000	0.000
130	3	1.020	-34.410	0.000	0.000	0.000	0.000
131	3	1.020	-64.401	0.000	0.000	0.000	0.000
132	3	1.017	-94.788	0.000	0.000	0.000	0.000
133	3	1.017	-124.778	0.000	0.000	0.000	0.000
134	3	1.024	-154.709	0.000	0.000	0.000	0.000
135	3	1.024	175.301	0.000	0.000	0.000	0.000
136	3	1.020	145.532	0.000	0.000	0.000	0.000
137	3	1.020	115.557	0.000	0.000	0.000	0.000
138	3	1.018	85.146	0.000	0.000	0.000	0.000
139	3	1.018	55.171	0.000	0.000	0.000	0.000
140	3	1.024	25.226	0.000	0.000	0.000	0.000
141	3	1.024	-4.750	0.000	0.000	0.000	0.000
142	3	1.020	-34.470	0.000	0.000	0.000	0.000
143	3	1.020	-64.445	0.000	0.000	0.000	0.000
144	3	1.018	-94.855	0.000	0.000	0.000	0.000
145	3	1.018	-124.828	0.000	0.000	0.000	0.000
146	3	1.024	-154.773	0.000	0.000	0.000	0.000
147	3	1.024	175.253	0.000	0.000	0.000	0.000
148	3	1.020	145.604	0.000	0.000	0.000	0.000
149	3	1.020	115.610	0.000	0.000	0.000	0.000
150	3	1.018	85.223	0.000	0.000	0.000	0.000
151	3	1.018	55.227	0.000	0.000	0.000	0.000
152	3	1.024	25.301	0.000	0.000	0.000	0.000
153	3	1.024	-4.694	0.000	0.000	0.000	0.000
154	3	1.020	-34.398	0.000	0.000	0.000	0.000
155	3	1.020	-64.392	0.000	0.000	0.000	0.000
156	3	1.018	-94.777	0.000	0.000	0.000	0.000
157	3	1.018	-124.772	0.000	0.000	0.000	0.000
158	3	1.024	-154.697	0.000	0.000	0.000	0.000
159	3	1.024	175.309	0.000	0.000	0.000	0.000



Tablo D.6 Faz koordinatlarında 12-fazlı dengesiz yük akış analizi verileri

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
1	25	-53.060	-24.095	25	1	53.060	27.093
2	26	-57.577	-25.919	26	2	57.577	29.451
3	27	-53.279	-28.901	27	3	53.279	32.173
4	28	-69.443	-22.161	28	4	69.443	30.723
5	29	-71.677	-23.455	29	5	71.677	32.668
6	30	-68.879	-24.902	30	6	68.879	33.625
33	36	-49.104	-13.807	36	33	49.105	17.863
34	37	-51.455	-14.521	37	34	51.453	18.987
35	38	-49.441	-16.164	38	35	49.442	20.411
160	161	0.015	-0.012	161	160	-0.015	-0.003
20	23	0.037	-2.648	23	20	-0.035	2.166
21	24	1.740	-1.380	24	21	-1.733	0.978
7	33	-33.036	-7.034	33	7	33.113	6.794
8	34	-35.356	-7.693	34	8	35.444	7.508
9	35	-33.356	-9.369	35	9	33.437	9.155
40	52	6.376	1.467	52	40	-6.372	-3.086
41	53	4.511	1.906	53	41	-4.509	-3.533
42	54	7.260	1.215	54	42	-7.255	-2.843
43	55	5.219	1.841	55	43	-5.216	-3.480
44	56	6.662	0.635	56	44	-6.658	-2.279
45	57	4.849	1.313	57	45	-4.846	-2.966
46	58	6.376	1.467	58	46	-6.372	-3.086
47	59	4.512	1.906	59	47	-4.509	-3.534
48	60	7.260	1.215	60	48	-7.255	-2.843
49	61	5.219	1.842	61	49	-5.216	-3.480
50	62	6.662	0.635	62	50	-6.658	-2.278
51	63	4.849	1.314	63	51	-4.846	-2.966
64	76	4.460	2.348	76	64	-4.458	-3.537
65	77	2.858	2.324	77	65	-2.857	-3.517
66	78	4.675	1.149	78	66	-4.673	-2.351
67	79	3.206	1.456	79	67	-3.205	-2.662
68	80	3.557	1.614	80	68	-3.556	-2.824
69	81	2.294	1.631	81	69	-2.293	-2.845
70	82	4.460	2.347	82	70	-4.458	-3.536
71	83	2.858	2.324	83	71	-2.857	-3.517
72	84	4.675	1.149	84	72	-4.673	-2.351
73	85	3.206	1.457	85	73	-3.205	-2.662
74	86	3.558	1.614	86	74	-3.557	-2.824
75	87	2.294	1.630	87	75	-2.293	-2.843
88	100	2.322	0.083	100	88	-2.322	-1.094
89	101	1.623	0.326	101	89	-1.623	-1.337

Bara dan	Bara ya	MW	Mvar	Bara dan	Bara ya	MW	Mvar
90	102	3.668	0.688	102	90	-3.667	-1.706
91	103	2.509	0.978	103	91	-2.509	-1.999
92	104	3.555	-0.751	104	92	-3.554	-0.275
93	105	2.656	-0.090	105	93	-2.656	-0.938
94	106	2.322	0.084	106	94	-2.322	-1.094
95	107	1.623	0.326	107	95	-1.623	-1.337
96	108	3.667	0.687	108	96	-3.667	-1.705
97	109	2.510	0.980	109	97	-2.509	-2.000
98	110	3.555	-0.752	110	98	-3.554	-0.274
99	111	2.656	-0.091	111	99	-2.656	-0.937
112	124	-6.213	-0.783	124	112	6.213	0.390
113	125	-4.269	-1.646	125	113	4.269	1.251
114	126	-6.875	-0.237	126	114	6.876	-0.158
115	127	-4.849	-1.404	127	115	4.850	1.006
116	128	-6.149	0.010	128	116	6.150	-0.409
117	129	-4.395	-1.072	129	117	4.395	0.671
118	130	-6.213	-0.783	130	118	6.214	0.390
119	131	-4.267	-1.646	131	119	4.267	1.252
120	132	-6.875	-0.238	132	120	6.876	-0.157
121	133	-4.848	-1.403	133	121	4.848	1.005
122	134	-6.149	0.011	134	122	6.150	-0.410
123	135	-4.394	-1.071	135	123	4.394	0.670
136	148	-5.871	0.075	148	136	5.873	-0.872
137	149	-4.340	-1.013	149	137	4.341	0.212
138	150	-5.888	0.276	150	138	5.889	-1.080
139	151	-4.395	-0.882	151	139	4.396	0.075
140	152	-5.775	0.151	152	140	5.776	-0.962
141	153	-4.299	-0.942	153	141	4.300	0.128
142	154	-5.871	0.075	154	142	5.872	-0.872
143	155	-4.340	-1.014	155	143	4.341	0.212
144	156	-5.887	0.277	156	144	5.889	-1.081
145	157	-4.395	-0.883	157	145	4.396	0.075
146	158	-5.775	0.151	158	146	5.776	-0.962
147	159	-4.299	-0.942	159	147	4.300	0.128



Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
1	3	1.047	-2.625	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	1.045	-122.878	0.000	0.000	0.000	0.000
3	3	1.042	117.377	0.000	0.000	0.000	0.000
4	3	1.027	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000
5	3	1.024	-120.074	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3	1.022	120.213	0.000	0.000	0.000	0.000
7	3	1.040	-1.529	0.000	0.000	0.000	0.000
8	3	1.038	-121.803	0.000	0.000	0.000	0.000
9	3	1.035	118.451	0.000	0.000	0.000	0.000
10	3	1.028	85.569	0.000	0.000	25.000	10.000
11	3	1.031	-34.019	0.000	0.000	25.000	10.000
12	3	1.035	-154.356	0.000	0.000	25.000	10.000
13	3	1.023	85.472	0.000	0.000	35.000	12.000
14	3	1.027	-34.092	0.000	0.000	35.000	12.000
15	3	1.031	-154.490	0.000	0.000	35.000	12.000
16	3	1.017	85.000	0.000	0.000	42.000	19.200
17	3	1.032	-34.431	0.000	0.000	35.000	16.000
18	3	1.031	-154.234	0.000	0.000	28.000	12.800
19	3	0.999	81.175	0.000	0.000	25.000	13.000
20	3	1.096	-33.819	0.000	0.000	25.000	13.000
21	3	0.985	-151.759	0.000	0.000	25.000	13.000
22	3	1.001	81.175	0.000	0.000	35.000	16.000
23	3	1.096	-33.827	0.000	0.000	35.000	16.000
24	3	0.985	-151.788	0.000	0.000	35.000	16.000
25	1	1.070	0.000	53.060	27.093	0.000	0.000
26	1	1.070	-120.024	57.577	29.451	0.000	0.000
27	1	1.070	120.024	53.279	32.173	0.000	0.000
28	4	1.070	6.330	69.443	30.723	0.000	0.000
29	4	1.070	-113.694	71.677	32.668	0.000	0.000
30	4	1.070	126.354	68.879	33.625	0.000	0.000
31	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	3	1.045	-0.980	0.000	0.000	16.000	7.000
34	3	1.043	-121.215	0.000	0.000	16.000	7.000
35	3	1.041	119.001	0.000	0.000	16.000	7.000
36	4	1.070	3.303	49.105	17.863	0.000	0.000
37	4	1.070	-116.721	51.453	18.987	0.000	0.000
38	4	1.070	123.327	49.442	20.411	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
39	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	3	1.026	145.668	0.000	0.000	0.000	0.000
41	3	1.026	115.662	0.000	0.000	0.000	0.000
42	3	1.030	85.275	0.000	0.000	0.000	0.000
43	3	1.030	55.266	0.000	0.000	0.000	0.000
44	3	1.033	25.676	0.000	0.000	0.000	0.000
45	3	1.034	-4.330	0.000	0.000	0.000	0.000
46	3	1.026	-34.332	0.000	0.000	0.000	0.000
47	3	1.026	-64.338	0.000	0.000	0.000	0.000
48	3	1.030	-94.725	0.000	0.000	0.000	0.000
49	3	1.030	-124.734	0.000	0.000	0.000	0.000
50	3	1.033	-154.324	0.000	0.000	0.000	0.000
51	3	1.034	175.671	0.000	0.000	0.000	0.000
52	3	1.024	145.519	0.000	0.000	0.000	0.000
53	3	1.024	115.562	0.000	0.000	0.000	0.000
54	3	1.029	85.104	0.000	0.000	0.000	0.000
55	3	1.029	55.149	0.000	0.000	0.000	0.000
56	3	1.032	25.518	0.000	0.000	0.000	0.000
57	3	1.032	-4.439	0.000	0.000	0.000	0.000
58	3	1.024	-34.481	0.000	0.000	0.000	0.000
59	3	1.024	-64.438	0.000	0.000	0.000	0.000
60	3	1.029	-94.896	0.000	0.000	0.000	0.000
61	3	1.029	-124.851	0.000	0.000	0.000	0.000
62	3	1.032	-154.482	0.000	0.000	0.000	0.000
63	3	1.032	175.561	0.000	0.000	0.000	0.000
64	3	1.026	145.732	0.000	0.000	0.000	0.000
65	3	1.026	115.734	0.000	0.000	0.000	0.000
66	3	1.031	85.351	0.000	0.000	0.000	0.000
67	3	1.031	55.353	0.000	0.000	0.000	0.000
68	3	1.033	25.774	0.000	0.000	0.000	0.000
69	3	1.033	-4.221	0.000	0.000	0.000	0.000
70	3	1.026	-34.269	0.000	0.000	0.000	0.000
71	3	1.026	-64.267	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	1.031	-94.650	0.000	0.000	0.000	0.000
73	3	1.031	-124.647	0.000	0.000	0.000	0.000
74	3	1.033	-154.226	0.000	0.000	0.000	0.000
75	3	1.033	175.780	0.000	0.000	0.000	0.000
76	3	1.024	145.660	0.000	0.000	0.000	0.000
77	3	1.025	115.692	0.000	0.000	0.000	0.000
78	3	1.030	85.271	0.000	0.000	0.000	0.000
79	3	1.030	55.301	0.000	0.000	0.000	0.000
80	3	1.032	25.717	0.000	0.000	0.000	0.000
81	3	1.033	-4.254	0.000	0.000	0.000	0.000
82	3	1.024	-34.341	0.000	0.000	0.000	0.000
83	3	1.025	-64.309	0.000	0.000	0.000	0.000
84	3	1.030	-94.730	0.000	0.000	0.000	0.000
85	3	1.030	-124.699	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Üretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
86	3	1.032	-154.283	0.000	0.000	0.000	0.000
87	3	1.033	175.746	0.000	0.000	0.000	0.000
88	3	1.022	145.484	0.000	0.000	0.000	0.000
89	3	1.022	115.495	0.000	0.000	0.000	0.000
90	3	1.027	85.047	0.000	0.000	0.000	0.000
91	3	1.027	55.053	0.000	0.000	0.000	0.000
92	3	1.030	25.521	0.000	0.000	0.000	0.000
93	3	1.030	-4.471	0.000	0.000	0.000	0.000
94	3	1.022	-34.516	0.000	0.000	0.000	0.000
95	3	1.022	-64.506	0.000	0.000	0.000	0.000
96	3	1.027	-94.953	0.000	0.000	0.000	0.000
97	3	1.027	-124.947	0.000	0.000	0.000	0.000
98	3	1.030	-154.479	0.000	0.000	0.000	0.000
99	3	1.030	175.530	0.000	0.000	0.000	0.000
100	3	1.021	145.449	0.000	0.000	0.000	0.000
101	3	1.021	115.472	0.000	0.000	0.000	0.000
102	3	1.026	84.993	0.000	0.000	0.000	0.000
103	3	1.026	55.018	0.000	0.000	0.000	0.000
104	3	1.030	25.465	0.000	0.000	0.000	0.000
105	3	1.030	-4.511	0.000	0.000	0.000	0.000
106	3	1.021	-34.551	0.000	0.000	0.000	0.000
107	3	1.021	-64.529	0.000	0.000	0.000	0.000
108	3	1.026	-95.007	0.000	0.000	0.000	0.000
109	3	1.026	-124.982	0.000	0.000	0.000	0.000
110	3	1.030	-154.535	0.000	0.000	0.000	0.000
111	3	1.030	175.489	0.000	0.000	0.000	0.000
112	3	1.022	145.565	0.000	0.000	0.000	0.000
113	3	1.022	115.586	0.000	0.000	0.000	0.000
114	3	1.026	85.098	0.000	0.000	0.000	0.000
115	3	1.026	55.117	0.000	0.000	0.000	0.000
116	3	1.030	25.536	0.000	0.000	0.000	0.000
117	3	1.030	-4.445	0.000	0.000	0.000	0.000
118	3	1.022	-34.436	0.000	0.000	0.000	0.000
119	3	1.022	-64.416	0.000	0.000	0.000	0.000
120	3	1.026	-94.903	0.000	0.000	0.000	0.000
121	3	1.026	-124.883	0.000	0.000	0.000	0.000
122	3	1.030	-154.464	0.000	0.000	0.000	0.000
123	3	1.030	175.556	0.000	0.000	0.000	0.000
124	3	1.022	145.604	0.000	0.000	0.000	0.000
125	3	1.022	115.611	0.000	0.000	0.000	0.000
126	3	1.026	85.141	0.000	0.000	0.000	0.000
127	3	1.026	55.146	0.000	0.000	0.000	0.000
128	3	1.031	25.575	0.000	0.000	0.000	0.000
129	3	1.031	-4.419	0.000	0.000	0.000	0.000
130	3	1.022	-34.397	0.000	0.000	0.000	0.000

Bara	Tip	Gerilim	Açı	Uretim		Yük	
				MW	Mvar	MW	Mvar
131	3	1.022	-84.391	0.000	0.000	0.000	0.000
132	3	1.026	-94.860	0.000	0.000	0.000	0.000
133	3	1.026	-124.854	0.000	0.000	0.000	0.000
134	3	1.031	-154.425	0.000	0.000	0.000	0.000
135	3	1.031	175.583	0.000	0.000	0.000	0.000
136	3	1.023	145.528	0.000	0.000	0.000	0.000
137	3	1.023	115.554	0.000	0.000	0.000	0.000
138	3	1.027	85.087	0.000	0.000	0.000	0.000
139	3	1.027	55.113	0.000	0.000	0.000	0.000
140	3	1.031	25.508	0.000	0.000	0.000	0.000
141	3	1.031	-4.467	0.000	0.000	0.000	0.000
142	3	1.023	-34.473	0.000	0.000	0.000	0.000
143	3	1.023	-64.448	0.000	0.000	0.000	0.000
144	3	1.027	-94.913	0.000	0.000	0.000	0.000
145	3	1.027	-124.887	0.000	0.000	0.000	0.000
146	3	1.031	-154.492	0.000	0.000	0.000	0.000
147	3	1.031	175.534	0.000	0.000	0.000	0.000
148	3	1.023	145.604	0.000	0.000	0.000	0.000
149	3	1.023	115.608	0.000	0.000	0.000	0.000
150	3	1.027	85.163	0.000	0.000	0.000	0.000
151	3	1.027	55.167	0.000	0.000	0.000	0.000
152	3	1.031	25.581	0.000	0.000	0.000	0.000
153	3	1.031	-4.415	0.000	0.000	0.000	0.000
154	3	1.023	-34.397	0.000	0.000	0.000	0.000
155	3	1.023	-64.393	0.000	0.000	0.000	0.000
156	3	1.027	-94.837	0.000	0.000	0.000	0.000
157	3	1.027	-124.833	0.000	0.000	0.000	0.000
158	3	1.031	-154.419	0.000	0.000	0.000	0.000
159	3	1.031	175.586	0.000	0.000	0.000	0.000
160	3	0.208	0.596	0.000	0.000	0.000	0.000
161	3	0.208	0.589	0.000	0.000	0.000	0.000

ÖZGEÇMİŞ

Şerafettin ÖZBEY,1950 yılında Boyabat'ta doğdu. 1961 yılında İstanbula göç etti. Hasköy İlkokulu ve Hasköy Orta Okulunda ilk ve orta öğrenimini tamamladı.Liseyi Eyüp Lisesinde okudu.1975 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik-Matematik bölümünden mezun oldu. Anadolunun çeşitli yerlerinde fizik öğretmenliği yaptı. 1979 yılında İstanbula fizik öğretmeni olarak atandı ve aynı yıl D.M.M.A sine girdi.1984 yılında Elektrik Mühendisi olarak Yıldız Üniversitesinden diploma aldı. 1985 yılında Yıldız Üniversitesinde Araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1987 yılında Yüksek Mühendis olan Şerafettin ÖZBEY evli, bir çocuk babası olup halen Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Kocaeli Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.



