

68225

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KUTUPLU ÇOK-UÇLU DOĞRU AKIM
TERMİNALLERİNİN NORTON EŞDEĞERİNİ
KULLANAN ALTERNATİF AKIM-DOĞRU AKIM
GÜÇ AKIŞI ALGORİTMASI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Eletronik Müh. Ferudun UYSAL

**Enstitü Anabilim Dalı
Enstitü Bilim Dalı**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ELEKTRİK TESİSLERİ**

Mayıs 1997

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KUTUPLU ÇOK-UÇLU DOĞRU AKIM
TERMİNALLERİNİN NORTON EŞDEĞERİNİ
KULLANAN ALTERNATİF AKIM-DOĞRU AKIM
GÜÇ AKIŞI ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Eletronik Müh. Ferudun UYSAL

**Enstitü Anabilim Dalı
Enstitü Bilim Dalı**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ELEKTRİK TESİSLERİ**

**Bu tez .. /.. 1997 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile
kabuledilmiştir.**

[Signature]
Doç. Dr. Uyu. ARİFOĞLU
Jüri Başkanı

[Signature]
Doç. Dr. Mehmet Ali YALCIN
Jüri Üyesi

[Signature]
Doç. Dr. Uyu. ÜNVER
Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Günümüzde elektrik enerjisine duyulan gereksinim teknolojik ilerlemeye paralel olarak hızla artmakta ve bu artışı karşılamak üzere büyük güç merkezlerinin oluşturulması gerekmektedir. Üretilen enerjinin iletimi için de genellikle uzun ve yüksek gerilimli hatların kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Öte yandan enerji sistemlerinin işletilmelerinde optimum verimi elde etmek amacıyla farklı güç sistemlerini aralarında bağlayarak enterkonnekte şebeke oluşturulur. Bu nedenle elektrik şebekelerinin yapıları, nitelikleri ve boyutları giderek büyümektedir. Bugün bütün şebekelerin analizinde bilgisayar kullanımı kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Boyutları giderek büyüyen bu şebekelerin planlanması ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan sorunlar da giderek karmaşık bir durum almaktadır.

Tüketicilere elektrik enerjisi sağlamak üzere kurulmakta olan elektrik şebekelerinin sağlıklı işletilmelerinde, güç akışı incelenmesinin yapılması büyük önem taşır.

Günümüzde elektrik enerjisinin istenilen yerlere ulaştırılması alternatif akım kullanılarak yapılmaktadır. AA ile iletimin bir takım sorunları bulunmakta ve bunların halledilmesi için alternatif iletim modelleri düşünülmekte ve uygulanmaktadır. DA ile iletim bunlardan bir tanesidir. Bu çalışmada AA/DA iletim sistemi tanıtılmakta ve bu sisteme dönük yeni bir model içeren güç akışı algoritması sunulmaktadır.

Çalışmayı titizlikle yöneten, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim kıymetli hocam ve tez yöneticim; sayın Doç.Dr. Uğur ARİFOĞLU beyefendiye teşekkürlerimi sunarım.

Ferudun UYSAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ	v
KISALTMALAR	vi
ÖZET	vii
SUMMARY.....	viii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Alternatif Akım-Doğru Akım Enerji Sisteminin Gelişimi.....	1
1.2 Alternatif Akım İle Alternatif Akım-Doğru Akım Sisteminin Ekonomik ve Teknik Açıdan Karşılaştırılması	2
1.3 Alternatif Akım-Doğru Akım Güç Akışı Yaklaşımları	7
BÖLÜM 2 ALTERNATİF AKIM GÜÇ AKIŞI	9
2.1 Alternatif Akım Güç Akışı Eşitlikleri.....	10
2.2 Alternatif Akım Güç Akışı Hesaplamaları	13
BÖLÜM 3 AA-DA SİSTEMİN İNCELENMESİ.....	29
3.1 Alternatif Akım- Doğru Akım Sistem Modeli :.....	31
3.2 Doğru Akım Güç Akışı Eşitlikleri	36
3.3 İki Kutuplu -Çok Uçlu DA Sistemleri	38
3.3.1 Sistem Modeli	38
BÖLÜM 4. AA-DA SİSTEMLER İÇİN BİR KUTUPLU MODELİN OLUŞTURULMASI.....	41
4-1 AA-DA Sistemi Eşitlikleri	41
4-2 Temel Eşitlikler	42
4.3 Kontrol Denklemleri	45
4.4 Newton -Raphson Yöntem İçin Eşitliklerin Düzenlenmesi.....	45

BÖLÜM 5. BİR KUTUPLU ÇOK UÇLU DA TERMİNALLERİNİN NORTON EŞDEĞERİNİ KULLANAN AA-DA GÜÇ AKIŞI ALGORİTMASI.....	49
5.1 DA Sistem Modeli	49
5.2 Çevirici Modeli	49
5.3 DA Devre Denklemleri	52
5.4 Rezidü Denklemleri	52
5.5 AA-DA Jacobian Matris Denklemleri	55
5.6 Örnek Sistem.....	55
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	65



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yüksek Gerilimli DA Sistemlerinin Güç Kapasitelerinin Yıllara Göre Değişimi.....	1
Şekil 1.2 Biri Doğrultucu Diğeri Evirici Olarak İki Çevirici İstasyon Şeması.....	4
Şekil 1.3 12 Darbeli Bir Çevirici Şeması.....	5
Şekil 1.4 a) Radyal, b) Ağ Şebekelerinde Kullanılan Doğru Akım Sisremleri.....	6
Şekil 2.1 AA-DA Sisteminde Genel Amaçlı Bir Bara.....	11
Şekil 2.2 a) Kademeli Transformatör Şeması b) Kademeli Transformatörün Elektriksel Şeması.....	15
Şekil 2.3 Newton Yöntemi İle Güç Akışı Algoritması.....	20
Şekil 2.4 Şekil 2.3 ile Verilen Bara Güçlerinin Hesaplanmasına Ait Program İşaret Akış Şeması.....	23
Şekil 2.5 Şekil 2.3 İle Verilen Jacobian Matris Hesaplamasına İlişkin Alt Program İşaret Akış Şeması.....	24
Şekil 3.1 Doğru Akım İletim Hattı Çevirici Ve Transformatörü a) Modeli b) Elektriksel Eşdeğeri.....	33
Şekil 3.2 Çok Uçlu Doğru Akım Sistem Modeli.....	35
Şekil 3.3 İki Kutuplu Çok Uçlu Radyal Beslemeli Doğru Akım İletim Hattı Şeması.....	38
Şekil 3.4 İki Kutuplu a) Sistem Modeli b) Elektriksel Eşdeğeri.....	39
Şekil 4.1 Bir DA Hattının Uçlarına Bağlanan İki Sargılı Transformatör Gösterimi	41
Şekil 4.2 Şekil 4.1'e İlişkin Elektriksel Eşdeğeri.....	41
Şekil 4.3 6 Baralı AA-DA Sisteminin Örnek Bağlantı Şeması.....	48
Şekil 5.1 Tek Köprülü Basit Çevirici Modeli.....	50
Şekil 5.2 Çeviricinin Eşdeğer Gösterimi a) Norton b) Thevenin.....	51
Şekil 5.3 IEEE Değiştirilmiş 14 Bara AA-DA Sistemi.....	59

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1 N-R Çözümünde Kullanılan Bağlantı Denklemleri.....	46
Tablo 4.2 Tablo 4.1'den Elde Edilen Jacobian Matrisi	47
Tablo 4.3 Şekil 4.3'deki AA-DA Sisteminde N-R Çözümü İçin Oluşturulan Jacobian Matrisinin Yapısı.....	48
Tablo 5.1 DA Sistemine İlişkin Hat Direnç Verileri.....	59
Tablo 5.2 IEEE Değiştirilmiş 14 AA- DA Bara Sistemine İlişkin Empedans Ve Admitans Değerleri	60
Tablo 5.3 IEEE Değiştirilmiş 14 AA-DA Bara Sistem Yük Değerleri.....	60
Tablo 5.4 Çevirici Direnç Değerleri.....	61
Tablo 5.5 IEEE Değiştirilmiş 14 Baralı AA-DA Sisteminde Değişkenlerin Güç Akışı Öncesi ve Sonrası Aldığı Değerler.....	61

KISALTMALAR

DA : Doğru Akım

AA: Alternatif Akım

HVDC : Yüksek Gerilim Doğru Akım Sistemi

MTDC : Çok Terminalli Doğru Akım Sistemi

VST : Sabit Gerilimli Terminal



ÖZET

BİR KUTUPLU ÇOK-UÇLU DOĞRU AKIM TERMİNALLERİNİN NORTON EŞDEĞERİNİ KULLANAN ALTERNATİF AKIM DOĞRU AKIM GÜÇ AKIŞI ALGORİTMASI

Anahtar Kelimeler: GüçAkışı, Bara, AA-DA sistemleri

Yapılmış olan bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci (giriş) bölümünde AA-DA sisteminin gelişimi ekonomik ve teknik açıdan karşılaştırılması konuları incelenmektedir. İkinci bölümde ise AA güç akışı eşitliklerinin çıkarılması ve güç akışının hesaplanması için gerekli olan akış diyagramı verilmiştir. Bu çalışmada önerilen model de kullanılan bu bölümde Newton-Rabson algoritması'da açıklanmıştır. Çünkü AA-DA sisteminde güç akış probleminin çözümü için iki metod vardır. Ayrık ve birleşik metod. Ayrık metotta her bir sistem ayrı ayrı incelenir ve tek bir iterasyonda her iki sistem yakınsayınca algoritma sona erer. Birleşik metotta ise AA-DA sistem denklemleri birleştirilerek sistem çözülür. Kısaca ifade etmek gerekirse AA güç akışı için hazırlanmış olan jacobien matrisin içine DA sistem denklemleride ilave edilerek sistem çözülür. Üçüncü bölümde ise AA-DA sistemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde AA-DA sistemleri için bir kutuplu modelin oluşturulmasında gerekli denklemlerin yapısı çıkarılması ve örnek bir sistem üzerinde jakobien matrisinin oluşturulması izah edilmektedir. Beşinci bölümde ise AA-DA sistemi için geliştirilen bir kutuplu çok uçlu DA terminallerinin Norton eşdeğerini kullanan AA-DA güç akışı algoritmasının oluşturulması ve bir örnek uygulaması gösterilmiştir. Son bölümde ise geliştirilen bu algoritmanın avantajları anlatılmaktadır.

SUMMARY

LOAD FLOW BASED ON NEWTON'S METHOD USING NORTON EQUIVALENT CIRCUIT FOR AC-DC MULTITERMINAL SYSTEMS

Key Words: Load Flow, Bus, AC-DC systems.

This study is six chapter. In the first chapter, development of AC-DC systems as economical and technical is investigated.

In the second chapter, AC load flow equation is obtained. Flow chart that is used to compute load flow is given. In this chapter, Newton-Rapson algorithm is explained. There is two methods to solve problem of load flow in AC-DC systems: Separated method and compound method. In the separated method, every one system is separately investigated and the algorithm ended as systems converged. In the compound method, equations of AC-DC systems is solved as combining. In the other words, equations of DC systems writing into Jacobean matrix that is used to solve AC load flow systems is solved. In this study this method is used.

In the third chapter, AC-DC systems is investigated.

In the firth chapter, the equations that is used to form singular pole model in AC-DC systems is obtained. And the forming of Jacobean matrix is shown in the an example system.

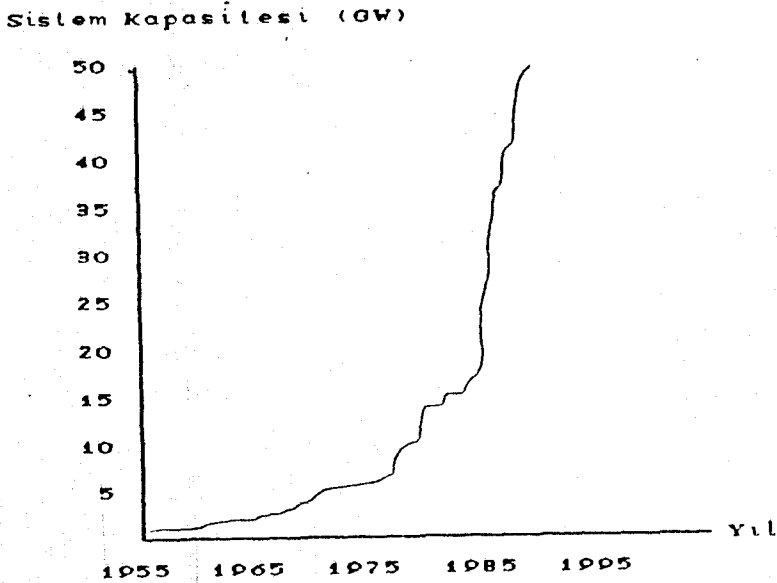
In the fifth chapter, practice of load flow based on Newton's method using Norton equivalent circuit for AC-DC multiterminal systems is shown.

In the last chapter, advantages of this developed algorithm is explained.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 Alternatif Akım-Doğru Akım Enerji Sisteminin Gelişimi

1950 li yıllara kadar, yüksek gerilim ile ilettime dönük olarak tasarımı yapılan çeviricilerin, endüstride kullanımına sıkça rastlanmamaktadır. Bu yıllara kadar bazı çalışmalar yapılmıştır. Yüksek gerilimli çeviriciler üzerinde yapılan en eski uygulama 1889 yılında Thury tarafından gerçekleştirilen modeldir. Bu model 1890 ile 1937 yılları arasında Avrupada kullanılmış ve AA ile DA makinalarının bir arada çalıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. 1920 ve 1930 arasında İngiltere ve İsveç'te mekanik açma-kapama ile çalışan çeviriciler kullanılmıştır. Amerikada ise bu yıllarda General Elektrik tarafından doğru akımla iletimde kullanılacak yüksek gerilimli civa arklı çeviriciler üretildi. 1937 ile 1945 yılları arasında kullanılan bu çevirici modeli nisbeten küçük güçlerde imal edilebiliyordu. Ticari rekabet ise civa arklı çeviricilerin üretilmesi ile başlamıştır. [1]



Şekil 1.1 Yüksek Gerilimli DA Sistemlerinin Güç Kapasitelerinin Yıllara Göre Değişimi

1960'lı yılların başlarına doğru katı hal yarı iletken teknolojisinin gelişimi ile birlikte bu teknolojinin yüksek gerilimli DA iletiminde kullanılması'da gündeme geldi. İlk tiristör donanımlı çeviriciler Gotland-İsveç ve Sokuma-Japonya'da ticari alanda uygulama buldu. Daha sonra, 1972 yılında Kanada'da 360MW gücünde katı hal yarı iletken teknolojisi ile üretilen çeviriciler işletmeye sokuldu. 1970 ile 1980'li yıllarda ise dünyanın bir çok yerinde yüksek gerilimle doğru akım iletimi (HVDC) yaygınlaştı. Şekil 1.1'de 1955 ile 1995 yılları arasında dünyada inşa edilen , işletmeye sokulan, proje aşamasında olan yüksek gerilimli DA sistemlerinin kapasitelerinin yıllara göre değişimi verilmiştir. [1]

1.2 Alternatif Akım İle Alternatif Akım-Doğru Akım Sisteminin Ekonomik ve Teknik Açısından Karşılaştırılması

Ekonomik açıdan bakıldığında ,yüksek maliyetli çevirici istasyonları bir dezavantaj olarak gözükmektedir. Fakat uzun mesafelerde hava hatları ile yapılan doğru akım iletiminden doğan ekonomik yarar[2], çevirici maliyetindeki olumsuzluğu dengeleyebilmektedir. Doğru akım iletim hatlarının ekonomik olduğu uzaklığın tespiti yerel şartların farklılığından dolayı oldukça zordur. Ancak şimdiye kadar yapılan çalışmalardan elde edilen pratik sonuçlar, bu mesafenin 500 km dolayında olduğunu ortaya koymaktadır. Arazi şartları, yüksek maliyetli hatların yapımını zorunlu kılıyorsa ,ekonomik uzaklık daha da azalabilir.

Yer altı kablosu ile iletim için kritik uzaklık 30 km civarındadır Yüksek gerilimli alternatif akım kablolarından akan kapasitif akımın etkisini azaltmak için iletim hattının ortasına oldukça pahalı şönt reaktörlerinin konulması gerekmektedir. Fakat bu çözüm denizaltı kablo sistemleri için hiç te pratik olmayacaktır. Ancak doğru akım ile iletimde böyle bir problem sözkonusu olmamaktadır. Alternatif akımla iletime kıyasla doğru akımla iletimde ekonomik uzaklığın tespitinde izolasyon düzeyinden daha iyi yararlanma, iletken sayılarının azaltılması ve etkin iletken kesitin artırılması önemli niteliklerdir.

Teknik olarak karşılaştırma yapıldığında ise söylenilebilecek çok şey vardır. Doğru akım ile iletimde alternatif akım ile iletimde sağlanamayacak teknik imkanlara

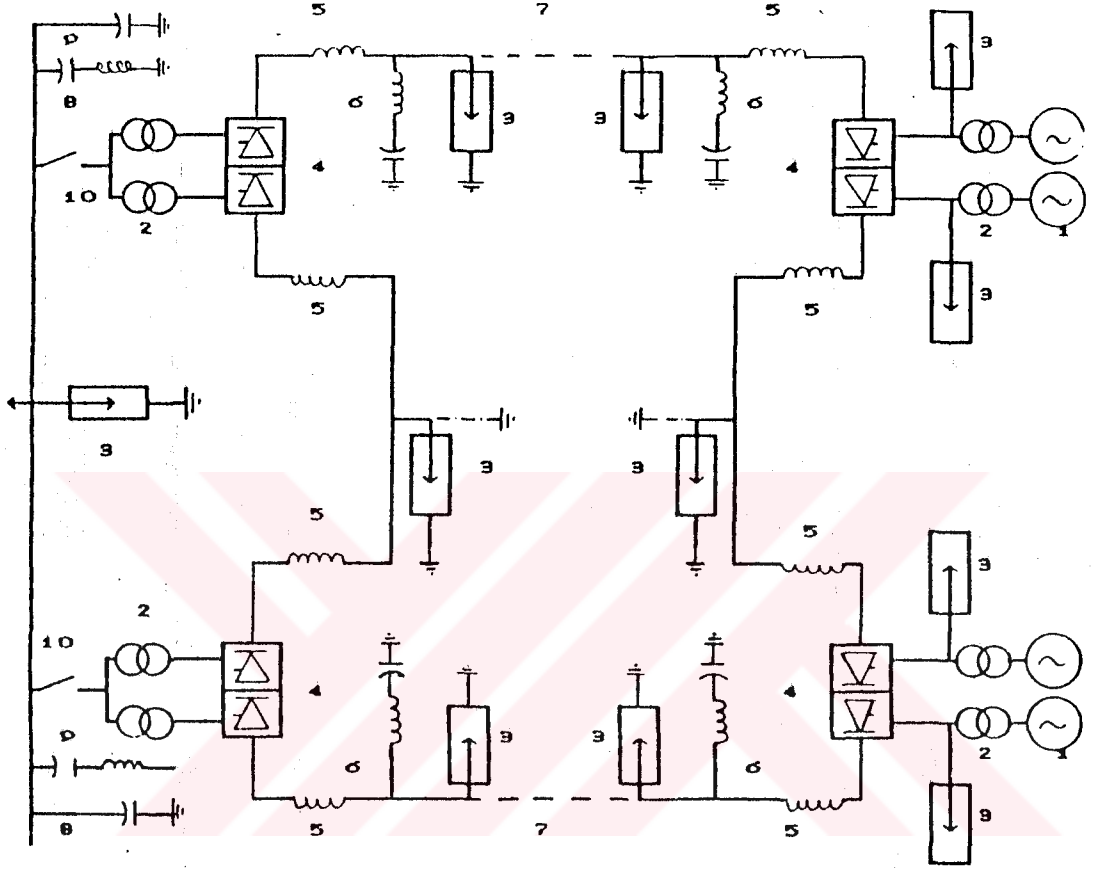
kavuşulur.Birbirinden bağımsız iki alternatif akım sistemi,doğru akım hatları ile birbirine bağlanarak senkron olmayan şartlarda çalıştırılabilir.Zayıf bir alternatif akım hattı ile birbirine bağlanan iki altarnatif akım sisteminin kontrolü bazen imkansız olabilir fakat doğru akım iletim hattı ile yapılan bağlantı ile bu sakınca ortadan kaldırılabilir.

Son yıllarda endüstrileşen ülkelerdeki iletim şebekelerinin yükü oldukça artmıştır.Bu artış,sistemlerin kapasitelerini kararlılık sınırlarına yaklaştıran seviyelere kadar yükseltmiştir.Yapılması planlanan iletim hatlarının yüksek yapım maliyetleri çevre şartları ve uygun bir iletim hattı yolu eksikliğinden dolayı, güç iletimini ve kararlılık sınırlarını arttırmak için sistem planlayıcıları yeni çözümler aramaya başlamışlardır.[3-4]

Son yıllarda gerilim kararlılığına bağlı olarak meydana gelen problemlerin arttığı bilinmektedir.Bunun zorunlu bir sonucu olarak arıza sayılarında da artışlar meydana gelmektedir.Arızaların başlıca nedeni olarak alternatif akım sisteminin ağır yük koşullarında çalıştırılması ve kritik durumlarda hızlı kontrol edilebilen reaktif güç kaynaklarının bulunmayışı gösterilebilir. [5]

Alternatif akım iletim hatları boyunca akan gücün kontrolü; faz açıları, hat uç gerilim değeri ve hat empedansının değiştirilmesi ile sağlanabilir.Alternatif akım sisteminde bu büyüklüklerin hızlı bir şekilde değiştirilmesi mümkün değildir.Açı kontrol ünitesi nisbeten ağır çalışan bir mekanizmaya sahiptir.Kademeli transformatörler, reaktörler, kapasitörler genellikle mekanik anahtarlamalı olarak çalışan elemanlardır.Bunları ancak yavaş bir şekilde kontrolü sağlanabilmektedir.Hat empedansının kontrolü ise kuşkusuz mümkün değildir. [6]

Reaktif gücün varlığı alternatif akım sistemi için büyük bir problemdir.Bu güç,hatların yüklenmesinden gerilim değişimlerine kadar bir çok olumsuz etkiye sahiptir.Bu etkinin yok edilmesi için yapılan çalışmalar [7-8] ,düşük ve yüksek değerlerde gerilimlerin ve büyük mertebede kayıpların oluşması gibi bir takım ilave sorunları da gündeme getirmektedir.



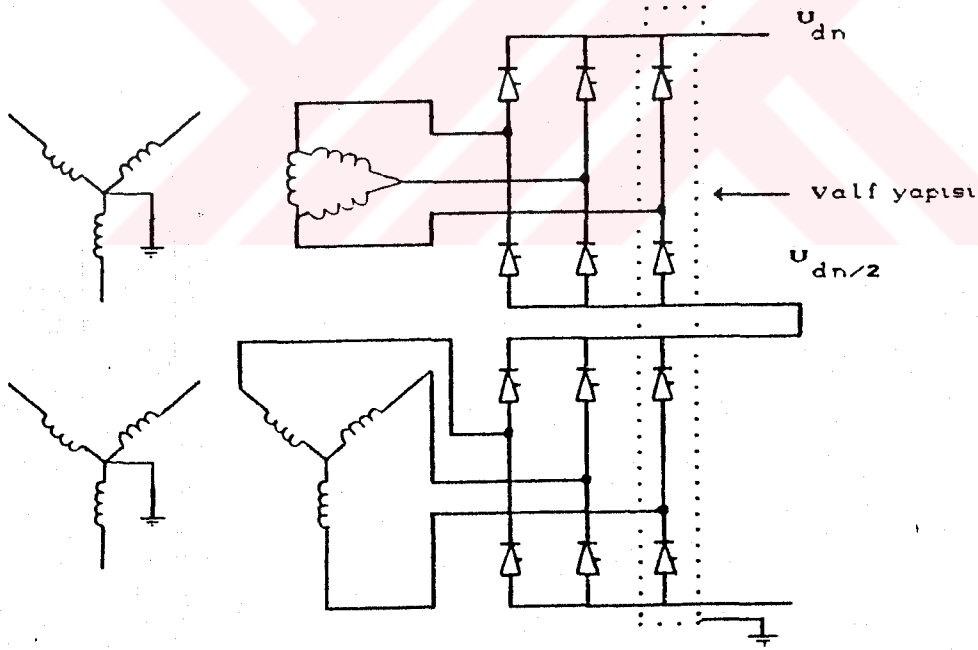
Şekil 1.2 Biri Doğrultucu Diğer Evirici Olarak Çalışan İki Çevirici İstasyon Şeması.1- Generatör 2 Çevirici Transformatörü, 3- Parafudr.4-Çevirici,5-Reaktör,6-Filtre,7- Doğru Akım Hattı,8-Şönt kapasitör,9-Alternatif Akım Filtresi,10-Kesici

Alternatif akım doğru akım sistemlerinde, alternatif akım sistemine ait gerilim faz açısı doğru akım tarafında ikinci dereceden bir etkiye sahiptir. Gerilim değeri ise çeviriciler yardımı ile çok hızlı bir şekilde kontrol edilebilir. Bu sistem üzerinde hattın endüktans ve kapasitesi etkili olmaz. Hat direnci alternatif akım sisteminde olduğu gibi ayarlanamaz, fakat gerilim iyi bir şekilde kontrol edilebildiğinden direncin kontrolüne gerek kalmaz. Böylece alternatif akım sisteminin frekans, gerilim, ve

empedansından etkilenmeden ve yön bakımındanda farklı olabilen bir güç akışı elde edilebilir.

Alternatif akım-doğru akım sisteminin en önemli parçası hiç şüphesiz çevirici istasyonlarıdır.Bu istasyonları en önemli elamanı ise tristörlerdir.Şekil 1.2'de biri generatör barasına, diğeri tüketici ucuna bağlı iki çevirici istasyon şeması verilmiştir.

Günümüzde katı hal yarı iletken teknolojinine bağlı olarak sürekli geliştirilen tiristör elemanının büyük güçte, gerilim ve akım dayanımı fazla daha ekonomik ve kontrolü daha kolay olan bir yapıda üretimi için adımlar atılmaktadır.Bugün ulaşılan teknolojik seviye ile yakın bir gelecekte 20 kV luk ters gerilime ve bir kaç bin amper akıma dayanabilecek özellikte tristör elemanının üretimi uzak görülmemektedir.Şu anda SBPT (Silikon Banded Packing Thyristör)üretimi ile maliyetleri yüzde otuzlar seviyesine düşürme çalışmaları yapılmaktadır. [6-9]

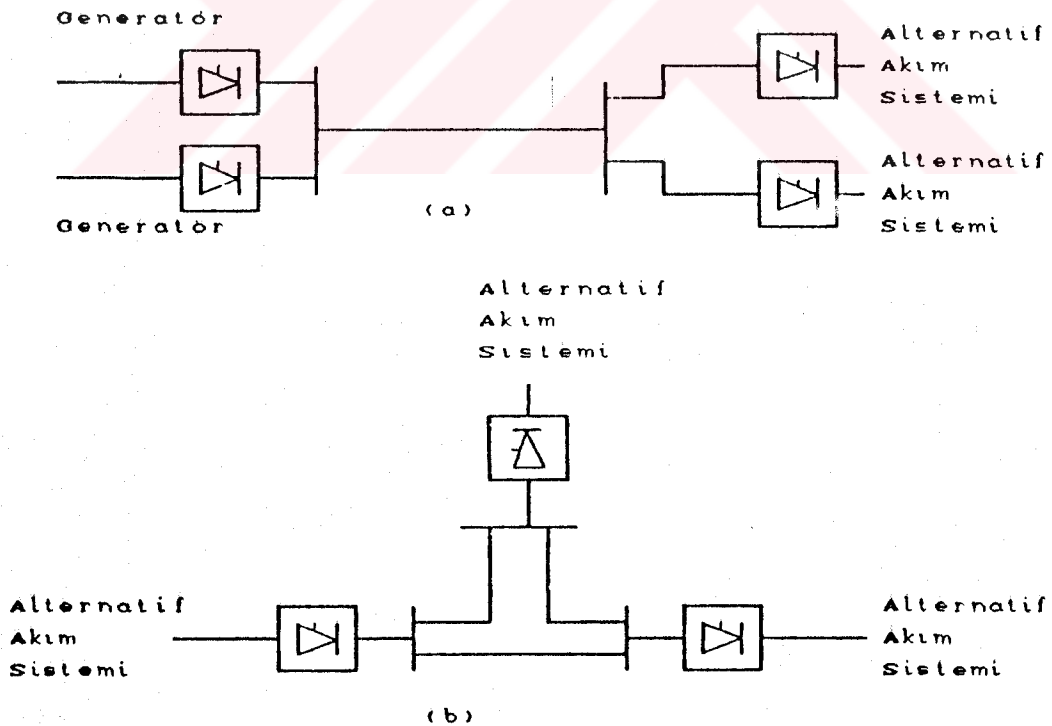


Şekil 1.3 On iki Darbeli Bir Çevirici Şeması

Modern çevirici terminalleri 12 darbeleri olarak imal edilirler.12 darbeleri bir çevirici ise 6 darbeleri iki adet köprünün birbirlerine seri olarak bağlanması ile meydana gelir.Birbiri ile aynı özellikte olan bu iki köprüyü besleyen transformatörler arasında

30 derecelik faz farkı bulunmaktadır.Şekil 1.3 de verildiği gibi bu fark ,bir köprünün yıldız-yıldız diğerinin-yıldız-üçgen olarak bağlanması ile sağlanabilir.Böyle bir bağlama şekli çevirici çıkışında harmoniklerde önemli bir azalma sağlar[1]

Tristör valfleri seri paralel bağlı tiristörlerden meydana gelir.Bir valfte seri olarak bağlı olan tristör sayısı 20 ila 150 arasında değişebilir.Bu sayı valf ve tristöre uygulanan gerilime bağlıdır.Paralel bağlamada ise bu sayıyı bir tristörün akım taşıma kapasitesi belirler.Valf devrelerinde doymalı reaktörler tristörlere seri şekilde bağlıdır.Reaktör ,tiristör akımının ilk değişimini kontrol eder ve akım dalgalanmasını en aza indirir. Valf devrelerine yapılan yardımcı düzenler ile valflerdeki gerilim dağılımı düzenlenir ,ayrıca tiristörün kesime gitme anında geçici gerilim değeri kontrol edilir.Tiristör ve yardımcı devreler modüller halinde düzenlenir.Valf modülü genellikle 2 ile 12 arasında değişen seri bağlı tiristörlerden meydana gelir.Valf modülleri seri bağlanarak valf yapıları oluşturulur.Çok uçlu doğru akım sistemleri Şekil 1.4'de gösterildiği gibi iki şekilde düzenlenir.



Şekil 1.4 a) Radyal ,b) Ağ Şebekelerinde Kullanılan Doğru Akım Sistemleri.

Şekil 1.4 (a) da gösterildiği gibi, generatörler tarafından üretilen alternatif akım enerjisi doğrultucudan geçtikten sonra uzun bir doğru akım hattı üzerinden tüketici merkezlerine ulaştırılır. Burada eviriciler yardımı ile alternatif akıma dönüştürülen güç tüketicilere dağıtılır. Şekil 1.4 (b)'de gösterilen modelde ise doğru akım sistemi alternatif akım şebekesinin içine yerleştirilir. Bu modelde doğru akım gücünün her an yön değiştirebilme özelliği vardır. Dolayısı ile daha esnek bir çalışma imkanı sağlanabilmektedir.

1.3 Alternatif Akım-Doğru Akım Güç Akışı Yaklaşımları

Enerji sisteminin boyutlandırılması, korunması ve kontrolü güç akışı hesaplamaları ile elde edilen değerlere göre yapılır. Ayrıca modern enerji sistemleri merkezi kontrol biriminde her an yeni veri okuyan, değerlendiren ve sonuçlandıran bilgisayarlar için kullanılan güç akışı algoritmasının yapısı çok önemlidir. Bu yüzden konuya yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bunlar incelendiğinde öncelikle sistemin modellenmesine dönük yaklaşımlarla karşılaşmaktadır. Modelleme amaçlı çalışmalar akım yada gerilim değeri temel alınarak yapılmaktadır. [10] Daha sonraki adımda ise çözüme yönelik matematiksel yaklaşımlar göze çarpmaktadır. Enerji sistemlerinde bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile birlikte gerek sistem modelinin gerekse çözüme yönelik matematiksel yaklaşımların bazı özellikleri sağlaması şartı gündeme gelmiştir. Sistem çözümünde kullanılacak hesaplama modelinin bilgisayar belleğinde daha az yer kaplayacak ve daha kısa sürede işlemi sonuçlandıracak yapıda olması istenmektedir. Çözüm yöntemlerinde Newton-Raphson ve Gauss-Seidel yaklaşımı esas alınarak yapılan çalışmalara yayınlarda daha sık olarak rastlanmaktadır.

Bilgisayar destekli AA-DA güç akışı çalışmaları 1950'li yıllardan beri yapılagelmektedir. (11-12) Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde, iki farklı çözüm yaklaşımı ile karşılaşmaktadır. Bunlardan ilki birleşik (11) , diğeri aylık çözümdür. (13)

Eş zamanlı çözüm olarak da adlandırılan birinci yaklaşımda DA sistem değişkenleri AA sistem değişkenleri ile birlikte ele alınıp çözüm yapılır. (13) Bu yaklaşımın en

önemli faydası, AA güç akışı hesaplamalarında bir değişiklik yapılmaksızın aynı çözüm yönteminin kullanılabilmesine imkan sağlamasıdır. Sakıncalı olan yönü ise matris boyutlarının artması ile birlikte hem yakınsamanın gecikmesi hem de Newton yöntemi gibi ters matris kullanımının gerektiği AA-DA güç akışı işlemlerinde bilgisayar belleğinin ekonomik olarak kullanılamamasıdır. Bu çalışmada da görüldüğü gibi kullanılan algoritma ile matris boyutu klasik Newton yaklaşımına oranla daha küçük olarak elde edilmiştir. Son bölümde bu konu geniş olarak izah edilmiştir.

Ayrık çözümden ise DA hattının AA sistemden çektiği veya verdiği aktif -reaktif güçler AA güç hesaplamaları boyunca AA sistemi için sabit bir yük kabul edilir. AA güç akışı çalışmalarında yakınsama elde edilince sisteme ait yeni değerler ile DA sistemi güç akışı hesaplamaları yapılır. Bu yaklaşımın bir üstünlüğü ise AA sisteminde kullanılan güç akışı paket programlarının bu yaklaşımla hiçbir değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilmesine imkan sağlamasıdır. Diğer üstünlüğü ise özellikle hız ve bellek açısından Newton yöntemi ile yapılan AA-DA güç akışı çalışmalarına göre bilgisayarın daha verimli kullanılabilmesidir.

BÖLÜM 2 ALTERNATİF AKIM GÜÇ AKIŞI

Belirli bir amaca dönük olarak geliştirilen hesaplama yöntemleri arasında tercih yapılırken göz önüne alınan temel ilke, kullanılacak yöntemin bilgisayar destekli çalışmalarda kolaylık sağlayacak özelliklere sahip olmasıdır. Daha açık ifade ile hesaplama yönteminde, bilgisayar belleğinde en az hacim kaplayacak ve en kısa sürede işlemleri sonuçlandırabilecek nitelikler aranmaktadır. Ayrıca kullanıldığı alanda meydana gelen yeni gelişmelere açık olması kullanımın yaygınlaşması bakımından önem taşımaktadır.

Üzerinde çalışılan konunun hem AA, hem de DA güç hesaplamalarını gerektirmesi, ayrıca istenirse optimal güç akışı algoritması içinde yakınsama elde edilinceye kadar sürekli olarak tekrarlanması gerekliliği yöntemin seçilmesini dahada önemli kılmaktadır. AA güç akışı hesaplamalarında günümüzde kullanılan en yaygın olan Newton yöntemidir. Yaklaşık güç akışı yöntemi, belirli bir hatanın kabul edilmesi şartı ile, bu yöntemi daha kullanışlı hale getirmiştir.

Kullanımı yaygın olan AA- DA güç akışı hesaplama yöntemlerinden bazıları Newton yönteminin üstünlüklerinden yararlanılacak şekilde geliştirilmiştir. Bu tür bir hesaplama yönteminin en belirgin özelliği DA devresine ait ifadelerin AA güç akışı hesaplamalarında kullanılan jacobien matrisi içine sokularak Newton yöntemi ile bilinen uygulanması esasına dayanmasıdır.

Bu bölümde AA güç akışı Newton yöntemi ile yapıldığından bu yöntem hakkında bilgi verilecek ve AA-DA güç akışı hesaplamalarına bir ön hazırlık olması için AA devresine ilişkin eşitliklerin içinde yer alan DA devresinin eşitlik ve kavramları açıklanacaktır.

2.1 Alternatif Akım Güç Akışı Eşitlikleri

Bara sayısı nb adet olan AA-DA enerji iletim sisteminde, doğru akım hatlarından akan gücün , bu hatların bağlandığı AA barasında sabit bir yük olduğu kabulü ile P_i aktif, Q_i reaktif güç olmak üzere, i. baradan AA hattına verilen kompleks güç,

$$\bar{S} = P_i + jQ_i = \bar{V}_i \sum_{j=1}^{nb} (G_{ij} + jB_{ij}) \bar{V}_j^* \quad (i=1, \dots, nb) \quad (2.1)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. (2.1) ifadesindeki \bar{V}_i ve \bar{V}_j^* ;

$$\bar{V}_i = V_i (\cos\delta_i + j \sin\delta_i) \quad (2.2a)$$

$$\bar{V}_j^* = V_j (\cos\delta_j - j \sin\delta_j) \quad (2.2b)$$

şeklinde olup, \bar{V} , \bar{V}^* , V sırası ile AA barasına ait gerilimin kompleks eşlenik ve genlik değeridir. δ , bilinen bir referansa göre gerilimin faz açısını göstermektedir. Kompleks admitans matrisinin (i,j) eleman değeri;

$$\bar{Y}_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (2.3)$$

olarak verilmiştir. (2.2) ve (2.3) ifadeleri (2.1) denklemlerinde yerine konular, ve düzenlenirse

$$\bar{S}_i = V_i \sum_{j=1}^{nb} V_j (G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij}) + jV_i \sum_{j=1}^{nb} V_j (G_{ij} \sin\delta_{ij} - B_{ij} \cos\delta_{ij}) \quad (i=1 \dots nb) \quad (2.4)$$

elde edilir. Yukarıda verilen ifadede kullanılan δ_{ij} i. ve j baralarının gerilimleri arasındaki faz farkıdır;

$$\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j \quad (2.5)$$

(2.4) denkleminin gerçel ve sanal kısımları ayrılırsa, i. baradan AA hattına verilen aktif ve reaktif güçler ,

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^{nb} V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.6)$$

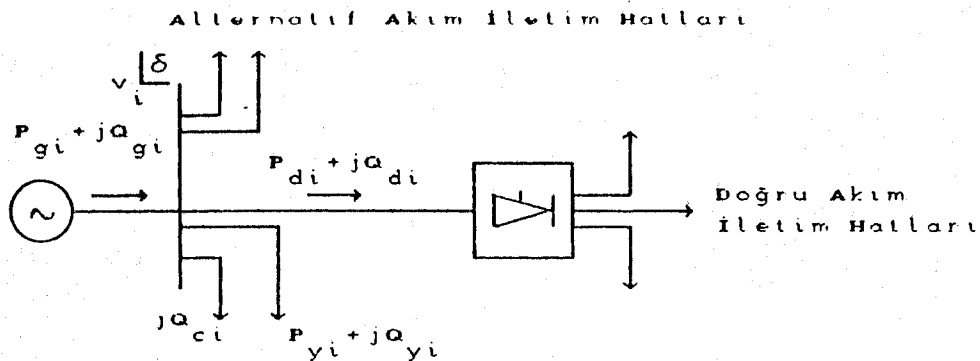
$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^{nb} V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (i=1, \dots, nb) \quad (2.7)$$

ifadeleri ile hesaplanabilir. Şekil (2.1) de verilen, i. bara için aktif-reaktif güç dengesi eşitliğini kullanarak

$$P_{gi} = P_{yi} + P_{di} + P_i \quad (2.8)$$

$$Q_{gi} + Q_{ci} = Q_{yi} + Q_{di} + Q_i \quad (i=1, \dots, nb) \quad (2.9)$$

yazılabilir. (2.8) . (2.9) denklemlerinde kullanılan g, y, d alt indisleri sırası ile generatör, yük ve doğru akım hattını göstermektedir. Q_c ise i. baraya bağlı kontrol edilebilen şönt reaktif üreteç gücüdür. Bu kaynak, güç katsayısını düzeltici bir kapasite olabileceği gibi senkron bir makinada olabilir. Şekil (2.1) de AA-DA sisteminde genel amaçlı bir bara gösterilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, doğru akım hattının üzerine aldığı aktif ve reaktif güçler, bağlı oldukları i. AA barasında, güç hesaplamaları boyunca sabit bir yük gibi kabul edileceği için (2.8) ve (2.9) denklemleri aşağıdaki şekilde de yazılabilir ;



Şekil 2.1 AA-DA Sisteminde Genel Amaçlı Bir Bara

$$P_i = P_{gi} - (P_{yi} + P_{di}) = P_{gi} - P_{yi} \quad (i=1, \dots, nb) \quad (2.10)$$

$$Q_i = Q_{gi} + Q_{ci} - (Q_{yi} + Q_{di}) = Q_{gi} + Q_{ci} - Q_{yi} \quad (i=1, \dots, nb) \quad (2.11)$$

Güç akışı eşitliklerini sağlayan, x durum değişkenleri ve u kontrol değişkenleri için, (2.10) ve (2.11) denklemleri ;

$$P_{hati} - P_i = g_{pi}(x, u) = 0 \quad (i=2, \dots, nb) \quad (2.12)$$

$$Q_{hati} - Q_i = g_{qi}(x, u) = 0 \quad (i=ng+1, \dots, nb) \quad (2.13)$$

olarak da ifade edilebilir. Bu ifadelerde P_{hati} ve Q_{hati} , i . baradan AA hattına verilen aktif ve reaktif güçlerdir.

Enerji iletim sistemlerinde her bir baranın tüm özellikleri dört değişken yardımı ile belirlenir. Bunlar ; P_{hati} , Q_{hati} , V_i ve δ_i değerleri olup, bu değişkenlerden iki tanesinin bilindiği kabul edilerek, güç akışı algoritması yardımı ile diğer iki tanesi elde edilmeye çalışılır. Bu değişkenlere bağlı olarak baraların üç grupta içinde incelenmesi mümkündür ;

1. Salınım (slack) barası olarak bilinen bara türünden, V_i ve δ_i değerleri bilinir diğer bir deyimle bu değerler sabit tutulmaya çalışılır, P_{hati} ve Q_{hati} değişkenleri hesaplanır. δ_i değeri genellikle sıfır olarak alınır. Bu çalışma süresince 1 numara ile gösterilen bara, salınım (slack) barası olarak kabul edilmiştir.

2. Diğer bara türü, P_{hati} ve V_i değerinin bilindiği, Q_{hati} ve δ_i değerinin arandığı PV, gerilim kontrollü bara veya generatör barasıdır. Şayet bu baraya generatör bağlı ise, P_i değeri türbin karakteristikleri değiştirilerek, V_i değeri ise makinanın uyarmasına etki yapan otomatik gerilim regülatörleri ile ayarlanarak sabit tutulmaya çalışılır. Eğer baraya şönt olarak bir reaktif güç üreticisi bağlı ise, reaktif gücü ayarlayan kontrol devresi yardımıyla V_i sabit tutulabilir. Bu çalışmada PV bara sayısı n_v sembolü ile gösterilmiştir, n_v baranın içinden (referans bara dahil olmak üzere) n_g adet generatör barası olarak kabul edilmiştir

3. Bara türlerinden üçüncüsü ise P_i ve Q_i değerlerinin bilinip, V_i ve δ_i değerlerinin arandığı bara türü olan PQ yük barasıdır. Bu baralar genellikle şehir ve sanayi baralarına karşı düşer.

2.2 Alternatif Akım Güç Akışı Hesaplamaları

Güç akışı hesaplamalarında u kontrol değişkenleri sabit kabul edilerek, bu değişkenler yardımı ile x durum değişkenleri bulunmaya çalışılır. AA sistemine ait durum değişkenleri olarak, tüm baralara ait δ_i gerilim açılarının değerleri (referans bara hariç) ve yük baraları gerilimlerinin V_i genlik değerleri seçilmiştir. Kontrol değişkenleri olarak ise; generatörlerinin P_{gi} aktif üretim güçleri (referans bara hariç) generatör baralarına ait V_{gi} gerilim genlik değeri, Q_{ci} ayarlanabilir reaktörlerinin reaktif güç değerleri ve sürekli ayarın yapılabildiği transformatörlerin t_i kademe ayar değerleri alınmıştır. Q_{ci} değeri kontrol değişkeni olduğu için, güç akışı hesaplamaları boyunca sabit kabul edilmiştir. Bu kabuller ile (2.12) ve (2.13) güç akışı eşitlikleri ;

$$g_{pi}(x, u) = P_{\text{hat } i}(x, u) - P_i(x, u) \quad (i=2, \dots, nb) \quad (2.14)$$

$$g_{qi}(x, u) = Q_{\text{hat } i}(x, u) - Q_i(x, u) \quad (i=ng+1, \dots, nb) \quad (2.15)$$

şeklinde yazılabilir. Değişkenliklere ait eşitlikler ise;

$$x^T = [\delta_2, \delta_3, \dots, \delta_{nb}, V_{ng+1}, V_{ng+2}, \dots, V_{nb}] = [\delta^T \ V_Y^T] \quad (2.16)$$

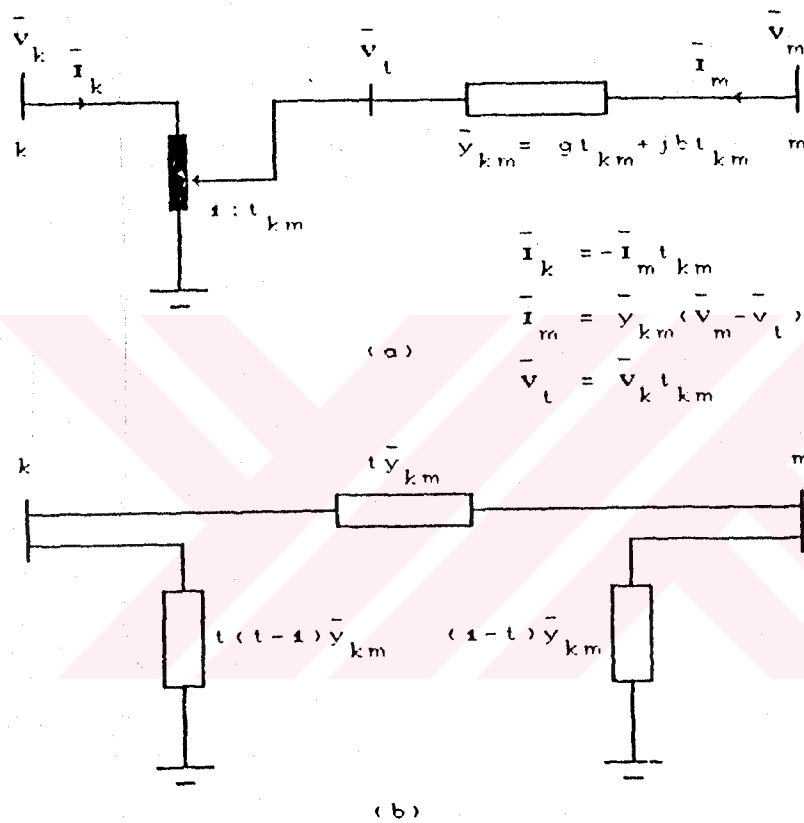
$$u^T = [P_{g2}, P_{g3}, P_{gng}, V_1, V_2, V_{ng}, Q_{ng+1}, Q_{ng+2}, Q_{nv}, t_1, \dots, t_{nt}] = [P_G^T \ V_G^T \ Q_C^T \ t^T] \quad (2.17)$$

vektör matrisleri ile verilebilir. Newton yöntemi kullanarak, bilinen u kontrol değişkeni için $(m+1)$. iterasyon sonunda x durum değişkenleri;

$$x^{m+1} = x^m + [J(u, x^m)]^{-1} \cdot g(u, x^m) \quad (2.18)$$

denklemini ile bulunur. (2.18) ifadesi daha açık şekilde yazılacak olursa ;

(2.21-24) eşitliklerinde kullanılan $y_{km} = g_{t_{km}} + jbt_{km}$ ayarlanabilir transformatör admitansı, $G_{kk} + jB_{kk}$ ve $G_{mm} + jB_{mm}$ ise sırası ile k ve m baralarına bağlı hatların (transformatör admitansı dışında) admitans değerleri toplamıdır. Güç akışı hesaplamaları boyunca transformatörlerin t kademe ayar değerlerinin değiştirilmesi halinde sistem admitans matrisinin aynı kalmasının hesaplamalar açısından kolaylıklar getireceği düşünülerek, jacobian matris içinde ilave alt matris tanımları yapılmıştır.



Şekil 2.2 (a) Kademeli Transformatör Şeması

(b) Kademeli Transformatörün Elektriksel Şeması.

J Jacobian matrisinin alt matrisleri olan J_1, J_2, J_3, J_4 , matrislerine benzer şekilde, transformatörün bağlı olduğu bara numaralarında tanımlanmak üzere t alt indisi kullanılarak $J_{1t}, J_{2t}, J_{3t}, J_{4t}$ alt matrisleri oluşturulmuş ve transformatörün bağlı olmadığı baralarda ise herhangi bir alt indis kullanılmamıştır. Bu işlemler yapılırken transformatörün k ve m adlı baralar arasında bağlı olduğu kabul edilmiştir. Aşağıda Jacobian matrisi oluşturan alt matrislerin ana köşegen üzerindeki ve ana köşegen dışındaki elemanların değerleri verilmiştir(13) :

$$J_{1i}(i, i) = V_i \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq i}}^{nb} V_j (-G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.25)$$

$$J_{1i}(i, j) = V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.26)$$

$$J_{1i}(k, k) = V_k \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (-G_{kj} \sin \delta_{kj} + B_{kj} \cos \delta_{kj}) + V_k V_m t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} - bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.27)$$

$$J_{1i}(k, m) = -V_k V_m t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} - bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.28)$$

$$J_{1i}(k, j) = V_k V_j (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}) \quad (2.29)$$

$$J_{1i}(m, m) = V_m \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{mj} \sin \delta_{mj} - B_{mj} \cos \delta_{mj}) - V_m V_k t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} - bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.30)$$

$$J_{1i}(m, k) = V_k V_m t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} + bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.31)$$

$$J_{1i}(m, j) = V_m V_j (G_{mj} \sin \delta_{mj} - B_{mj} \cos \delta_{mj}) \quad (2.32)$$

(i, j = 2, 3,nb) *

$$J_{2i}(i, i) = V_i \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq i}}^{nb} V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) + 2 V_i G_{ii} \quad (2.33)$$

$$J_{2i}(1, j) = V_i (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.34)$$

$$J_{2i}(k, m) = -V_k t_{km} (gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.35)$$

$$J_{2i}(k, j) = V_k (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) \quad (2.36)$$

$$J_{2i}(k, k) = \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) - V_m t_{km} (gt_{km} \cos \delta_{km} + t_{km} \sin \delta_{km}) + 2 V_k (G_{kk} + t_{km}^2 gt_{km}) \quad (2.37)$$

* :Salınım barası generator aktif güç değeri bilinmediği için i satır sayısı 2'den aynı baranın gerilim faz açısı sabit olduğundan j sütun sayısı 2 den başlar.

$$J_{2t}(m, m) = \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) - \\ V_k t_{km} (-gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) + 2 V_m (G_{mm} + gt_{km}) \quad (2.38)$$

$$J_{2t}(m, k) = V_m t_{km} (-gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.39)$$

$$J_{2t}(m, j) = V_m (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) \quad (i = 2, \dots, nb)^* \\ (j = ng+1, \dots, nb)^{**} \quad (2.40)$$

$$J_3(i, i) = V_i \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq i}}^{nb} V_j (-G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.41)$$

$$J_{3t}(k, k) = V_k \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) - \\ V_m V_m t_{km} (gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.42)$$

$$J_3(i, j) = -V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.43)$$

$$J_{3t}(k, m) = V_k V_m t_{km} (gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.44)$$

$$J_{3t}(k, j) = -V_k V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) \quad (2.45)$$

$$J_{3t}(m, m) = V_m \sum_{\substack{J=1 \\ J \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) + \\ V_m V_k t_{km} (-gt_{km} \cos \delta_{km} + bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.46)$$

$$J_{3t}(m, k) = V_k V_m t_{km} (gt_{km} \cos \delta_{km} - bt_{km} \sin \delta_{km}) \quad (2.47)$$

$$J_{3t}(m, j) = -V_m V_j (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) \quad (2.48)$$

(l = ng + 1, \dots, nb)^*

(J = 2, 3, \dots, nb)^{**}

* : Salınım barası gerilim faz açısı sabit olduğu için i satır sayısı 2 den başlamıştır.

** : Generatör baraları gerilim genlik değerleri kontrol değişkeni olduğu için j , sayısı ng+1'den başlamıştır.

$$J_4(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{nb} V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) - 2 V_i B_{ii} \quad (2.49)$$

$$J_4(i, j) = V_i (G_{ij} \cos \delta_{ij} - B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.50)$$

$$J_{4t}(k, m) = -V_k t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} - bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.51)$$

$$J_{4t}(k, j) = V_k (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}) \quad (2.52)$$

$$J_{4t}(k, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}) - V_m t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} - bt_{km} \cos \delta_{km}) - 2 V_k (B_{kk} + t_{km}^2 bt_{km}) \quad (2.53)$$

$$J_{4t}(m, m) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{mj} \sin \delta_{mj} - B_{mj} \cos \delta_{mj}) + V_k t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} + bt_{km} \cos \delta_{km}) - 2 V_m (B_{mm} + bt_{km}) \quad (2.54)$$

$$J_{4t}(m, k) = V_m t_{km} (gt_{km} \sin \delta_{km} + bt_{km} \cos \delta_{km}) \quad (2.55)$$

$$J_{3t}(m, j) = V_m (G_{mj} \sin \delta_{mj} - B_{mj} \cos \delta_{mj}) \quad (2.56)$$

(i, j = ng + 1, , nb) *

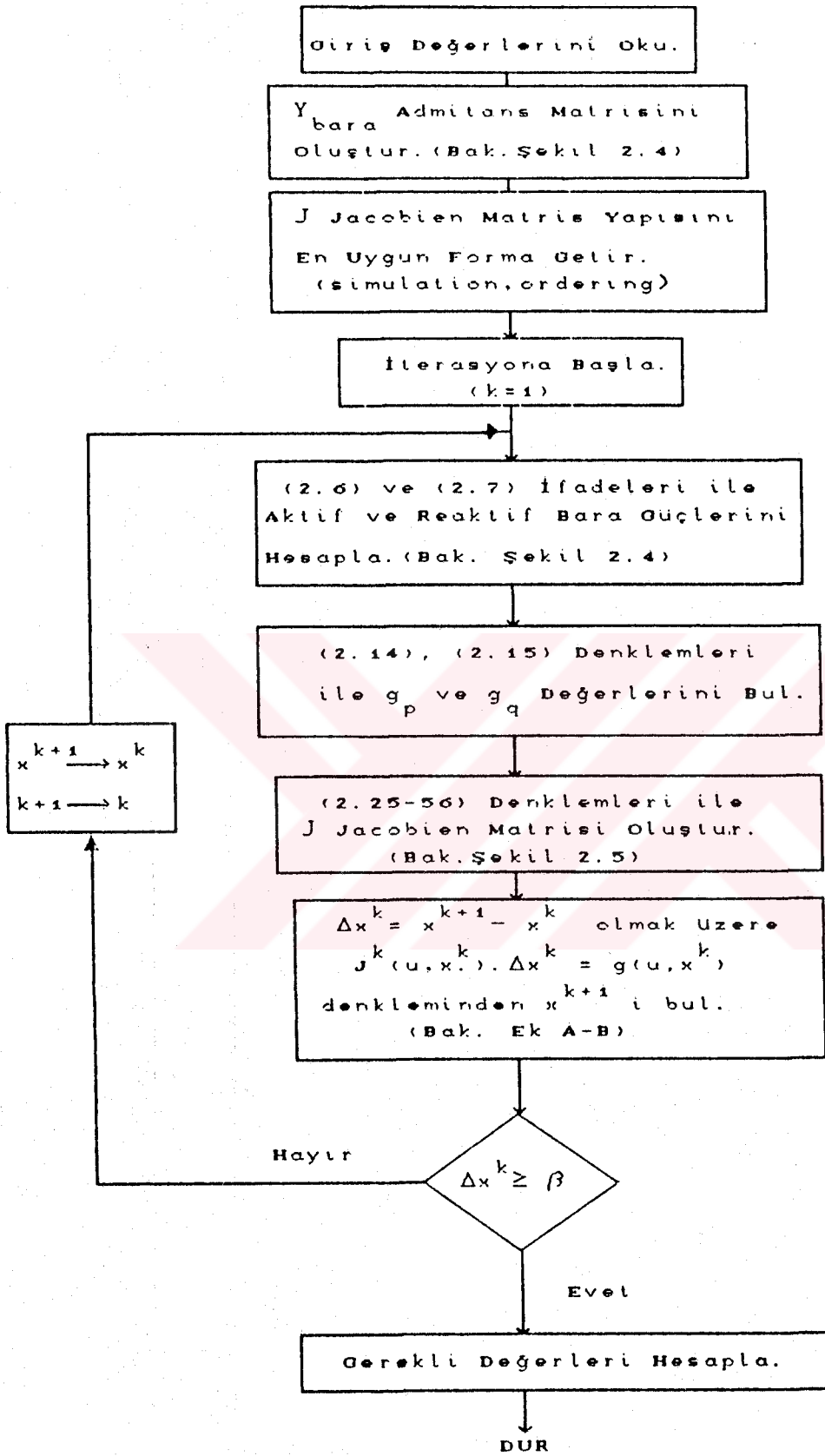
Şekil 2.3 de Newton yöntemi ile güç akışına ilişkin işaret akış diyagramı verilmiştir. Sistemin Y_{bara} admitans matrisi kullanılan yöntemin gereği, tüm güç akışı eşitlikleri boyunca bir defa hesaplanmakta, kademeli transformatörün t kademe ayar değerinin değişmesi halinde ise yalnızca Jacobien matrisine ilişkin denklemlerde değişiklik yapılmaktadır. Böyle bir yaklaşım optimizasyon hesaplamalarında kolaylık sağlamaktadır. Birbirini izleyen iki iterasyonda durum değişkenleri arasındaki fark Δx olmak üzere, bu algoritmalarda yer alan eşitlik;

$$J(x, u^k) \cdot \Delta x^k = g(x, u^k) \quad (2.57)$$

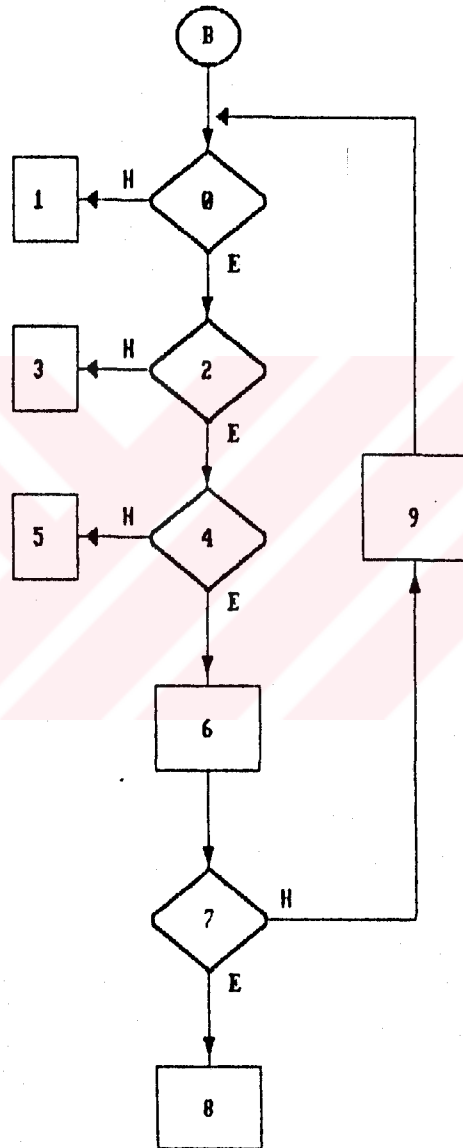
*Generatör reaktif güç değerleri güç akışı işlemlerinde J jacobian matriste gözükmediğinden, i satır sayısı ng+1 den generatör baraları gerilim genlik değerleri ise kontrol değişkeni olduğu için j sütun sayısı ng+1 den başlamıştır.

TF (triangular factorization) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. (14). Gerek Y_{bara} admitans matrisi gerekse J Jacobien matrisinin , bellekte en az yer kaplayacak şekilde bilgisayara yüklenmesi için kullanılan işlemler (compacting-ordering) (13) ve bunlara ilişkin FORTRAN programlama dilinde yazılmıştır. Şekil 2.4-2.5deki algoritmalar, şekil 2.3 ile verilen algoritmaya ilişkin işaret akış alt diyagramlarıdır.





Şekil 2.3 Newton Yöntemi İle Güç Akışı Algoritması



(Devam Ediyor)

0- İncelenen baraya ayarlı transformatör bağlı mı ?

1- (1.6) ve (1.7) Eşitliklerini kullanarak baralardan hatlara verilen aktif ve reaktif güçleri hesapla.

2- İncelenen baraya bağlı ayarlı transformatör sayısı bir adetten fazla mı ?

$$3-P_k'' = V_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m1, m2}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) - V_k V_{m1} t_{km1} (gt_{km1} \cos \delta_{m1k} + bt_{km1} \sin \delta_{m1k}) - V_k V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \cos \delta_{m2k} + bt_{km2} \sin \delta_{m2k}) + V_k^2 (G_{kk} + t_{km1}^2 gt_{km1}) + V_k^2 t_{km2}^2 gt_{km2}$$

$$Q_k'' = V_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m1, m2}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) - V_k V_{m1} t_{km1} (gt_{km1} \sin \delta_{m1k} - bt_{km1} \cos \delta_{m1k}) - V_k V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \sin \delta_{m2k} - bt_{km2} \cos \delta_{m2k}) + V_k^2 (B_{kk} + t_{km1}^2 bt_{km1}) - V_k^2 t_{km2}^2 bt_{km2}$$

4 - Bu baraya ayarlı transformatör k ucu ile mi bağlı ?

5 - (1.23) , (1.24) yardımcı ile aktif ve reaktif güçleri bul.

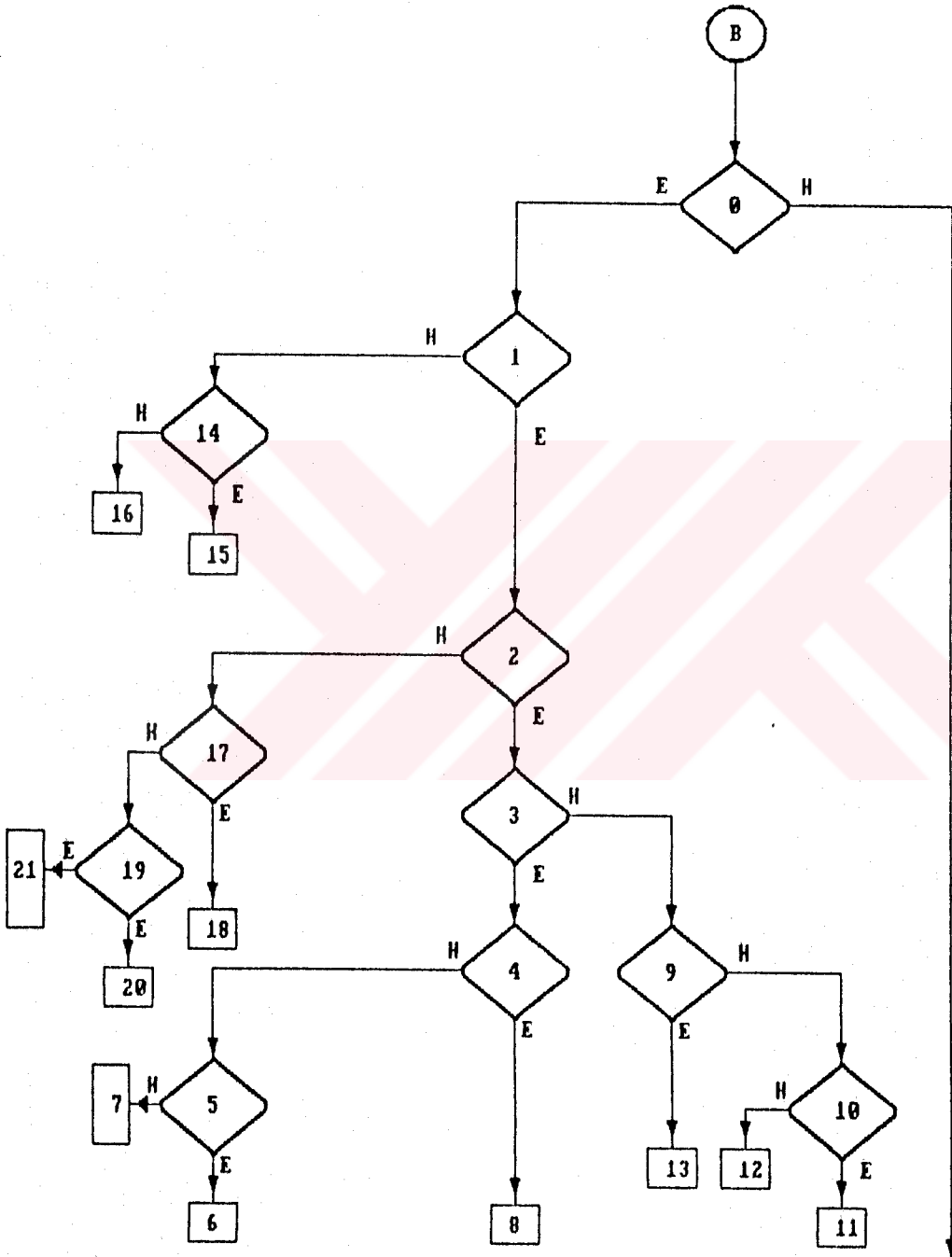
6 - (1.21) , (1.22) eşitliklerini kullan.

7 - Son bara mı?

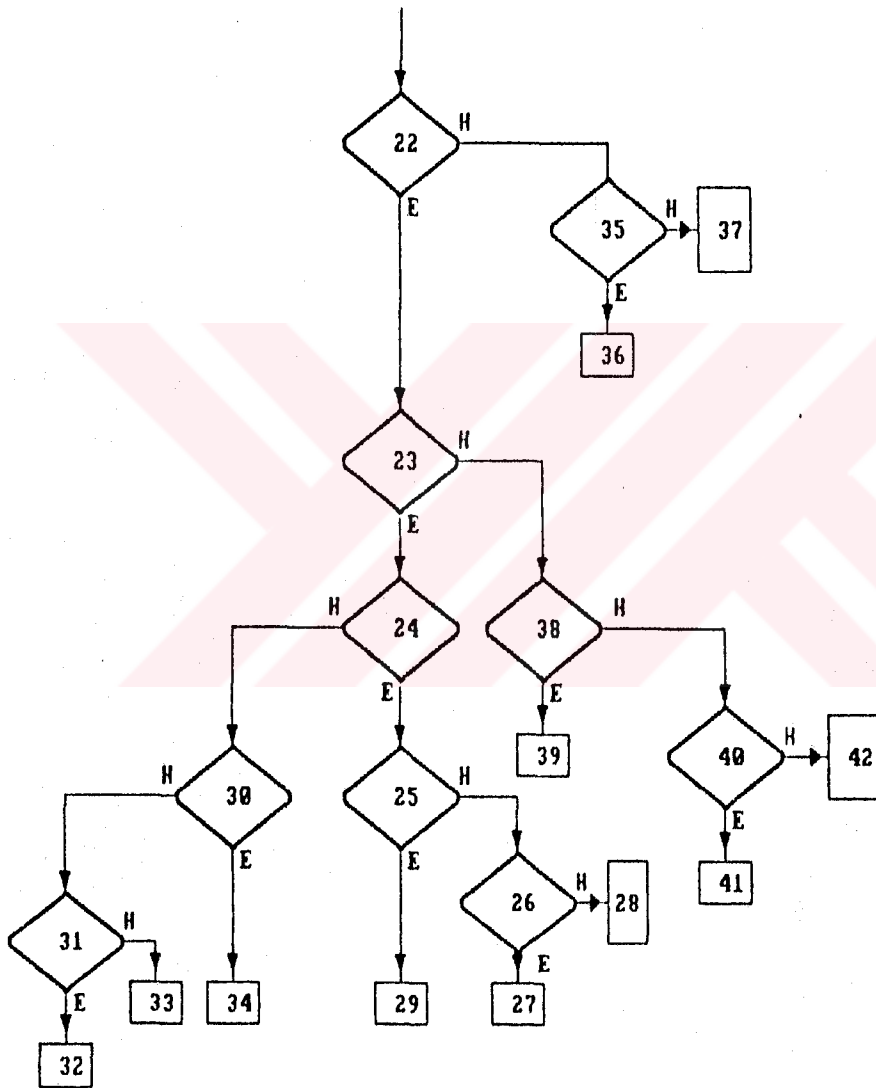
8 - Hesabı durdur.

9 - Döngü başına dön incelenen bara numarasını değiştir.

Şekil 2.4 Şekil 2.3 ile Verilen Bara Güçlerinin Hesaplanmasına Ait program İşaret Akış Şeması (NOT : Pratikteki uygulamalara uygun olarak bir baraya iki adetten fazla ayar edilebilen transformatör bağlanmadığı kabulü yapılmıştır.)



(Devam Ediyor)



(Devam Ediyor)

- 0 - J_1 yada J_3 matrisleri mi hesaplanacak?
- 1 - İncelenen baraya kademeli transformatör bağlı mı?
- 2 - Kademeli transformatörün sayısı bir adet mi?
- 3 - Baraya k ucu ile mi bağlı?
- 4 - Ana köşegenler üzerinde ki elemanlar mı?
- 5 - Köşegen dışındaki elemanın değeri transformatörün m no lu ucuyla aynı değerde mi?
- 6 - (2.28) ile $J_{1t}(k, m)$, (2, 44) ile $J_{3t}(k, m)$ hesapla.
- 7 - (2.29) ile $J_{1t}(k, j)$, (2, 45) ile $J_{3t}(k, j)$ hesapla.
- 8 - (2.27) ile $J_{1t}(k, k)$, (2.42) ile $J_{3t}(k, k)$ hesapla.
- 9 - Ana köşegen mi?
- 10 - Köşegen dışındaki elemanın değeri transformatörün k no lu ucu ile aynı değerde mi?
- 11 - (2.31) ile $J_{1t}(m, k)$, (2.47) ile $J_{3t}(m, k)$ hesapla.
- 12 - (2.32) ile $J_{1t}(m, j)$, (2.48) ile $J_{3t}(m, j)$ hesapla.
- 13 - (2.30) ile $J_{1t}(m, m)$, (2.46) ile $J_{3t}(m, m)$ hesapla
- 14 - Ana köşegen mi?
- 15 - (2.25) ile $J_1(i, i)$, (2.41) ile $J_3(i, i)$ hesapla.

16 - (2.26) ile $J_1(i, j)$, (2.43) ile $J_3(i, j)$ hesapla.

17 - Ana köşegen mi?

$$18- J_1''(k, k) = V_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m1, m2}}^{nb} V_j (-G_{kj} \sin \delta_{kj} + B_{kj} \cos \delta_{kj}) +$$

$$V_k V_{m1} t_{km1} (gt_{km1} \sin \delta_{km1} - bt_{km1} \cos \delta_{km1}) + V_k V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \sin \delta_{km2} - bt_{km2} \cos \delta_{km2})$$

$$J_3''(k, k) = V_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) - V_k V_{m1} t_{km1}$$

$$(gt_{km1} \cos \delta_{km1} + bt_{km1} \sin \delta_{km1}) + V_k V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \cos \delta_{km2} + bt_{km2} \sin \delta_{km2})$$

19 - Matrisinin ilgili sütunu m_1 ve m_2 den farklı mı?

20 - (2.29) ile $J_{1t}(k, j)$, (2.45) ile $J_{3t}(k, k)$ hesapla.

21 - (2.28) ile $J_{1t}(k, m1)$, $J_{1t}(k, m2)$ hesapla.

(2.44) ile $J_{3t}(k, m1)$, $J_{1t}(k, m2)$ hesapla.

22 - 1

23 - 2

24 - 3

25 - 4

26 - 5

27 - (2.35) ile $J_{2t}(k, m)$, (2.51) ile $J_{4t}(k, m)$ hesapla.

28 - (2.36) ile $J_{2t}(k, j)$, (2.52) ile $J_{4t}(k, j)$ hesapla

29 - (2.37) ile $J_{2t}(k, k)$, (2.53) ile $J_{4t}(k, k)$ hesapla.

30 - 9

31 - 10

32 - (2.39) ile $J_{2t}(m, k)$, (2.55) ile $J_{4t}(m, k)$ hesapla.

33 - (2.40) ile $J_{2t}(m, j)$, (2.56) ile $J_{4t}(m, j)$ hesapla

34 - (2.38) ile $J_{2t}(m, m)$, (2.54) ile $J_{4t}(m, m)$ hesapla.

35 - 14

36 - (2.33) ile $J_2(i, i)$, (2.49) ile $J_4(i, i)$ hesapla.

37 - (2.34) ile $J_2(i, j)$, (2.50) ile $J_4(i, j)$ hesapla.

38 - 17

$$39 - J_2''(k, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m1, m2}}^{nb} V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) -$$

$$V_{m1} t_{km1} (gt_{km1} \cos \delta_{km1} + bt_{km1} \sin \delta_{km1}) +$$

$$2V_k (G_{kk} + t_{km1}^2 gt_{km1}) + 2V_k t_{km2}^2 gt_{km2} -$$

$$V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \cos \delta_{km2} + bt_{km2} \sin \delta_{km2})$$

$$J_4''(k, k) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k, m1, m2}}^{nb} V_j (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}) -$$

$$V_{m1} t_{km1} (gt_{km1} \sin \delta_{km1} - bt_{km1} \cos \delta_{km1}) +$$

$$2V_k (B_{kk} + t_{km1}^2 bt_{km1}) - 2V_k t_{km2}^2 bt_{km2} -$$

$$V_{m2} t_{km2} (gt_{km2} \sin \delta_{km2} - bt_{km2} \cos \delta_{km2})$$

40 - 19

41 - (2.36) ile $J_{2t}(k, j)$, (2.52) ile $J_{4t}(k, j)$ hesapla.

42 - (2.35) ile $J_{2t}(k, m1)$, $J_{2t}(k, m2)$ hesapla.

(2.51) ile $J_{4t}(k, m1)$, $J_{4t}(k, m2)$ hesapla.

Şekil 2.5 Şekil 2.3 ile verilen Jacobien Matris Hesaplamasına ait Alt Program İşaret Akış Şeması.(21)

Klasik yaklaşımlarda kademe ayarlı transformatörler bulunan bir alternatif akım sisteminde, kademe ayarının her farklı değeri için sisteme ilişkin bara admitans matrisi yeniden hesaplanmaktadır. Bu durum, büyük sayıda bara içeren sistemler için verimli değildir.

Şekil 2.4 ve 2.5 ile verilen algoritmalar, yapılan güç akışı çalışmasından farklı bir özelliğe sahiptir(21). Bu çalışma da verilen ve şekil 2.4 , 2.5 algoritmalarında , kademe ayar değerleri, bara admitans matrisine sokulmadan güç akışı hesaplamalarında değişken olarak yer alabilmektedir. Böylece yukarıda belirtilenin tersine kademe ayar değeri değişmesine rağmen, bara admitans matrisinde herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmamaktadır.Zira t kademe ayar değişiklikleri yalnızca P ve Q güç eşitliklerine yansıtılmaktadır. Ayrıca , bu algoritmalar bir baraya iki adet kademe ayarlı transformatörün bağlanması durumunda da gösterildiği şekliyle kolaylıkla kullanılabilirler.

BÖLÜM 3 AA-DA SİSTEMİN İNCELENMESİ

Son yıllarda doğru akım ile güç iletimi güç sistemlerinde önem kazanmaya başlamıştır. Böyle bir üretim türü, alternatif gerilim ile çalışan birleşik sistemin uygun olan bazı noktaları arasında, doğru akım kullanılarak enerji iletilmesi ile gerçekleşir. Doğru akım ile enerji iletimini seçmeye yönelten etkenler ise gerek hat maliyetini, gerekse güç kayıplarını azaltmasıdır. Bunun yanı sıra, sürekli ve geçici hallerde sistemi kararlı kılmadaki katkısı, bu iletim türünün seçilmesinde diğer önemli bir etkidir. Son olarak belirtilmesi gereken bir diğer özelliği de, reaktif güç akışını etkileyerek, enerji sisteminin daha rahat kontrol edilmesini sağlamasıdır.

Günümüzde AA-DA güç akışı yöntemleri arasında modern kontrol teorisindeki gelişmelere açık olanları tercih edilmektedir. Alternatif akım devrelerindeki pasif elamanlardan farklı olarak, doğru akım sistemine ait çeviriciler; güç, akım, gerilim ve açı kontrol elemanları ile donatılmıştır. Sistemdeki kayıpların mümkün olan en alt değerde olabilmesi için, çevirici kontrol açıları alt sınır değerlerinde tutulmaya çalışılır. Bu yüzden sürekli veya geçici halde çeviricinin kontrolü, öncelikle çevirici transformatörünün ayar kademesinin değiştirilmesi ile yapılır. Sistemin karalı çalışmasını bozabilecek olan ani değişikliklere ise, çevirici transformatör ayar kademesinin kontrolü ile cevap verilmesi mümkün olamaz. Bu tür değişikliklere ancak açı kontrol elemanları tristör kullanarak çok az bir gecikme ile cevap verilebilir.

AA-DA güç akışı hesaplamalarında, alternatif akım hatlarına eklenecek doğru akım hatlarının, çözüm süresini fazla arttırmaması istenir. Çok kutuplu çevirici terminallerinin katılımı ile çoğalan değişken sayısının, çözüm süresini üstel olarak arttırdığı düşünülürse, uygulanması istenen yöntemde aranan özelliklerde artacaktır.

Bu çalışmada kullanılan, AA-DA güç akış hesaplamaları,(burada uygulaması yapıldığı gibi) çok uçlu-tek kutuplu devrelerde kullanılabileceği gibi, çok uçlu-iki kutuplu doğru akım devrelerinde de kullanılabilir. Bu yöntemle, doğru akım devresine ait büyüklükler olan hat akımları, tetikleme açıları, çevirici gerilimleri ve çevirici transformatörün kademe ayar değerlerine ilişkin sınır değerlerini de gözeterek, oldukça az sayılabilecek sürede yakınsama elde edilebilmektedir. Ayrıca Newton yöntemine göre daha hızlı olup Jacobien matris hesaplamaları gerektirmediği için,bu yaklaşım bilgisayar belleği kullanımı açısından üstünlüklere sahiptir. Bu yöntem ile yapılan doğru akım güç akışı ayrık türde olduğundan tüm alternatif akım güç akışı hesaplama yöntemleri ile birlikte kullanılabilme özelliğine de sahiptir. Bu yüzden mevcut olan alternatif akım güç akışı programları da yapısında hiç bir değişiklik gerektirmeden AA-DA güç akışı algoritması içinde kullanılabilir.

AA-DA güç akışı çalışmalarında iki çeşit yaklaşım söz konusudur; birincisi, birleşik çözüm diğeri ayrık çözümdür. Birinci yöntemde AA-DA güç akışı algoritması, tüm sistemi temsil eden eşitliklerin bir arada göz önüne alınması ve çözülmesi esasına dayanır. İkinci yöntem ise AA ile DA devresine ilişkin eşitlikler arasında ileri geri gidilerek çözüme ulaşılmaya çalışılır.

Genel olarak, birleşik yöntemde doğru akım güç akışına ilişkin eşitlikler, alternatif akım güç akışı eşitliklerine sokularak doğrudan çözülür. Buna örnek olarak Newton yönteminde kullanılan Jacobien matrisin genişletilmesi verilir. Newton yaklaşımı ile yapılan AA-DA güç akışı eşitliklerinde, sisteme konan ilk doğru akım hattı Jacobien matris boyutunu 13 arttırır.(21)

3.1 Alternatif Akım- Doğru Akım Sistem Modeli :

Doğru akım sistemini analiz etmeden önce çevirici ve doğru akım iletim hattının modellenmesi gerekmektedir. Modelleme, litaretürde genel kabul görmüş ve aşağıda verilen varsayımlara dayanarak yapılacaktır :

1. Alternatif akım sistemlerindeki akım ve gerilime ilişkin ana (birinci) harmonik değerleri dengeler.

2. Ana harmonik dışındaki harmonikler ihmal edilecektir.
3. Doğru akım gerilim ve dalga şekillerindeki dalgalılık göz önüne alınmayacaktır.
4. Çeviricilerde kullanılan tristörler ideal anahtar kabul edilecek ve bunların iletim yönünde gerilim düşümlerinin olmadığı, kesim yönünde ise sonsuz direnç gösterdikleri varsayımı yapılacaktır.
5. Çevirici transformatörlerin boşa çalışma akımları ve kayıpları ihmal edilecektir.

Şekil 3.1 de iki uçlu doğru akım iletim hattına ait basit bir model verilmiştir. Şekilde alternatif akım harmoniklerini süzmek için kullanılan filtre, çevirici transformatörünün alternatif akım tarafına bağlanmıştır, Çevirici transformatörünün modellenmesinde Π eşdeğer devresi kullanılmıştır. Büyüklüklerin birimi (per unit) değerlere dönüşümleri için gerekli eşitlikler aşağıda verilmiştir. Alternatif akım ve doğru akım devrelerine ilişkin temel güç değeri P_{temel} , üç fazlı alternatif akım devresine ilişkin gerilim temel değeri $V_{aatemel}$ (faz arası etkin değer) olmak üzere alternatif akımına ilişkin temel akım ve empedans değeri;

$$I_{aatemel} = \frac{P_{temel}}{\sqrt{3} \cdot V_{aatemel}} \quad (3.1)$$

$$Z_{aatemel} = \frac{V_{aatemel}}{\sqrt{3} \cdot I_{aatemel}} \quad (3.2)$$

eşitlikleri yardımı ile bulunur. Doğru akım devresinde ilişkin temel güç büyüklüğü P_{temel} ve temel gerilim değeri olarak çevirici çıkışı faz toprak gerilimi alınırsa temel gerilim değeri için ;

$$V_{datemel} = K_b \cdot V_{aatemel} \quad (3.3)$$

yazılabilir. Burada n, seri olarak bağlanan çevirici sayısını göstermek üzere, K_b değeri;

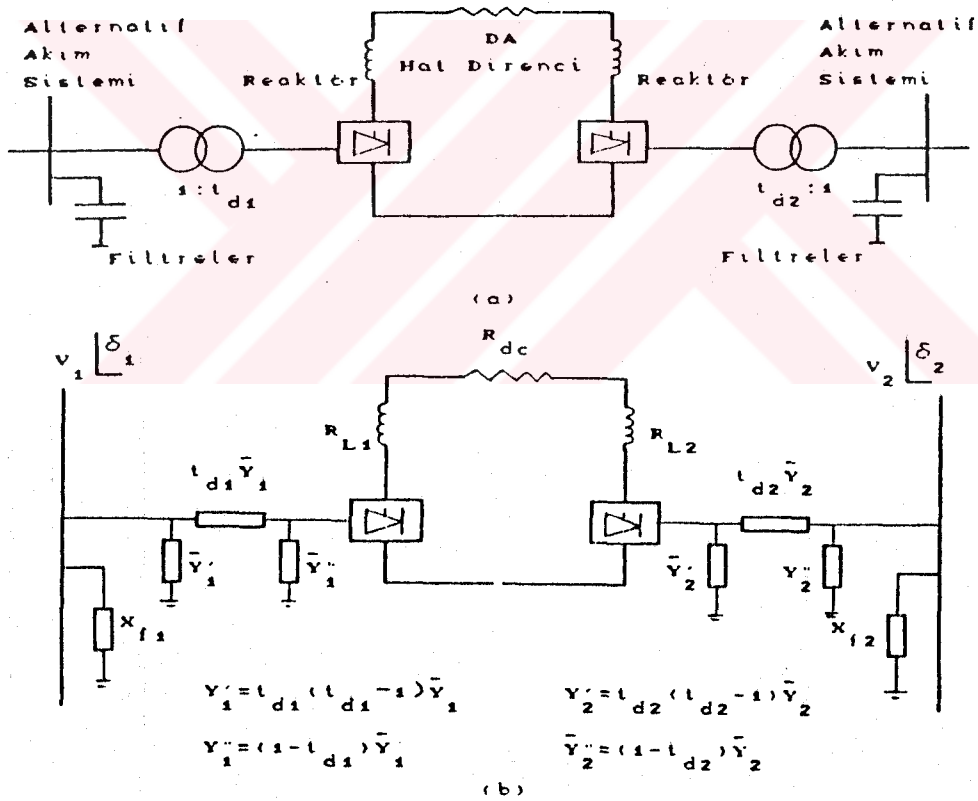
$$K_b = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} n_1 \quad (3.4)$$

eşitiği ile elde edilir. Doğru akım devresinin akım ve empedansına ait temel değerler:

$$I_{\text{datemel}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{aatemel}}}{K_b} \quad (3.5)$$

$$Z_{\text{datemel}} = K_b^2 Z_{\text{aatemel}} \quad (3.6)$$

ifadeleri ile bulunabilir.



Şekil 3.1 Doğru akım iletim hattı çevirici ve transformatörü a) Modeli b) Elektriksel Eşdeğeri

Doğru akım hattının modellenmesinde kullanılan terimler(açılar hariç) birim olarak aşağıda tanımlanmıştır :

P_d : Çeviricinin AA sisteminde çektiği aktif güç,

V_d : Çevirici terminali çıkışı doğru gerilim değeri,

V : Çevirici transformatörü primer ucuna ait gerilim,

I_c : Çeviricinin AA barasından çektiği alternatif akımın değeri (Akım yönü çeviriciye doğru ise pozitif, aksi halde negatif değer alır.)

I_d :Çevirici terminal çıkışı doğru akım değeri (Doğrultma modu için pozitif, evirme durumu için negatif değer alır.)

δ : Serbest baraya göre AA barası gerilim faz açısı,(Derece veya radyan)

φ : Çeviriciye ait alternatif akım faz açısı , (Derece veya radyan)

\emptyset : $\delta - \varphi$, (Derece veya radyan)

α : Doğrultucuya ait tetikleme açısı , (Derece veya radyan)

γ : Evirici toparlama (recover, extinction) açısı , (Derece veya radyan)

R_c : Çevirici komutasyon direnci, $(\frac{\pi}{6n_1}) X_c$

(Doğrultma modunda pozitif, evirmede modunda negatif olur.)

X_c : Çevirici transformatörü artık reaktansı,

t_d : Çevirici transformatörü ayar kademesi,

n_1 : Seri olarak bağlı çevirici sayısı,

Şekil 3.1 de verilen model için doğru gerilim değeri

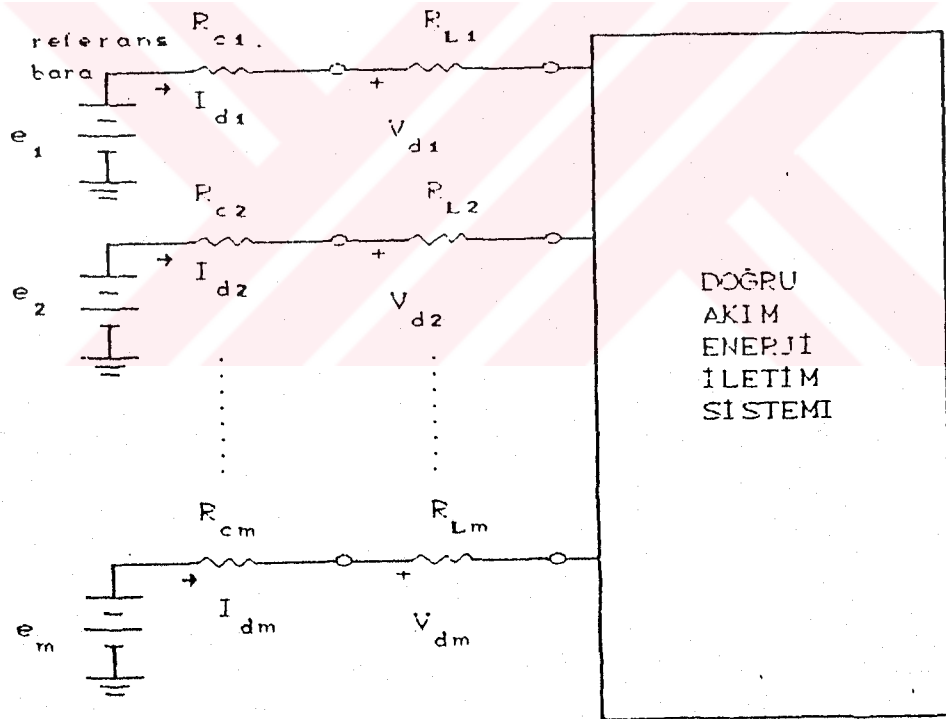
$$V_d = V \cdot t_d \cos(\alpha \text{ veya } \gamma) - R_c \cdot I_d \quad (3.7)$$

eşitliği ile bulunabilir. Bu değer çevirici ve buna ait transformatör kayıplarının ihmali ile, doğru ve alternatif akım tarafına ait güçlerin eşitliğinden faydalanılarak ;

$$V_d = v \cdot t_d \cos \varnothing \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılarak ta bulunabilir.

Şekil 3.2 de görülen doğru akım sisteminde i. çeviriciye ait açık devre gerilimi e_i terminal gerilim değeri V_{di} ise



Şekil 3.2 Çok Uçlu Doğru Akım Sistemi Modeli

$$e_i = V_i \cdot t_{di} \cdot \cos(\alpha_i \text{ veya } \gamma_i) \quad (3.9)$$

$$V_{di} = e_i - R_{ci} \cdot I_{di} \quad (3.10)$$

eşitlikler yardımı ile bulunur. Buna göre, her bir çevirici, kontrol edilebilen bir doğru gerilim kaynağı ve buna seri olarak bağlanan küçük değerinde bir direnç ile modellenebilir. Şekil 3.2 de böyle bir model verilmiştir. Doğru akım iletim hatları pratikte, ağ şebeke veya ikisinin birleşimi şeklinde olmaktadır. Buradaki eşitliklerde kolaylık sağlamak için, bir kutuplu çeviricilerde topraklama direncinin bulunmadığı kabul edilmiştir. İki kutuplu çeviricilerde ise buradaki kabul tersine topraklama direnci de göz önüne alınacaktır.

3.2 Doğru Akım Güç Akışı Eşitlikleri

Şekil 3.2 de gösterildiği gibi, her bir çeviricinin bir doğru gerilim kaynağı olarak temsil edildiği, bu kaynağın enerji iletim sistemine çeviriciye ait komutasyon direnci veya şayet varsa seri reaktör direnci ile seri olarak bağlı bulunduğu kabulü yapılmıştır. Sürekli halde, doğru akım sistemindeki bir çeviriciye ilişkin açık devre gerilimi değeri;

$$e_i = e_1 - R_{c1} \cdot I_{d1} + R_{ci} \cdot I_{di} + \sum_{j=2}^m r_{ij} I_{dj} \quad (i = 2 \dots \dots \dots nc) \quad (3.11)$$

ifadeleri ile hesaplanır.(3.11) eşitliğindeki terimler aşağıda tanımlanmışlardır.

R_{ct} : i. çeviriciye ilişkin komutasyon direnci (Doğrultma modu için pozitif, evirme modu için negatif olur.)

nc : Doğru akım sistemindeki çevirici terminal sayısı

e_i = i. çeviriciye ilişkin açık devre gerilimi,

e_1 = Referans çevirici açık devre gerilimi,

$I_{dj} = j$. çeviricinin ürettiği doğru akım (pozitif ise akım DA sistemine doğru aktığı kabul edilir.)

r_{ij} = Doğru akım sisteminde referans baraya göre oluşturulan bara direnç matrisine ait i. satır j.sütun elemanı

(3.11) eşitliğinde görülen bara direnç matrisi elamanları içinde komutasyon direnci bulunmaktadır. Bu direncin matrise ilave edilmemesi, her bir doğru akım yük akışı döngüsünde R matrisinin yeniden hesaplanması gibi ilave bir işlemten kurtulmayı sağlar. Çünkü çeviricilerin mod değişikliğine (doğrultma/evirme veya tersi) uğraması halinde, R_{ci} işaret değiştirir. R matrisi ancak doğru akım iletim sisteminde şekil (bağlantı) değişikliği olduğunda değer değiştirmelidir.(3.11) eşitliğinde e_i değerleri daima pozitiftir. e_i değerlerinin

$$e_i \leq V_{di \max} = V_{i.t di}, \cos(\alpha_{i \min} \text{ veya } \gamma_{i \min}) \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.12)$$

ifadesini en az bir çevirici için sağlaması, doğru akım sistemine ait kayıpların azaltılması açısından önemlidir. Ayrıca I_{di} akımını $I_{di \max}$ değerini aşmamalıdır. Daha açık ifade ile;

$$0 \leq I_{di} \leq I_{di \max} \quad (\text{doğrultucu}), \quad (3.13)$$

$$-I_{di \max} \leq I_{di} \leq 0 \quad (\text{evirici için}), \quad (3.14)$$

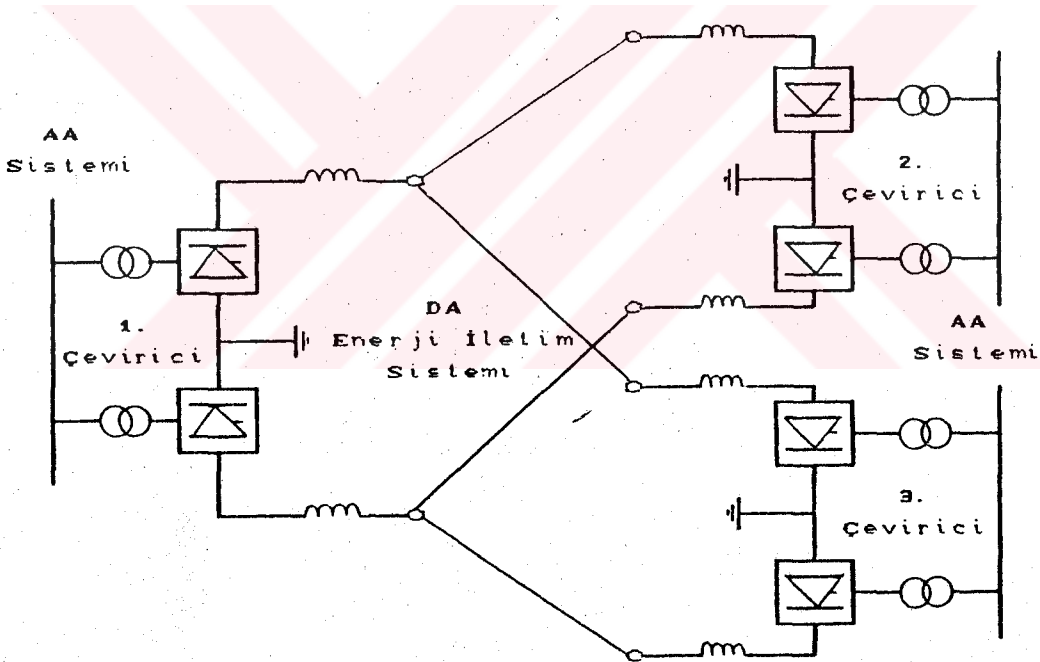
koşulları geçerli olmalıdır. Ayrıca doğru akım enerji iletim hattına verilen akımların cebrik toplamı

$$\sum_{j=1}^{nc} I_{dj} = 0 \quad (3.15)$$

eşitliğini sağlamalıdır.

3.3 İki Kutuplu -Çok Uçlu DA Sistemleri

Bu alt bölümde iki kutuplu (bipolar) DA doğru akım sistemleri tanıtılacak ve güç akış algoritması hakkında açıklamalar yapılacaktır. Normal olarak iki kutuplu doğru akım enerji sistemleri ,biri pozitif diğeri negatif polaritede olmak üzere iki adet iletkene sahiptirler. İki kutuplu bir iterasyonda ,aynı gerilim ve güç değerinde çalışan doğru akım sistemine seri olarak bağlı iki adet çevirici gurubu mevcuttur.İki kutup arasındaki birleşme yeri nötr noktası olarak adlandırılır ve bu nokta genellikle topraklanır. Bu çeviriciler bağımsız olarak çalıştırılabileceği gibi , topraklama akımı yok edilebilirse eşit akım değerlerinde çalıştırabilmektedirler. Şekil 3.3 de iki kutuplu çok uçlu radyal iletim hattı şeması verilmiştir.İki kutuplu sistemin kontrolü , toprak akımı ile ilgili hesaplamalar dışında tek kutuplu sistemdeki gibidir.

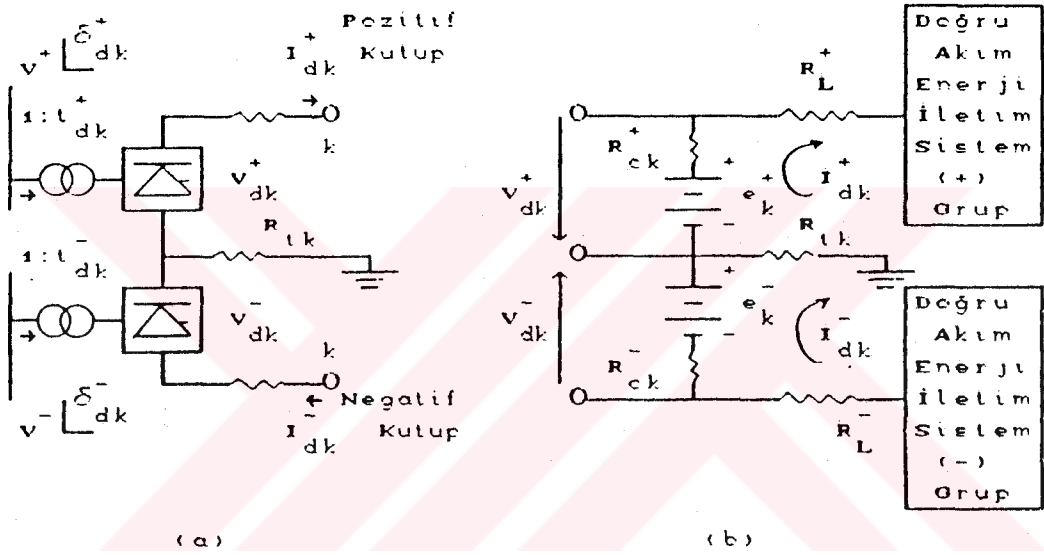


Şekil 3.3 İki Kutuplu, Çok Uçlu Radyal Beslemeli Doğru Akım İletim Hattı Şeması

3.3.1 Sistem Modeli

İki kutuplu sistemdeki her bir kutubun yapısı , tek kutuplu sistemdeki yapının aynısıdır.Şekil 3.4'de iki kutuplu çevirici iterasyon şeması verilmiştir.Şekilde nötr noktası ile toprak arasındaki direnç, R_t ile gösterilerek , + indis ile belirtilen

büyüklikler pozitif gurubu, - indis ile gösterilenler ise negatif gurubu belirtmektedir. İki kutuplu çalışmada toprak ucu, akım dönüş yoludur. Bu yol ya sürekli olarak kullanılır, ya da acil durumlarda geçici olarak kullanılır. Toprak üzerinden tamamlanan dönüş yolu direnci, metalik bağlantılı dönüş yollarına göre oldukça düşük dirence sahiptir. Kullanılan çazüm yönteminde her bir çeviricinin nötr noktası bir baraya karşı düşürülebilir. (15)



Sekil 3.4 İki Kutuplu a) Sistem Modeli. b) Elektriksel Eşdeğeri.

Verilen modelde i . terminalin nötr noktasına ilişkin gerilim değeri;

$$V_{ni} = \sum_{j=1}^{nc} r_{ij}^t (I_{dj}^- - I_{dj}^+) \quad (i = 1, \dots, nc) \quad (3.16)$$

denklemler ile verilebilir. (3.16) denklemleri ile belirlenen r_{ij}^t direnç değeri, R^t bara direnç matrisinin (i,j) numaralı elemanını göstermektedir. (3.16) denkleminin elde edilebilmesi için çevirici nötr noktalarından bir tanesi referans olarak kullanılabilir. Aynı şekilde, ayrı bir toprak noktası da referans olarak alınabilir. (15)

$$e_i^+ = e_i^+ - R_{ci}^+ \cdot I_{di}^+ + R_{ti} \cdot (I_{di}^- - I_{di}^+) + R_{ci}^+ \cdot I_{di}^+ - R_{ti} \cdot (I_{di}^- - I_{di}^+) + \sum_{j=2}^{nc} r_{ij}^+ \cdot I_{dj}^+ \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.17)$$

$$e_i^- = e_i^- - R_{ci}^- \cdot I_{di}^- - R_{ti} \cdot (I_{di}^- - I_{di}^+) + R_{ci}^- \cdot I_{di}^- + R_{ti} \cdot (I_{di}^- - I_{di}^+) + \sum_{j=2}^{nc} r_{ij}^- \cdot I_{dj}^- \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.18)$$

Yukarıdaki eşitliklerde görülen R_{ti} değeri i . çeviriciye ait nötr noktası topraklama direncidir. e_i^+ ve e_i^- değerleri daima pozitif olduğu düşünülerek;

$$e_i^+ \leq V_{i \max}^+ = V_i^+ \cdot t_{di}^+ \cos(\alpha_{i \min}^+ \text{ veya } \gamma_{i \min}^+) \quad (3.19)$$

$$e_i^- \leq V_{i \max}^- = V_i^- \cdot t_{di}^- \cos(\alpha_{i \min}^- \text{ veya } \gamma_{i \min}^-) \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.21)$$

ifadeleri yardımıyla hesaplanabilir. Yukarıda verilen her bir ifadenin en az bir çevirici için eşitlik olarak sağlanması , kayıpların azaltılması bakımından iyi olur. Çevirici akımın üst sınırı için

$$0 \leq (I_{di}^+, I_{di}^-) \leq I_{di \max} \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.22)$$

İfadesi sağlanmalıdır. Ayrıca her bir kutuba ait akım değerlerinin toplamı;

$$\sum_{i=1}^{nc} I_{di}^+ = 0 \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.23)$$

$$\sum_{i=1}^{nc} I_{di}^- = 0 \quad (i=1, \dots, nc) \quad (3.24)$$

Eşitliklerini hesaplamalıdır. İki kutuplu çevirici istasyonları , sistemin çalışması esnasında meydana gelebilecek ani değişikliklere izin verebilmelidir. Her bir kutup istenirse diğerinden bağımsız farklı güçler , akımlar ve gerilimlerde çalıştırılabilir.

Bu modelde değişkenlerinin sayısı 15 adettir. Bu değişkenler ise;

$$V_{dm}, V_{dn}, E_m, E_n, \Phi_m, \Phi_n, \alpha_m, \delta_n, a_m, a_n, I_m, I_n, \omega_m, \omega_n, I_d$$

sembolleri ile gösterilmiştir. Bu değişkenlerin bulunması için 15 adet denklem setine ihtiyaç vardır. Bu set şöyle oluşturulmuştur;

1. DA hat için bir denklem
2. Her çevirici için bir adet performans denklemi
3. Her bir çevirici için gerilim, akım, ve güç ile alakalı ikişer adet denklem
4. Her transformatör için ve gerilimleri içeren ikişer adet denklem

Yukarıda elde edilen denklem sayısı 11 dir. Geriye kalan 4 denklem ise çeviricilere ilişkin kontrol denklemleri yardımı ile bulunur.

4-2 Temel Eşitlikler

Burada kullanılan eşitlikler farklı yollardan elde etmek mümkündür. Burada nonlineer denklem sayısı azaltılma yoluna gidilerek elde edilmiştir. Yukarıda 4 madde halinde özetlenen denklem takımı DA hat için;

$$0 = V_{dm} - V_{dn} - R_{DA} I_d \quad (4.1)$$

çevirici için;

$$0 = V_{dm} - K_1 E_m \cos \alpha_m + K_2 X_m I_d \quad (4.2)$$

$$0 = V_{dn} - K_1 E_n \cos \delta_n + K_2 X_n I_d \quad (4.3)$$

çeviricilere ilişkin transfer denklemleri ;

$$0 = I_m - K_1 I_d \quad (4.4)$$

$$0 = I_n - K_1 I_d \quad (4.5)$$

$$0 = V_{dm} - K_1 E_m \cos(\Phi_m - \omega_m) \quad (4.6)$$

$$0 = V_{dn} - K_1 E_n \cos(\Phi_n - \omega_n) \quad (4.7)$$

ifadeleri yardımıyla bulunur. Transformatorün bağlantı noktasına Kirchhoff'un Akım yasası uygulanırsa;

$$I_m \angle \omega_m = V_m \angle \varphi_m a_m Y_m - E_m \angle \Phi_m Y_m \quad (4.8)$$

$$I_n \angle \omega_n = -V_n \angle \varphi_n a_n Y_n + E_n \angle \Phi_n Y_n \quad (4.9)$$

elde edilir. (4.8) ve (4.9) denklemlerinin reel ve sanal kısımlarından elde edilen eşitliklerde ilave edildiğinde (4.1-4.9) denklemlerinin sayısı 11 adet olacaktır. DA hattı sadece omik karakter taşıdığından I_m ve I_n akımları yalnızca reel bileşenler içerir. Akım ve gerilimler için bir referans eksen seçilmesi gerekir. Burada basitlik sağlamak için akım açısı referans eksen olarak alınmıştır. Yani $\omega_m = 0 = \omega_n$ seçilerek Φ_m ve Φ_n değeri de φ_m ve φ_n değerlerine eşitlenebilir. Bu kabuller ile (4.6) ve (4.7) ifadeleri;

$$0 = V_{dm} - K_1 E_m \cos \phi_m \quad (4.10)$$

$$0 = V_{dn} - K_1 E_n \cos \phi_n \quad (4.11)$$

eşitlikler yardımı ile bulunur (4.8) ve (4.9) eşitlikler reel ve imajiner kısma ayrılırsa;

$$I_m = \text{re} \{ V_m \angle \varphi_m a_m Y_m - E_m \angle \phi_m Y_m \} \quad (4.12)$$

$$0 = \text{im} \{ V_m \angle \varphi_m a_m Y_m - E_m \angle \phi_m Y_m \} \quad (4.13)$$

$$I_n = \text{re} \{ -V_n \angle \varphi_n a_n Y_n + E_n \angle \phi_n Y_n \} \quad (4.14)$$

$$0 = \text{im} \{ -V_n \angle \varphi_n a_n Y_n + E_n \angle \phi_n Y_n \} \quad (4.15)$$

eşitlikler elde edilir.Çevirici transformatörün direnci ihmal edilebilecek bir değerdedir.Bu kabul birçok AA güç akışı uygulamasında kullanılmaktadır.Bu durumda admitans değeri,

$Y_m = jB_m$ ve $Y_n = jB_n$ olur.Tüm bu kabuller yukarıda verilen denklem setinde kullanılırsa;

$$I_m = B_m (E_m \sin\phi_m - a_m V_m \sin\psi_m) \quad (4.16)$$

$$0 = E_m \cos\phi_m - a_m V_m \cos\psi_m \quad (4.17)$$

$$I_n = B_n (E_n \sin\phi_n - a_n V_n \sin\psi_n) \quad (4.18)$$

$$0 = E_n \cos\phi_n - a_n V_n \cos\psi_n \quad (4.19)$$

eşitlikleri elde edilir .(4.16)ve (4.18) denklemleri sırası ile (4.4) ve (4.5)'de yerine konursa

$$0 = K_1 I_d - B_m (E_m \sin\phi_m - a_m V_m \sin\psi_m) \quad (4.20)$$

$$0 = K_1 I_d + B_n (E_n \sin\phi_n - a_n V_n \sin\psi_n) \quad (4.21)$$

elde edilir.

(4.17) ve (4.19) ifadeleri (4.10) ve (4.11)'de kullanılarak

$$0 = V_{dm} - K_1 a_m V_m \cos\psi_m \quad (4.22)$$

$$0 = V_{dn} - K_1 a_n V_n \cos\psi_n \quad (4.23)$$

eşitlikleri elde edilir.Son olarak bulunan 9 adet denklem takımı (4.1)-(4.3); (4.10)ve (4.11); (4.20)-(4.23) ifadelerinden oluşur.Yeni durumda yeni temel değişkenler;

$V_{dm}, V_{dn}, E_m, E_n, \phi_m, \phi_n, \alpha_m, \delta_n, a_m, a_n, \psi_m, \psi_n, I_d$

olacaktır.Yukarıda görüldüğü gibi değişken sayısı 15'den 13'e inmiştir.Bu durumda kullanılması gereken denklem sayısı ise 9 denkleme 4 adet kontrol denklemi ilave

edilerek 13' e çıkarılır..Pratikte α_m , ve δ_n değişkenleri çok küçük olabildiğinden normalizasyon sağlamak için bunların yerine $\cos\alpha_m$ ve $\cos\delta_n$ kullanılır.

4.3 Kontrol Denklemleri

Dört kontrol değişkeni herbiri sabit (bilinen) bir değere eşitlenerek basit bir değişken veya bir foksiyona eşitlenerek karmaşık bir ifade halini alabilir. Mesela bir sabit açılı kontrol için denklem;

$$\delta_n = \delta_n^{sp} \quad (4.24)$$

olabilir .Bu değer ise pratik programlama açısından

$$\cos\delta_n = \cos \delta_n^{sp} \quad (4.25)$$

olarak kullanılması daha uygundur.Sabit akım kontrolü için,

$$I_d = I_d^{sp} \quad (4.26)$$

eşitliği ve sabit güç kontrolü için ise;

$$V_{dm} I_d = P_d^{sp} \quad (4.27)$$

eşitliği kullanılabilir.Son ifade yerine

$$V_{dm} = A_m (I_d - P_d^{sp}/V_{dm}) \quad (4.28)$$

kullanılabilir.Burada A_m kontrol kazancıdır.Benzer şekilde (4.26) daha hassas bir denklemlerde yer değiştirebilir . Çünkü amaçların çoğu için kazanç çok daha yüksek ve hassas olabilir.

4.4 Newton -Raphson Yöntem İçin Eşitliklerin Düzenlenmesi

Güç akışı N-R yöntemi ile yapılacaksa yukarıda bahsedilen 13 adet denklem Jacobien içine sokulmalıdır.Eğer bu işlem iyi yapılmaz ise yakınsamada zorluklar olabilir.Jacobien matrisin bazı köşegen elemanları sıfır ve/veya sıfıra yakın değerler

alabilir. Bu zorlukların minimize edilmesi için rezidü denklemlerinin düzenleme problemi üzerinde hassasiyetle durulmalıdır. Tablo (4.1) de rezidü denklemleri verilmiştir. Jacobien matrisi (4.2) de verilmiştir. Matrisin 1-9'ki satırları sabittir ancak 10-13 satırları kontrol denklemine bağlıdır. Kontrol denklemine göre doldurulmalıdır. Jacobien matris her iterasyonda yeniden hesaplanır ve denklemler güncelleştirilir. Örneğin Jacobien matrisin satır ve sütununu bir azaltmak için (akım kontrolü ise) $I_d = I_d^{sp}$ kullanılarak ve kontrol eşitliğinde $I_d - I_d^{sp} = 0$ kaldırılabilir.

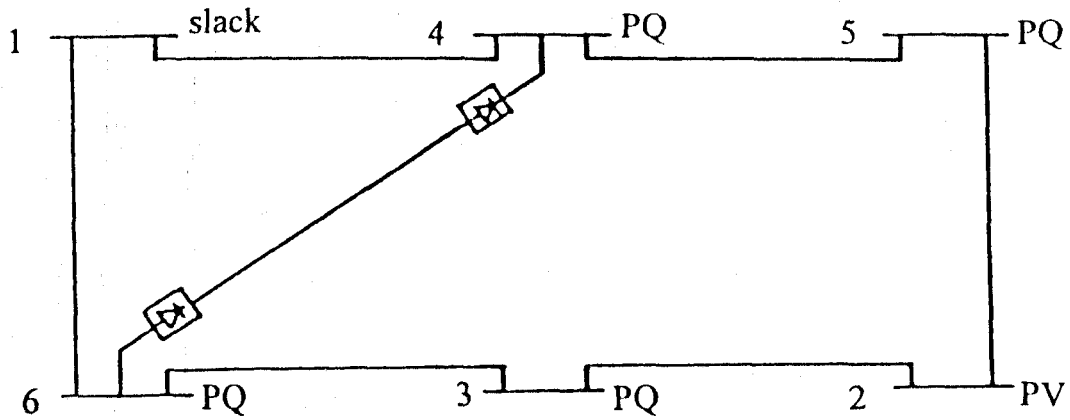
Şekil 4.3'de 6 baralı örnek bir AA-DA sistem verilmiştir. Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak örnek sisteme ilişkin Jacobien matrisin yapısı ise şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 N-R Çözümünde Kullanılan Rezidü Denklemleri

	REZİDÜ	DENKLEMLER	DEĞİŞKENLER
1	R_1	$V_{dm} - K_1 E_m \cos\phi_m = 0$	E_m
2	R_2	$V_{dn} - K_1 E_n \cos\phi_n = 0$	E_n
3	R_3	$K_1 I_d - B_m (E_m \sin\phi_m - a_m V_m \sin\psi_m) = 0$	ϕ_m
4	R_4	$K_1 I_d + B_n (E_n \sin\phi_n - a_n V_n \sin\psi_n) = 0$	ϕ_n
5	R_5	$V_{dm} - K_1 E_m \cos\alpha_m + K_2 X_m I_d = 0$	V_{dm}
6	R_6	$V_{dn} - K_1 E_n \cos\delta_n + K_2 X_n I_d = 0$	V_{dn}
7	R_7	$V_{dm} - K_1 a_m V_m \cos\psi_m = 0$	ψ_m
8	R_8	$V_{dn} - K_1 a_n V_n \cos\psi_n = 0$	ψ_n
9	R_9	$(V_{dm} - V_{dn} - R_{DA} I_d) = 0$	I_d
10	R_{10}	Kontrol denklemi	$\cos\alpha_m$
11	R_{11}	Kontrol Denklemi	$\cos\delta_n$
12	R_{12}	Kontrol Denlemi	a_m
13	R_{13}	Kontrol Denklemi	a_n

Tablo 4.2 Tablo 4.1 den Eide Edilen Jacobien Matrisi

R_1	$K_1 \cos \phi_m$	$-K_1 E_m \sin \phi_m$	$K_1 E_m \sin \phi_m$	-1											ΔE_m
R_2		$K_1 \cos \phi_n$													ΔE_n
R_3	$B_m \sin \phi_m$	$B_m E_m \cos \phi_m$			$-B_m a_m V_m \cos \psi_m$			$-K_1$							$\Delta \phi_m$
R_4		$-B_m \sin \phi_n$	$-B_m E_n \cos \phi_n$			$B_m a_n V_n \cos \psi_n$		$-K_1$							$\Delta \phi_n$
R_5	$K_1 \cos \alpha_m$			-1				$-K_2 X_m$	$K_1 E_m$						ΔV_{dm}
R_6		$K_1 \cos \delta_n$						$-K_2 X_n$	$K_1 E_n$						ΔV_{dn}
R_7				-1	$-K_1 a_m V_m \sin \psi_m$										$\Delta \psi_m$
R_8						$-K_1 a_n V_n \sin \psi_n$									$\Delta \psi_n$
R_9				-1				R_{dc}							ΔI_d
R_{10}															$\Delta \cos \alpha_m$
R_{11}															$\Delta \cos \delta_n$
R_{12}															$\Delta \beta_m$
R_{13}															$\Delta \beta_n$



Sekil 4.3 6 Baralı AA-DA Sistemi

Tablo 4.3 Şekil 4.3 deki AA-DA Sisteminde N-R Çözümü İçin Oluşturulan Jacobien Matrisinin Yapısı

ΔP_2	X	X	X	X	X															$\Delta \varphi_2$
ΔP_3	X	X	X				X	X												$\Delta \varphi_3$
ΔQ_3	X	X	X				X	X												$\Delta V_{3/3}$
ΔP_5	X			X	X	X	X													$\Delta \varphi_3$
ΔQ_5	X			X	X	X	X													$\Delta V_{5/5}$
ΔP_4				X	X	X	X		X	X			X						X	$\Delta \varphi_4$
ΔQ_4				X	X	X	X		X	X			X						X	$\Delta V_{4/4}$
ΔP_6		X	X				X	X	X	X			X						X	$\Delta \varphi_6$
ΔQ_6		X	X				X	X	X	X			X						X	$\Delta V_{4/4}$
R_1									X	X	X									ΔE_m
R_2									X	X	X									ΔE_n
R_3							X		X	X			X	X				X		$\Delta \phi_m$
R_4							X		X	X			X	X				X		$\Delta \phi_n$
R_5							X			X			X	X						ΔV_{d_m}
R_6							X			X			X	X				X		ΔV_{d_n}
R_7						X				X	X							X		$\Delta \psi_m$
R_8						X				X	X							X		$\Delta \psi_n$
R_9										X	X			X						ΔI_d
R_{10}																				$\Delta \cos \alpha_m$
R_{11}																				$\Delta \cos \delta_n$
R_{12}																				$\Delta \phi_m$
R_{13}																				$\Delta \phi_n$

$$\begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline A & B \\ \hline C & D \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array}$$

BÖLÜM 5. BİR KUTUPLU ÇOK UÇLU DA TERMİNALLERİNİN NORTON EŞDEĞERİNİ KULLANAN AA-DA GÜÇ AKIŞI ALGORİTMASI

5.1 DA Sistem Modeli

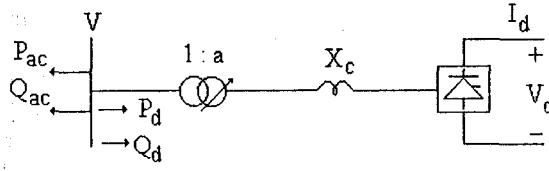
Verilen AA-DA modelinde aşağıda gösterilen kabuller esas alınmıştır.(18)

- 1• AA bara gerilimleri sinüzoidaldir ve sabit frekanslıdır.Üç faz gerilimleri ve akımları dengelidir.
- 2• Çevirici tarafından üretilen gerilim ve akımların (birinci harmonikler hariç) tüm harmonikleri filtre edilmiştir ve AA sisteminde gözükmezler.
- 3• Çevirici valfleri idealdir ve iletim halinde gerilim düşümü yoktur.
- 4• Sadece ortalama DA gerilimleri ve akımları göz önüne alınmıştır ve dalgalanmalar ihmal edilmiştir
- 5• İki kutuplu terminalde kutuplar dengelidir.

5.2 Çevirici Modeli

Bu çalışmada kullanılan çevirici model şekil 5.1'de gösterilmiştir. Çok köprülü bir çevirici için ise bütün köprülerin transformatör dirençlerine eşit kabul edilerek tek bir eş değer köprü ile değiştirilebilir. Bir çevirici barasındaki ortalama DA gerilimi (kutup ile toprak arasındaki) volt cinsinden:

$$V_d = \frac{3\sqrt{2} a n n_b V \cos\theta}{\pi} \pm \frac{3X_c I_d n_b}{\pi} \quad (5-1)$$



Şekil 5.1 Bir köprülü basit çevirici modeli

ifadesi ile elde edilebilir. Bu ifade de

V_d . DA ortalama gerilim değeri (volt)

a . çevirici transformatörünün çevirme oranı

n . Terminal sayısı

n_b . Her bir kutup için seri bağlanmış köprü sayısı.

V . Çevirici barasının gerilimi (transformatörün primer tarafına ilişkin)(volt)

θ . Çeviricinin kontrol açısı (α :Doğrultucu γ :Evirici) (derece ve radyan)

X_c . Artık reaktans (Çevirici transformatörün sekondere indirgenen değeri)(ohm)

I_d . DA ortalama değeri akım (A)

Barada AA hattından DA hattına doğru akan doğru akım pozitif olarak kabul edilmiştir.Yani invertör için akım negatif, doğrultucu için akım pozitiftir.AA ve DA sistem için aynı güç değeri temel güç olarak seçilmiştir, AA ve DA sistemlerine ilişkin temel baz gerilim değerleri ise sırası ile V_{acb} ve V_{db} dir.(5-1) ifadesi birim değerler cinsinden tekrar yazılırsa

$$V_d = k a V \cos\theta - R_c I_d \quad (5-2)$$

elde edilir. Burada;

$$k = \frac{3\sqrt{2} n n_b V_{acb}}{\pi V_{db}} \quad (5-3)$$

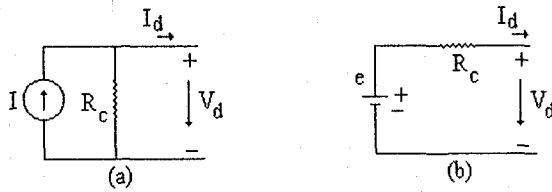
$$R_c = \pm \frac{3X_c n_b}{\pi Z_{db}} \quad (5-4)$$

$$Z_{db} = \frac{V_{db}}{I_{db}} = \frac{V_{db}^2}{P_{db}} \quad (5-5)$$

olarak yazılabilir. Son ifadede geçen I_{db} ise ;

$$I_{db} = \frac{P_{db}}{V_{db}} \quad (5-6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Yukarıda verilen eşitliklerde V_{acb} = temel AA gerilimi , V_{db} , Z_{db} , I_{db} ise sırası ile temel DA gerilimi, empedans ve temel doğru akımdır. Burada kullanılan birim sistemi (16-17) referanslarında kullanılanlardan daha geneldir. Çünkü AA sistemine ilişkin temel gerilim değeri DA sistemine ilişkin temel gerilim değerinden farklı olabilmektedir. Diğer bir ifadeyle 'k' katsayısının her zaman 1 olması gerekmez. Ayrıca çevime oranı (n) ve köprü sayısı (n_b), V_{acb} 'ye bağlı olarak 'k' değerleri farklı değerler alabilir P_{db} gücü ile P_{acb} gücünü eşit olarak seçmek esas olmadığı halde öyle yapmak kolaylık sağlar. Temel DA gerilim değeri paralel bağlı çok uçlu DA sisteminde nominal gerilim değerine eşit alınabilir.



Sekil 5.2 Çeviricinin Eş Değer Gösterimi a)Norton b)Thevenin

Şekil 5.2 (a)'da çeviricinin Norton ve Thevenin eşdeğeri gösterilmiştir.

verilen akım kaynağının değeri;

$$I = \frac{k a V \cos\theta}{R_c} \quad (5-7)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Akım kaynağı (5.7) eşitliğinde de görüldüğü gibi $a V \cos\theta$ ifadesinin çarpımı ile doğru orantılıdır. θ , doğrultucu modunda α 'ya eşit olur halbuki θ invertör için γ ya eşit olur ve bu durumda $R_c < 0$ olur. Ancak θ , evirici modunda α olarak değil β açısı olarak seçilirse R_c pozitif olur. Yukarıda belirtilen ifadeler kısaca her iki durum içinde ,

$$V_d = k a V \cos\beta - R_c I_d = k a V \cos\gamma + R_c I_d \quad (5-8)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. DA hattının çektiği ve/veya verdiği doğru akım güç değeri birim olarak;

$$P_d = V_d I_d p \quad (5-9)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada 'p' kutup sayısıdır. (bir ve iki kutuplu). Çevirici istasyonlarının AA sisteminden çektiği reaktif güç değeri ise birim olarak;

$$Q_d = |P_d| \tan\phi \quad (5-10)$$

eşitliği ile elde edilir. Bu ifade de ϕ açısı

$$\cos\phi = \frac{V_d}{kaV} \quad (5-11a)$$

eşitliğinden veya

$$\tan\phi_i = \sqrt{\frac{k^2 a_i^2 V_x^2}{V_{di}^2} - 1} \quad (5-11b)$$

eşitliğinden bulunabilir.

5.3 DA Devre Denklemleri

DA devresine ilişkin direnç matrisi oluşturulan bir DA barasının referans alınması oldukça yaygındır (16-19). Eğer referans bara numarası değişir ise bara admitans matrisi kullanımı zorlaşır. Norton modeli ile modellenen çeviriciler toprak referans

noktası olarak alınabilir. DA hatları ve filtre amaçlı reaktörler direnç olarak modellenirse bu durumda tüm sisteme ilişkin düğüm denklemleri;

$$[G] \underline{V}_d = \underline{I} \quad (5-12)$$

olacaktır. $[G]$ (n,n) boyutlu DA sistemine ilişkin kondüktans matrisidir. Burada çevirici içermeyen bara ya yoktur yada elimine edildiği kabul edilmiştir. (5-12) denklem ters çevrilince;

$$\underline{V}_d = [R] \underline{I} \quad (5-13)$$

elde edilir. Eğer $[R]$ 'nin sürekli sıfırdan büyük elemanlardan oluşmasını istersek inverterde $\theta = \beta$ yapılarak $R_c > 0$ yazılabilir. Alternatif olarak $[R]$ bara matrisi (20) referansda olduğu gibi, toprağa göre \underline{Z} bara algoritması kullanılarak oluşturulabilir. (5.18) ifadeleri i. DA barası için ;

$$V_{di} = \sum_{j=1}^n R_{ij} I_j \quad (5-14)$$

eşitliği yardımı ile bulunabilir. Şekil 5.2(a) kullanılarak

$$I_{di} = I_i - \frac{V_{di}}{R_{ci}} \quad (5-15)$$

yazılabilir. Genel olarak j. AA barası için sırası ile aktif ve reaktif güç dengesi

$$P_j = P_{acj} + P_{di} \quad (5-16)$$

$$Q_j = Q_{acj} + Q_{di} \quad (5-17)$$

eşitlikleri ile bulunabilir. Bu ifadelerde j, DA terminal numarasıdır. P_{acj} ve Q_{acj} 'ler AA barasının güç denklemlerinin klasik ifadeleridir ve bölüm 2'de gösterilmiştir.

5.4 Rezidü Denklemleri

Bu çalışmada ,DA sistem için $3n$ adet değişken kullanılmıştır. Dolayısı ile $3n$ adet eşitliğe ihtiyaç duyulur. Bu eşitliklerden 1 adeti DA hatlarını çektiği reaktif güç

denklemlerinden , n-1 adeti gerilimi sabit tutulan da barası haricindeki DA baralarına ilişkin DA aktif güç denklemlerinden n adeti kontrol eşitliklerinden ve bir adeti ise gerilimi sabit tutulan DA barasına ilişkin doğru gerilim denklemlerinden elde edilir.Doğru akım temellerine ilişkin ortalama doğru akım değeri (birinci olarak)

$$V_{di} = \sum_{j=1}^n R_{ij} \frac{k a_j V_x \cos \theta_j}{R_{cj}} \quad (i=1, \dots, n) \quad (5-18)$$

ifadesi ile bulunabilir.(5.18). denkleminde 'x' j nolu DA baraya bağlı AA sistemin bara numarasıdır.Denklem (5.18) eşitliğinden n adet denklem elde edilir. Bu çalışmada Thevennin eşdeğer devresi Şekil 5.2b de verilen P_d değerini hesaplamak için kullanılmıştır.

$$P_{di} = e_i I_{di} = e_i (e_i - V_{di}) / R_{ci} \quad (5-19)$$

(5.19) eşitliğinde kullanılan açık devre gerilimi;

$$e_i = k V_x a_i \cos \theta_i \quad (5-20)$$

eşitliği ile elde edilir.Yukarıda bahsedilen 3n adet denklem aşağıda verilmiştir.DA sisteminin AA sisteminden çektiği ve AA sistemine verdiği aktif güç değerleri ;

$$P_{di} = P_{di}^{sp} = (k^2 a_i^2 V_x^2 (\cos \theta_i)^2 / R_{ci}) - (k a_i V_x \cos \theta_i V_{di} / R_{ci}) = A1_i - A2_i \quad (i=1, \dots, n-1) \quad (5-21)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.DA sistemine ilişkin kontrol eşitlikleri;

$$a_i - a_i^{sp} = 0 \quad \text{or} \quad \cos \theta_i - \cos \theta_i^{sp} = 0 \quad (i=1, \dots, n) \quad (5-22)$$

eşitlikleri kullanılarak bulunabilir.Ortalama gerilimi sabit tutulan DA barası için

$$V_d - V_d^{sp} = 0 \quad \text{VST(sabit gerilimli terminal)} \quad (5-23)$$

yazılabilir. Çeviricilerin AA sisteminden çektiği reaktif güç;

$$Q_{di} = \left| \left((k^2 a_i^2 V_x^2 (\cos \theta_i)^2 / R_{ci}) - (k a_i V_x \cos \theta_i V_{di} / R_{ci}) \right) \left(\sqrt{\frac{k^2 a_i^2 V_x^2}{V_{di}^2}} \right) \right| \quad (i = 1, \dots, n) \quad (5-24)$$

$$Q_{di} = | (A1_i - A2_i) \sqrt{A3_i} | \quad (5-25)$$

(5.21) ve (5.24) eşitlikleri (5.16) ve (5.17) eşitliklerinde yerine konmalı.

5.5 AA-DA Jacobian Matris Denklemleri

AA sistemi ve DA sisteminde (5.26) ifadelerinde de görüldüğü gibi bir bağımlılık söz konusudur

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ Rez \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_3 \\ J_4 & J_5 & J_6 \\ R_1 & R_2 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \\ \Delta x \end{bmatrix} \quad (5-26)$$

J_1, J_2, J_4, J_5 elemanları daha önce AA sistem örneğinde verilenlerle aynı özellikte olur. Tek fark DA sisteminin bağlandığı baralarda meydana gelir. R_1 alt matrisi sıfır matrisidir. R_2, J_3, J_6 ise çoğunlukla sıfırlardan oluşmuştur

5.6 Örnek Sistem

Buraya kadar anlatılanların daha iyi bir biçimde anlaşılabilmesi için örnek bir sisteme uygulanması uygun bulunmuştur. Bu sistemde P_{d1}^{sp} ile $\cos \theta_1^{sp}$ birinci çevirici için P_{d2}^{sp} ile $\cos \theta_2^{sp}$ ikinci çevirici için V_{d3}^{sp} ile a_3^{sp} üçüncü çevirici için kontrol değişkenleri olarak seçilmişlerdir. AA sistem değişkenleri,

$$\underline{\delta}^T = [\delta_2 \quad \delta_3 \quad \dots \quad \delta_{12} \quad \delta_{13} \quad \delta_{14}]; \quad \underline{V}^T = [V_4 \quad V_5 \quad \dots \quad V_{12} \quad V_{13} \quad V_{14}]$$

olup tüm sisteme ilişkin durum değişken vektörü;

$$\underline{x}^T = [V_{d1} \quad V_{d2} \quad V_{d3} \quad a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad \cos \theta_1 \quad \cos \theta_2 \quad \cos \theta_3]$$

ifadesi ile verilmiştir. DA sistemine ilişkin rezidüler ise ;

$$V_{d1} - R_{11} \frac{ka_1 V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} - R_{12} \frac{ka_2 V_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} - R_{13} \frac{ka_3 V_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} = 0 \quad (1)$$

$$V_{d2} - R_{21} \frac{ka_1 V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} - R_{22} \frac{ka_2 V_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} - R_{23} \frac{ka_3 V_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} = 0 \quad (2)$$

$$V_{d3} - V_{d3}^{sp} = 0 \quad (3)$$

$$P_{d1}^{sp} - \frac{k_1^2 a_1^2 V_9^2 (\cos \theta_1)^2}{R_{c1}} + \frac{k_1 a_1 V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} = 0 = P_{d1}^{sp} - A1_1 + A2_1 \quad (4)$$

$$P_{d2}^{sp} - \frac{k_2^2 a_2^2 V_7^2 (\cos \theta_2)^2}{R_{c2}} + \frac{k_2 a_2 V_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} = 0 = P_{d2}^{sp} - A1_2 + A2_2 \quad (5)$$

$$a_3 - a_3^{sp} = 0 \quad (6)$$

$$\cos \theta_1 - \cos \theta_1^{sp} = 0 \quad (7)$$

$$\cos \theta_2 - \cos \theta_2^{sp} = 0 \quad (8)$$

$$V_{d3} - R_{31} \frac{ka_1 V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} - R_{32} \frac{ka_2 V_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} - R_{33} \frac{ka_3 V_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} = 0 \quad (9)$$

eşitlikleri ile verilir. Bu sistem için Jacobienin elemanları;

	1			B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
		1		B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}
			1						
	B_{13}			B_{14}			B_{15}		
$R_3 =$		B_{16}			B_{17}			B_{18}	
						1			
							1		
								1	
			1	B_{19}	B_{20}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}

			B_{25}		B_{26}				
			B_{27}		B_{28}				
					B_{29}				
$R_2 =$			B_{30}						
			B_{31}		B_{32}				

$J_6 =$

	B_{33}			B_{34}			B_{35}	
B_{36}			B_{37}			B_{38}		

$J_3 =$

	B_{39}			B_{40}			B_{41}	
B_{42}			B_{43}			B_{44}		

$$B_1 = -\frac{R_{11}kV_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_2 = -\frac{R_{12}kV_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_3 = -\frac{R_{13}kV_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} ; B_4 = -\frac{R_{11}ka_1V_9}{R_{c1}}$$

$$B_5 = -\frac{R_{12}ka_2V_7}{R_{c2}} ; B_6 = -\frac{R_{13}ka_3V_2}{R_{c3}} ; B_7 = -\frac{R_{21}kV_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_8 = -\frac{R_{22}kV_7 \cos \theta_2}{R_{c2}}$$

$$B_9 = -\frac{R_{23}kV_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} ; B_{10} = -\frac{R_{21}ka_1V_9}{R_{c1}} ; B_{11} = -\frac{R_{22}ka_2V_7}{R_{c2}} ; B_{12} = -\frac{R_{22}ka_3V_2}{R_{c3}}$$

$$B_{13} = -\frac{ka_1V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_{14} = \frac{k^2 2a_1V_9^2 (\cos \theta_1)^2}{R_{c1}} - \frac{kV_9V_{d1}}{R_{c1}} ; B_{15} = \frac{k^2 a_1^2 V_9^2 2 \cos \theta_1}{R_{c1}} - \frac{ka_1V_9V_{d1}}{R_{c1}}$$

$$B_{16} = -\frac{ka_2V_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{17} = \frac{k^2 2a_2V_7^2 (\cos \theta_2)^2}{R_{c2}} - \frac{kV_7V_{d2}}{R_{c2}} ; B_{18} = \frac{k^2 a_2^2 V_7^2 2 \cos \theta_2}{R_{c2}} - \frac{ka_2V_7V_{d2}}{R_{c2}}$$

$$\begin{aligned}
B_{19} &= -\frac{R_{31}kV_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_{20} = -\frac{R_{32}kV_7 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{21} = -\frac{R_{33}kV_2 \cos \theta_3}{R_{c3}} ; B_{22} = -\frac{R_{31}ka_1V_9}{R_{c1}} \\
B_{23} &= -\frac{R_{32}ka_2V_7}{R_{c2}} ; B_{24} = -\frac{R_{33}ka_3V_2}{R_{c3}} ; B_{25} = -\frac{R_{12}ka_2 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{26} = -\frac{R_{11}ka_1 \cos \theta_1}{R_{c1}} \\
B_{27} &= -\frac{R_{22}ka_2 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{28} = -\frac{R_{21}ka_1 \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_{29} = \frac{k^2 a_1^2 2V_9 (\cos \theta_1)^2}{R_{c1}} - \frac{ka_1 \cos \theta_1 V_{d1}}{R_{c1}} + J_2(9,9) \\
B_{30} &= \frac{k^2 a_2^2 2V_7 (\cos \theta_2)^2}{R_{c2}} - \frac{ka_2 \cos \theta_2 V_{d2}}{R_{c2}} + J_2(7,7) ; B_{31} = -\frac{R_{32}ka_2 \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{32} = -\frac{R_{31}ka_1 \cos \theta_1}{R_{c1}} \\
B_{33} &= -\frac{A_{22}}{V_{d2}} \sqrt{A_{32}} - \frac{(A_{12} - A_{22})(A_{32} + 1)}{V_{d2} \sqrt{A_{32}}} ; B_{34} = \frac{(2A_{12} - A_{22}) \sqrt{A_{32}}}{a_2} + \frac{(A_{12} - A_{22})(A_{32} + 1)}{a_2 \sqrt{A_{32}}} \\
B_{35} &= \frac{(2A_{12} - A_{22}) \sqrt{A_{32}}}{\cos \theta_2} ; B_{36} = -\frac{A_{21}}{V_{d1}} \sqrt{A_{31}} - \frac{(A_{11} - A_{21})(A_{31} + 1)}{V_{d1} \sqrt{A_{31}}} \\
B_{37} &= \frac{(2A_{11} - A_{21}) \sqrt{A_{31}}}{a_1} + \frac{(A_{11} - A_{21})(A_{31} + 1)}{a_1 \sqrt{A_{31}}} ; B_{38} = \frac{(2A_{11} - A_{21}) \sqrt{A_{31}}}{\cos \theta_1} \\
B_{39} &= -\frac{k a_2 V_7 V_{d2} \cos \theta_2}{R_{c2}} \\
B_{40} &= -\frac{2k^2 a_2 V_7^2 (\cos \theta_2)^2}{R_{c2}} - \frac{k V_7 V_{d2} \cos \theta_2}{R_{c2}} ; B_{41} = -\frac{2k^2 a_2^2 V_7^2 \cos \theta_2}{R_{c2}} - \frac{k V_7 V_{d2} a_2}{R_{c2}} \\
B_{42} &= -\frac{k a_1 V_9 V_9 \cos \theta_1}{R_{c1}} \\
B_{43} &= -\frac{2k^2 a_1 V_9^2 (\cos \theta_1)^2}{R_{c1}} - \frac{k V_9 V_{d1} \cos \theta_1}{R_{c1}} ; B_{44} = -\frac{2k^2 a_1^2 V_9^2 \cos \theta_1}{R_{c1}} - \frac{k V_9 V_{d1} a_1}{R_{c1}}
\end{aligned}$$

J_2 matrisi sıradan Jacobien matrisine ilişkin elemanları içerir. J_2^* (7,7) ve J_2 (9,9) elemanlarındadır. Bu elemanlar ise verilen sistem için;

$$J_2(7,7) = J_2^*(7,7) + \frac{2A_{12}}{V_7} - \frac{A_{22}}{V_7}$$

$$J_2(9,9) = J_2^*(9,9) + \frac{2A_{11}}{V_9} - \frac{A_{21}}{V_9}$$

eşitlikleriyardımla bulunur J_5 matrisinin sıradan jacobien matrisinden farklı olan elemanları ve değerleri sadece şunlar hariç matris elemanları ile aynıdır. J_5^* (7,7)

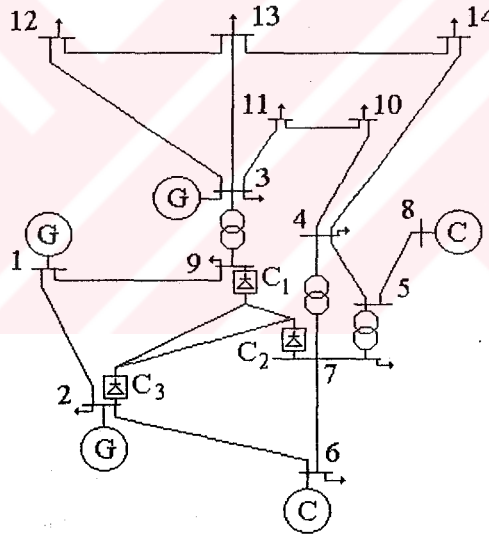
$$J_5(7,7) = J_5^*(7,7) + \frac{(2A_{12} - A_{22}) \sqrt{A_{32}}}{V_7} + \frac{(A_{12} - A_{22})(A_{32} + 1)}{V_7 \sqrt{A_{32}}}$$

$$J_5(9,9) = J_5^*(9,9) + \frac{(2A_{11} - A_{21}) \sqrt{A_{31}}}{V_9} + \frac{(A_{11} - A_{21})(A_{31} + 1)}{V_9 \sqrt{A_{31}}}$$

eşitlikleri yardımıyla bulunur.Yapılan çalışmada görüldüğü gibi 3 adet çevirici için 9 adet değişken kullanılmaktadır.Oysa ref(11)'de iki adet çevirici için bu sayı 13 tür.Aşağıda verilen tablolarda AA-DA sistemine ilişkin veriler sunulmuştur.

Tablo5.1 DA Sistemine ilişkin Hat Direnç Değerleri

Baradan Baraya Hat direnci	R [p.u]
9 7	.0134
9 2	.057
7 2	.0581



Sekil 5.3 IEEE Değiştirilmiş14 bara AA-DA Sistemi

Tablo 5.2 IEEE Değiştirilmiş 14 AA-DA Bara Sistemine İlişkin Empedansı ve Admitans Değerleri

Hat No	Bara- Bara	Hat Empedansı		Hat Suseptansı B[p.u]	Kademe Ayar Değeri
		R			
1	1 2	.01938	.05917	.0528	-
2	1 9	.05403	.22304	.0492	-
3	2 6	.04699	.19797	.0438	-
4	3 9	0	.25202	.0	1
5	3 11	.09498	.19890	.0	-
6	3 12	.12291	.25581	.0	-
7	3 13	.06615	.13027	.0	-
8	4 5	0	.11001	.0	-
9	4 7	0	.55618	.0	1
10	4 10	.03181	.0845	.0	-
11	4 14	.12711	.27038	.0	-
12	5 7	0	.20912	.0	1
13	5 8	0	.17615	.0	-
14	6 7	.06701	.17103	.0346	-
15	10 11	.08205	.19207	.0	-
16	12 13	.22092	.19988	.0	-
17	13 14	.17093	.34802	.0	-

Tablo 5.3 IEEE 14 AA-DA bara sistem yük değerleri

Bara No	Yük	
	P[p.u]	Q[p.u]
1	0	0
2	Converter 3	
3	.112	.075
4	.295	.166
5	0	0
6	.942	-.02
7	Converter 2	
8	0	-.173
9	Converter 1	
10	.09	.058
11	.035	.018
12	.061	.016
13	.135	.058
14	.149	.05

Tablo 5.4Çevirici Direnç Değerleri

Terminal	R [p.u]
1.Çevirici	.02568
2.Çevirici	.028246
3.Çevirici	.015329

Verilen sistem için DA sistem bara empedans matrisi;

$$[R] = \begin{bmatrix} 3.205347 \cdot 10^{-3} & -1.030594 \cdot 10^{-3} & -1.397496 \cdot 10^{-3} \\ -1.030594 \cdot 10^{-3} & 2.335936 \cdot 10^{-2} & -3.267145 \cdot 10^{-3} \\ -1.397496 \cdot 10^{-2} & -3.267145 \cdot 10^{-3} & -2.5444402 \cdot 10^{-2} \end{bmatrix}$$

olarak hesaplanmıştır.

Tabo 5.5 IEEE 14 Baralı AA-DA sisteminde değişkenlerin güç akışı öncesi ve sonrası aldığı değerler.

Değişkenler	Başlangıç p.u	Sonuç p.u	Değişkenl.	Başlangıç deg.	Sonuç deg.	Değişken. p.u	Başlan gıç p.u	Sonuç p.u
V_1^*	1.02	1.02	δ_1	0	0	V_{d1}	1	.9785
V_2^*	1.07	1.07	δ_2	-1.17	-2.23	V_{d2}	1	.9876
V_3^*	1.085	1.085	δ_3	-8	-6.91	V_{d3}^*	.968	.968
V_4	.929	.9348	δ_4	-18.7	-17.72	a_1	1	.9936
V_5	.942	.9508	δ_5	-19.7	-18.68	a_2	1	1.095
V_6	.975	.9794	δ_6	-16.7	-16.75	a_3^*	.92	.92
V_7	.932	.9450	δ_7	-21.6	-20.48	I_{d1}	0.195	.5042
V_8	.974	.9818	δ_8	-19.7	-18.68	I_{d2}	-3.859	0.1
V_9	1.024	1.019	δ_9	-8.91	-7.26	I_{d3}	-8.255	-0.605
V_{10}	.945	.9485	δ_{10}	-16.98	-15.9	I_1	39.13	38.61
V_{11}	1.0	1	δ_{11}	-12.46	-11.28	I_2	31.54	35.06
V_{12}	1.065	1.06	δ_{12}	-9.75	-8.46	I_3	-63.97	-67.75
V_{13}	1.045	1.041	δ_{13}	-10.3	-9.06	θ_1^*	11	11
V_{14}	.957	.9584	δ_{14}	-16	-14.86	θ_2^*	17	17
P_{gen2}^*	.65	.65	I_{39}^*	1(p.u)	1(p.u)	θ_3	5	6.895
P_{gen3}^*	1.2	1.2	I_{47}^*	1(p.u)	1(p.u)	P_{d1}^*	.1967	0.5
			I_{57}^*	1(p.u)	1(p.u)	P_{d2}^*	-0.438	0.099
						P_{d3}	-8.095	-5.917
						Q_{d1}	.0432	.1333
						Q_{d2}	1.248	.0314
						Q_{d3}	0.149	.1093

* Kontrol ve özel bilinen değerleri ifade eder.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

AA-DA sisteminde birleşik metotla güç akışı yaparken AA sisteminde de olduğu gibi Jacobien matris kullanılmaktadır. DA sistemi Jacobien matrise yerleştirilince matrisin boyutu büyümektedir ve matris boyutu büyüdükçe yapılan işlemler uzamaktadır. Bunun için matrisin boyutunun küçültülmesi büyük sistemlerin çözümü için oldukça önemlidir. Bu çalışmada sunulan devre eşitlikleri kullanılarak Jacobien matrisin boyutları küçültülmüştür. Ayrıca klasik yaklaşımlarda Jacobien matrisinin yapısı osilasyonlara sebep olurken burada kullanılan yaklaşımla bunun önüne geçilmektedir. Bu ise güç akışının yakınsama hızını arttırmaktadır.

Üçüncü bölümde yapılan örnek modelde iki terminalli bir AA-DA sisteminde 13 adet değişken varken 5. bölümde modelde ise üç terminalli AA-DA sisteminde 9 adet değişken vardır.

Newton metodunu baz alan bazı çalışmalarda ana problem şudur $[R_3]$ 'ün bazı köşegen elemanları zayıf ve 0'dır ve üçgensel indirgeme ile yapılan çözümde kısmi pivotlama esastır. Birçok makalede bir DA hattı için (iki konvertörlü) için 13 değişken ve her bir ek DA terminal için de 8 değişken gereklidir. Bu çalışmada $[R_3]$ 'ün köşegen elemanları zayıf ve sıfır değil ve kısmi pivotlama da (üçgensel indirgeme ile yapılan çözümde) esas değildir. Ayrıca bir DA hattı için 6 ve her bir ek DA terminal için 3 değişken gerekmektedir. Bu çalışmada verilen formülasyonun bir özelliği kontrol değişkenleri (θ , a) ve bilinen değişkenleri (P_d , V_d) arasında belirgin bir sınır koymasındır. Bir başka özelliğide $[R]$ bara matrisi için bir DA barasını referans alınmasının gerekmemesidir.

KAYNAKLAR

- [1].NOZARI F. ,PATEL H.S., Power Electronics in Electric Utilities:HVDC Power Systems,IEEE Proc. Vol. 76, No. 4, pp. 495-506 April 1988
- [2].BIGGS R.B., JEWEL W. T. Summary of Multiterminal High Voltage Direct Current Transmission Technology,Oak Ridge National Laboratory Report, ORNL/TM-8724
- [3].CHOUDRY M. A., CARROL D.P., Coordinated Active And Reactive Power Modulation of Multiterminal HVDC System, IEEE Trans.Pas. Vol. 103. pp. 1480-1485 June 1984
- [4].IEEE Task Force On AC/DC System Dynamics,Performance Characteristics of North AmericanHVDC Systems for Transient and Dynamic Stability Evaluation, IEEE Trans. Pas. pp 3356-3364 July 1981
- [5].FUDEH H. ONG C. M. A Simple and Efficient AC-DC Load Flow Method For Multiterminal DC Systems, IEEE Trans on Pas, Vol 100 ,No. 11 pp. 4389-4396.1981
- [6].HINGRON G. H. Power Electronics in Electric utilities: Role of Power Electronics in Future Power Systems IEEE Proc, Vol 76 No.4 pp 481-482 April 1988
- [7].PORANGABA H.D. SVENSSON S., MENZIES D., TAAM . , M. ,Itaipu HVDC Transmission System-Stability Studies For a weak AC Systems: Montect 86 Conference on HVDC Power Transmission Phenomena Cigre 1991
- [8]. FRANKEN B. , ANDERSON G., Analysis of HVDC converters Connected to a weak AC Systems IEEE . on Pas Vol 5 , No 1, pp. 235-242 1990
- [9] LAZSLO G. , Power Electronics in Electric Utilities : Static Var Compensators ,IEEE Proc., Vol .76, No. 4, pp 483- 484 April 1988
- [10] HORIGOME T., Circuit Theory of High Voltage DC Current Transmission System Electrotec.Lab. Researc Report 586 1960
- [11] STOTT B. , Load Flow AC and Integrated AC-DC System ph. D. Thesis ,University of Manchester. 1971.
- [12] ARRILLAGA J. HARKER B. J. ,K.S. and Turner Clarifying an Ambiguity in Recent AC-DC Load Flow Formulation Proc. IEE , Vol .127 ,No .5 pp 324- 325 1980
- [13] ARRILLAGA J., ARNOLD C. P., HARKER B.J. Computer Model of Electrical Power Systems John Wiley and Sons Inc .New York 1983
- [14].Ong C.M. and Hamzei Nejad A., 'A general purpose multiterminal dc load flow', IEEE Trans.Vol.PAS-100, No.7, pp.3166-3174, 1981.
- [15]. Stott B. and Alsac O. 'Fast decoupled load flow', IEEE Trans., Vol. PAS-93, No.4, pp.859-869,1974

- [16].Padiyar K.R. and Kalynaraman V., 'Power flow analysis in MTDC ac systems-A new approach', Electric Machines and Power Sytems, Vol.23, pp.37-54, 1995.
- [17].Mahseredjian J., Lefebvre and Mukedkar D., 'A multiterminal HVDC load flow with flexible control specifications', IEEE Trans. on Power Systems, Vol.PAS-1, No.2, pp.272-282, 1986.
- [18].Reeve J., Fahmy G. and Stott B., 'Versatile load flow for multiterminal HVDC systems', IEEE Trans., Vol. PAS-96, No.3 pp.925-933, 1977.
- [19].Ong C.M., Lu N.C. and Chen S.S., 'Incorporation of HVDC equations in optimal power flow methods using sequential quadratic programming techniques', IEEE Trans.on Power Systems, Vol.3, No.3, pp.1005-1011, 1988.
- [20].Smed T.,Sheble G.B. and Grigsby L.L., 'A new approach to ac-dc power flow', IEEE Trans.on Power Systems, Vol.6, No.3, pp.1238-1244,1991
- [21]. Arifoğlu U."AA-DA Sisteminde Ayrık Yöntem Kullanımı İle Optimal Güç Dağılımı Hesabı İçin Yeni Bir Yaklaşım" Doktora Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul 1994



ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Muğla'nın Fethiye ilçesinde doğdu. İlkokulu Fethiye'de tamamladı. Lise öğrenimine Muğla Endüstri Meslek lisesin'de Elektrik bölümünde başladı. İkinci sınıfta Antalya Endüstri Meslek Lisesi'ne geçiş yaptı.1986 yılı yaz döneminde lise öğrenimini tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Bölümüne kaydını yaptırdı. 1991 şubat döneminde üniversite eğitimini tamamladı. 1994 Şubat döneminde Yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıldan itibaren SAÜ Meslek Yüksek Okulu Elektrik Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

