

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE GÜÇ VE ENERJİ KAYIPLARININ
AZALTILMASI METODLARI**

105334

Murat KURT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Neriman ŞERİFOĞLU

İSTANBUL

OCAK-2001

105334
T.C. YÜKSEK LİSANS TEZİ KÜPESİ
DOKÜMAN KAYIT MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	X
BÖLÜM 1.GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE DENGESİZ YÜKLENMENİN OLUŞTURDUĞU KAYIPLAR	5
2.1 Enerji Sistemlerindeki Dengesizlikler	6
2.2 Dengesizlik Analizinde Kullanılan Yöntemler	7
2.2.1 Faz Değişkenleri Yöntemi	7
2.2.2 Simetrik Bileşenler Yöntemi	7
2.3 Üç fazlı Dengesiz Yüklenen Sistemin Simetrik Bileşenler Yöntemiyle Güçlerin Analizi	8
2.4 Dengesiz Yüklenen Şebekede Üç fazlı Enerji Sisteminde Şebekeden Çekilen Bileşke Güç	9
2.5 Dengesiz Yüklenme Nedeniyle Hat Kayıplarındaki Artış	10
2.6 Dengesiz Yüklenmeden Ortaya Çıkan Artık Akımın Toprak Yoluna Dağılımı ve Oluşturduğu Ek Kayıp	12
2.7 Dengesiz Yüklenen Enerji Sistemlerinde Güç Akışı ve Kayıp Analizi	13
2.7.1DengesizYüklenmede Faz İletkenlerindeki Kayıp Analizi	14
2.7.2 Dengesiz Yüklenmede Toprak Yolundaki Kayıp Analizi	15
2.8 Dengesiz Yüklenmede Kayıpların Ölçüm Metodu ile Belirlenmesi	16
2.9 Dengesiz Yüklü Enerji Sistemine Ait Örnek Sayısal Uygulama	17
2.10 Enerji Sisteminde Dengesiz Yüklenmeden Oluşan Kayıpların Azaltımı	18
BÖLÜM 3. REAKTİF AKIM KOMPAZASYONU İLE KAYIP AZALTIMI	20
3.1 Reaktif Akım Kompanzasyonunun Amaçları	21
3.1.1 Güç Faktörünün Düzeltilmesi	21
3.1.2 Gerilimin Ayarlanması	21
3.1.3 Yükün Dengelenmesi	21
3.2 Reaktif Akım Kompanzasyonunun Faydaları	22

3.2.1 Şebekenin Kapasitesinin Artması	22
3.2.2 Şebekenin Isı Kayıplarının Azalması	23
3.2.3 Şebekenin Gerilim Düşümü Azalması	24
3.3 Reaktif Güç İhtiyacının Saptanması	24
3.3.1 P_1 Gücünün Sabit Olması Durumunda	24
3.3.2 S_1 Gücünün Sabit Kalması Durumunda	25
3.4 Reaktif Güç Üreten Araçlar	25
3.5 Reaktif Güç Tüketen Araçlar	26
3.6 Kompanzasyon Çeşitleri	26
3.6.1 Tekli Kompanzasyon	26
3.6.2 Grup Kompanzasyon	26
3.6.3 Merkezi Kompanzasyon	27
3.7 Reaktif Güç Kompanzasyonuna ait Sayısal Uygulama	27
BÖLÜM 4 ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE DAĞITIM OPTİMİZASYONU	
VE FİDER DÜZENLENMESİ İLE KAYIP AZALTIMI	28
4.1 Heuristik Kurallar Üzerine Kurulu Algoritmalar	30
4.2 Yapay Zeka (AI) Esasına Dayanan Teknikler	32
4.2.1 Yapay Nötral Şebekeler (ANNs) Kullanılarak Düzenleme	32
4.2.2 Genetik Algoritmalar (GA) ile Düzenleme	32
4.2.3 Uzman Sistemlerde (ESs) ile Düzenleme	33
4.2.4 Sıfır Nokta Yük Akışı	34
4.3 Düzenleme İle İlgili Diğer Konular	35
4.3.1 Kısa ve Uzun Dönem Kayıpları	35
4.4 Kapalı (Ring) Şebekelerin Parametrelerinin Değiştirilmesi	38
4.5 Fider Düzenlenmesi	41
4.6 Fider Düzenlenmesi İle İlgili Örnek	44
BÖLÜM 5. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE	
TRANSFORMATÖRLERİN GURUPLANDIRILMASI	51
5.1 Transformatörlerin Paralel Bağlanması	52
5.2 Transformatörlerin Boşta Paralel Çalışması	55
5.3 Transformatörlerin Yükte Paralel Çalışması	56
5.4 Transformatörlerin Kayıp Azaltımı İçin Paralel Bağlanmasının Tespiti	57
5.5 Paralel Bağlanmış Transformatörlerin Devreden Ayrılması	59

BÖLÜM 6. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM OPTİMİZASYONU	
VE GERİLİM AYARLANMASI İLE KAYIP AZALTIMI	62
6.1 Gerilim Optimizasyonu	63
6.1.1 Enerji İletim Hatları ve Yeraltı Kablolarının Optimizasyonu	64
6.1.2 Transformatör Merkezlerinin Optimizasyonu	66
6.1.3 Tüm Dağıtım Şebekesinin Optimizasyonu	66
6.1.4 Zorunlu Gerilim ve Kesit Optimizasyonu	67
6.2 Optimal Güç Akışı	68
6.3 Elektrik Şebekelerinde Gerilim Ayarlanması	70
6.3.1 Senkron Generatör ve Transformatör ile Gerilim Ayarlanması	70
6.3.2 Reaktif Gücün ve Hattın Kompanzasyonu	71
BÖLÜM 7. SONUÇ	75
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	83

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisi günümüzde enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisidir. Bu enerji hayatımızın bir parçası olmuş ve yaşantımızın her alanında girmiştir. Elektrik enerjisinin bu denli kullanım alanlarının artması, bu enerjinin en verimli bir şekilde kullanılması ve tasarrufunu ön plana çıkmasına neden olmuştur. Üretilen elektrik enerjisinin kullanım alanlarına ulaştırılması esnasında enerji sisteminde önemli miktarlarda enerji kaybı olur. Bu kayıp enerjinin yaklaşık %7'si iletim hatlarında %10'uda dağıtım şebekelerinde meydana gelmektedir. Bu oranlar hiçte küçümsenmeyecek rakamlardır. Bu kayıp enerjinin büyüklüğünün anlaşılması bakımından; Ülkemizin puant yükünü yaklaşık 25.000 MW olarak düşünürsek 4.250 MW'lık enerji sistemde kaybolmaktadır. Buda yaklaşık 4 adet 1000 MW'lık santralin sadece kayıplar için çalışması anlamına gelmektedir.

Elektrik sistemindeki kayıpların tamamını ortadan kaldırmamız söz konusu değildir. Fakat bu kayıpların minimuma çekilmesi mümkündür. Bunun için enerji sisteminde çeşitli uygulamalar yapılmalıdır. Bu uygulamaların enerji sistemine getireceği maliyet kazanılan enerjinin yanında çok küçük bir değer olacaktır.

Yapmış olduğum bu tez çalışmasında enerji kayıplarının azaltılması metotları incelenmiş ve bunların enerji sistemindeki uygulamaları üzerinde durulmuştur. İncelenen metotların enerji sistemlerinin tasarlanması aşamasında başlayarak kullanılması çok daha yararlı olacağı açıktır.

Bu tez çalışmama hazırlamam esnasında tarafıma her konuda yardımcı olan ve değerli bilgileriyle tezimin oluşmasında devamlı destek olan sayın Prof. Dr. Neriman ŞERİFOĞLU hocama teşekkürlerimi bir sunarım. Ayrıca Kaynak Elektrik dergisi yazarlarına ve Elektrik-Elektronik Mühendisi İbrahim DEMİRDÖĞEN' de tez çalışmama yapmış olduğu katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Ocak, 2001

Murat KURT

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1 R,S,T fazlarının (a) Gerilim (b) Dengeli Akım fazörleri
- Şekil 2.2 R,S,T fazlarının (a) Gerilim (b) Dengeli Akım fazörleri
- Şekil 3.1 Hattın sonundan beslenen bir tüketici
- Şekil 3.2 Taşınabilir görünür gücün azaltımı
- Şekil 3.3 Taşınabilir aktif akımın artırılması
- Şekil 4.1 Kapalı devrede doğal akım dağılımı
- Şekil 4.2 Kapalı devrede ekonomik akım dağılımı
- Şekil 4.3 Kapalı devrede ekonomik ve eşitleyici akım
- Şekil 4.4 Kapalı devrenin açılması durumu
- Şekil 4.5 Transformatör ve ototransformatörlü kapalı devre
- Şekil 4.6 a) İki beslemeli sistemin gösterilimi b) Akım dağılımları
- Şekil 4.7 Üç baralı örnek dağıtım sistemi
- Şekil 5.1 II. Taraf gerilimi farklı olması durumunda transformatörler arasında oluşan gerilim farkı
- Şekil 5.2 Paralel bağlı transformatörlerde bağlama grubu farklı oluğunda oluşan faz açısı
- Şekil 5.3 Transformatör Merkezinin tam yükünün bölünmesi
- Şekil 5.4 Transformatör bağlantı şemaları
- Şekil 5.5 Transformatör kayıplarının yüke bağımlılığı
- Şekil 5.6 Transformatörün optimal gücünün seçilmesi
- Şekil 6.1 a) İç tüketim b) İç tüketim ve generatör gerilim şebekesi
- Şekil 6.2 Kondansatör bataryasıyla reaktif güç kompanzasyonu
- Şekil 6.3 Senkron Kompansatör ile gerilim ayarlanması
- Şekil 6.5 Kondansatör gücünün seçimi
- Şekil 7.1 Örnek bir dağıtım şebekesi

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Dengesiz yükün kaydedilen faz güçleri
Tablo 2.2	Dengesiz yüklenmeden ortaya çıkan günlük ek kayıp
Tablo 4.1	Üç baralı sistem verileri



ÖZET

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE GÜÇ VE ENERJİ KAYIPLARININ AZALTIMI METODLARI

Elektrik enerjisi günümüzde en çok kullanılan enerji kaynaklarından biridir. Elektrik enerjisi hayatımızı değişmez bir parçası olmuştur. Elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %7'si iletim hatlarında %10' u da dağıtım şebekelerinde kaybolmaktadır. Enerji kayıpları iletimde belli bir oranda sabittir. Asıl önemli ve değişken kayıp dağıtım şebekelerinde ortaya çıkmaktadır. Dağıtımdaki kayıplar konusunda yapılan bütün çalışmalar, kayıpların büyük bölümünün orta ve alçak gerilim şebekelerinde olduğunu ortaya koymuştur. Dağıtım seviyesindeki kayıpların azaltılması için alternatif çözümler vardır. Bu alternatif çözümlerin şebekelerde uygulanması neticesinde önemli boyutlarda kayıp enerji ekonomiye kazandırılacak ve gereksiz olarak enerji kaynaklarının harcanması önlenecektir. Dağıtım seviyesindeki toplam kayıpların bilinmesi kayıpların önlenmesi için yeterli değildir. Oluşan kayıpların çeşitli şebeke kısımlarında ve yükler arasındaki oranının incelenmesi ve bunların zamana göre değişimlerinin de bilinmesi kayıp azaltımında önemli bir yer tutar.

Bu çalışmada enerji sisteminde oluşan kayıplar incelenmiş ve bu kayıpların azaltımı için kullanılacak metotlar ele alınmıştır.

İkinci Bölümde; Enerji sistemlerinde dengesiz yüklenme nedeniyle oluşan kayıplar incelenmiştir. Elektrik enerjisi santraller de üç fazlı olarak üretilir ve transformatörler yardımıyla gerilim değeri yükseltilerek kullanıcıların bulunduğu bölgelere getirilir ve tekrar transformatörlerle kullanım gerilimine düşürülerek, tüketicilerin kullanımına sunulur. Elektrik enerjisinin kullanım alanları çok çeşitli olması nedeniyle elektrik şebekesi rastsal olarak, fazlar dengesiz yüklenirler. Ayrıca enerji sisteminde bulunan ark ocakları, elektrikli ulaşım sistemleri v.b. tüketiciler dengesiz olarak enerji sisteminin dengesiz yüklenmesine neden olur. Dengesiz yüklenme nedeniyle elektrik şebekesinde kayıplar oluşur. Dengesiz yüklenen enerji sisteminde faz bileşenleri veya simetrik bileşenler metodu ile kayıpların oluşumları ve bunların analizi ile önlenmesi incelenmiştir.

Üçüncü Bölümde; Elektrik enerjisinin kullanımında oluşan reaktif akımların oluşturduğu kayıplar ve bu kayıpların azaltımı için yapılan reaktif akımın kompanzasyonu anlatılmıştır. Elektrik enerjisi alternatif gerilim olarak üretilir. Alternatif akımın iki bileşeni vardır. Bunlar aktif bileşen ve reaktif bileşendir. Aktif

akımın meydana getirdiği aktif güç motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce aydınlatma tüketicilerinde ışığa dönüşür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Elektrodinamik prensibine göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi işletme araçlarının normal çalışmaları için gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilir. Reaktif akımın şebekeden çekilmesi, şebeke elemanlarında kayıpların artmasına neden olur. Tüketicileri oluşturduğu endüktif reaktif gücün, kapasitif yük çekmek suretiyle dengelenmesine reaktif güç kompanzasyonu denir.

Dördüncü Bölümde; dağıtım şebekelerinde fiderlerin düzenlenmesi ve fider optimizasyonu ile kayıp azaltımı incelenmiştir. Dağıtım şebekelerinde tüketici gruplarını besleyen fiderler vardır. Bu fiderlerden çekilen yüklerde saatlik, günlük, mevsimlik ve yıllık olarak değişmektedir. Bu nedenle dağıtım şebekelerinde dallı budaklı ve açık ring sistemlerinde çeşitli anahtarlamalar yapılarak, aşırı yüklenen fiderlerden az yüklü fiderlere yük aktarılması yapılarak fiderler yüklerinin belirli oranlarda dengelenmesi sağlanır. Böylece iletimde hatlarında oluşan kayıpların azaltımı sağlanır.

Beşinci bölümde; Elektrik dağıtım sisteminde bulunan transformatör merkezlerindeki transformatörlerin gruplandırılarak çalıştırılmasıyla, transformatörler üzerinde oluşan kayıplar azaltılabilir. Transformatörlerin boşa çalışmasındaki demir kayıpları sabit ve transformatör devrede olduğu sürece sistemde kayıp meydana getirir. Transformatörden akım çekilmeye başlanması neticesinde bakır kayıpları oluşur. Bakır kayıpları çekilen akımla orantılı olarak artar. Transformatörlerin paralel bağlanmasıyla bakır kayıplarında azalma olur. Buda yük durumuna göre önemli kayıp azaltımı sağlanabilir.

Altıncı bölümde; Elektrik dağıtım şebekelerinde gerilim ayarlanması ve gerilimin optimizasyonu ile kayıp azaltımı incelenmiştir. Akım ile gerilim arasındaki orantıdan dolayı gerilimin artması neticesinde akım azalır ve akımın azalmasıyla sistemdeki kayıplar da azaltılmış olur. Gerilim seviyesi, elektrik sistemleri tasarlanırken belirlenir. Enerjili sistemlerde gerilim seviyesi belirli bir oranda değiştirilebilir.

SUMMARY

Electrical energy is one of the most commonly used types of energy in the world and plays a very important role in our life, the losses in the transmission lines run about 7% of the energy generated while the losses in the distribution lines (medium and low voltage lines) may be as large as 10% of the energy generated. If the constant, it is variable for distribution side of the electrical system due to varying loads. Recent studies have shown that losses in the distribution lines are very crucial. Some alternative solutions have been applied so as to reduce losses in the distribution side of the electrical network, this very significant amount of energy has been saved. Not only is knowing the total amount of losses in the distribution lines enough but also investigation of load ratios and variation of load versus time is very important for reducing the losses.

In this thesis, the losses in the electrical system have been studied and some loss reduction methods have been proposed.

In the second section of the thesis, losses caused by unbalanced loads have been investigated. Electrical energy generated by the power station is served to consumers by using step up transformers, transmission lines and step down transformers respectively. Due to the different application of electricity in industry, there will always be unbalanced load existing and this will result in energy losses. The method of symmetrical components or phase components method have been used to analyse the losses in electrical system having unbalanced load conditions.

In the third section, losses due to the reactive current in the electrical system have been investigated and compensation of reactive current for reducing losses has been studied. There are two components of alternating current which are active and reactive power. While the active power is consumed by motors, lighting appliances, ovens etc., reactive power cannot be used effectively. According to the electrodynamic principle, electrical devices like generators, transformers, simple coil, motors always generate reactive current under normal operating conditions. Existence of this reactive power leads to considerable amount of energy losses in the system. Therefore, capacitive loads

are added, in order to reduce amount of reactive power compensation and very useful for reducing the losses.

In the fourth section arrangement of power cables and feeder optimization methods have been examined by the distribution losses. Electrical power carried by the distribution feeders is always changing hourly, daily, seasonally and yearly depending on the energy demanded by consumers. By applying different switching techniques in the ring branched electrical networks, power carried by over loaded feeders can be partially transformed to less loaded feeders. As a result, the losses in the over loaded feeder going to be reduced considerably.

In the fifth; by grouping and operating the transformers in the electrical distribution systems, losses in the transformers can be decreased a little bit. At the load conditions only iron losses occurs, however when the transformers are loaded copper losses is going to be as well. The amount of copper losses in the transformers is directly proportional to the current flowing through it, by connecting the transformers in parallel, the copper losses can be reduced remarkably.

In the sixth section the adjustment and optimization of voltage in the electrical distribution systems can also reduce electrical losses to some extent. Because of the relation between voltage and current, increasing voltage results in decreasing current. Hence, losses will be decreased. Optimization of voltage level and adjustment process is always done of during initial electrical system design. For existent systems however, voltage level can be adjusted to small extent.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzün en çok kullanılan ve hayatımızın değişmeyen bir parçası olmuş durumdadır. Bu enerjinin bu kadar popüler olması ve kullanım alanlarının her geçen gün artması elektrik enerjisinin en verimli bir şekilde üretimi ve kullanımını gündeme getirmektedir. Ülkelerin gelişmiş olma ölçütlerinden biriside kuşkusuz kişi başına düşen elektrik enerjisinin tüketimidir. Enerji tüketimi II. Dünya savaşından sonra önemli artışlar göstermiştir. Bunun nedeni, nüfus artışıyla birlikte elektrik enerjisinin günlük hayatın her aşamasında kullanılmasına yol açan teknolojiadaki baş döndürücü gelişmelerdir. Her geçen gün elektrik enerjisine olan talep artmakta ve bunun sonucu olarak üretiminde artması gerekmektedir.

Elektrik enerjisinin üretimi su, kömür, doğalgaz, petrol ürünleri ve nükleer kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının doğada sınırlı olarak bulunması dolayısıyla enerjinin daha etkin ve verimli kullanılması daha da önem kazanmaktadır. Barajların birim tesis maliyetinin yüksek olması ve dünyadaki su rezervlerinin sabit kaldığı düşünülürse elektrik üretimindeki payının sınırlı kalacağı anlaşılr. Diğer yandan kömür, doğalgaz ve petrol türevlerinde doğada sınırlı bir miktarda olduğu ve nükleer kaynaklara olan güvenirlilik, çevreye olan etkileri radyoaktif tehlike arz etmeleri bu kaynağın etkin olarak kullanılmasında bir çok sorun ortaya çıkartmaktadır. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın gün geçtikçe artış göstermesinden dolayı bir enerji krizi ile karşı karşıya kalınmaması için, kaynak sıkıntısı çok daha önemli bir konu olacaktır. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarının arayışlarını ortaya çıkarmıştır. Fakat yeni enerji kaynaklarıyla büyük güçler elde etmek hem çok zorluklar hemde enerjinin birim maliyeti çok yüksek olmaktadır. Bu durumda enerji kaynaklarından maksimum verimi elde etmemiz ve üretilen elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımındaki enerji kayıplarının minimuma indirgenmesiyle önemli miktarda enerji sisteme kazandırılacaktır. Bu konuyla ilgili olarak bir çok çalışma yapılmaktadır.

Elektrik santrallerinde üretilen enerjinin yaklaşık %7'si iletim hatlarında %10 civarındada dağım şebekelerinde meydana gelen kayıpları karşılamak için sarf edilmektedir. Bu büyük enerjinin iletimde ve dağıtımda harcanması anlamına

gelmektedir. Yeni yapılacak elektrik tesislerinin planlanmasında kayıpların mümkün mertebe düşürülmesi için optimal planların yapılması, işletilen şebekelerde de enerji kayıplarının belirli bir değerde sınırlandırılması içinde belirli uygulamaların yapılması işletme verimliliğini içinde oldukça önem arz etmektedir.

Türkiye’de 1998 yılı içerisinde enterkonnekte sisteme verilen elektrik enerjisi miktarı, TEAŞ verilerine göre brüt 114 milyar kWh’tir. Bunun 111 milyar kWh kadarı yurt içinde, devlete ve özel sektöre ait santrallerde üretilmiş olup, kalan 3 milyar kWh’i ithal edilmiştir. TEDAŞ’ın 1998 verilerine göre ; elektrik dağıtım müesseselerinin ve bağlı ortaklıkların TEAŞ’tan satın aldığı elektrik enerjisi miktarı toplam 79,5 milyar kWh, tüketiciye satılan net elektrik miktarı ise 60,5 milyar kWh’tir. Bu durumda bedelsiz elektrik ile kayıp ve kaçak elektrik enerjisi miktarı toplam 19 milyar kWh olmaktadır. Bunun 3,5 milyar kWh kadarı aydınlatma ve bedelsiz elektrik miktarı olarak belirlendiğinden, kayıp ve kaçak elektrik kullanım oranı Türkiye genelinde %19,5'lere ulaşmaktadır.

Bu oran gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında oldukça yüksektir. Uluslar arasınca kabul edilen teknik ve teknik olmayan kayıp miktarı %8 olarak alınırsa, 19 milyar kWh’lik kayıp ve kaçağın 6,3 milyar kWh’i için yapacak fazla birşey yoktur, gelişmiş ülkeler seviyesine çıksakda bu kaybı kabul etmek durumundayız. Ancak kalan 9,2 milyar kWh için bir mazeret bulunması oldukça zordur. Örneğin bu miktarda elektrik enerjisi kaybımız olmasaydı,yurt dışından elektrik enerjisi ithal etmemize gerek olmayacaktı. Bunun için geçtiğimiz yıl aralık ayı ortalama satış fiyatımız 35.000 TL/kWh (yaklaşık 7 cent/kWh) ile çarptığımızda yılda 644 milyon dolarlık bir parasal değer çıkmaktadır. Ülkemizde her yıl yeni santrallerin yapımı için 4,5-5 milyar dolara gereksinim duyulurken, bunun onda birine yakını oldukça önemli bir değerdir.

Karşılaştırma açısından Fransa’da 1995’de toplam 417 milyar kWh elektrik, 189 milyar Fransız Frangı’na (FF) satılmıştı. Teknik kayıpların parasal değeri 8,5 milyar FF iken teknik olmayan kaçak elektrik 6,5 milyar FF tutmaktaydı.

Enerji kayıplarında iletimde kayıp değerini belirli bir oranda sabittir. Asıl önemli ve değişken kayıp dağıtımda ortaya çıkmaktadır. Dağıtımdaki kayıplar konusunda yapılan bütün çalışmalar, bu kayıpların büyük bölümünün orta ve alçak gerilim

şebekesinde olduğunu ortaya koymuştur. Dağıtım seviyesindeki kayıpların azaltılması için belirli alternatif çözümler vardır. Bu alternatiflerin değerlendirilmesi ile dağıtım seviyesinde önemli miktarda enerjinin ekonomiye kazandırılacağı açıktır. Bu yolla kazanılan her kayıp kWh'in yerine mevcut üretim tesislerinden tüketicilere faydalı enerji verilebilir. Dağıtım şebekesindeki toplam kayıpların bilinmesi yeterli değildir. Oluşan kayıpların çeşitli şebeke kısımları ve yükler arasındaki oranını incelenmesi ve bunların zamana göre değişiminin de bilinmesi yük kayıplarının azaltılmasındaki çözüm yöntemlerinde önemli bir yer tutar. Dağıtım şebekelerinde kayıpların azaltılması hem elektriksel olarak hem de işletmecilik açısından yararlarını kısaca özetleyecek olursak;

İşletmecilik bakımından,

- Kayıp enerjinin üretilmesi için bir yakıt tüketilir buda ekonomik açıdan bir masraftır.
- Kullanılan enerji miktarının azalmasına neden olur.
- Enerji üretimi için yakıt tasarruf edilerek, kWh başına düşen birim maliyet düşer.

Elektriksel şebekenin işletilmesi bakımından ,

- Dağıtım şebekesindeki yükün azalmasına ve gerilim seviyesinin iyileşmesine hatların enerji taşıma kapasitesinin artmasına neden olur.
- Dağıtım şebekesindeki elemanların ömürlerinin uzamasına neden olur.

Elektrik enerjisinin kayıplarını sadece transformatörlerin, hatların ve sistemdeki diğer elemanlardan oluşan kayıplar olarak değerlendirilirken bunların yanına önemli kayıp faktörü daha ilave edilebilir. Kısaca bunu açıklayacak olursak, dallı budaklı ve ring olan dağıtım şebekelerinde oluşan hataların sistemden ayrılması sağlayan güç kontrol sistemlerinin tam olarak çalışmaması nedeniyle hata olmayan kısımlarında enerjisiz kalmasına neden olunmasıdır. Bu nedenle bir çok abone gereksiz olarak enerjisiz kalmaktadır.

Elektrik enerjisinin kayıp azaltımı için iletim ve dağıtımda uygulanacak metotlar vardır.

- İletim ve dağıtım şebekelerinde reaktif akımın kompanzasyonu ile kayıp azaltılması.

- İletim ve dağıtım şebekelerinde yük akışı ve fider otamasyonu ile kayıp azaltılması.
- Sistemde paralel çalışan transformatörlerin günlük yük değerlerine göre gruplandırılması.
- Sistemdeki dengesiz yüklenmeden dolayı oluşan kayıpların azaltımı.
- Dağıtım şebekelerinde gerilim seviyesinin değiştirilmesi ve gerilim optimizasyonun sağlanmasıyla kayıp azaltımı.
- Dağıtım şebekelerinde oluşan arızaların şebekeyi en az etki ile devre harici edilmesi.

Bu metotların şebekeye uygulanmasında dağıtım şebekesine ilaveler gereklidir. Bu ilavelerin maliyeti, kayıp enerjinin ekonomiye kazandırılmasıyla önemsiz bir maliyet olduğu görülecektir.

Bu çalışmada enerji kayıplarının azaltılması metotlarından yukarıda belirtilen konular incelenecektir.

2.BÖLÜM

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE DENGESİZ YÜKLENMENİN OLUŞTURDUĞU KAYIPLAR

Elektrik enerjisinin tasarım ve işletilmesi ile ilgili analizlerde her üç fazın R,S,T eşit ve özdeş yüklendiği kabul edilir. Diğer bir deyişle sistemin pratikte dengeli yüklendiği varsayımı kabul edilir. Dolayısıyla yük akışı analizinden elde edilen kayıp enerji değeri üç fazın toplamıdır. Gerçekte enerji sisteminin her noktasında, işletmenin dengeli çalışma büyüklüklerini sağlaması her zaman mümkün değildir. Uygulamada geçici ve sürekli karakterde akım dengesizlikleri her zaman görülebilir. Geçici dengesiz yüklenmelere örnek simetrik olmayan kısa devreler (faz-faz,faz-toprak,iki faz toprak kısa devreleri vb..) enerji sistemini kısa sürede olsa dengesiz yüklerler. Sürekli karakterdeki dengesiz yüklere örnek; yükün karakteristiği gereği dengesiz güç (dolayısıyla dengesiz akım) çeken yükleri bulunduran ark fırınları döküm tesisleri v.b.. gösterilebilir. Bu tesisler elektrik şebekesinden orta gerilimden ve alçak gerilimden enerji kullanırlar. Ark fırınları beslediği şebekeden arkın karakteristiği gereği dengesiz yük akımları oluşturur. Bundan başka elektrikli demir yolu tesisleri elektrik enerjisinin bir fazından beslendikleri için sürekli akım dengesizliğine yol açarlar. Alçak gerilim dağıtım şebekesinde çoğunlukla dengesiz yüklenirler.Ancak besleme sistemi çok uçlu yapılmasıyla dengesizliğin etkileri azaltılabilir.

Dengesiz (asimetrik) yüklenmede, her fazın çektiği aktif ve reaktif güçler birbirinden değerce farklıdır; böylece faz akımlarında genlik olarak birbirinden farklı ve faz açısı da 120° 'den farklıdır. Yük akımları dengesiz iken besleme gerilimi dengeli tutulsa da dengesiz gerilim düşümleri nedeniyle uç geriliminde dengesizlikler oluşabilir. Ancak hesaplamalarda gerilim dengesizliğinin ihmal edilmesi büyük hatalara yol açmamaktadır.

Her bir fazının direnci R olan bir elektrik sisteminde R,S,T fazlarından I_R, I_S, I_T gibi farklı genliklerde akım akıyorsa kayıp enerji değeri aşağıdaki gibi olur.

$$E'_k = \sum_{i=1}^n R \int_0^{T_i} (X_{IR}^2 I_R^2 + X_{IS}^2 I_S^2 + X_{IT}^2 I_T^2) dt \quad (2.1)$$

X_R, X_S, X_T R,S,T fazlarındaki yüklenme oranlarını göstermektedir. $I_R+I_S+I_T$ akımlarının fazör toplamı sıfırdan farklı bir akım verir. Şebekenin nötrü yalıtılmamış ise bu akım,

toprakla ilişkili kısımlar üzerinden devresini tamamlar ve bu devre üzerindeki emik dirençlerde ek kayıplar oluşturur.

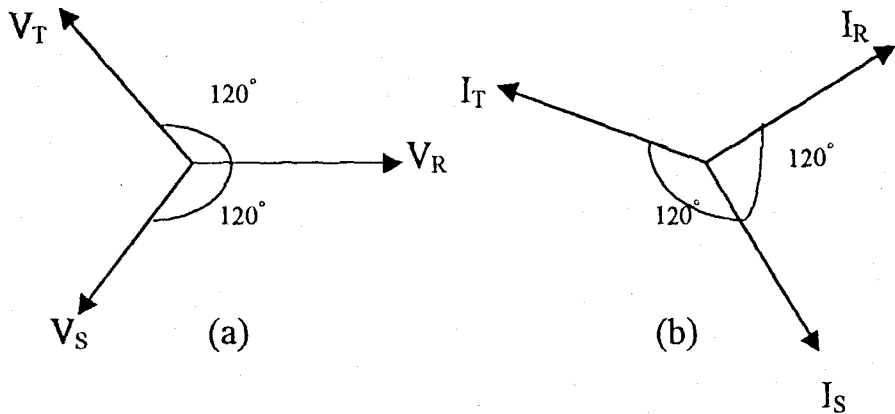
Şebekedeki dengesiz (asimetrik) yüklenme sonucu ek kayıpları seri akım yolundaki kayıplar ve şönt akım yolundaki kayıplar olarak ayırmak mümkündür. Seri akım yolundaki kayıplar, faz iletkenlerindeki I^2R kayıpları, transformatörlerin bakır kayıpları ve varsa nötr iletkenlerindeki kayıplar olarak sayılabilir. Şönt akım yolundaki kayıplar ise; transformatörlerin ve varsa yıldız noktalarını toprağa bağlayan omik dirençler üzerinde oluşacaktır.

Enerji sistemlerinde kayıpların en aza indirilmesi ilke edinildiğinde ortaya çıkan bu ek kaybın en aza indirilmesi gerekmektedir. Dengesiz yüklenme nedeniyle tesis elemanları (iletken, kesici, ayırıcı, diğer elemanlar) ısı dayanıklılık bakımından daha üst normlarda seçileceğinden, sistemin sabit giderlerinin artmasına neden olacaktır. Elektrik şebekesinde koruyucu sistemler açısından ise, dengeli yüklenme için öngörülmuş açma karakteristiklerinde ve koruma planlarında değişiklik olacağından dengesiz yüklenme halinde koruyucu sistemlerinin çalışma karakteristiklerinin değişmesine neden olacaktır.

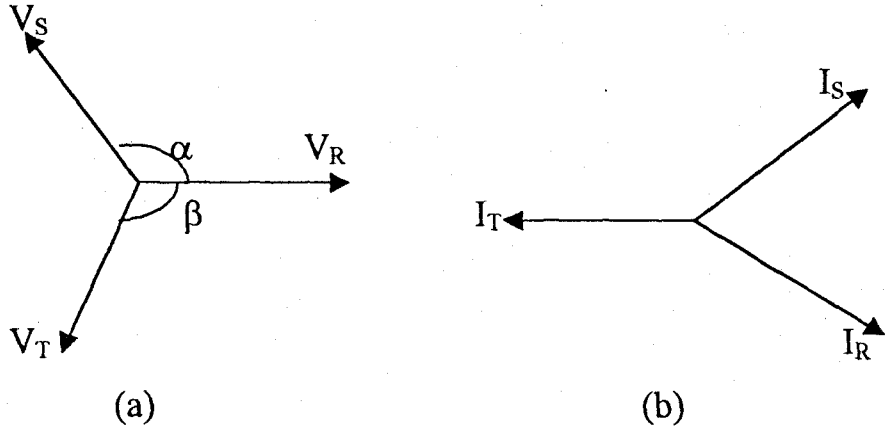
Dengesiz yüklenen şebekelerinin güç akışının ve güç analizinin yapılması gerekir. Bunun için faz bileşenleri yöntemi ve simetrik bileşenler yöntemleri kullanılır.

2.1. Enerji Sistemindeki Dengesizlikler:

Enerji sisteminde üç faz birbirlerine göre 120° faz farkı ile dönen eşit genlikli V_R, V_S, V_T gerilim, I_R, I_S, I_T akım fazörlerine sahip ve her üç fazın empedansı simetrik olan şebekeler “dengeli” (Şekil2.1), yukarıdaki şartlardan biri sağlanmıyorsa bu şebekeler “Dengesiz” (Şekil2.2), olarak tanımlanır.



Şekil 2.1 R,S,T fazlarının (a)gerilim (b) dengeli akım fazörleri



Şekil 2.2 R,S,T fazlarının (a)gerilim (b) dengesiz akım fazörleri

Üç fazlı olarak üretilen elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtım sırasında faz gerilimleri ve akımları mümkün oldukça dengeli tutulmaya çalışılır. Elektrik enerjisi üretilirken generatörlerden dengeli üç fazlı bir gerilim elde edilir. Fakat şebekenin yüklenme karakteristiğinden dolayı dengesizlikler meydana gelir. Dengesizliğin artması şebekedeki kayıpların artmasına neden olur.

2.2 Dengesizlik Analizinde Kullanılan Yöntemler:

2.2.1 Faz Değişkenleri Yöntemi:

Faz bileşenleri yönteminde, sistemin büyüklükleri üzerinde herhangi bir dönüşüm yapılmadan her bir fazdaki gerçek fiziksel büyüklüklerin kullanılmasına dayanmaktadır. Böylece sistemdeki her faz ayrı ayrı işleme tutulmuş olacaktır.[5]

2.2.2 Simetrik Bileşenler Yöntemi[

Bu metot dengesiz yüklenen sistemlerin fazlarının vektör diyagramındaki simetrisiz akımların simetrik bileşenler yöntemi ile üç tane simetrik vektöre dönüştürülmesidir. Bu bileşenler doğru, ters ve sıfır bileşenleridir.

Sistemin akımlarını aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{b1} + \dot{I}_{b2} + \dot{I}_{b0}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{c1} + \dot{I}_{c2} + \dot{I}_{c0}$$

(2,2)

1,2,0 sırasıyla doğru,ters, sıfır bileşenleri göstermektedir.

(2,2) denklemlerin çözümü ile simetrlili bileşenleri belirleyebiliriz. A fazının doğru, ters ve sıfır bileşenlerini belirlenip, daha sonra B ve C fazlarının simetrlili akımlarını A fazının simetrlili akımları cinsinden ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} I_A &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \\ I_B &= a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} + I_{a0} \\ I_C &= a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} + I_{a0} \end{aligned} \quad (2,3)$$

Denklemlerde $a = e^{j120^\circ}$ faz operatörü denklemde yerine konulursa,

$$I_{a1} = \left(\frac{1}{3} \right) [I_A + a \cdot I_B + a^2 \cdot I_C]$$

$$I_{a2} = \left(\frac{1}{3} \right) [I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C]$$

$$I_{a0} = \left(\frac{1}{3} \right) [I_A + I_B + I_C] \quad (2,4)$$

Denklemlerini elde ederiz. Simetrlili akımlar belirleniyor ise simetrisiz akımları, simetrisiz akımlar biliniyor ise simetrlili akımları hesaplamak mümkündür.

2.3 Üç Fazlı Dengesiz Yüklenen Şebekenin Güç Akışının İncelenmesi ve Kayıp Analizi:

Enerji sisteminde güç akışı uygulamaları, enerji sisteminin dengeli yüklendiği varsayılarak yapılmaktadır. Enerji sisteminin sürekli olarak dengesiz yüklenmesi halinde dengeli yük akışı için yapılan kabuller, şebeke modelleri, güç bağıntıları ve çözüm teknikleri artık geçerli olmayacaktır. Bu tip şebekelerde yük akışları da farklı olacaktır. Dengesizliklerde dengeli yüklenmelerden farklı bir güç dağılımı bulunmasının yanı sıra, koruma (toprak) iletkeni ile direklerin topraklama dirençlerinde oluşan joule kayıpları da etkilidir.

Dengesiz yüklenme neticesinde oluşan ek kayıpların analizinde şu varsayımlar göz önünde tutulmalıdır.

-Sistemdeki besleme gerilimleri daima dengelidir; bir başka deyişle gerilim asimetrisi ihmal edilebilir düzeydedir.

-Toprağın kendi direnci dikkate alınmıştır.

-Tüm kaçak kapasiteler ihmal edilmektedir.

Dengesiz yüklenmeler günün belirli saatlerinde farklı değerleri almaktadır.

Bir enerji sisteminde R, S, T fazlarına ilişkin gerilim matrisi $[V]$ ve akım matrisi $[I]$ olmak üzere sistemin görünen gücü

$$[S]=[V]_t.[I]^* = [V_R.V_S.V_T] \begin{bmatrix} I_R^* \\ I_S^* \\ I_T^* \end{bmatrix} \quad (2,5)$$

$$=[\underline{V}_R I_R^* + \underline{V}_S I_S^* + \underline{V}_T I_T^*]$$

bu ifadeyi simetrik bileşenler cinsinden yazılacak olursak

$$[S] = 3[\underline{V}_1.\underline{V}_2.\underline{V}_0] \begin{bmatrix} I_1^* \\ I_2^* \\ I_0^* \end{bmatrix} \quad (2,6)$$

$$=[3\underline{V}_1 I_1^* + 3\underline{V}_2 I_2^* + 3\underline{V}_0 I_0^*]$$

yazılır. Burada 1,2,0 indisleri doğru ,ters ve sıfır bileşenleri göstermektedir.

2.4 Dengesiz Yüklenen Üç Fazlı Enerji Sisteminde Şebekeden Çekilen Bileşke Güç:

Dengesiz yüklenen bir enerji sisteminde ortaya çıkan güçlerin farklı açısallık frekanslara sahip olduğu bir önceki bölümde anlatılmıştı. Açısallık frekansları birbirinden farklı olan sinüsoidal fonksiyonların toplamının efektif değeri, her fonksiyonun efektif değerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Bu durumda şebekeden çekilen bileşke görünen güç

$$S_{top} = \sqrt{S_{11t}^2 + S_{12t}^2 + S_{10t}^2} \quad (2,7)$$

veya

$$S_{top} = S_{yük} \sqrt{1 + \alpha_i^2 + \beta_i^2} \quad (2,8)$$

olur. $S_{yük}$ yükün üç faz-toplam görünen gücüdür.

Enerji sisteminde her hangi bir noktada, faz akımlarının fazör toplamı olan

$$3 I_0 = I_R + I_S + I_T \quad (2,9)$$

akımına artık akım adı verilir. Bu akımın toprağa geçişi söz konusu değildir. Fazlardan I_0 sıfır bileşen akımı akamaz ve dolayısıyla $\beta_i = I_0 / I_1$ kat sayısı sıfır bileşen değerini alır. Artık akımın topraktan geçiş yolu bulunduğu şebekelerde toprak yolunda oluşan kayıplarında dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin havai hatlardaki iki direk arasındaki koruma iletkenleri, direklerin topraklama dirençleri, dağıtım postalarının topraklama empedansları toprak yolunu oluşturan başlıca elemanlardır. Toprak yoluna ilişkin güç, toprak yolu elemanlarında kayıp olarak harcanan güce karşılık düşecektir. $S_{0\delta}$ ile gösterilecek olan toprak yolu gücü, artık akıma dolayısıyla I_0 sıfır bileşen akımına bağlıdır. Ayrıca Z_{ty} toprak yolu empedansına da bağlı olarak

$$S_{0\delta} = f(I_0, Z_{ty}) \quad (2,10)$$

Şeklinde ifade edilebilir. S_{10t} sıfır bileşen gücü ile $S_{0\delta}$ toprak yolu gücü arasında

$$S_{0\delta} = \delta S_{10t} \quad (2,11)$$

bağıntısı kurulabilir. Burada δ , pozitif gerçel bir sayıdır. (2,7) ve (2,8) ifadelerine toprak yolu gücünün eklenmesiyle

$$\begin{aligned} S_{top} &= \sqrt{S_{11t}^2 + S_{12t}^2 + S_{10t}^2 + S_{0\delta}^2} \\ &= S_{yük} \sqrt{1 + \alpha_i^2 + \beta_i^2 (1 + \delta^2)} \end{aligned} \quad (2,12)$$

bulunur. [11]

2.5 Dengesiz Yüklenme Nedeniyle Hat Kayıplarındaki Artış:

(2,12) bağıntısında görüldüğü gibi, dengesiz yüklenme nedeniyle şebekeden çekilen toplam görünen güçte bir artış olmakta ve toprak yolu kayıplarında da dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla dengesiz yüklenme halinde ek bir güç harcanmaktadır. R hattının faz başına omik direnci olmak üzere, fiziksel sistemin joule kayıpları, P_k

$$[P_k] = [I]_t [R] [I] \quad (2,13)$$

yazılır. Burada $[I]$, faz akımlarının efektif değerini içeren matris ve $[R]$ hattın direnç matrisidir. Bu denklem açık olarak yazılırsa

$$[P_k] = \begin{bmatrix} I_R & I_S & I_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \quad (2,14)$$

$$= [RI_R^2 + RI_S^2 + RI_T^2]$$

elde edilir. Simetrlili bileşenler cinsinden sistemin Joule kayıpları P_{ks}

$$[P_{ks}] = [I_s]_t [R] [I_s] \quad (2,15)$$

$$[P_{ks}] = 3[I_1 \ I_2 \ I_0] \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (2,16)$$

$$= [RI_1^2 + RI_2^2 + RI_0^2]$$

şeklinde yazılır.

Toprak yolunda artık akım tarafından oluşturulan kayıp güç $P_{o\delta}$, gerek fiziksel sistemde gerekse simetrlili bileşenler sisteminde fazlar da oluşan Joule kayıplarına eklenmelidir. Dengesiz yüklenme nedeniyle yükün yıldız noktasında sıfırdan farklı değer alan $3I_0$ artık akımı, toprağa geçiş olanağı bulduğunda, bu noktadan itibaren şebekenin nötürü üzerindeki toprak dönüş yolu boyunca Joule kayıplarını oluşturur. $P_{o\delta}$ gösterilecek olan bu toprak kayıpları

$$P_{o\delta} = \sum_{j=1}^n |\tau_j(3I_0)|^2 \cdot \text{Re}\{Z_{tyj}\} \quad (2,17)$$

$$= \sum_{j=1}^n |\tau_j(3I_0)|^2 \cdot R_{tyj}$$

şeklinde ifade edilir. Burada toprak yolunun değişik yapıda n parçada olduğu ve her parça üzerinde $3I_0$ akımının τ_j katının aktığı kabul edilmektedir. Z_{tyj} ise , toprak yolunun j . Parçasının empedansıdır.

Dengeli yüklenmeden ortaya çıkan joule kayıplarının bağıl değeri

$$P_k = \frac{P_k}{P_{yük}} = \frac{3RI_1^2}{P_{yük}} \quad [\%] \quad (2,18)$$

Dengesiz yüklenme için

$$P'_k = \frac{P'_k + P_{o\delta}}{P_{yük}} = \frac{3R(I_1^2 + I_2^2 + I_0^2) + P_{o\delta}}{P_{yük}} \quad [\%] \quad (2,19)$$

Dengesiz yüklenmeden dolayı oluşan ek joule kayıplarının bağıl değeri ise

$$\Delta P_k = P'_k - P_k \quad [\%] \quad (2,20)$$

şeklinde ifade edilir.

Simetrik bileşenler dönüşümü altında gücün sabitliği koşulu Joule kayıpları içinde gerçekleşmek zorundadır. Fakat nötrü yalıtılmış şebekelerde kayıp gücün sabitliği gerçekleşemez. Sıfır bileşen akımının sistemde olup olmaması akımın doğru ve ters bileşen değerlerini değiştirmez. Simetrik bileşenler dönüşümü altında joule kayıpları için güç sabitliği koşulu sağlanabilmesi için, artık akımı olmayan sistemin I_2 ters bileşen akımının ξ gibi bir pozitif gerçel bir katsayı ile çarpılması gerekir. Bu durumda elde edilen eşitlik aşağıdaki gibi olur.

$$R[I_R^2 + I_S^2 + I_T^2] = 3R[I_1^2 + (\xi I_2)^2] \quad (2,21)$$

2.6 Dengesiz Yüklenmeden Ortaya Çıkan Artık Akımın Toprak Yoluna Dağılımı ve Oluşturduğu Ek Kayıp:

Dengesiz (asimetrik) yüklenen bir enerji sisteminde fazör toplamı sıfırdan farklı olur. Bu akıma artık akım adı verilir. Enerji sisteminin herhangi bir yerinde toprakla bağlantılı olduğunda, bu artık akım toprağa akar. Bu akım dengesiz faz akımlarının fazör toplamıdır ve devresi toprak ile toprakla bağlantılı olan tesis elemanları üzerinden kapanır. Artık akım toprak yolunun omik direnci (R_N) sebebiyle ek joule kayıpları $P_{o\delta}$ oluşturur.

$$P_{o\delta} = \sum_{i=1}^m R_{Ni} \cdot I_{oi}^2 \quad (2,22)$$

Burada m, yıldız noktası R_N dirençleri üzerinden toprağa geçiş noktalarının sayısını göstermektedir.

Artık akım dağılım yolları, sıfır bileşen akımının üç katına eşit olan artık akım direklerin koruma iletkenleri, topraklama dirençleri, dağıtım merkezlerinin topraklama elektrodları, hatların kaçak kapasiteleridir. Akımın toprak yolundaki toprağın empedansı veya direncini tayin eder.

Dengeli yüklenen enerji iletim hatlarının kayıp analizinde, genellikle faz iletkenlerindeki joule kayıpları göz önüne alınırken koruma iletkeni üzerindeki kayıplar dikkate alınmamaktadır. Enerji iletim hatlarının dengesiz yüklenmesi halinde koruma iletkeni üzerinde, faz iletkenleri tarafından oluşturulan endüksiyon gerilimlerine ek olarak artık akım etkisi de kendisi gösterecektir. İletim hattının tasarımında uygun önlemler alınarak yani faz iletkenleri ile koruma iletkenleri arasında karşılıklı empedansı olabildiğince eşit hale getirilmesidir. Dengeli yüklenme halinde koruma iletkeni kayıpları önemli ölçüde azaltılabilir. [2,10]

2.7 Dengesiz Yüklenen Enerji Sisteminde Güç Akışı ve Kayıp Analizi:

Enerji sisteminin her ayrı fazından çekilen güçler birbirinden farklı olması durumunda, dengesiz yüklenme durumunda tek fazın eşdeğeri kullanılarak yapılamadığını ifade etmiştik. Dengesiz sistemi simetrik bileşenler yöntemiyle dengeli yüklenme haline dönüştürülmesidir. Dengesiz yüklenme ile ilgili kayıp analizinde, dengeli yükleme ile tam bir karşılaştırma yapabilmek için, dengeli sistem üzerinde yapay bir dengesizlik oluşturulabilir. Böyle bir yüklenmede K “dengesizlik katsayısı” olarak adlandırılacak olursa, bu katsayı yardımıyla faz güçlerinin dengesizliği ortaya konulabilir.

Enerji sisteminin i. barasında R,S,T fazlarından her birinden dengeli olarak $\underline{S}_i = P_i + jQ_i$ güçleri çekiliyor ise, her üç fazdan çekilen gücün toplamı $3\underline{S}_i$ aynı kalacak şekilde faz güçleri ($\underline{S}_R$, $\underline{S}_S$, $\underline{S}_T$) ile K parametresi arasında

$$\begin{aligned} \underline{S}_{Ri} &= \frac{K}{100} (3\underline{S}_i) \\ \underline{S}_{Si} &= \frac{66,67 - K}{100} (3\underline{S}_i) \\ \underline{S}_{Ti} &= \frac{33,33}{100} (3\underline{S}_i) \end{aligned} \quad (2,23)$$

eşitlikleri yazılabilir. Yukarıdaki eşitlikte de görüldüğü gibi R ve S fazlarının gücü K parametresiyle değişmekte, T fazının gücü K parametresinden bağımsız olarak, daima $\underline{S}_i$ gücüyle yüklenmektedir. (2,23) ifadesi taraf tarafa toplanacak olursa

$$\underline{S}_{Ri} + \underline{S}_{Si} + \underline{S}_{Ti} = 3\underline{S}_i = \underline{S}_{iyük} \quad (2,24)$$

Koşulunun gerçekleştiği, yani dengeli ve dengesiz yüklenmede şebekeden çekilen gücün sabit kaldığı görülmektedir. (2,23) denklemlerinin ikincisi yardımıyla, K parametresinin maksimum değerinin ilki yardımıyla ise K parametresinin minimum değerinin 0,0 olduğu anlaşılır. O halde K için

$0 < K < 66,67$ şeklinde bir tanım aralığı vardır. (2,23) denklemlerinden üçüncüsü incelendiğinde $\underline{S}_{Ti}$ gücünün dengeli yüklenme halindeki güce eşit olduğu görülür. Bu durumda $\underline{S}_{Ri} = \underline{S}_{Si} = \underline{S}_{Ti}$ koşulunu sağlayacak olan K değeri 33,33 dür ve K' nın bu değeri dengeli yüklenmeye karşılık düşer.

K parametresinin maksimum ve minimum değerleri, iki fazlı enerji iletimini tanımlar. Bu bakımdan, enerji sistemlerinde izin verilen dengesizlik sınırı aşılmaksızın K' ya uygun değerlerin verilmesi gerekir. i. bara için kullanılan bu yaklaşım, enerji sisteminin tüm baraları için genelleştirilebilir. [10,3,2]

2.7.1 Dengesiz Yüklenmede Faz İletkenlerindeki Kayıpların Analizi:

Enerji sisteminin dengesiz yüklenmesi halinde aktif ve reaktif güçler arasındaki açı ϕ_{top} , dengeli yüklenmedeki ϕ açısına göre büyümektedir. Bunun sonucu olarak yük güç katsayısı küçülmektedir.

Dengeli yüklenmede yükün güç katsayısı

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{S_{11}} \quad (2,25)$$

Dengesiz yüklenmedeki güç katsayısı

$$\cos\phi = \frac{P}{S_{top}} \quad (2,26)$$

olacaktır. (2,8) ifadesi yardımıyla

$$\cos\phi_{top} = \frac{\cos\phi}{\sqrt{1 + \alpha_i^2 + \beta_i^2}} \quad (2,27)$$

şeklini alır. Dengesiz yüklenme için α_i ve β_i değerleri daima sıfırdan büyük olacağından $\cos\phi_{top} < \cos\phi$; $\phi_{top} > \phi$ olduğu ispatlanmış olur.

Faz iletkenlerindeki joule akıma ve güç katsayısına bağlı olduğundan, sistemin $\cos\phi_{top}$ güç katsayısı ile dengeli olarak yüklenmesinden ortaya çıkacak kayıplar, dengesiz yüklenmedeki kayıplara eşdeğer olacaktır. Başka bir deyişle , dengesiz yüklenme halinde her fazdan çekilen $\underline{S}_R = P_R + jQ_R$, $\underline{S}_S = P_S + jQ_S$, $\underline{S}_T = P_T + jQ_T$ güçlerinin faz iletkenlerinde oluşturacağı kayıp güç

$$S_{top} = \frac{P_R + P_S + P_T}{3} + jQ_{top} \quad (2,28)$$

gücün fazlardan dengeli olarak çekilmesi halinde oluşacak kayıp güce eşit olacaktır. Bu yaklaşım altında, i. Baranın gücünün

$$S_{top} = \frac{P_{Ri} + P_{Si} + P_{Ti}}{3} + jQ_{topi} \quad (2,29)$$

şeklinde dengeli yüklenmeye dönüşmesi, faz kayıplarında her hangi bir değişmeye yol açmayacaktır. Burada $\cos\phi_{topi}$ i. Baranın eşdeğer reaktif gücü bu ifadeyi

$$Q_{topi} = \sqrt{S_{topi}^2 - P_i^2} \quad (2,30)$$

yazabiliriz. Enerji sisteminin kayıplarının hesap edilmesi için her baraya ilişkin Q_{topi} reaktif güçlerinin hesap edilmesi gerekmektedir. Güç akışı hesaplanmasında Newton-

Rapson ,Gauss-Seidel yöntemlerinden biri kullanılabilir. r tane üretim barsı ve n tane tüketici barsı olan bir enerji sisteminde P_s salınım barasının gücü olmak üzere faz iletkenlerinde oluşan güç P_k

$$P_k = 3 \left[\left(P_s + \sum_{i=1}^r P_{ui} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \right] \quad (2,31)$$

olur. P_a üretim barsı gücü , P tüketim barsı gücü ve P_s salınım barsı gücünü gösterir.[3,8,10]

2.7.2 Dengesiz Yüklenmede Toprak Yolundaki Kayıpların Analizi:

Dengesiz yüklenme halinde , enerji sisteminin nötrü topraklanmış ise bir artık akım oluşacağı daha önceki bölümde anlatılmıştı. Bu artık akımın etkisi ile toprak yolu üzerindeki elemanlardan dolayı bir kayıp oluşacaktır. Genel olarak düşünecek olursak havai hatlara ait toprak yolu, direklerin topraklama dirençlerinin oluşturduğu zincir sistemden oluşur. Hat boyunca direklerin topraklama dirençlerinin ve direk arası mesafelerin eşit olarak kabul edilir. Faz iletkenleri ile koruma iletkenleri arasında karşılıklı etki var ise, hattın yeterince uzun olduğu varsayılırsa, toprak yolunun toplam empedans Z_z

$$Z_z = \sqrt{Z_l \cdot R_d} (1 - \mu_{R,S,T}) \quad (2,32)$$

Burada Z_l iki direk arasında kalan koruma iletkenin empedansı, R_d direk topraklama direnci, $\mu_{R,S,T}$ R, S, T faz iletkenleri ile koruma iletkeni arasındaki magnetik etkiyi gösterir. $\mu_{R,S,T}$ değeri , koruma iletkenlerinin yerden yüksekliği ,koruma iletkeninin çapı, faz ve koruma iletkeni arasındaki mesafenin bir fonksiyonudur. Koruma iletkeni çelik olması halinde faz iletkeni ile koruma iletkeni arasındaki etki ihmal edilir. Bu durumda (2,32) ifadesini

$$Z_z = \sqrt{Z_l \cdot R_d} \quad (2,33)$$

şeklinde yazmak mümkündür.

$$Z_l = z_l' \cdot a \cdot 10^{-3} \quad (2,34)$$

ile hesaplanır. Burada z_l koruma iletkenin birim uzunluğunun empedansı [Ω/km] ve a direkler arası mesafe [m] 'dir.

R_d direk topraklama direnci , toprağın özgül direnci ρ ile bağımlıdır. Bu bağımlılık R_T merkezlerin yayılma direnci içinde geçerlidir. R_d ve R_T dirençlerinin ρ özgül direncine gerçel bir sayı ile bağlandığı kabul edilir. Hesaplamalarda iletim hattının geçtiği yol

boyunca her toprağın , her noktada tek tabakalı ve aynı özgül dirence sahip olduğu varsayılır.

i. baranın topraklama direnci R_{Ti} , bu baradan toprağa akan artık akım $3I_{oi}$ olmak üzere bu baraya t tane iletim hattı bağlanmış ise , i. bara için

$$3I_{oi} = I_{Ti} + \sum_{i=1}^l I_{zi} \quad (2,35)$$

yazılabilir. I_{Ti} topraklama direncinden geçen akım, I_{zi} akımı ise o noktadan görünen hatların zincir empedans akımlarıdır. Artık akımdan dolayı oluşan toprak yolu kaybı

$$P_{o\delta i} = R_{Ti} |I_{Ti}|^2 + \sum_{i=1}^l \operatorname{Re}\{Z_{zi}\} |I_{zi}|^2 \quad (2,36)$$

olarak yazılır. Enerji sisteminde n tane tüketici barası var ise toplam toprak yolu kaybı

$$\sum P_{o\delta} = \sum_{i=1}^n P_{o\delta i} \quad (2,37)$$

olur. Bu bağıntı artık akımın sıfırdan farklı olması halinde geçerlidir. Eğer enerji sisteminde m tane topraklanmamış tüketici barası var ise (2,37) bağıntısı

$$\sum P_{o\delta} = \sum_{i=1}^{n-m} P_{o\delta i} \quad (2,38)$$

şeklini alır. [3,12]

2.8 Dengesiz Yüklenmeden Oluşan Kayıpların Ölçme Metodu İle Belirlenmesi:

Dengesiz yüklenmiş enerji sisteminin dengesizliğinin tespiti ve oluşan kayıpların bulunmasının bir yöntemi de ölçüm metodudur. Dengesiz olarak yüklenmiş hatların veya tüketici gruplarının beslendiği enerji iletim hattının her fazını hattın başında ve hattın sonunda aktif gücün vatmetreler yardımıyla ölçülmesi sonucunda , her fazın hat başı ve hat sonu güçlerinin farklarının toplamı dengesiz yüklenmedeki kayıpları (P'_k) verecektir. Söz konusu sistemin dengeli yüklenmeye ilişkin kayıp değerleri (P_k) belli olduğundan ($P'_k - P_k$) değeri ek kayıpları verecektir. Bu ölçümde ölçüm hataları oluşacaktır.

Ayrıca enerji sisteminde bulunan transformatörlerinde kayıp değerlerinde bir artış olacaktır. Transformatörlerin etiket değerlerinde bulunan bakır (kısa devre) kayıpları P_{cu} dengeli yüklenme hali için geçerlidir. Dengesiz yüklenmede bağlantı grubunda önem kazanır. [2]

2.9 Dengesiz Yüklü Enerji Sistemine ait Örnek Sayısal Uygulama :

Enerji sistemindeki dengesiz yüklenmeden dolayı oluşan ek kayıpların etkinliğini göstermek üzere, 154/34,5 kV'luk bir transformatör merkezinden beslenen dengesiz yüklü enerji dağıtım tesisi göz önüne alınmıştır. Transformatör Merkezine 8 km uzunluğunda üç ayrı çıkış bulunmaktadır. Ortalama omik direnç 0.4 ohm/km.faz'dır. Hatların birisinden çekilen günlük (24 saatlik) yük değişimi Tablo-1 ' de verilmiştir. Yapılan hesaplama sonuçları da Tablo-2 de verilmiştir.

Saat	SR(MVA/F)		SS(MVA/F)		ST(MVA/F)	
24	3,50	0,05	4,18	0,18	3,50	0,02
1	3,50	0,04	4,20	0,17	3,80	0,21
2	3,50	0,04	4,20	0,17	3,70	0,18
3	3,70	0,04	4,30	0,15	3,80	0,11
4	4,00	0,05	4,30	0,16	3,90	0,11
5	4,00	0,07	4,20	0,16	3,90	0,11
6	3,90	0,05	5,00	0,18	4,00	0,13
7	3,90	0,05	4,90	0,18	4,00	0,13
8	3,80	0,03	4,70	0,16	4,00	0,13
9	3,90	0,05	5,00	0,20	4,50	0,16
10	4,00	0,05	5,00	0,20	4,50	0,16
11	4,10	0,06	4,90	0,17	4,70	0,18
12	4,00	0,06	4,90	0,18	4,70	0,18
13	4,20	0,07	5,00	0,21	3,90	0,10
14	4,20	0,07	5,00	0,21	3,80	0,10
15	4,20	0,06	4,90	0,21	3,90	0,12
16	4,10	0,08	4,90	0,20	4,00	0,15
17	4,10	0,08	4,90	0,21	4,10	0,18
18	4,30	0,09	5,10	0,20	4,00	0,17
19	4,20	0,09	5,00	0,19	4,00	0,17
20	4,30	0,09	5,10	0,19	4,00	0,17
21	4,30	0,09	5,20	0,23	4,00	0,17
22	4,20	0,09	5,10	0,21	3,90	0,18
23	4,10	0,09	5,10	0,20	3,90	0,18

Tablo2-1 Dengesiz yükün kaydedilen faz güçleri

Tablo2 –1 de 154/34,5 kV 'luk transformatör merkezinden beslenmekte olan dengesiz yükün her bir fazın günlük yük değerlerini göstermektedir. Bu bilgiler ışığında dengesiz yüklenmeden dolayı oluşan kayıp güç hesaplanmıştır. Tablo2-2 de de görüldüğü gibi dengesiz yüklenme neticesinde oluşan kayıplar açıkça görülmektedir.

Saat	Pk(kW)	Pk'(kW)	Pk'/Pk
24	336,2	338,8	1,008
1	356	358,1	1,006
2	349,8	352	1,006
3	374,6	376,3	1,005
4	400,4	401,2	1,002
5	393,9	394,3	1,001
6	447,7	453,8	1,013
7	440,8	445,8	1,011
8	420,4	424	1,009
9	483,2	488,2	1,01
10	490,4	494,5	1,008
11	505,1	507,9	1,006
12	497,7	501,4	1,007
13	461,8	467,1	1,011
14	454,7	460,8	1,013
15	454,8	459,1	1,01
16	454,9	458,8	1,009
17	462	465,5	1,008
18	483,3	488,6	1,011
19	469	473,5	1,01
20	483,3	488,5	1,011
21	490,6	497	1,013
22	469,1	475,4	1,014
23	462	468,7	1,015

Tablo2-2 Dengesiz yüklenmeden ortaya çıkan
Günlük ek kayıp

2.10 Enerji Sisteminde Dengesiz Yüklenmeden Oluşan Ek Kayıpların Azaltımı:

Enerji sistemlerinde dengesiz yüklenme genellikle yüklerin karakteristikleri nedeniyle ortaya çıkar. Bu nedenle oluşan ek kayıpların azaltmak enerji sisteminde önemli miktarda bir enerjinin kayıp olması önlenmiş olacaktır. Bu kayıpların derecesi , yüklenme oranı (tam ve yarı yüklenme) , asimetri derecesi, hat uzunluğu , sistemin topolojisi, (ağ, halka veya dalbudak şebeke) , şebeke gerilimi, çekilen yükün mertebesi vb. bir dizi etkene bağlıdır. Ek kayıp enerjinin bir yıllık süredeki değerini göz önüne alındığında ek kayıp enerjinin tutarı görülebilir.

Ek kayıpların azaltımı için şu önlemler sıralanabilir.

- Dengesizliğin (asimetrinin) derecesini düşürülmesi; Enerji sisteminde

tüketici gruplarının rastsal olarak enerji çekmeleri nedeniyle oluşan dengesizliğin derecesini düşürmesi için günlük,haftalık, aylık, mevsimlik,yıllık yük eğrileri

yardımıyla yükün değişimi takip edilerek tüketicilerin besleme noktasının değiştirilmesi ile dengesizliğin derecesi belirli bir miktar düzeltilir. Diğer bir çözüm ise aynı nitelikteki dengesiz tüketici gruplarını bir grup olarak veya müstakil olarak beslenmesi dengesizliğin derecesini düşürmede etkili olur.

-Güç kompanzasyonu yapılması ile; Bölüm-3’de anlatılan güç kompanzasyonunun dengesizliğin azaltılmasında önemli bir etkisi vardır. Özellikle dengesiz ve değişken yükler için yapılan statik kompanzasyon oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

- Şebekenin gerilimi ve tipi uygun ise yıldız bağlantı noktasının toprakla ilişkisinin kesilmesi; bu yolla dengesiz yüklenme nedeni ile torağa akan artık akımın oluşturacağı ek kayıplar ortadan kaldırılacaktır. Yıldız noktasının toprakla ilişkisinin kesilmesi özellikle orta gerilim şebekelerde faz toprak arızasının bulunmasını güçleştireceği göz önünde tutulmalıdır.



BÖLÜM 3

REAKTİF AKIMIN KOMPANZASYONU İLE KAYIP AZALTIMI

Elektrik enerjisi alternatif olarak üretilir ve dağıtılır. Tüketicilerin şebekeden çektikleri akım aktif ve reaktif olarak iki bileşen oluşur. Aktif akımın oluşturduğu aktif güç, tüketiciler tarafından faydalı hale getirilir. Reaktif güç faydalı güce çevrilmez fakat faydalı gücün yanında reaktif güce ihtiyaç vardır. Endüksiyon prensibine göre çalışan bütün elektriksel cihazlar ve makinelerde, manyetik alanı meydana getirilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekilir. Bu mıknatıslanma akımı reaktif akımdır. Bu nedenle reaktif akım alıcının cinsine ve onun reaktif gücün büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Buda aktif bileşen gibi iletim hattı üzerinden taşınması zorunluluğu vardır. Hattın yüklenmesine ve kayıpların artmasına neden olur. Transformator ve motor gibi manyetik alan gerektiren cihazlar için çok daha fazla reaktif güç ihtiyaç gösterir. Bu cihazlar reaktif güç ihtiyaçlarını şebeke üzerinden santrallerden karşılanır. Yalnız alıcılar değil, aynı zamanda şebekeler ve burada bilhassa yüksek gerilim havai hat şebekeleri de yüksek endüktif dirençleri ile büyük reaktif güç çekerler. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif güç ile dengelenmesine reaktif güç kompanzasyonu denir.

Alternatif akım şebekelerinde önceleri yükler genaratörlere yakın ve çok çeşitli olmadığından, senkron genartörün uyarma akımı değiştirilerek yükün ihtiyacı olan reaktif güç karşılanıyordu. Yüklerin çeşitlenmesi ve artması nedeniyle, yüklerin yanına sabit kapasitelerden oluşan cihazlar konuldu. Yüksek gerilimli hatların kurulmasıyla birlikte seri kapasiteler ve şönt reaktörler önemli kompanzasyon cihazları olmuştur. Endüstride ani yük değişimleri gösteren büyük yüklerde (Ark ocakları, Elektrikli trenler v.b.) sabit cihazların kullanılması ile bu yüklerin reaktif akımlarının karşılanması ve şebekeyi dengede tutmak oldukça zordur. Tristörlerin geliştirilmesiyle hareketli parçaları bulunmayan statik kompanzatörler geliştirildi.

Her bir fazın direnci R olan bir enerji sisteminde R, S, T fazlarından eşit genlikli $I_R = I_S = I_T = I$ akımları akıyor ise, enerji sisteminde n tane farklı yüklenme olduğu kabulüyle oluşan kayıp enerji E_K

$$E_K = \sum_{i=1}^n 3R \int_0^T X_i^2 I^2 dt \quad (3,1)$$

olacaktır. Burada X_i ; i. İşletme dilimine ilişkin

$$X_i = \frac{I_{xi}}{I} \quad (3,2)$$

Şeklinde yüklenme oranı olup, I_{xi} i. İşletme dilimindeki yük akımı, I tam yük akımı, T_i ise i. İşletme diliminin yüklenme süresidir. Kayıp enerji E_k ifadesi faz akımına, faz akımı da,

$$P = 3VI\cos\phi \quad (3,3)$$

bağıntısı gereği P gücüne, V faz gerilimine ve $\cos\phi$ güç katsayısına bağlıdır. Genellikle P ve V büyüklükleri sabit tutulduğundan, güç katsayısı akım üzerinde etkili olur. Güç katsayısının küçülmesi hat kayıplarını artırır. Enerji sisteminde baradaki reaktif güçlerin belirli sınırlar içerisinde kontrol edilmesiyle, sistemdeki hat kayıpları en aza indirilir.

Bu bölümde reaktif akımın kompanze edilmesinin, elektrik şebekesinin kayıpları azaltımı bakımından sağladığı faydalar ve diğer etkileri anlatılacaktır. [15,17]

3.1 Reaktif Akımın Kompanzasyonunun Amaçları :

Reaktif akımın kompanze edilmesinin başlıca amacı güç faktörü düzeltilmesi, gerilimin ayarlanması ve yükün dengelenmesinin sağlanmasıdır.

3.1.1 Güç Faktörünün Düzeltilmesi:

Elektriksel yüke gerekli olan reaktif gücün hemen yanında güç kompanzasyon sistemi ile üretilmesi olarak tanımlanır. Bu sayede enerji iletim hatları reaktif güçle gereksiz olarak yüklenmemiş olur. Reaktif gücün varolmasıyla enerji iletim hatlarının transformatörlerin ve genaratörlerin gerçek faydalı güce karşı düşen akımdan daha büyük akım taşımalarına yol açar. Bu da sistemin aşırı yüklenmemesine yol açar.

3.1.2 Gerilimin Ayarlanması:

Alternatif akım şebekesi sonsuz güçte ise iç empedansı sıfıra yakın bir değer alır. Bu nedenle gerilim değerlerini kompanze etmek, diğer bir deyişle sabit tutmak için yüklerin reaktif güçleri kompanze edilir. Kompanze edilmemiş bir yükün aldığı reaktif güç yada ani reaktif güç değişimleri, eşdeğer empedansları sıfır olmayan sonlu güçlü gerçek bir şebekede gerilim değişmelerine neden olur. Bu gerilim değişimleri aynı noktaya diğer elektrik enerjisi alıcılarının olumsuz etkilenmesine yol açar. Gerilim değerinin %5' ten az olması idealdir.

3.1.3 Yükün Dengelenmesi:

Alternatif akım sistemlerinde üç fazlı olarak yüklenilir ve üç fazlı sistemlerde yükler genellikle dengelidir. Şebekenin belirli kısımlarında fazlara dengesiz olarak

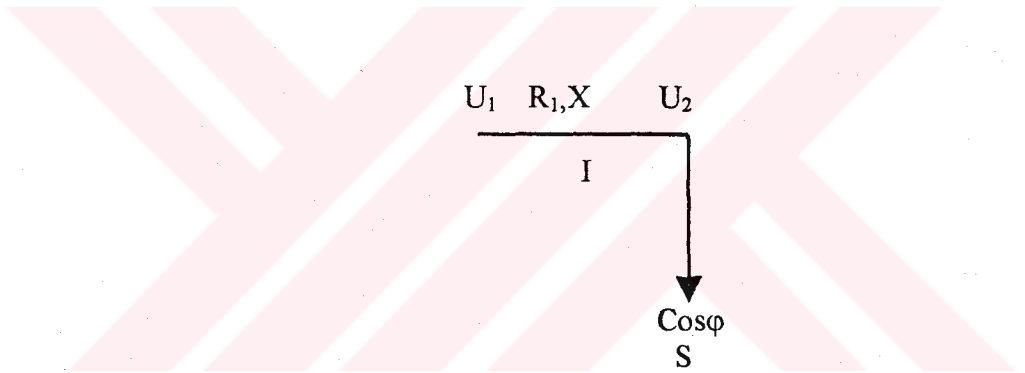
yüklenilir. Fazların dengesizliği nedeniyle simetrik bileşenler cinsinden pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerini meydana getirir. Bu bileşenlerin bulunması nedeniyle motor ve generatörlerin kayıpları artar, A.A makinelerinde moment dengesizliğine yol açar, nötrden büyük akımlar geçmesine ve doğrultucuların çıkış geriliminde artan sivri gerilim tepeleri oluşmasına neden olur. [15,16,17]

Sistemde yapılacak uygun bir kompanzasyon ile aşağıdaki faydalar sağlanır.

3.2 Kompanzasyonun Enerji Sistemindeki Faydaları:

3.2.1 Şebekenin Kapasitesi Artması:

Reaktif akımın kompanzasyonu, reaktif akım sisteme ilave edilecek kompanzatörler ile karşılanacağından sistemden daha küçük bir akım çekilecektir. Bu sayede şebekeden daha az bir akım çekilerek kapasitesinin artması sağlanacaktır.



Şekil 3.1 Hattın Sonundan Beslenen Bir Tüketici

- R : Hattın omik direnci
- X : Hattın reaktif direnci
- L : Hattın Uzunluğu
- U_1 : Hat başındaki Faz-Nötr gerilimi
- U_2 : Hat sonundaki Faz-Nötr gerilimi
- S : Hattın sonunda çekilen görünür güç
- $\cos\phi$: Güç Faktörü olmak üzere;

Hattan çekilen P aktif gücün sabit kalması halinde;

Kompanzasyondan önce çekilen görünür güç;

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos\phi_1} \quad (3,4)$$

Kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç;

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos\phi_2} \quad (3,5)$$

Bu durumda her iki bağıntıdan arasındaki fark olur.

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (3,6)$$

Kompanzasyondan önceki değere oranı;

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left(1 \frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right) \quad (3,7)$$

olarak elde edilir. Kompanzasyonun yapılması ile şebekenin yükü $\% \Delta S$ oranında azalır.

Kısaca şebekenin $\% \Delta S$ oranında kapasitesinin artmasıdır.

Şebekede hattın sonundan çekilen görünür gücün sabit kalması halinde kompanzasyondan önce çekilen aktif güç,

$$P_1 = S_1 \cdot \cos\phi_1 \quad (3,8)$$

kompanzasyondan sonra çekilen aktif güç

$$P_2 = S_2 \cdot \cos\phi_2 \quad (3,9)$$

olmak üzere aralarındaki fark,

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (3,10)$$

Bu değerlerin kompanzasyondan önceki değerlerle oranlanır

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} \cdot 100 = 100 \left(\frac{\cos\phi_2}{\cos\phi_1} - 1 \right) \quad (3,11)$$

olur. [15,17]

3.2.2 Şebekenin Isı Kayıpları Azalması:

Şebekenin dağıtım hatları üzerinde bulunan iletkenlerin bir R direnci olduğundan $I^2 \cdot R$ bağlı olarak bir enerji kaybı ısı olarak olur. Bu kayıp iletkenin kesitine, uzunluğuna, yükün puant ve minimum olmasına bağlı olarak; kullanılan enejinin $\%2,5-7,5$ arasında bir değerdir. Oluşan kayıp akımın karesine, akımda güç faktörüne doğrudan bağlı olduğundan kayıp güç faktörünün karesi ile ters orantılıdır. Kayıpların kW olarak azalma oranı

$$kW \text{ olarak } \propto \left(\frac{\text{Güçfaktörü}}{\text{Düzeltilmi güçfaktörü}} \right)^2 \quad (3,12)$$

$$\text{Kayıptaki azalma oranı} = 1 - \left(\frac{\text{Güçfaktörü}}{\text{düzeltilmi güçfaktörü}} \right)^2 \quad (3,13)$$

Güç faktörünün düzeltilmesi durumunda sistemin kapasitesinde bir artış meydana gelecektir. Yani faydalı gücün artmasıdır. Şebekeden çekilen görünür güç her iki durumda sabit kalacaktır. Fakat aktif gücün büyümesi nedeniyle % kayıp miktarı azalacaktır.

3.2.3 Şebekenin Gerilim Düşümü Azalır:

Şebekede gerilim kontrolü generatör ve transformatörlerin gerilim kademelerinin değiştirilmesi ile yapılmaktadır. Şebekede yapılan kompanzasyonlarda gerilim düzeltilir.

Güç faktörünün düzeltilmesinin bu faydalarının yanında tüketiciler açısından aşağıdaki faydaları vardır.

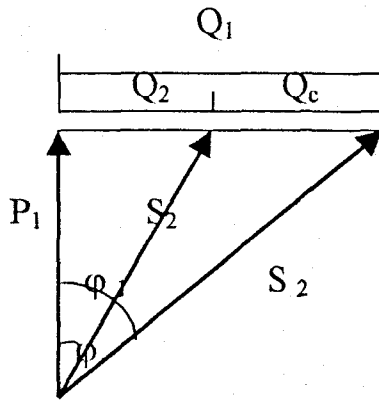
- Gereksiz yatırımları yapılmaması,
- Reaktif enerjinin bedelinin ödenmemesi
- Gerilim düşümünün önlenmesini sağlar. [15]

3.3 Reaktif Güç İhtiyacının Saptanması:

Şebekenin veya tüketicilerin güç ihtiyacının tespiti için şebekeden çekilen görünür gücün ve buna ait $\cos\phi_1$ ile istenilen güç faktörünün bilinmesi gerekmektedir. Reaktif gücün hesaplanması için iki yol vardır.

3.2.1 P_1 Gücünün Sabit olması Durumunda:

Aşağıdaki şekil 3.2' de görüldüğü üzere



Şekil 3.2 Taşınabilir Görünür Gücün Azaltımı

Kompanzasyondan önceki reaktif güç,

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 \quad (3,14)$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç

$$Q_2 = P_2 \cdot \tan \varphi_2 \quad (3,15)$$

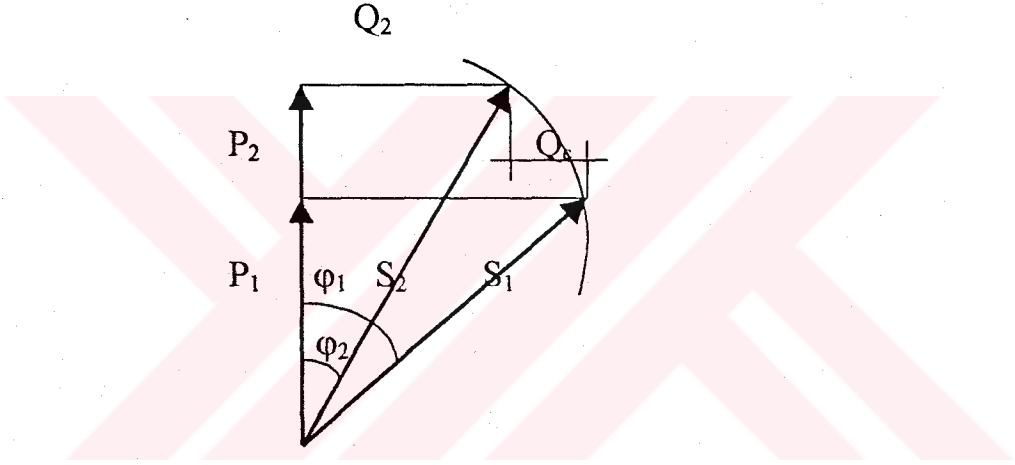
Gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (3,16)$$

olur.

3.3.2 S_1 Görünür gücün sabit kalması hali:

Şekilde görüldüğü gibi şebekeden çekilen güç aktif gücü artırılır.



Şekil 3.3 Taşınan aktif gücün artırılması

Kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (3,17)$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç

$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \varphi_2 \quad (3,18)$$

olmak üzere gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 \cdot (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) \quad (3,19)$$

olarak bulunur. [15]

3.4 Reaktif Güç Üreten Araçlar:

Sistemde reaktif güç üreten elemanlar şunlardır;

- Dinamik faz kaydırıcılar; aşırı uyarılmış senkron makineler

- b) Statik faz kaydırıcılar; kondansatörler. Kondansatörler kullanım özelliği bakımından aşırı uyarılmış senkron makinalardan daha fazla kullanılır. Kayıpları ve bakımı azdır.

3.5 Reaktif Güç Tüketen Araçlar:

Elektrik şebekesinde magnetik alan prensibiyle çalışan elektrikli araçların tümü şebekeden aktif güç yanında reaktif güç çekerler. Bunlardan birkaç tanesini; transformatörler, lamba balastları, endüksiyon fırınları, doğrultucular, Senkron motorlar, Asenkron motorlardır. Şebekeden çekilen reaktif güç büyük bir kısmı endüktif karakterde olup gerilime göre 90° geri fazdadır. Reaktif gücün bir kısmında kapasitif niteliktedir. Buna örnek olarak kondansatörler ve havaihat iletim hatları gösterilebilir. [15,16]

3.6 Kompanzasyon Çeşitleri:

Elektrik şebekelerinde reaktif gücün durumuna ve büyüklüğüne göre çeşitli kompanzasyonlar yapılmaktadır. Yapılış yerlerine göre;

- 1- Tekli Kompanzasyon
- 2- Grup Kompanzasyon
- 3- Merkezi Kompanzasyon

3.6.1 Tekli Kompanzasyon:

Bu tip kompanzasyon tesisleri reaktif güç tüketen elektrikli araçların her birisine bağlı bir uygun kondansatör ile yapılmaktadır. Her bir elemanın tek olarak kompanzasyonu yapılmış olur. Kondansatör elektrikli aracın devreye girmesiyle direk olarak devreye girerler. Elektrikli motorlarda kullanıldığı zaman gerilim dalgalanmalarının küçük mertebede kalmasını sağlarlar. Elektrikli motorların tekli kompanzasyonunda uygun kondansatör seçilmemesi durumunda aşırı kompanzasyon, motorun devreden çıkması durumunda kendi kendine ikazlanmasına neden olabilir. Tekli kompanzasyon tipi pahalı ve ayarlama bakımından elverişli değildir. Sabit güç ile çalışan tüketicilerde oldukça uygun ve ekonomiktir.

3.6.2 Grup Kompanzasyon

Aynı anda devreye giren elektrikli araçların devreye girmesiyle bunların çektiği reaktif gücün kompanze edilmesi grup kompanzasyon olarak tanımlanır. Örnek olarak

motorla aynı anda devreye giren transformatör ve lambalar. Bir çok tüketicinin bulunduğu tesiste her bir tüketici grubunun ayrı ayrı olarak kompanze edilmesi ekonomik ve pratik olmayacağı gibi bakımında oldukça zordur.

3.6.3 Merkezi Kompanzasyon

Elektriki olarak merkezi bir noktadan ayar düzeniyle, çok sayıda bulunan ve değişik zamanlarda devreye girip çıkan tüketicilerin reaktif güç gereksimlerine uygun olarak kondansatörlerinin devreye girip çıkmasıdır. Kademeli olarak devreye kondansatörlerin girip çıkması az salınımlı gerilim darbeleri oluşturur. Az ve aşırı kompanzasyondan kaçınılmış olur. Her bir tesis için kondansatörlerin çalışacağı sınır değerleri belirli olup bu değerler arasında kondansatörler devreye girip çıkmasıyla oluşturulur. [15,17]

3.7 Reaktif Güç Kompanzasyonuna Ait Sayısal Uygulama:

Bu bölümde sayısal uygulama olarak Türkiye'deki elektrik sistemini tek bir sistem olarak ele alalım. Türkiye'nin 1999 yılı kurulu gücü 26.125 MW'tır. Bu kurulu gücün yaklaşık 20.000 MW ani puant değeridir. Türkiye sistemini,

$$P_1 = 20.000\text{MW}, \cos\phi = 0,8$$

tek bir sistem olarak düşünelim ve güç faktörünü 0,8'den 0,95'e çıkartalım. Bu durumda görünür güç %18.75 oranında artması anlamına gelir ve 3750 MW enerji kaybı önlenir ve bu oranda şebekeye fazla yüklenilebilir. Bu sonuç sunu göstermektedir, 1000MW kurulu gücü olan Ambarlı Termik santralinin 3,5 katı enerji sisteme kazandırılacaktır.

BÖLÜM 4.

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE DAĞITIM OPTİMİZASYONU VE FİDER DÜZENLEMESİ İLE KAYIP AZALTIMI

Enerji tasarrufu yönünden maksimum faydayı sağlayacak sistemler ile enerji sistemlerini işletmekle önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanır. Elektrik dağıtım sistemleri özelliğinde, kayıpları en az olan trafo, dağıtım hatları ve diğer sistem bileşenleri ile birlikte en az kayıp ve en düşük işletme ve bakım maliyeti oluşan sistemler hedef alınmalıdır.

Bir dağıtım sisteminin dizaynını belirlemek için üç dizayn durumu aynı anda dikkate alınmalıdır; Yerleştirme(birkaç kaynaktan veya indirici transformatör merkezi – İTM barasından birçok tüketiciye dağıtım yollarının belirlenmesi), hat boyutlandırılması iletken kesitinin , faz sayısının ve her kısım için hat tipinin seçilmesi), ve radyal anahtarlama modeli (bir radyal modelle elektrik akışını sağlayan şebekede normalde açık noktaların belirlenmesi) Dizaynın bu üç durumu birbirini önemli ölçüde etkilemektedir ve genellikle en az maliyeti gerçek plan sadece üçünün de aynı anda dikkate alınması ile bulunabilir. Hiçbir optimizasyon metodu dağıtım dizaynının bütün durumlarını kapsamaz.

Dağıtım sistemlerinde normalde iki tip anahtar konumu vardır; normalde kapalı anahtar (ayırma anahtarı) bunlar hat kısımlarını birleştirmektedir, normalde açık anahtar (bağlantı anahtarı) iki primer besleyiciyi veya iki ara istasyonu yada bir düğüm oluşturan kısımları birleştiren hatlar üzerindeki anahtardır. Besleme otomasyonunda bu iki tip anahtarın açık kapalı konumlarının değiştirilmesiyle, dağıtım beslemelerinin topolojik yapısının değiştirilmesi olarak tanımlanır. Dağıtım beslemesinin düzenlenmesi, bir gerçek zaman kontrol yöntemi olarak kullanılabilir. Dağıtım beslemeleri, koruma sistemlerinde etkili bir koordinasyon sağlamak amacıyla normalde radyal şebeke olarak işletilirler. Bununla birlikte bu radyal yapı işletim süresince bazı bölge anahtarlarının durumlarını değişmesiyle değişir. SCADA sistemiyle ,dağıtım şebekesi uzaktan izlenebilmekte ve anahtarla kumanda edilebilmektedir. Şebeke koşulları değiştikçe şebeke iki amaçla yeniden düzenlenir. Bunlar;

- 1) Bir arıza durumunda mümkün olduğunca tüketiciye enerji sağlamak ,
 - 2) Normal işletme koşullarında ise ,
- Güç kayıplarını azaltmak

- Şebekedeki aşırı yüklenmeleri hafifletmek için, yani yük dengelemek için düzenleme yapmak

Dağıtım otomasyonunun sonuçları dağıtım sistemleri ile birlikte üretim ve iletim sistemlerini de etkilemektedir. Dağıtım otomasyon sistemleri esas olarak üç temel işlevi bulunmaktadır. İzleme, Kontrol, Koruma

- **İzleme:** Dağıtım sistemlerinin durumunu belirlemeye yönelik konum ve analog bilgilerin toplanmasıdır.
- **Kontrol:** İstenildiği zaman istenildiği yönde dağıtım sisteminin topolojisinin değiştirmeye yönelik hareket yeteneğidir.
- **Koruma:** Sistemde çalışan koruma ünitesi sayesinde arızalı devrenin veya teçhizatın algılanarak, yerinin tespiti ve tecrit edilmesi kabiliyetidir.

Bu ana işlevler doğrultusunda dağıtım otomasyonunun özel alt işlevlerine bakacak olursak,

Otomatik Bara Ayırma: Trafo merkezinde oluşan kalıcı arızanın koruma sistemiyle temizlenmesinden sonra, arıza sezici ve konum bilgileri değerlendirilerek gerekli açma ve kapama komutları ile arızalı kısmın tecrit edilmesi ve geri kalan fider bölümlerinin yeniden enerjilendirilmesidir. Bu işlev ile aynı zamanda trafo yüklerini dikkate alarak aşırı yüklenmeleri önleyecek manevra komutları üretilir.

Fider Manevraları ve otomatik ayırma: Fiderlerin herhangi bir bölümünde kalıcı arıza olduğunu saptar. Arızanın olduğu fider kısmını iptal eder ve fiderin geriye kalan kısımlarını yeniden enerjilendirilir.

Birleşik Gerilim –Reaktif Güç Denetimi: Trafo kademe değiştirileri ve kapasitörleri denetleyecek trafo merkezleri ve fider boyunca gerilim ve reaktif güç büyüklüklerini ayarlar değerleri etrafında tutar.

Transformatör Yüklerini Dengeleme: Aynı ve komşu merkezlerdeki transformatörlerin yüklerini kontrol altında tutarak transformatörlerin dengeli yüklenmesini ve buna bağlı olarak yük akımları nedeniyle oluşan kayıpları en aza indirir.

Fider Yüğü Dengeleme: Fideri oluşturan bölümler üzerindeki yükleri kontrol ederek fider bölümlerinin dengeli yüklenmesini ve bu sayede yük akımlarına bağlı oluşan kayıpların en aza indirilmesidir.

Trafo merkezlerinde ve fiderlerde çeşitli konum bilgilerini ve ölçüm değerlerini toplayan ve konum değiştirme veren otomasyon teçhizatına, yük dağıtım merkezinde ise

bu bilgileri kullanan denetim, gözleme ve analiz amaçlı otomasyon yazılım ve donanımına (Dağıtım Yönetim Merkezi) ihtiyaç vardır. Böyle bir sistem, Dağıtım Yönetim Sistemi (Distribution Management System-DMS) sistemi şeklinde anılır.

Dağıtım sistemlerindeki her bir fider ticari , yerleşim ve endüstriyel tip yüklerin farklı bir karışımına sahiptir. Dolayısıyla transformatörlerde primer beslemeler ve besleme kısımları üzerinde puant yükler farklı zamanlarda meydana gelir. Sistem puant yüklerde gereksiz olarak kayıplıdır. Besleme düzenlenmesi, yükün yoğun olduğu kısımlardan hafif olan kısımlara iletilmesine izin vererek, talepteki değişime rağmen şebekenin daha az kayıpla verimli olarak çalışması ve iyileştirmesini sağlar. Kayıp enerjinin azaltılmasıyla her yıl ekonomiye büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda bu konuda bir çok araştırma yapılmış olup, mikroişlemciler, bilgisayarlar ve haberleşme alanındaki gelişmeler dağıtım sistemlerinin otomasyonuna olanak sağlamıştır.

Besleme düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır: son durumda beslemeler radyal kalmalı ve tüm yük baralarındaki gereksinimleri karşılanmalı, hat kapasite limiti, gerilim düşümü limiti ve ısı kontrolü işletme koşullarını sağlamalıdır. [22]

4.1 Heuristik Kurallar Üzerine Kurulu Algoritmalar:

Dağıtım şebekesi düzenleme probleminin karmaşık yapısı, sadece heuristik çözüm metotlarının kullanılarak araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Heuristik metotlar, anahtarlama işlemleriyle ilgili kayıp azaltımı değerlendirmek için ampirik formüllerin gelişimi ve anahtarlama işlemlerindeki tercih sayısını azaltmak için çeşitli kuralların kullanımıyla karakterize edilir. Heuristik kurallar ağır yüklenen cihazların ve hatların yüklerinin azaltılmasının minimizasyonunu sağladığı kabulü üzerine kurulur. Bu metotlar problemin çözüm zamanını azaltmasına rağmen sadece kayıp azaltımını önerir.

Civanlar [24], sadece heuristik kuralları kullanarak, hat kayıplarını azaltan bir sistem yapısı belirlemek amacıyla bir algoritma sunmuştur. Bu algoritma anahtarlama işlemi tercihlerinin sayısını azaltmak için iki heuristik kural tanımlamakta ve anahtarlama işlemiyle ortaya çıkan kayıplardaki azalmayı saptayan bir denklem formüle etmektedir. Civanlar şebeke baralarındaki gerilim düşümü ilişkilerini analiz ederek , anahtarlama işleminin sistem kaybını azaltıp azaltmadığını saptamayı amaçlamıştır. Anahtarlama işlemleri için dal değiştirme metodu kullanılmış, sistemin radyelliği

bozmamak amacıyla bir anahtarın kapanmasına karşılık diğerlerinin açılmasını önermiştir. Civanlar'ın metodunda, sadece bir anda bir çift anahtarlama işlemi yapılabilmekte ve hat cihazlarının varlığı formülde görülmemektedir.

Baran ve Wu [25], sistem yüklerinin iletiminde güç akışı için iki yaklaşım formülü tanımlayarak Civanlar metodu iyileştirmeyi düşünmüşlerdir. Kullanılan iki yük akış metodu 1)"Simplified distflow method" ve 2) 1Backward and forward update of distflow metod"dur. Baran ve Wu dal değişim işlemi kullanan bir metod geliştirmiş, bu metotla hem kayıp azaltımı hem de yük dengelemeyi amaçlamışlardır. Yük dengeleme için bir yük denge endeksi belirlemiştir. Her dal değişimi için bu endeks;

$$C_b = \sum P_i^2 + \frac{Q_i^2}{S_{i \max}^2} \quad (4,1)$$

Burada P_i i dalının aktif gücü Q_i i dalının reaktif gücü $S_{i \max}$ i dalının maksimum görünür gücü olarak ifade edilir. Dalın ne kadar yükleneceği ölçüsünü vermez. Kayıp azaltımı için kullanılan araştırma ve yük akışı tahmin metotlar yük dengeleme içinde kullanılır. Aralarındaki tek fark amaçlarıdır. "Simplified distflow method" yük dengeleme için daha çekicidir. Bunun nedeni ise yük denge endeksinin bağımlı olması ve bu metodun şebeke parametrelerini gerektirmeksizin güç akış tahmini yapmasıdır. Baran ve Wu' nun amaçladığı bu yaklaşımın temel sakıncaları şunlardır;

- Son şebeke yapısının şebeke anahtarının ilk durumuna bağlı olması ,
- Her bir dal değişim işlemi, kayıp azaltımı sağlarken, tüm işlemlerin optimum veya optimuma yakın bir çözüm garantilemesi,
- Binlerce dal ve yüzlerce anahtar içeren gerçek büyüklükteki bir anahtar değişim işlemi seçiminin çok zaman gerektirmesi.

Tahmin metotları hesapsal olarak çok verimlidir. Hem aktif hem raeaktif güç akışlarını dikkate alırlar. Bu nedenle sistem iyi kompanze edilmemiş ve farklı düzenlenmiş merkezler arasında yük aktarımı içeriyorsa bile verilen sistemi düzenlemek için araştırmalarda kullanılabilir.

Casto ve Watanable [26], daha geniş bir araştırma stratejisi kullanarak Civanlar'ın araştırması genişletmişlerdir. Civanlar'ın algoritmasının temel özelliği, sadece çözüm zamanı kısaltan ancak lokal minimum elde ihtimalini artıran en ümit verici anahtarlama tercihi üzerinde dallanmayı düşünüyor olmasıdır. Castro ve Watanable , Civanlar'ın tüm düzenleme işlemi için belli anahtarlama tercihlerine kadar kılmada mantıksız olduğu sonucuna varmışlar ve algoritmanın her bir basamağında maksimum sayıda anahtarlama

tercihi seçmeyi amaçlamışlardır. Castro ve Watanable tarafından amaçlanan tekniğin sakıncaları ise global optimum garantilenemediği gerçeği içeriyor olması ve daha büyük bir sistem kayıp tahmin formülü davranışının kanıtlanmış olmasıdır.

4.2 Yapay Zeka (AI) Esasına Dayanan Teknikler:

Yapay zeka (AI) 'nin popülaritesinde yakın bir çalışma ve yaygın paketlerin kullanışlılığı, güç mühendisliği uygulamaları üzerine kurulu AI'nın doğmasına neden olmuştur. Yapay nötral şebekeler (ANNs), genetik algoritmalar (GAs) ve uzman sistemler (ESs), dağıtım düzenleme işlemini yürütmek için kullanılmıştır. AI temelli metotların kullanımı onların geniş bir uygulama alanında geçerli olduğunu kanıtlamış olmasına rağmen, her uygulamada en iyi çözümü göstermediğine dikkat edilmelidir. GA ve ANN temelli metotların paralel uygulamaları çözüm süresinde epeyce azalma önermektedir.

4.2.1 Yapay Nötral Şebekeler (ANNs) Kullanarak Düzenleme:

Yapay nötral şebekeler (ANNs), minimum hat kayıplarını öneren bir şebeke yapısıyla, yük örneğinin doğrusal olmayan doğası arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılabildiğinden düzenleme işleminde özellikle faydalıdır. Yapay nötral şebekelerin kullanımı, daha büyük problemler için bile çözüm zamanını azaltmaktadır, ancak aşağıdaki faktörler uygulamada yapay nötral şebekenin kullanımını kısıtlar:

- Zamanın oldukça büyük bir kısmı öğretim için gereklidir.
- Öğretim , her bir şebeke için kullanılmalı ve sistemde meydana gelen sonraki değişiklikler dikkate alınmalıdır.
- Yapay nötral şebekenin anlamlı sonuçlar vermesi için tam bir öğretim bilgisi elde edilmelidir.

Kim [27], kayıp minimizasyonu için dağıtım sisteminin düzenlenmesinde ANN üzerine kurulu iki basamaklı algoritma geliştirmiştir. Büyük çalışma verisi ile ilgili zorluklardan kaçmak için dağıtım şebekesinin yük bölgelerine ayrılması amaçlanmıştır. Her bir yük bölgesi, yüklenme seviyesini sınıflamak ve düzenlemek için yapılmış iki ayrı ANN'ye sahiptir. Çözüm algoritması içerisinde yük çıkış işlemleri gerekmediği için, bu uygulamada ANN'nin kullanımı hızlı bir çözüm önermiştir. Bu algoritmayla çok kabul edilebilir sonuçlar elde edilmesine rağmen, ANN ile elde edilen çözüm sadece sağlanan çalışma verisi kadar doğrudur.

4.2.2 Genetik Algoritmalar (GA) İle Düzenleme:

Genetik algoritmaların karakteristikleri karmaşık optimizasyon problemlerine uygun olduğu için dağıtım sistemlerinde kayıp minimizasyon problemlerinde rahatlıkla uygulanabilir. Genetik algoritmalar (GA) nümerik değildir ve optimal konfigürasyon yeniden birleştirilmiş DNA dizilerinin gelişimine benzetilen bir işlemle belirlenmektedir. Doğal seçim ve doğal genetik mekaniği üzerine kurulu GA, fonksiyonel optimizasyonla evrimsel işlemi birleştirir. Çözüm yapıları arasında en uygunları inceleyerek rastlantılı (randomize) bilgi değişimiyle optimal çözüm araştırır. Her jenerasyonda suni çözümler oluşturulur. Araştırmalar bu algoritmanın “simulated annealing” tekniğinden daha etkili olduğunu göstermiştir. Bu algoritmayla yaklaşık global bir optimum bulunabilir ve %10'dan fazla kayıp azaltımı başarılabılır. Planlamacı alabileceği çeşitli dizayn kararlarını, her biri 1 ya da 0 ile gösterilen ikili seçenekler (evet/hayır) temsil eder. Belirli bir sistem için mümkün olan bütün kararları göstermek üzere 1 ve 0'lardan meydana gelen çok uzun bir dizi kullanılmaktadır. Dizideki her pozisyon bir kararı göstermektedir. Mesela, dizideki bir pozisyon belirli bir anahtarın açık veya kapalı olması kararını gösterebilir. İki durumdan daha fazla olan seçenekler dizide çeşitli durumları kapsamak için birkaç bit atlayarak yerine getirilmektedir. [22]

Bir GA, kullanıcı tarafından sağlanan başlama konfigürasyonunu gösteren bir ikili dizi ile başlamaktadır. İşe, mutasyon adı verilen bir işlemle, dizideki bir ya da daha fazla bitin durumu rastgele değiştirilerek başlanır. Sonuçlanan konfigürasyon uygulanabilirliği ve performansı belirlenir. Eğer belirli bir konfigürasyon uygun değilse (kriter yerine getirilmemiş ya da yükler beslenmemiş) veya hiç ekonomik değilse metot devam eder; Fakat konfigürasyon başarılı ise onu gösteren ikili dizi sonradan kullanılmak üzere depolanır. GA'nın lineer uygulaması onun daha basit ve hızlı olmasını sağlar ve çok daha büyük problem boyutlarına müsaade eder.

Nara [28], basit bir GA kullanarak, kayıp azaltımı için dağıtım sistemi düzenleme metodu amaçlanmış ve anahtar durumlarını gösteren 1-0 değerlerini, toplam sistem kayıplarını içeren sabit bir fonksiyonu ve gerilim düşümü - akım kapasite limitlerinin hata değerlerini oluşturmuştur. Örnek sonuçlar, minimum kayıp çözümler elde edilmesine rağmen yüksek bir çözüm zamanı gerektirdiğini göstermiştir. Nara tarafından elde edilen en umut verici sonuçlar, daha hızlı bilgisayar ortamları ve daha

bilinçli GA'lar kullanılarak, on-line gerçek zaman uygulamaları için daha uygulanabilir çalışmalar yapılabileceği gösterilmiştir.

4.2.3 Uzman Sistemlerle (ESs) Düzenleme:

Dağıtım sistemi düzenleme probleminin çözümünde uzman sistemleri kullanmak için birkaç çalışma yapılmıştır. Heuristik kurallar üzerine kurulu algoritmalar olduğu gibi, amaçlanan uzman sistem için kullanılan kuralla, doğrudan kayıp azaltım ölçümünde değil, sistem işletim koşulları üzerine kurulur. Uzman sistemler, heuristik temelli metotlarla pek çok aynı sınırlamalara sahiptir.

Taylor ve Lubkeman [29], Civanlar'ın kuralları üzerine kurulu dağıtım sistemi yapısı için uzman bir sistem amaçlamışlardır. Taylor ve Lubkeman, transformatör ve besleme hatlarının aşırı yüklemesinden ve anormal gerilimlerden kaçınmayı ilk amaç olarak benimsemişlerdir. Onlar tatmin edici bu kriterlerin kayıp minimizasyonu sağlayacağını ileri sürmüşlerdir. Taylor ve Lubkeman'ın çalışması gerilim kontrol stratejilerinin ve koruma koordinasyon düzenleme çalışması içerisinde işlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

4.2.4 Sıfır Nokta Yük Akışı:

Sıfır nokta yük akışı analizi tek başına bir optimizasyon metodu değildir. Kolay yürütülmesi ve 1970'li yıllarda sık kullanılması nedeniyle dahil edilmiştir. Bu metot, radyal bir besleme sistemini optimize etmek için bir şebeke yük akışını üç adımda uygular;

- Yük akışı besleme sistem modelindeki bütün anahtarları kapatmak ve bir şebeke oluşturulur.
- Meydana gelen şebekedeki akışları hesaplamak.
- Sonuçları irdelemek.

Dağıtım sisteminin yapısından dolayı, hesaplanan şebeke akışında sistemden daima çeşitli noktalarda dağılmış olan sıfır noktalar (güç akışının sıfır olduğu noktalar olacaktır. Bu noktalar açık anahtarlar için optimal yerler olarak yorumlanır.

Optimal açık noktaların, çeşitli fider empedanslarının doğal olarak dengelendiği yerde olmalarının gerektiği mantıklı görünmektedir. Metodun uygulanması için gerekli olan şebeke yük akışı programlarının yaygın olarak bulunması, ispatlanmış ve kolay uygulanır olması ille bir optimizasyon algoritmasına kıyasla daha hızlı olmasıdır.

Metodun karakteristikleri, pratiklikleri kullanılma değerini sınırlar;

- Yerleştirme ve hat boyutu varyasyonlarını kapsamaz, bu neden

yerleştirme hat boyu önceden bilinen bir sistemdeki anahtarlamaı belirlemek için sadece kayıp minimizasyonu için kullanılabilir.

- Maliyeti açıkça analiz etmez. Çoğu uygulamalarda hesaplanan sıfır noktalar ile fider şebekesindeki gerçek anahtar yerleri arasında uygunsuzluklar olacaktır ve her sıfır nokta, onun ya mevcut yere konulması ya da hesaplanan yerde yerleştirilmek üzere yeni bir anahtar yerleştirmek gerekli olduğu şeklinde yorumlanır. Bu yorum ve uygulanan program mantığı, optimizasyon sonrası radyalleştirme algoritmalarında uygulananlara oldukça benzemektedir; fakat sonuçlar o kadar güvenli değildir.[22]

4.3 Düzenleme ile İlgili Diğer Konular:

Dağıtım düzenleme problemi, verilen bir yük için ısı ve gerilim limitlerini sağlayan minimum kayıp yapısını belirlemeyle sınırlı kalmaz. Gerçek zamanlı düzenleme algoritmasının diğer işleye kriterlerini de dikkate alması gerekir. Bu

- Anahtarlama işleminin geçiş etkisi,
- Düzenlenen sistemin kısa devre seviyesi,
- Tüketici servis ve sistem güvenliğinde düzenleme etkisi,

şeklinde sıralanabilir. Gerçek zamanda bu noktaları uygulamak için gereken analizlerin hesap yükü çok fazladır. Düzenleme işleminin koruma koordinasyonu üzerindeki etkisi düşünülmelidir. Tekrarlamalı anahtarlamaın sonucu olarak ortaya çıkan harmonik kayıplarının maliyet üzerindeki etkisi analiz edilmelidir. Anahtarlama sıklığı öyle seçilmelidirki geçici etkiler minimum edilmeli ve geçici hat koşulları bozulmamalıdır.

4.3.1 Kısa Ve Uzun Dönem Kayıp Azaltımı:

Kayıp azaltımı için dağıtım sisteminin düzenlenmesinde anahtarlama işleminin ne zaman kullanılacağı düşünülmelidir. Anahtarlama sıklığının çok yüksek olması, maliyet olarak anahtar donanımının ömrünü kısaltabilir. Düzenleme işleminin düzenli sıklıkta kullanılması ise yapılabilecek maksimum tasarrufu sınırlar. Dağıtım sistemlerinde anahtarlama işlemleri kayıp azaltımını sağlamak amacıyla kısa dönem için yapıldığı gibi uzun dönemler için de yapılabilmektedir. Chen ve Cho [31], bu amaçla sistematik bir metot geliştirmişlerdir.

Dağıtım sisteminlerinde her bir besleyicinin yük profili günün saatleriyle birlikte değişir. Bazı hatlar belli peryod süresince maksimum olarak yüklenirler. Bu sırada meydana gelen büyük hat akımları ciddi kayıplara yol açarlar. Bu amaçla dağıtım sisteminde tüm besleme hatları arasında, çok yüklene hattan az yüklenen hatta yük

aktarımı yaparak gerçek güç kayıp minimizasyonu elde edilebilir. Tüm dağıtım besleyicileri için tipik günlük yük örnekleri dikkate alınarak saatlik optimal şebeke yapısı saptanmaktadır. Sonra her bir mevsim için uzun dönem optimal anahtarlama kriteri geliştirilmiş ve mevsim değişikçe enerji kayıp azaltımı için işletilmesi gereken kritik anahtarlar belirlenmiştir. Bu çalışmada Chen ve Cho "branch and bound" teknikli, iki tabanlı tam sayılarla programlamayı kullanmışlardır. Burada her bir alt problem için iki besleme hattı, bir hat çifti olarak belirlenir. Problem aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i X_i + \text{COST}_{sw} \quad (4,2)$$

$$1) \text{ Bara gerilim düşümü kriteri} \quad \sum_{i=1}^n I_i R_i \leq \Delta V_{max} \quad (4,3)$$

$$2) \text{ Hat akımı koşulu} \quad I_{min} \leq I_i \leq I_{max} \quad (4,4)$$

$$3) \text{ Anahtarlama işlemi yapılıyorsa, } X_i = 1$$

$$\text{Anahtarlama işlemi yapılmıyorsa, } X_i = 0 \quad (4,5)$$

$n=i$ ve j hatları arasındaki son bağlayıcı anahtar,

COST_{sw} : çalışma ve hat anahtar maliyeti ile çözülen eşdeğer anahtarlama maliyeti,

Anahtarlama işleminden önce ve sonra çok yüklenen ve az yüklenen (burden and relief) hatların akım ve gerilimleri şu denklemler ile özetlenebilir.

$$V_{y,b}^i = V_{e,b}^i - \Delta V = V_{e,b}^i - I_i R_b^i \quad (4,6)$$

$$I_{y,b}^i = I_{e,b}^i + \Delta I = I_{e,b}^i + I_i \quad (4,7)$$

$$V_{y,r}^j = V_{e,r}^j + \Delta V = V_{e,r}^j + I_i R_r^j \quad (4,8)$$

$$I_{y,r}^j = I_{e,r}^j - \Delta I = I_{e,r}^j - I_i \quad (4,9)$$

$V_{y,b}^i, V_{y,r}^j$ = çok yüklenen i ve az yüklenen j fiderlerinin değişim sonrası bara gerilimleri,

$V_{e,b}^i, V_{e,r}^j$ = çok yüklenen i ve az yüklenen j fiderlerinin değişim önceki bara gerilimleri,

$I_{y,b}^i, I_{y,r}^j$ = i ve j fiderlerinin yeni akımları

$I_{e,b}^i, I_{e,r}^j$ = i ve j fiderlerinin eski hat akımları

ΔV : anahtarlama işlemi sonucu meydana gelen bara değişimi,

ΔI : j fiderinden i fiderine iletilen akım,

R_b^i, R_r^j : i ve j fiderlerinin hat dirençleri.

Her bir alt problem için kayıp azaltımını hesaplamak ve en büyük kayıp azaltımını sağlayan anahtarlama seçeneklerini seçmek gerekir. En iyi anahtarlama işlemini belirlemek amacıyla her besleyici çiftinde mümkün olan tüm seçenekler için bilgisayar simülasyonu yapılmalıdır. Tüm seçenekler için uygun yük akış analiziyle dağıtım kayıplarını çözmek çok zor olduğundan kayıp tahmin metodu uygulanmıştır. Her alt problem için maksimum kayıp azaltımı ΔP_k ;

$$\Delta P_k(I^*) = \left(\sum_{i=1}^n I_i r_i - \sum_{j=1}^m I_j r_j \right)^2 / \sum_{l \in \text{göz}} r_l \quad (4,10)$$

olarak ifade edilir.

$\sum_{i=1}^n I_i r_i$ ve $\sum_{j=1}^m I_j r_j$: i ve j besleme hatlarındaki gerilim düşümü,

$\sum_{l \in \text{göz}} r_l$: Ana yol üzerinde bulunan tüm hat bölümlerinin toplam direnci,

I^* : Kayıp azaltımını maksimum yapan optimal akım değeri.

Saatlik optimal anahtarlama algoritması

Dağıtım sistemindeki her bir besleme hattının yük profili tüketicilerin yük karakteristiklikleriyle saptanır. Saatlik akım akışı üç fazlı yük akış programıyla tam olarak hesaplanır. Her bir alt problemin güç kayıp azaltım miktarını tahmin etmek için (4,10) uygulanır ve sadece en büyük kayıp azaltımlı, en etkili alt problem seçilir. (4,6), (4,7), (4,8) ve (4,9) denklemleriyle bara gerilim ve akımları bulunur. Koşullarda sağlanıyorsa anahtarlama tercih işleme konulur. Artık kayıp azaltımının yapılmayacağı durumlarda saatlik optimal şebeke düzenlemesi başarılmış olur. Besleyiciyi yüklenme seviyesinin değişimine göre 24 saat için saatlik optimal anahtarlama algoritması uygulanır.

Mevsimlik optimal sistem yapısının çıkartılması

Besleyici üzerindeki anahtarlar güç kaybını azaltmak için mevsimlik olarak işletilirler. Uzun dönem anahtarlama işlemini saptamak için, besleyici günlük yük profili, i besleyicisi için sabit bir yük profili P_{ie} olarak dikkate alınır. P_{ie} öyle belirlemek gerekir ki, çözülen kayıp ve 24 saatlik gerçek besleyici kaybı arasındaki fark çok küçük olmalıdır.

$$\text{Min} \Delta P_L = \sum_i \sum_t P_{ti} - \sum_i P_L(P_{ie}) \cdot 24 \quad (4,11)$$

$$\text{koşul} = P_{ie} \in \{P_{ti}\}$$

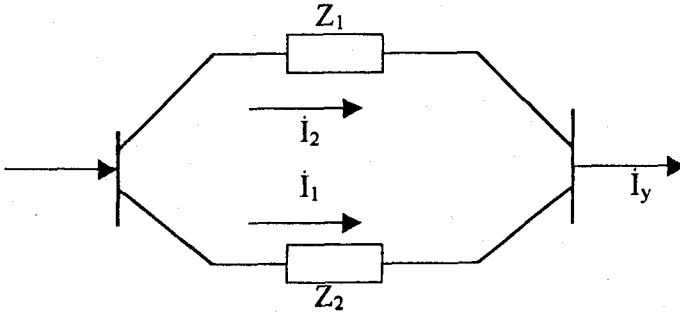
$\sum_i \sum_t P_{ti}$: Günlük yük profili P_{ti} ile çözülen toplam günlük enerji kaybı

$\sum_i P_L(P_{ie}) \cdot 24$ eşdeğer günlük yük profili P_{ie} ile çözülen toplam günlük enerji kaybı.

Günlük toplam enerji kaybı ilk olarak, bir günlük periyot üzerinde optimal sistem yapısına göre bilgisayar analiziyle hesaplanır. Eşdeğer yük seviyesi P_{ie} ilk değer olarak $P_{\min} + P_{\max} / 2$ ile oluşturulur. Günlük enerji kaybı bilgisayar analiziyle çözülür. Bu günlük iki enerji kaybı arasındaki farkı minimum ise test işlemi durdurulur ve eşdeğer yük seviyesi P_{ie} elde edilir. Bu metot ile optimal yük seviyesi tüm mevsimin yük değişimini sabit bir seviyede yaklaşık olarak gösterilebilir ve mevsimlik enerji kayıp azaltımı doğrudan hesaplanır.

4.4 Kapalı (Ring) Şebekelerin Parametrelerinin Değiştirilmesi

Kapalı şebekelerde özellikle tüketicilerin güvenilir bir şekilde enerji alabilmesini sağlamak amacıyla oluşturulur. Enerji sisteminin büyümesi genişlemesi sırasında nominal gerilimleri farklı olan elektrik şebekelerinde de kapalı devreler oluşturulmaktadır. Kapalı devrelerde güç ve enerji kayıplarının azaltılmasının etkin metotlarından birisi de şebekenin X_i / r_i oranının sabit tutulmasıdır. (homojen şebekeler) Homojen olmayan şebekelerde X_i / r_i oranı farklıdır, akım ve güç dağılımı da doğaldır. Doğal güç dağılımı ise ekonomik olmayabilir.



Şekil 4,1 Kapalı devrede doğal akım dağılımı

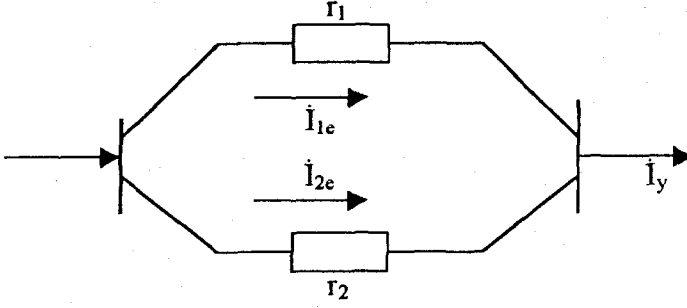
Şekil 4,1'deki kapalı şebekenin akımlarını inceleyecek olursak; 1 ve 2 dallarındaki doğal akım dağılımı şu şekilde belirlenir.

$$I_1 = I_y \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad I_2 = I_y \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (4.12)$$

burada Z_1 ve Z_2 dalların kompleks empedansları, $\dot{I}_y$ yük akımı, $\dot{I}_1$ ve $\dot{I}_2$ dallardan geçen akımlardır. (4,12) bağıntılarını Kirchoff I. ve II. Yasalarına göre yazılabilir.

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_y, \quad \dot{I}_1 Z_1 - \dot{I}_2 Z_2 = 0 \quad (4.13)$$

Sadece dirençlerden oluşan eşdeğer şemada ise ekonomik güç dağılımı oluşur. (Şekil 4,2)



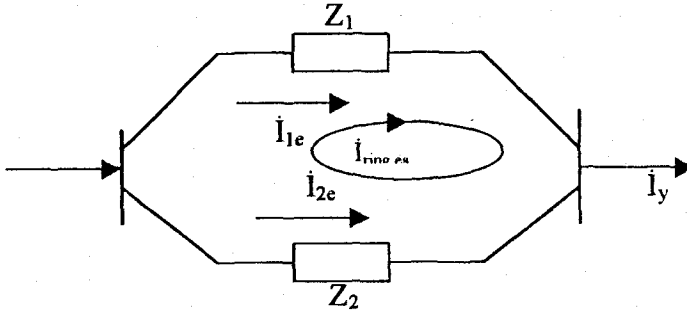
Şekil 4,2 Kapalı devrede ekonomik akım dağılımı

$$\dot{I}_{1e} = \dot{I}_y \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad \dot{I}_{2e} = \dot{I}_y \frac{r_1}{r_1 + r_2} \quad (4,14)$$

bu denklemlerde $\dot{I}_{1e}$, $\dot{I}_{2e}$ ekonomik rejimde akımlar, r_1 , r_2 1 ve 2 dallarının dirençleridir.

Homojen şebekelerde doğal akım veya güç dağılımı ekonomik güç dağılımı ile aynıdır ve $X_i / r_i = \text{sabit}$ olacağından (4,12) ve (4,14) bağıntıları aynı değerleri vermektedir.

Homojen olmayan şebekelerde eşitleyici akım oluşacağından dolayı doğal ve ekonomik güç dağılımı farklı değerlerdedir. Şekil 4,3' de eşitleyici akımın olduğunu varsayalım.



Şekil 4,3 Kapalı devrede ekonomik ve eşitleyici akım

Bu durumda doğal ve ekonomik akım değeri akım değerleri arasında aşağıdaki bağıntılar mevcuttur.

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{1e} + \dot{I}_{ring, e\check{s}} \quad , \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{21e} - \dot{I}_{ring, e\check{s}} \quad (4,15)$$

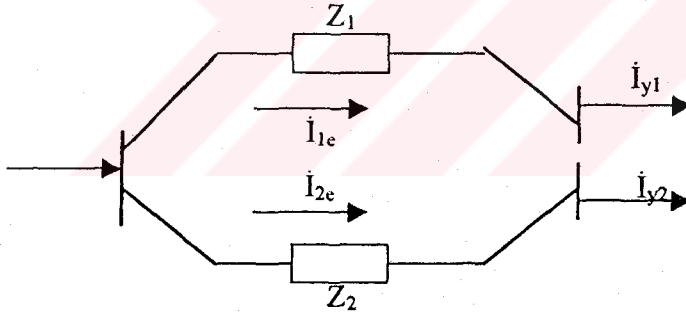
Doğal güç dağılımında eşitleyici akım ilave güç kayıplarının oluşmasına neden oluyor. İlave güç kayıpları şebekenin parametrelerinin (r_i, X_i) yanı sıra rejim parametrelerine (P_i, Q_i) 'de bağlıdır.

Şebeke parametrelerini homojen yapmak için hat bölümlerine gerektiğinde kondansatör bataryaları (reaktansı azaltmak için) gerektiğinde ise reaktörler (reaktansı artırmak için) balamak mümkündür. Fakat her iki durumda da yatırım harcamaları gerekmektedir. Eşitleyici ring akımlarının kompanzasyonu iki şekilde gerçekleştirilebilir.

- 1) Ringten geçen aktif ve reaktif güçlerin ayarlanması ve eşitleyici kompanzasyon akımlarının oluşturulması şeklinde,

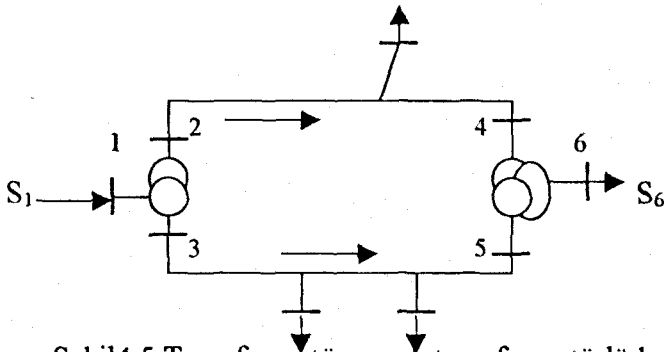
$$\dot{I}_{komp, e\check{s}} = -\dot{I}_{ring, e\check{s}} \quad (4,16)$$

- 2) Eşitleyici akımın gçtiği yolun açılması, dolayısıyla kapalı şebekeyi uygun bir noktadan açmak ve açık şebekeye dönüştürmek. (Şekil 4,4)



Şekil 4,4 Kapalı devrenin açılması durumu

Eşitleyici kompanzasyon akımını oluşturulması için iki farklı gerilimli elektrik iletim hattı arasındaki transformatörlerin ve ototransformatörlerin boyuna ve enine çevirme oranlarını değiştirmek, aktif ve reaktif güçlerin zorunlu akışını sağlamak gerekir.[30]



Şekil 4,5 Transformatör ve ototransformatörlü kapalı devre

4.5 Fider Düzenlenmesi:

Fider düzenlenmesi, bağlama ve ayırma anahtarları olarak verilen iki tip anahtarın açılıp kapanmasıyla yapılır. Tüm hatlar ve bir kısmı bir bağlama anahtarının kapatılmasıyla bir besleyiciden diğerine aktarılabilir. Yapılmak istenilen en büyük kayıp azaltımını başarmak için açılması ve kapanması gereken bağlama ve ayırma anahtarlarının tanımlanmasıdır. Bir şebeke düzenlenmesi sonucu elde edilen yeni sistemin daha düşük kayıp meydana getirmesi beklenir. Bir anahtarlama seçeneği için, kayıptaki değişiklik, besleyici düzenlenmesinden önce ve sonra sistem yapısını inceleyen iki yük akış çalışmasının sonuçlarından kolayca hesaplanabilmektedir. Orta büyüklükteki bir dağıtım sistemi için anahtarlama seçeneklerinin sayısı öyle büyüktür ki, mümkün olan tüm seçenekler için çok fazla yük akışı çalışması yapılmaktadır. Bu durum hesapların çok fazla artmasına pratiklikten uzaklaşılmasına neden olur. Böyle bir durumda çözümden şunlar istenir.

- Besleme şeklinde yapılan değişiklikler ile ortaya çıkan kayıplardaki değişikliğin , minimum hesaplama yükü ile tahmin edilebilmesi,
- Boyut problemini hafifletmek amacıyla gereksiz anahtarlama seçeneklerinin ortadan kaldırılması için bir kriter oluşturulması.

1) Diğer algoritmaların çoğundan farklı olarak, hat kayıplarını azaltan bir dağıtım sistem yapısını belirlemek amacıyla sadece heuristik kuralları kullanan Civanlar ve arkadaşlarının sunduğu algoritma bu özellikleri içermektedir. [24]

Temel durum olarak dağıtım sistemlerinde yük akış hesabıyla başlamakta, sonra sistem bir ayırma anahtarı açılırken bir bağlama anahtarı kapatılarak, her defasında bir anahtar çifti olmak üzere, orijinal yapısından rastgele düzenlenmektedir. Bununla birlikte Civanlar ve arkadaşlarının metodunda, her bir açık anahtarın her iki yanındaki sistem baralarındaki gerilim düşümü ilişkileri analiz edilerek, sistem kaybını azaltıp azaltmadığı saptanmakta ve dolayısıyla toplam anahtarlama olanaklarını olasılıklarının sayısı yaklaşık olarak yarıya düşürülmektedir. Özellikle anahtarlama işlemleri, her hangi bir hesaplama yapılmadan göz önüne alındığı için bu heuristik kuralların kullanımı faydalı olmaktadır. Bu algoritmadaki mevcut iki heuristik kural, aşırı yüklü transformatörlerin yükünü azaltma ve ısıl problemleri azaltma gibi sistemin işletim gereksinimleriyle de ilgilidir.

- Eğer açık bağlama anahtarları arasındaki oldukça büyük gerilim farkı varsa kayıp azaltımına ulaşılabilir.

- Eğer bağlama anahtarlarının daha yüksek gerilim düşümlü tarafındaki yükler diğer tarafa da aktarılabilirse kayıp azaltımı başarılıdır.

Bu iki heuristik kural uygulandığı zaman, kalan anahtarlama işlemleriyle Sağlanan kayıp azaltımı, aktif güç kayıpları üzerine kurulu bir ampirik formül kullanılarak saptanabilmektedir. İki yapı arasındaki kayıplardaki değişimi belirlemek amacıyla Civanlar ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu denklemin, yük akış çözümleriyle karşılaştırılması sonunda, bu metodun daha etkili ve verimli bir metot olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu denklem;

$$\Delta P = \operatorname{Re} \left[2 \left(\sum_{i \in D} I_i \right) (E_m - E_n)^* \right] + R_{\text{göz}} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (4,17)$$

Formülde,

D: 2. Besleme hattından ayrılıp 1. Besleme hattına bağlanan baralar

m: 2. Hattan ayrılan yüklerin bağlanacağı 1. Hattı bağlama barası

n: Bir bağlama barasıyla m barsına bağlana 2. Hattın bağlama barası

I_i : i barasındaki kompleks bara akımı

$R_{\text{göz}}$: iki besleyici arasındaki yolların seri direnci

E_m : $E_{\text{bara}} = R_{\text{bara}} \cdot I_{\text{bara}}$ geriliminin m barasına karşılık gelen bileşeni, R_{bara} , 1. besleme hattının yük transferi yapılmadan önceki bara direnç matrisi. I_{bara} , 1. Besleme hattını için bara akım vektörü.

E_n : 2. Besleme hattının n barası için tanımlanır.

E_m ve E_n yük aktarmadan önce temel durum bara akımları kullanılarak hesaplanır. (4,17) deki bağıntıda sağ tarafındaki için terim daima pozitif olduğundan, kayıplarda azalma, ilk terimin negatif olmayışıyla başarılabilir. 1. terimde kompleks değişkenler olduğundan sonucun ilk anda ne olduğunu görebilmek oldukça zordur. Ancak, çoğu dağıtım sistemlerinde gerilim faz açısı farklarının küçük olduğu ve iyi tasarlanmış sistemlerde statik kompanzasyon yüzünden kompleks bara akımlarının I_i genellikle gerilim fazörlü fazda olduğu gözlemlenebilir. Bu koşullar altında, eğer $|E_m| < |E_n|$ ise ilk terimin negatif olduğu söylenebilir.

Açık durumda olan bağlama anahtarlarının uçlarındaki gerilim farkı oldukça büyükse ve bağlama anahtarlarının daha yüksek gerilim düşümlü tarafındaki yükler diğer tarafa aktarılıyorsa ancak kayıp azaltımı başarılabilir.

Özel Durumlar

Reaktif güç kompanzasyonu iyi yapılmış ideal bir enerji sistemi için, reaktif akım akışı ihmal edildiğinden dolayı, denklem (4,17) bağıntıdaki değişkenler reel olarak kabul edilir. Bu durumda;

$$\Delta P = 2\left(\sum_{i \in D} I_i\right) \cdot (E_m - E_n) + R_{göz} \left(\sum_{i \in D} I_i\right)^2 \quad (4,18)$$

olur. Bir anahtar kapatıldığı zaman, ayırma anahtarı bağlama baralarından transformatör merkezine en kısa yol üzerinde olmalıdır. Minimum kayıp için açılacak anahtarın, c 'nin tek tepe değerli olarak kullanılarak doğrudan kullanılabilceğidir. Bu durum göz önüne alınarak, açılacak olan anahtarın, en kısa yol üzerinde n bağlama barasından x mesafede olduğu düşünülürse (4,18) bağıntısı;

$$\Delta P = 2I(x) \cdot (E_m - E_n) + R_{göz} [I(x)]^2 \quad (4,19)$$

elde edilir. Burada $I(x)$ en kısa yol üzerindeki akım dağılımını ifade etmektedir. ΔP 'nin ikinci dereceden bir denklem olduğundan açılacak en yakın anahtarın,

$$I(x_{opt}) = E_n - E_m / R_{göz} \quad (4,20)$$

denklemini sağlayacak $I(x)$ değerini veren anahtar olduğu gösterilebilir.

Bunu kanıtlamak için bazı yüklerin 2. besleme hattına tekrar aktarıldığı düşünölsün $(E_n - E_m) / R_{göz}$ değerinin $(n-1)$ barasına karşılık geldiğini kabul edelim. Bu durumda açık kısmın $(n,n-1)$ veya $(n-1,n-2)$ olmasına karar verilmelidir. Maksimal kayıp azaltımı için, optimal durum, eğer $\Delta_1 < \Delta_2$ ise $(n-1,n-2)$ kısmını açmak ya da eğer $\Delta_1 > \Delta_2$ ise $(n,n-1)$ kısmını açmak olacaktır. $E_m < E_n$ ise, ΔP pozitif olduğu için bir besleme hattı üzerindeki diğer anahtarlama seçenekleri doğrudan elenecektir. Ayrıca, ΔP 'nin minimum değerinin m ve n baraları arasındaki bağlamam anahtarlarının kapatılmasıyla elde edilebileceği görölmektedir.

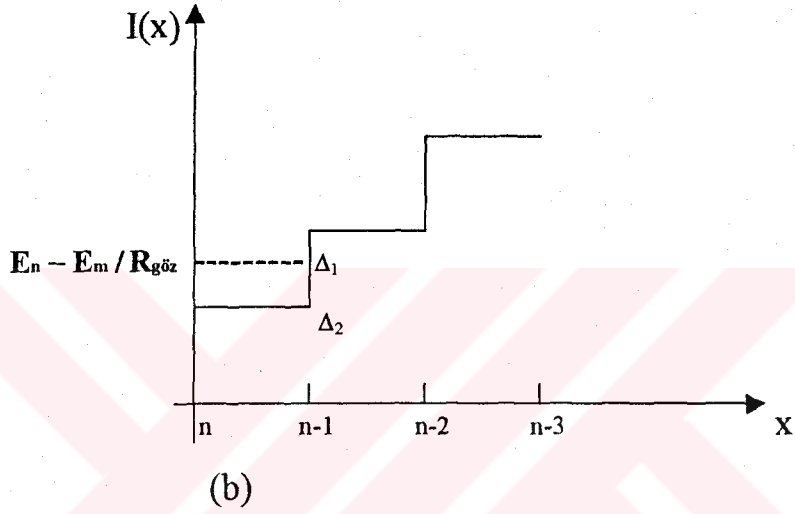
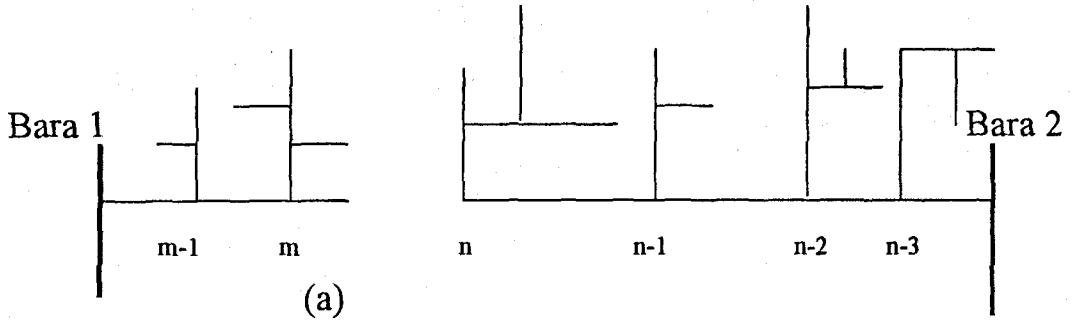
$$\Delta P_{min} = (E_n - E_m)^2 / R_{göz} \quad (4,21)$$

Bu formöl açılacak anahtarlar belirlemek için kullanılabilir. Dağıtım şebekeleri araştırmalarında çoğunlukla, yüklerin basit radyal yapıdaki bir hat boyunca eşit yayılı olarak dağılmış olduğu kabulü yapıldığından, minimum kayıp için açılacak olan anahtarların optimal yerleşimi, (4,21) bağıntısından

$$x_{opt} = (E_n - E_m)^2 / (dR_{göz}) \quad (4,22)$$

bulunur. D, eşit yayılı yükün akım yoğunluğudur. Bu sonuçlar tekil ve eşit yayılı yüklü yüklerin birleşmiş durumuna genişletilebilir.

T.C. YÜKSELİŞ
DOKÜMAN

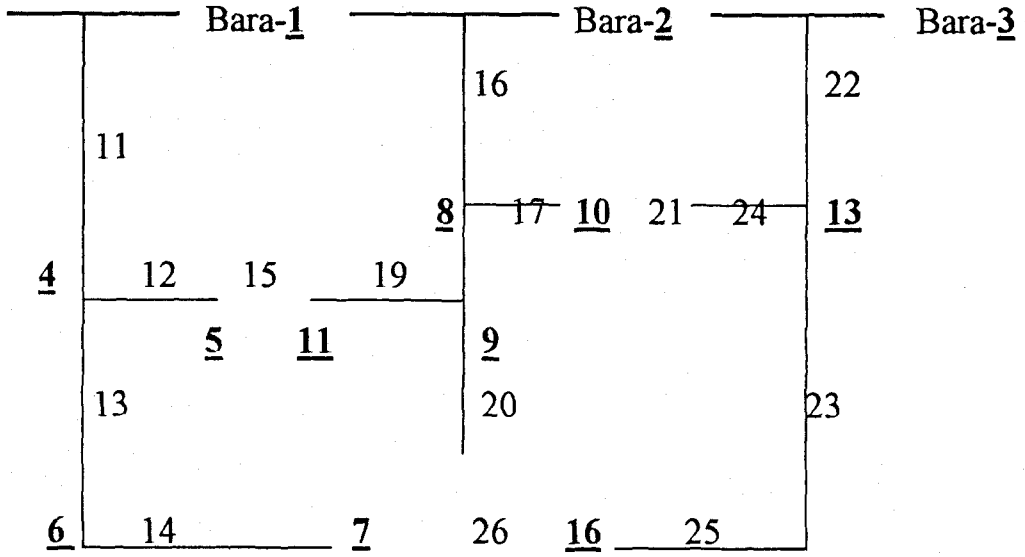


Şekil 4.6 (a) İki beslemeli sistemin gösterilimi

(b) Akım dağılımları $I(x)$

4.6 Fider Düzenlemesi İle İlgili Sayısal Uygulama:

Bu sayısal uygulamada üç ana baradan beslenmekte olan örnek bir dağıtım sistemi parçası alınmıştır. Sistemde fiderleri bağlayan ve normalde açık olan bağlama anahtarları 15,21 ve 26 numarayla gösterilmiş ve sistemin diğer tüm dallarında ayırma noktaları olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4,7 Üç ana baralı örnek dağıtım sistemi parçası

Bir bağlama ve ayırma anahtarından oluşan bir çift anahtarlama seçeneği olarak tanımlanmıştır. Tüm anahtarlar karşılık gelen dal numaralarıyla isimlendirilmiştir. Örnek sistemde 15 anahtarlama seçeneği olduğu görülmektedir. Maksimum güç kaybı azaltımını sağlayan seçenek, heuristik kurallar ve (4,11) bağıntısı kullanılarak bulunacaktır. Sistem için gerekli bilgiler Tablo 4,1 de verilmiştir. Verilen bilgilere göre, heuristik kuralları kullanarak, sistemde maksimum güç azaltımı sağlayan seçeneğin bulunması amacıyla; normalde açık olan bağlama anahtarlarının bulunduğu hattın uçlarındaki bara gerilim düşümleri karşılaştırılarak tercih sayısı azaltılmıştır.

Bara-Bara	Bölüm direnci (p.u)	Bölüm reaktansı	Son bara yükü (MW)	Son bara yükü(MVAR)	Son Bara Yükü(MVAR)	Son bara Gerilimi(p.u)
1 4	0,075	0,10	2,00	1,60		0,991/-0,370
4 5	0,08	0,11	3,00	1,50	1,10	0,988/-0,544
4 6	0,09	0,18	2,00	0,80	1,20	0,986/-0,697
6 7	0,04	0,04	1,50	1,20		0,985/-0,704
2 8	0,11	0,11	4,00	2,70		0,979/-0,763
8 9	0,08	0,11	5,00	3,00	1,20	0,971/-1,451
8 10	0,11	0,11	1,00	0,90		0,977/-0,770
9 11	0,11	0,11	0,60	0,10	0,60	0,971/-1,525
9 12	0,08	0,11	4,50	2,00	3,70	0,969/-1,836
3 13	0,11	0,11	1,00	0,90		0,994/-0,332
13 14	0,01	0,12	1,00	0,70	1,80	0,995/-0,459
13 15	0,08	0,11	1,00	0,90		0,992/-0,527
15 16	0,04	0,04	2,10	1,00	1,80	0,991/-0,596
5 11	0,04	0,04				
10 14	0,04	0,04				
7 6	0,09	0,12				

Tablo 4,1 Üç baralı sistemin verileri

$$I_4 = 2,58.10^{-2} \angle -39p.u$$

$$I_5 = 3,06.10^{-2} \angle -8,14p.u$$

$$I_6 = 2,07.10^{-2} \angle 10,6p.u$$

$$I_7 = 1,95.10^{-2} \angle -39,3p.u$$

$$I_8 = 4,92.10^{-2} \angle -34,76p.u$$

$$I_9 = 5,46.10^{-2} \angle -21,25p.u$$

$$I_{10} = 1,37.10^{-2} \angle -42,75p.u$$

$$I_{11} = 0,803.10^{-2} \angle 38,27p.u$$

$$I_{12} = 4,96.10^{-2} \angle 18,86p.u$$

$$I_{13} = 1,35.10^{-2} \angle -42,3p.u$$

$$I_{14} = 1,439.10^{-2} \angle 47,26p.u$$

$$I_{15} = 1,35.10^{-2} \angle -42,5p.u$$

$$I_{16} = 2,26.10^{-2} \angle 20,25p.u$$

1. ve 2. Besleme hatlarını birbirine bağlayan ve normalde açık bağlama anahtarlarının bulunduğu 15 nolu hattın uçlarındaki gerilim düşümleri

$$E_k = \sum_{j=1}^n R_{\text{bara}}(k, j).I_j \quad (4,23)$$

bağıntısıyla,

$$E_5 = R_{11}(I_4 + I_5 + I_6 + I_7) + R_{12}.I_5 = (0,88 - j0,25).10^{-2} p.u$$

$$E_{11} = R_{16}(I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}) + R_{18}.(I_9 + I_{11} + I_{12}) + R_{19}.I_{11} = (2,59 + j0,32).10^{-2} p.u$$

$$R_{\text{göz}} = 0,495p.u$$

olarak bulunur.

15 Nolu bağlama anahtarı kapandığı zaman 11,12,19,18,16 nolu ayırma anahtarlarını açılması uygundur. Ancak kural 2 deki gibi, $|E_{11}| > |E_5|$ olduğu için 1.

Besleme hattındaki yüklerin 2. Besleme hattına aktarılması kayıpları artırması beklenmektedir. Dolayısıyla 11 ve 12 nolu anahtarların açılması uygun görülmediğinden tercih sayısı 5'ten 3'e inmektedir. Uygun seçenekler,

a) 11 nolu yükün 1. besleme hattına aktarılması

$$\Delta P = \operatorname{Re}[2.I_{11}.(E_5 - E_{11})^*] + R_{göz}.|I_{11}|^2 = -1,76.10^{-4} \text{ p.u} = -17,6 \text{ kW}$$

b) 9,11 ve 12 nolu yüklerin 1.besleme hattına aktarılması

$$\Delta P = \operatorname{Re}[2.(I_9 + I_{11} + I_{12}).(E_5 - E_{11})^*] + R_{göz}.|I_9 + I_{11} + I_{12}|^2 = 1,79.10^{-3} \text{ p.u} = 179 \text{ kW}$$

c) 8,9,10,11 ve 12 nolu yüklerin 1.besleme hattına aktarılması

$$\begin{aligned} \Delta P &= \operatorname{Re}[2.(I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}).(E_5 - E_{11})^*] + R_{göz}.|I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}|^2 \\ &= 7,07.10^{-3} \text{ p.u} = 707 \text{ kW} \end{aligned}$$

olacaktır.

Diğer iki besleme hattının yani 2. ve 3. Fiderlerin 21 nolu hattı devreye girmesiyle hattın uçlarında oluşacak gerilim düşümleri ise,

$$E_k = \sum_{j=1}^n R_{bara}(k, j).I_j$$

$$E_{10} = R_{16}.(I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}) + R_{17}.I_{10} = (1,8 + j0,49).10^{-2} \text{ p.u}$$

$$E_{14} = R_{22}.(I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_{16}) + R_{24}.I_{14} = (0,65 - j0,104).10^{-2} \text{ p.u}$$

olur. Burada görülmektedir ki $|E_{10}| > |E_{14}|$ 'tür. Bu durumda 2.besleme hattındaki yüklerin 3.besleme hattına aktarılması gerekmektedir. Seçenek sayısı 4'ten 2'ye inmiştir.

$$R_{göz} = 0,46 \text{ p.u}$$

a) 10 nolu yükün 3.besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = \operatorname{Re}[2.(I_{10}).(E_{14} - E_{10})^*] + R_{göz}.|I_{10}|^2 = -2,54.10^{-4} \text{ p.u} = -25,4 \text{ kW}$$

b) 8,9,10,11 ve 12 nolu yüklerin 3.beslemehattına aktarılması

$$\begin{aligned} \Delta P &= \operatorname{Re}[2.(I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}).(E_{14} - E_{10})^*] + R_{göz}.|I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}|^2 \\ &= 7,52.10^{-3} \text{ p.u} = 752 \text{ kW} \end{aligned}$$

1. ve 3.besleme hatları gözönüne alınırsa 26 nolu bağlama anahtarının bulunduğu hattın uçlarındaki gerilim düşümleri ise şu şekilde olur;

$$E_k = \sum_{j=1}^n R_{bara}(k, j).I_j$$

$$E_7 = R_{11} \cdot (I_4 + I_5 + I_6 + I_7) + R_{13} \cdot I_7 = (1,02 - j0,34) \cdot 10^{-2} \text{ p.u}$$

$$E_{16} = R_{22} \cdot (I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_{16}) + R_{23} \cdot (I_{14} + I_{15}) + R_{25} \cdot I_{16} = (0,892 - 0,026) \cdot 10^{-2} \text{ p.u}$$

$|E_7| > |E_{16}|$ olması, 1.beslemehattından 3.besleme hattına yük aktarımını gerektirir ve seçenek sayısı 6'dan 3'e iner. $R_{göz} = 0,525 \text{ p.u}$

a) 7 nolu yükün 3.besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = \text{Re}[2 \cdot (I_7) \cdot (E_{16} - E_7)^*] + R_{göz} \cdot |I_7|^2 = 7,28 \cdot 10^{-5} \text{ p.u} = 7,28 \text{ kW}$$

b) 6 ve 7 nolu yüklerin 3.besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = \text{Re}[2 \cdot (I_6 + I_7) \cdot (E_{16} - E_7)^*] + R_{göz} \cdot |I_6 + I_7|^2 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 54 \text{ kW}$$

c) 4,5,6 ve 7 nolu yüklerin 3.besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = \text{Re}[2 \cdot (I_4 + I_5 + I_6 + I_7) \cdot (E_{16} - E_7)^*] + R_{göz} \cdot |I_4 + I_5 + I_6 + I_7|^2 = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ p.u} \\ = 385 \text{ kW}$$

Tüm seçenekler dikkate alındığında 2.ve 3.besleme hatları arasında sözkonusu olan 10 nolu yükün aktarımının, güç kayıplarında maksimum azalmaya neden olduğu görülmektedir.

Sonucun doğruluğunu kanıtlamak için , yük akışına bakılırsa; her fider için güç kayıpları $P = R \cdot I^2$ formülüyle bulunacaktır.

$$\Delta P_{k1temel} = R_{11} \cdot (I_4 + I_5 + I_6 + I_7)^2 + R_{12} \cdot I_5^2 + R_{13} \cdot (I_6 + I_7)^2 + R_{14} \cdot I_7^2 \\ = 8,21 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 82,1 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{k2temel} = R_{16} \cdot (I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12})^2 + R_{18} \cdot (I_9 + I_{11} + I_{12})^2 + R_{19} \cdot I_{11}^2 + R_{20} \cdot I_{12}^2 \\ = 38,318 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 383,18 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{k3temel} = R_{22} \cdot (I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_{16})^2 + R_{23} \cdot (I_{15} + I_{16})^2 + R_{24} \cdot I_{14}^2 + R_{25} \cdot I_{16}^2 \\ = 4,05 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 40,5 \text{ kW}$$

1. ve 2. Besleme hattının oluşturduğu sistem,

$$P_{k1temel} + P_{k2temel} = 46,5 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 465 \text{ kW}$$

2. ve 3. Besleme hattının oluşturduğu sistem,

$$P_{k2temel} + P_{k3temel} = 42,36 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 423,6 \text{ kW}$$

1. ve 3. Besleme hattının oluşturduğu sistem,

$$P_{k1temel} + P_{k3temel} = 12,26 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 122,6 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

a) 11 nolu baranı 1. Besleme hattına aktarılması

$$P_{k1} = 9,195 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 91,95 \text{ kW}$$

$$P_{k2} = 35,749 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 357,94 \text{ kW}$$

$$P_{\text{top}} = P_{k1} + P_{k2} = 44,98 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 449,8 \text{ kW}$$

$$\Delta P = P_{\text{top}} - (P_{k1} + P_{k2}) = -1,52 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = -15,2 \text{ kW}$$

b) 9,11 ve 12 nolu baraların 1. Besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 18,15 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 181,5 \text{ kW}$$

c) 8,9,10,11 ve 12 nolu baraların 1. Besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 71,1 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 711 \text{ kW}$$

d) 10 nolu baranın 3. besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = -2,36 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = -23,6 \text{ kW}$$

e) 8,9,10,11 ve 12 nolu baraların 3. besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 75,8 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 758 \text{ kW}$$

f) 7 nolu baranın 3. besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 0,693 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 6,93 \text{ kW}$$

g) 6 ve 7 nolu baranın 3. besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 54 \text{ kW}$$

h) 4,5,6 ve 7 nolu baraların 3. besleme hattına aktarılması:

$$\Delta P = 38,6 \cdot 10^{-4} \text{ p.u} = 386 \text{ kW}$$

Sonuç olarak Civanlar metodunun küçük bir örnek bir sistem için tam olarak doğru olduğu görülmüştür.

Civanlar algoritmasının üstünlükleri ve sakıncaları;

Üstünlükleri,

- 1) Kayıpları azaltan bir anahtarlama yapısını hızla belirlenmesi
 - Heuristik kurallar ile anahtarlama kombinasyon sayısının azalması,
 - Kayıplardaki bağıl azalmayı saptamak için ampirik formül kullanımı,
- 2) Yük akışına doğru bir yaklaşım sunar.

Sakıncaları,

- 1) Bir anada bir çift anahtarlama işleminin düşünülmesi,
- 2) Kayıp minimizasyonu değil sadece kayıplarda azalmayı garantiler,
- 3) Hat elemanlarını ampirik formül tarafından dikkate alınmaması,
- 4) Amaçlanan şebeke yapısının ilk anahtar durumuna bağımlı oluşudur.

Bilimsel araştırmalarda problemin çözümlü için farklı yöntemler kullanılır. Her bir yöntemin üstünlükleri ve sakıncaları mevcuttur. Fider düzenlenmesi probleminde de metotları eksik yönlerini, diğer metotlar ve yaklaşımlar ile tamamlanabilir. Dağıtım sistemlerinde kayıp azaltımı problemini devre teorisinin çok uçlular kavramı ile de incelenebilir ve güç kayıplarının fider düzenlenmesinden sonraki durumuyla karşılaştırılabilir.



BÖLÜM 5

ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE TRANSFORMATÖRLERİN GRUPLANDIRILMASI

Elektrik enerjisinin dağıtımında transformatörler çok önemli rol oynamaktadır. Elektrik enerjisi santrallerde generatörler yardımıyla alternatif gerilim olarak üretilir. Üretilen enerjinin kullanıma sunulması için uzak mesafelere nakil edilmesi gerekmektedir. Büyük güçlerin kilometrelerce uzaklıktaki tüketicilerin hizmetine sunulabilmesi için transformatörler yardımıyla gerilim değerleri yükseltip, tüketicinin kullanacağı bölgelerde kullanım gerilimine düşürülmesi gerekir. Bu gerilimin bu şekilde yükseltip kullanım bölgelerinde düşürülmesi transformatörler ile yapılmaktadır.

Transformatörlerin kayıpları tek olarak alındığında çok fazla olarak gözükmeye bilir. Fakat enerji sistemindeki transformatör sayısının çok fazla olması ve sürekli olarak devrede bulunmaları neticesinde uzun dönem kayıpları oldukça fazladır. Bu nedenle birden fazla transformatörlerin bulunduğu merkezlerde, transformatörler kayıpları en düşük seviyede tutacak şekilde gruplandırılabilirler. Bu gruplandırma transformatörlerin paralel veya paralel çalışanları birinin veya birkaçının devreden çıkarılması şeklinde olur. Merkezlerde toplam transformatör gücü puant yüküne ve gelecekteki yük artışına paralel olarak tespit edilirler. Bazı transformatör merkezlerinde yedek transformatörler bulunurlar. Merkezlerden çekilen puant yük yıl içinde kısa bir süre çekilir. Yılın diğer zamanlarında o bölgenin yük değişimine bağlı olarak transformatörler genellikle daha az yüklü olarak çalışırlar.

Transformatörler boшта ve yükte çalışmaları esnasında kayıpları da farklıdır. Boшта çalışmaları esnasında demir kayıpları adını verdiğimiz kayıp oluşur. Ayrıca transformatörlerin yüklü olarak çalışmaları esnasında bakır kayıpları adını verdiğimiz kayıplar oluşur. Transformatörlerin aynı yüke paralel bağlanmaları durumunda, direnç azalacağından bakır kayıpları azalır, ancak devreye giren transformatörlerin sayısı arttığından dolayı, yükten bağımsız olan demir kayıpları transformatör sayısı ile orantılı olarak artar. Birden fazla transformatörlerin bulunduğu merkezlerde, yük değişimine bağlı olarak transformatörler paralel olarak devreye sokulur veya tersi durumda, transformatör sayısı yükün durumuna göre devreden çıkartılır. [32]

5.1 Transformatörlerin Paralel Bağlanması:

Transformatör merkezlerinde iki veya daha fazla transformatör paralel çalıştırılabilir. Transformatörlerin paralel çalıştırılması avantajları; Transformatörlerin birisi devre dışı olması durumunda diğer transformatör devrede olduğundan herhangi bir enerji kesintisi olmamaktadır. Ekonomik olarak, tüketicilerin toplam yük grafikleri değişkendir. Belirli zamanlarda yük azaldığı durumlarda transformatörlerden birisi devre dışı bırakılır. Transformatörlerin nominal yükle ve yüksek verimle çalışması sağlanır.

Transformatörlerin paralel olarak çalışabilmesi için bazı gerekli şartlar vardır. Bu şartların bazıları transformatörlerin karakteristiklerine, bazıları da sistemin karakteristiklerine bağlıdır.

Transformatörlerin paralel olarak çalışabilmesi ve toplam yükün paralel çalışan transformatörler arasında anma güçleri ile orantılı olarak bölünmesi, boşa çalışma esnasında dengeleme akımlarının meydana gelmemesi için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

- a) Transformatörlerin çevirme oranları aynı olmalı $K_1 = K_2$,
- b) Transformatörlerin bağıl kısa devre gerilimleri aynı olmalı $U_{K1} = U_{K2}$
- c) Transformatörlerin güçleri eşit olmalı veya eşit yapılamıyorsa aralarındaki fark 1/3 oranından daha küçük olmalıdır,
- d) Frekanslarının aynı olması,
- e) Transformatörlerin bağlantı gruplarının aynı olması,

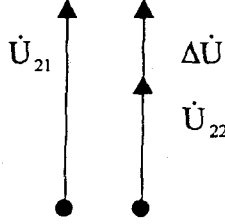
Transformatörlerinin güçleri ve bağıl kısa devre gerilimleri eşit yapılamıyorsa, bağıl kısa devre gerilimi küçük olan daha fazla yükleneceğinden, gücü küçük olan transformatörün bağıl kısa devre gerilimi büyük olmalıdır ki, aşırı yüklenmeye sebep olunmasın. [41]

Birinci taraf gerilimleri aynı ($U_{11} = U_{12}$) ve $K_1 \neq K_2$ olduğunda boşa çalışma rejiminde ikinci taraf gerilimleri arasında fark oluştuğu için transformatörler arasında eşitleyici akım oluşur.

Eşitleyici akım değeri;

$$\dot{I} = \Delta \dot{U} / (Z_{K1} + Z_{K2}) \quad (5.1)$$

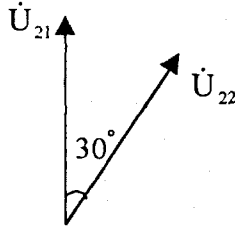
Burada Z_{K1}, Z_{K2} transformatörlerin iç empedanslarıdır. Yüklü çalışma rejiminde eşitleyici akım yük akımına eklenmekte ve yük akımının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.1 II. Taraf gerilimleri farklı olması durumunda transformatörler arasında oluşan gerilim farkı

Bu durumda çevirme oranı küçük olan transformatör fazla yüklenmiş, çevirme oranı büyük olan transformatör ise daha az yüklenmiş olacaktır. Fazla yüklenme nedeniyle transformatörlerin ısınmasına neden olacak ve transformatör merkezinin toplam yükünün azaltılması gerekir. K_1 ve K_2 arasındaki fark $\pm \%0,5$ civarında olabilir. Aksi durumda transformatörler paralel çalıştırılmazlar.

Transformatörlerin bobinlerinin bağlama grubu farklı olduğundan ikinci taraf hat gerilimleri arasında faz açısı oluşacaktır. Hat gerilimlerinin farklı transformatörlerin devresinden eşitleyici akımın geçmesine neden olur.



Şekil 5.2 Paralel bağlı transformatörlerde bağlama grubu farklı olduğunda oluşan faz açısı

Örneğin paralel bağlı transformatörlerden biri 0. Diğeri 11. bağlama ait olduklarında onların ikinci taraf hat gerilimleri arasındaki açı 30° olacaktır. Bu durumda gerilim farkı

$$\Delta U = 2 \cdot U_2 \cdot \sin 15^\circ = 0,52 U_2 \quad (5,2)$$

olacaktır. Transformatörlerin güçleri eşit ve kısa devre empedansları eşit olmaları durumunda bile eşitleyici akım büyük değerlere ulaşabilir.

$$I_{\text{eq}} = \frac{0,26 \cdot U_2}{Z_K} \quad (5,3)$$

Bir başka deyişle eşitleyici akım değerleri kararlı kısa devre akımının %26'sı kadar olabilir. Bu akım nominal akımın 3-5 katı büyüktür.

$U_{K1} \neq U_{K2}$ olduğunda transformatör merkezinin tam yükü kısa devre gerilimine ters orantılı olarak bölünür.



Şekil 5.3 Transformator merkezlerinin tam yükünün bölünmesi

Paralel çalışma durumunda devre akımlarının kısa devre empedanslarıyla ters orantılı olarak dağılır.

$$I = I_1 + I_2 \quad (5,4)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_{K2}}{Z_{K1}} \quad (5,5)$$

Eşitliğin her iki tarafını $\frac{U_N \cdot I_{1N}}{U_N \cdot I_{2N}}$ 'e, sol tarafı yeniden $\frac{U_N}{U_N}$ 'e ve sağ tarafı $\frac{100}{100}$ 'e

çarpılarak
$$\frac{I_1 \cdot I_{2N} \cdot U_N \cdot U_N}{I_2 \cdot I_{1N} \cdot U_N \cdot U_N} = \frac{Z_{K2} \cdot I_{2N} \cdot U_N \cdot 100}{Z_{K1} \cdot I_{1N} \cdot U_N \cdot 100}$$

Burada

$$I_1 \cdot U_N = S_1, \quad I_2 \cdot U_N = S_2 \quad (5,6)$$

transformatörlerin gerçek yükleri

$$I_{1N} \cdot U_N = S_{1N}, \quad I_{2N} \cdot U_N = S_{2N} \quad (5,7)$$

transformatörlerin nominal yükleri

$$S'_1 = \frac{S_1}{S_{1N}} \text{ ve } S'_2 = \frac{S_2}{S_{2N}} \quad (5,8)$$

transformatörlerin nispi (referans) yükleridir.

Paralel çalıştırılan transformatörlerin nispi yükleri kısa devre gerilimleriyle ters orantılıdır. Yani bunun sonucu olarak küçük güçlü transformatör fazla yüklenebilir. Güç ve enerji kayıpları artar. Aşırı yüklenmeyi azaltmak için transformatör merkezinin toplam gücünün azaltılması gerekir. Kısa devre gerilimleri

arsındaki fark $\pm\%10$ civarında olabilir. Transformatörlerin kısa devre gerilimleri arasındaki fark onların güçleri arasındaki farka bağlıdır. Paralel çalışan transformatörlerin güç oranları 3/1 olabilir.

Paralel bağlı transformatörlerin toplam yükünün onların toplam gücünden büyük olmaması gerekir.

$$S_Y \leq \sum S_{N,x} \quad (5,9)$$

Transformatörler arasındaki yük dağılımı şu şekilde hesaplanır;

$$\sum \frac{S_{N,x}}{U_{Kx}} = \frac{S_{N1}}{U_{K1}} + \frac{S_{K2}}{U_{K2}} + \dots \quad (5,10)$$

Formülde; S_Y : Transformatör merkezinin toplam gücü (kVA),

S_x : Paralel çalışan transformatörlerden birinin yükü (kVA)

U_{Kx} : İlgili transformatörün kısa devre gerilimi (%)

$S_{N,x}$: İlgili transformatörün nominal gücüdür.(kVA)

İyi bir paralel çalışmanın sağlanması için, çalışma eşit ve aynı fazda sekonder gerilime ihtiyaç gösterir. Sekonder gerilimin aynı fazda olması, aynı ve uygun bağlantı grupları ile sağlanabilir.[45]

5.2 Transformatörlerin Boşta Paralel Çalışması:

Paralel çalışan iki transformatörün boşta çevirme oranları aynı ise, boştaki sekonder gerilimleri de eşit ve iki sargı arasında bir dolaşım akımı meydana gelmez. Boşta çevirme oranları farklı ise, iki transformatör arasındaki bir dolaşım akımı meydana gelir.

$$I = \frac{\Delta U}{U_{k1} + \left(\frac{S_{N1}}{S_{N2}}\right).U_{k2}} \cdot 100(\%) \quad (5,11)$$

Burada;

$I=1$. Transformatörün anma akımının yüzdesi olarak dolaşım akımı,

ΔU = Boşta çalışmada, her iki transformatörün sekonder gerilimleri arasındaki farkın 1. Transformatörün sekonder geriliminin yüzdesi olarak ifadesi,

$$\Delta U = \frac{(U_{02} - U_{01})}{U_{01}} \cdot 100 \quad (5,12)$$

U_{k1} ve U_{k2} = 1. ve 2. Transformatörlerin kısa devre gerilimleri,

S_{N1} ve $S_{N2} = 1.$ ve $2.$ Transformatörlerin anma güçleridir.

Boşta gerilimi büyük olan transformatör diğerini besler.

5.3 Transformatörlerin Yükte Paralel Çalışması:

Paralel çalışan n adet transformatörlere ait anma güçleri toplamı S_N ile gösterelim. Çevirme oranları aynı, fakat anma güçleri ve kısa devre gerilimleri farklı n adet transformatörlere ait eşdeğer kısa devre gerilimi U_k ,

$$U_k = \frac{S_N}{\frac{S_{N1}}{U_{k1}} + \frac{S_{N2}}{U_{k2}} + \dots + \frac{S_{Nn}}{U_{kn}}} \quad (5,13)$$

Paralel çalışma halinde S yükünün transformatörler arasında ne şekilde bölüneceğini inceleyecek olursak;

a) Yalnız anma güçlerinin farklı olması halinde;

$$S_1 = \frac{S}{S_N \cdot S_{N1}}, S_2 = \frac{S}{S_N \cdot S_{N2}}, \dots, S_n = \frac{S}{S_N \cdot S_{Nn}} \quad (5,14)$$

olur ve anma gücü en büyük olan transformatör en büyük yükü alır.

b) Yalnız kısa devre gerilimlerinin farklı olması halinde;

$$S_1 = (S/n) \cdot (U_k / U_{k1}), S_2 = (S/n) \cdot (U_k / U_{k2}), \dots, S_n = (S/n) \cdot (U_k / U_{kn}) \quad (5,15)$$

olur.

c) Hem kısa devre geriliminin hem anma güçlerinin farklı olması halinde;

$$\begin{aligned} S_1 &= S \cdot (S_{N1} / S_N) \cdot (U_k / U_{k1}), \\ S_2 &= S \cdot (S_{N2} / S_N) \cdot (U_k / U_{k2}), \dots \\ S_3 &= S \cdot (S_{N3} / S_N) \cdot (U_k / U_{k3}) \end{aligned} \quad (5,16)$$

olur.

d) Hem boşta çevirme oranlarının hem kısa devre gerilimlerinin ve hem de anma güçlerinin farklı olması halinde;

$$\begin{aligned} S_1 &= (S/100 + S_{N2}/U_{k2} \cdot (U_{01} - U_{02})/U_{02} + S_{N3}/U_{k3} \cdot (U_{01} - U_{03})/U_{03} + \dots \\ &\quad + S_{Nn}/U_{kn} \cdot (U_{01} - U_{0n})/U_{0n} \cdot 100 S_{N1} \cdot U_k / S_N \cdot U_{k1} \end{aligned} \quad (5,7)$$

$$\begin{aligned} S_2 &= (S/100 + S_{N1}/U_{k1} \cdot (U_{02} - U_{01})/U_{01} + S_{N3}/U_{k3} \cdot (U_{02} - U_{03})/U_{03} + \dots \\ &\quad + S_{Nn}/U_{kn} \cdot (U_{02} - U_{0n})/U_{0n} \cdot 100 S_{N2} \cdot U_k / S_N \cdot U_{k2} \end{aligned} \quad (5,18)$$

$$\begin{aligned} S_n &= (S/100 + S_{N1}/U_{k1} \cdot (U_{0n} - U_{01})/U_{01} + S_{N2}/U_{k2} \cdot (U_{0n} - U_{02})/U_{02} + \dots \\ &\quad + S_{N(n-1)}/U_{0(n-1)} \cdot (U_{0n} - U_{0(n-1)})/U_{0(n-1)} \cdot 100 \cdot S_{Nn} \cdot U_k / S_N \cdot U_{kn} \end{aligned} \quad (5,19)$$

olur. Burada $U_{01}, U_{02}, \dots, U_{0n}$ transformatörlerin boştaki sekonder gerilimleridir.

$S_1, S_2, \dots, S_n$ 'in yukarıdaki ifadelerinde birinci terimler şebekeden çekilen güçleri diğer terimler ise transformatörler arasındaki dolaşım ve dengeleme güçlerini göstermektedir. Bunlar (+) veya (-) işaretli olabilirler. Fakat sonuçta toplamaları sıfırdır.

Örneğin iki transformatör arasındaki paralel çalışmada;

$$S_1 = S_{1se} - S_D, S_2 = S_{2se} + S_D \quad (5,20)$$

S_D dengeleme gücünün işareti, sekonder gerilimi yüksek olan transformatörde (+), alçak transformatörde (-)'dir. Burada 2 nolu transformatörün sekonder geriliminin 1 nolu transformatöründen yüksek olduğu ve dolayısıyla dolaşım gücünün 2 nolu transformatörden 1 nolu transformatöre doğru yönelmiştir. [3,34,4]

5.4 Transformatörlerin Kayıp Azaltımı İçin Paralel Bağlanmasının Tespiti:

Birden fazla transformatörün bulunduğu merkezlerde, yüke bağlı olarak devreye sokulacak paralel bağlı transformatörlerin sayısını ve kayıpları en küçük mertebede tutacak biçimde tespit edilmesi gerekir. Örneğin iki transformatörlü bir merkezde transformatörün birinin tam yükleninceye kadar beklemek ve sonra diğer transformatörü devreye sokmak uygun değildir. Kayıpların düşürülmesi için genellikle transformatörlerin birinin anma akımından daha küçük bir sınır akımı değerini geçince ikinci transformatör devreye sokulmalıdır.

Transformatörlerin bakır kayıpları akımın karesi ile orantılı olduğundan bu orantı katsayısına k ile gösterirsek I_N ve herhangi bir I akımındaki bakır kayıpları,

$$P_{Cu(N)} = k.I_N^2, \quad P_{Cu} = k.I^2 \quad (5,21)$$

olur. diğer taraftan demir kayıpları ile anma akımı arasındaki bakır kayıpları K ile gösterilirse,

$$\frac{P_{Fe}}{P_{Cu(N)}} = K \quad (5,22)$$

P_{Fe} ve $P_{Cu(N)}$ transformatörlerin kataloglarında verilir ve K değeri bulunur. Herhangi bir I akımındaki bir transformatörün toplam güç kaybı,

$$P_k = P_{Fe} + P_{Cu} = K.k.I_N^2 + k.I^2 \quad (5,23)$$

olur. Birbirine eş n tane transformatörün paralel çalıştırılması durumunda, yalnız bir transformatörün devrede olması ile karşılaştığımızda, demir kayıplarının n katı, bakır kayıpları $1/n$ katı olacağından, paralel bağlı transformatörlerin toplam güç kaybı,

$$P_{kn} = n.K.k.I_N^2 + \frac{k.I^2}{n} \quad (5,24)$$

olur. Aynı durumda $n-1$ tane birbirine eş transformatörler paralel bağlanırsa bu durumda, bunların toplam güç kaybı,

$$P_{k(n-1)} = (n-1).K.k.I_N^2 + \frac{k.I^2}{(n-1)} \quad (5,25)$$

olacaktır. $(n-1)$ ve n transformatör paralel bağlı iken, her iki durumda kayıpları eşit kılan yük akımı I_d ile gösterilirse,

$$P_{k(n-1)} = P_{kn} \quad (5,26)$$

yazılır. Buradan,

$$I_d = \sqrt{(n-1)n.K.I_N} \quad (5,27)$$

genel sonucu bulunur.

Örneğin bir transformatör merkezinde $K=1/3$ olan birbirine eş dört transformatör bulunsun. Buna göre, 1 ve 2, 2 ve 3, 3 ve 4 transformatör arasındaki en uygun sınır akımı,

$$I_{d(1-2)} = \sqrt{1.2.1/3}I_N = 0,82I_N \quad (5,28)$$

$$I_{d(2-3)} = \sqrt{2.3.1/3}I_N = 1,41I_N \quad (5,29)$$

$$I_{d(3-4)} = \sqrt{3.4.1/3}I_N = 2I_N \quad (5,30)$$

olur. Yani merkezden çekilen yük akımı bir transformatörün anma akımının 0,82 katından küçükse 1,0,82 katından büyükse 2, 1,41 katından büyükse 3, 2 katından büyükse 4 transformatör paralel olarak çalıştırılmalıdır.

Transformatör merkezlerinde genellikle gündüz ile gece arasında bir yük farkı olursa da her gün bu manevraları yapmak pratik bakımdan pek uygun olmaz. Yılın en az ve en çok yüklü aylarının puant yükleri arasındaki farkta çoğunlukla bu kadar büyük değildir. Özellikle büyük sanayi yükünün bulunduğu şehirlerde bu fark oldukça azdır. Örneğin İstanbul'da yaz puant yükü, kış puant yüküne göre %20-%25 kadar bir azalma gösterir.

Ancak yedek transformatör bulundurululan yerlerde sorun daha çok önem kazanır. Örneğin bir yedek iki transformatörü bulunan bir tesiste iki transformatör arasındaki sınır akımı hesaplanarak kayıpları en düşük mertebede tutacak ekonomik çalışma sağlanabilir. Uygulanabilir durumlarda özellikle büyük güçlü transformatörlerde bu yoldan hiçte küçümsenmeyecek bir enerji ekonomisi elde edilebilir. Dağıtım şebekelerinde gereğinden çok daha büyük güçte transformatörlerin kullanılması da demir kayıplarının ve şebeke reaktif yükünün gereksiz yere artması nedeniyle sakıncalıdır. [12,33,41]

5.5 Paralel Bağlanmış Transformatörlerin Devreden Ayrılması

Transformatörlerdeki güç kayıpları iki bileşenden ibarettir. Yüke bağlı olan kısa devre güç kayıpları ve yüke bağlı olmayan boşa çalışma kayıplarıdır. Yükün büyük olduğu dönemlerde her iki transformatöründe devrede olması gerekir. Bu durumda bakır kayıplarının azalması oranı saç kayıplarının artması oranından daha büyüktür. Yükün küçük değerlerde olduğu dönemlerde transformatörlerden birinin devreden açılması toplam kayıpların azalmasını sağlar. Kısa devre güç kayıpları iletilen gücün karesiyle orantılıdır.

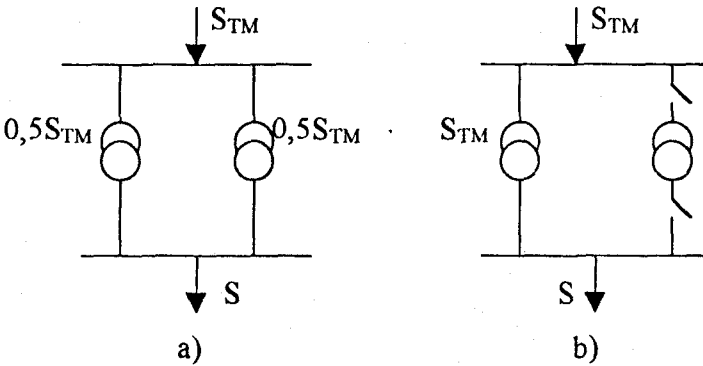
$$\Delta P_K = \Delta P_{KN} \left(\frac{S_{Tr}}{S_N} \right)^2 \quad (5,31)$$

Burada S_{Tr} ; Transformatörden geçen güç

S_N ; Transformatörün nominal gücüdür.

Boşa çalışma kayıpları ise yüke bağlı değildir.

$$\Delta P_{B,\dot{C}} = \Delta P_{B,\dot{C},N} \quad (5,32)$$



Şekil 5,4 Transformatörlerin bağlantı şemaları

Her iki transformatörün paralele çalışması durumunda (Şekil5,4 a)

$$S_{Tr} = 0,5S_{TM} \quad (5,33)$$

S_{TM} Transformatör merkezinin toplam yüküdür. Bu durumda toplam güç kayıpları

$$\Delta P_a = 2(\Delta P_{K,D} + \Delta P_{B,\zeta}) = 2\left(\Delta P_{K,N} \left(\frac{0,5S_{TM}}{S_N}\right)^2 + \Delta P_{B,\zeta,N}\right) \quad (5,34)$$

Transformatörlerden birisi açıldığında ise (şekil5,4b) çalışan transformatörlerden geçen güç $S_{Tr} = S_{TM}$ olacaktır. Bu durumda toplam güç kayıpları,

$$\Delta P_b = \Delta P_{K,N} \left(\frac{S_{TM}}{S_N}\right)^2 + \Delta P_{B,\zeta,N} \quad (5,35)$$

Transformatörlerden birisinin açılması için,

$$\Delta P_b < \Delta P_a \quad (5,36)$$

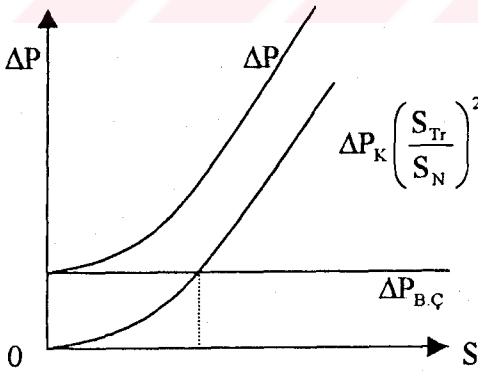
olması gerekir. (5,34) ve (5,35) karşılaştırıldığında

$$S < S_N \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{B,\zeta,N}}{\Delta P_{K,N}}} \quad (5,37)$$

transformatörlerin birinin devreden açılması için gerekli koşuldur. Aynı kurala ilişkin n tane paralel çalıştırılan transformatörler birisinin açılması için,

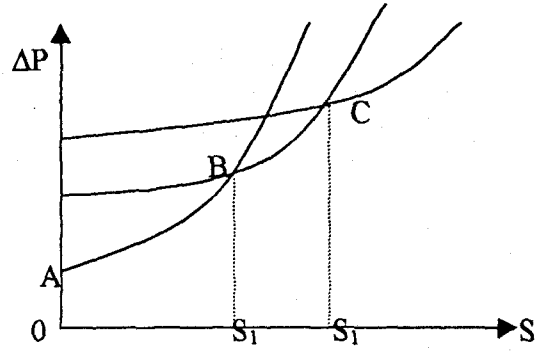
$$S < S_N \sqrt{\frac{n(n-1) \cdot \Delta P_{B,\zeta,N}}{\Delta P_{K,N}}} \quad (5,38)$$

sağlanması gerekir.



Şekil 5,5 Transformatör kayıplarının yüke bağımlılığı

Yükün büyük değerlerinde bakır kayıpları çelik kayıplarından daha büyüktür. Yükün küçük değerlerinde ise transformatörün çelik kayıpları bakır kayıplarından büyüktür.



Şekil 5,6 Transformatörün optimal gücünün seçilmesi

Transformatörlerin paralel bağlanmaları için yük durumlarının devamlı olarak kontrol altında tutulmaları gerekmektedir. [45]

BÖLÜM 6.

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM OPTİMİZASYONU VE GERİLİM AYARLANMASI İLE KAYIP AZALTIMI

Elektrik enerjisi ilk olarak kullanılmaya başlandığında küçük güçler kullanılmaktaydı. Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımı gigavatlara varan büyük miktarlara ulaşmıştır. İlk önceleri küçük güçler için elektrik enerjisi doğru gerilim ile üretilmekteydi. Beslenen alanların genişlemesi ve yükün artmasıyla doğru gerilimle iletim problemleri ortaya çıkınca, alternatif gerilimli enerji üretimi giderek önem kazandı ve doğru gerilimle enerji üretiminin yerini alternatif gerilimli enerji üretimi aldı. Santrallerde senkron generatörlerde 10kV ile 20kV arasında üretilen alternatif gerilim iletim için 154kV, 220kV, 380kV v.b. yüksek gerilim kademelerinden birisine çıkartılır. Bu yüksek gerilim kilometrelerce uzaklıktaki kullanım merkezlerinin yakınlarına kadar getirilir. Buralarda indirici transformatör merkezleriyle 30kV, 15kV, 10,5kV, 6,3kV gibi çeşitli gerilim kademelerinde kullanım yerlerine ulaştırılır. Bu tüketici bölgelerinde dağıtım transformatörleri ile 0,4/0,22kV gerilim seviyesinde kullanıma sunulur.

Elektrik enerjisinin iletimi genellikle, üç fazlı havai hatlarıyla alternatif gerilimle kilometrelerce uzunluktaki iletim ağı oluşturulur. Alternatif gerilimle iletimde teknik ve ekonomik bakımdan bazı zorluklar çıkarmaktadır. Büyük güçlerin doğru gerilimle uzak noktalara iletimde, güç elektroniğindeki gelişmeler nedeniyle önem kazanmaktadır. Fakat alternatif gerilim ile iletimin önüne geçmesi söz konusu değildir. Enerji iletimi havai hatlar ile yapılabildiği gibi yeraltı ve su altı kabloları ile de gerçekleştirilebilir. Yer altı kabloları ile enerji iletiminin ekonomik ve işletme sorunları nedeniyle kullanımını elverişli kılmamaktadır.

Günümüz anlamında yükseltici ve indirici transformatörler kullanılarak ilk basit enerji sistemi Amerika Birleşik Devletlerinde Massachusset'te kurulmuştur. Avrupa'daki ilk uzun ve yüksek gerilimli enerji sistemi 66kV ve 225 km uzunluğunda 1900 yılında İspanya'da gerçekleştirilmiştir. Gerilim kademelerindeki yükseliş, yalıtım ve transformatör tekniğindeki gelişmelere yakından bağlıdır.

Günümüzde ülkelerin elektrik dağıtım şebekelerinin enterkonnekte olması, bunun sonucu olarak üretilen güç değerlerinin büyük mertebelere ulaşması, iletim hatlarının sayı ve uzunluklarının artması hat kayıplarının önemini gündeme getirmekte ve bu

kayıpların toplam güç içindeki payının azaltılması gerekmektedir. Orta gerilim enerji iletim seviyelerinde küçük gerilimlerden bir üst gerilim kademesine geçilmesi durumda bir kısım kayıplar otomatik olarak kalkacaktır. Çünkü Hatlarda ve kablolarda kayıplar akımın karesi ile doğru orantılıdır. Bu durumda gerilimin yükseltilmesi durumunda kayıplar buna bağlı olarak düşecektir.

Dağıtım sistemlerinde çok çeşitli orta gerilim kademeleri kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılanlar; 30kV (34,5-33-31,5) 15kV, 10,5kV ve 6,3kV 'tur. Bu gerilim seviyelerinin kullanımı yük yoğunlukları ve büyüklüklerine göre, büyük şehir ve sanayi orta gerilim şebekeleri ve küçük şehir ve kırsal alanlardaki orta gerilim şebekeleri olmak üzere iki grupta toplanabilir.

6.1 Gerilim Optimizasyonu

Optimizasyon kelime anlamıyla bir işin en teknik ve en ekonomik bir şekilde yapılması anlamına gelmektedir. Orta gerilim şebekelerinde optimizasyon ise, şebekenin maliyeti, güç ihtiyacının karşılayabilmesi ve sürekli beslemenin sağlanabilmesi bakımından en uygun şebeke tasarımının yapılmasıdır. Orta gerilim şebekelerinde optimizasyon yapılırken çeşitli kısıtlamalar söz konusudur. Bu kısıtlamalar gerilim kademesi, güç ya da kesit olabilir. Bunların yanında büyük şehirlerde sabit maliyetlerde ön plana çıkabilir. Orta gerilim optimizasyonu yapılırken genellikle güç kısıtlaması vardır. Şebekenin güç ihtiyacı ve gelecekteki gelişimi yaklaşık olarak kestirilebilir. Bu nedenle şebekede kullanılacak gerilimin ve hat kesitlerinin optimizasyonunun yapılması önem kazanmaktadır. Aynı zamanda gerilim ve kesit optimizasyonun kayıpların azaltımında da oldukça önemli bir yer tutar. Enerji sisteminde yükün karakteri, genaratörlerin ve transformatörlerin yüklenme sınırları, yalıtım seviyeleri ve kullanılan elemanların normalize gerilimleri nedeniyle enerjinin üretim iletim ve dağıtım kademelerinin her aşamasında optimal gerilim büyüklüklerinin ve diğer optimal büyüklüklerin seçilmesi mümkün olmayabilir. Bu durumlarda zorunlu optimal işletme büyüklüklerinin seçilmesi gereklidir. Optimal çalışma büyüklüklerinin belirlenmesi için ' Lagrange Yöntemin'den yararlanılır. Bu yöntemde U gerilim, q kesit ve I akım değişkenlerine bağlı bir $f(U,q,I)$ maliyet fonksiyonunun, bu değişkenlerinin U_0, q_0, I_0 optimal değerlerinde minimum olması için gerek ve yeter koşul, $p(U,q,I)=0$ sınırlaması altında

$$d[f(U,q,I) - \lambda.p(U,q,I)] = 0 \quad (6,1)$$

yapacak bir λ katsayısının bulunmasıdır. [71] Burada λ katsayısı, elektrik enerjisinin birim fiyatıdır. Sınırlayıcı fonksiyon ise, sabit kabul edilen güç olup, üç fazlı alternatif akım şebekesinde akım ile gerilime

$$\frac{P}{\sqrt{3}} = U.I \quad (6,2)$$

şeklinde bağlıdır.

6.1.1 Enerji İletim Hatlarının Ve Yeraltı Kablolarının Optimizasyonu:

İletim hatları ve yer altı kablolarının maliyet fonksiyonu;

$$L = L_0 + L_1 U + L_2 q \quad (6,3)$$

şeklindedir.

L_0 = İletim hatının veya kablonun km başına sabit masraf

L_1 = Gerilime bağlı katsayı

L_2 = Kesite bağlı katsayı

Joule kayıplarından meydana gelen maliyet;

$$3.R.I^2 = \frac{3.r.I^2}{q} \quad [\text{W/km}]' \text{dir.} \quad (6,4)$$

I = Hat akımı (A)

q = Hattın kesiti (mm^2)

$r = 1 \text{ km}$ uzunluğunda ve 1 mm^2 kesitindeki bir fiktif iletkenin direnci

Tüm kayıplar;

$$J = \frac{J_0}{q} . I^2 \quad (6,5)$$

$$J_0 = 3.12,5.r.h.\lambda \quad (6,6)$$

λ = Birim maliyet

h = Kullanma saati

$$L = L_0 + L_1 U + L_2 q + \frac{J_0}{q} I^2 \quad (6,7)$$

Lanrange Yöntemi ile öyle bir λ' parametresi bulunabilir ki, bu parametre altında,

$$\frac{\partial L}{\partial U} = \frac{\lambda'}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial U} \quad \text{veya} \quad L_1 = \lambda' I_0 \quad (6,8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q} = \frac{\lambda'}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial q} \quad \text{veya} \quad L_2 - J \frac{I_0^2}{q^2} = 0 \quad (6,9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial I} = \frac{\lambda'}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial I} \text{ veya } \frac{2J_0}{q_0} = \lambda' U_0 \quad (6,10)$$

bağıntıları gerçekleştirilir. Burada '0' indisi ile optimal çalışma büyüklüklerini göstermektedir. Optimal kesit;

$$q_0 = \sqrt{\frac{J}{L_2}} I_0 \quad (6,11)$$

akım yoğunluğu;

$$i_0 = \frac{I_0}{q_0} = \sqrt{\frac{L_2}{J_0}} \quad (6,12)$$

(6,9) ve (6,12) formüllerinden,

$$2\sqrt{L_2 J} = \lambda' U_0 \quad (6,13)$$

bu ifade ile $\lambda' I_0$ çarpılırsa,

$$\lambda' = \sqrt{\frac{2.L_1.\sqrt{3L_2J_0}}{P}} \quad (6,14)$$

ve buradan,

$$U_0 = \sqrt{\frac{2\sqrt{L_2J_0}}{L_1\sqrt{3}}} \sqrt{P} \quad (6,15)$$

optimal gerilim bulunur. Buna göre hattın optimal gerilimi iletilen gücün karekökü ile orantılı olduğu görülmektedir. Optimal akım,

$$I_0 = \sqrt{\frac{L_1}{2\sqrt{3.L_2J_0}}} \sqrt{P} \quad (6,16)$$

optimal gerilim,

$$q_0 = \sqrt{\frac{L_1}{2L_2}} \sqrt{\frac{J_0}{L_2}} \sqrt{P} \quad (6,17)$$

Hesaplanan optimal büyüklükler nedeniyle

$$L = L_0 + 2L_1 U_0 \quad (6,18)$$

olarak yazılabilir.

Diğer taraftan dalbudak enerji dağıtım şebekelerinde, iletim malzemesinin ekonomisi için kademeli kesit seçimine gidilebilir. Besleme merkezlerinden başlayarak kablo ve havai hat şebekelerinin kesitleri gittikçe küçülen kesitte tasarlanarak sabit tesis giderlerinin azalması amaçlanmaktadır.

6.1.2 Transformatör Merkezlerinin Optimizasyonu

Dağıtım Merkezleri bağlı oldukları hatların ilettikleri P aktif gücü için değerlendirilirler. P yerine $\sqrt{3} \cdot U \cdot I$ yazılarak Lagrange yöntemi uygulanırsa, λ'' hattın veya kabloununkinden başka bir Lagrange katsayısı bulunur.

$$A = A_0 + A_1 U + A_2 P + A_3 I \quad (6,19)$$

A_0 = Merkezin kurulu yerin kirası

A_1 = Gerilime bağlı katsayı

A_2 = Güce bağlı katsayı

A_3 = Akıma bağlı katsayı

$$\frac{\partial A}{\partial U} = \frac{\lambda''}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial U} \quad \text{veya} \quad A_1 + A_2 \sqrt{3} I_0 = \lambda'' I_0 \quad (6,20)$$

$$\frac{\partial A}{\partial I} = \frac{\lambda''}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial I} \quad \text{veya} \quad A_2 + \sqrt{3} U_0 + A_3 = \lambda'' U_0 \quad (6,21)$$

elde edilir. Bu denklem sisteminde λ'' yok edilerek optimal gerilim için,

$$U_0 = \sqrt{\frac{A_3}{A_1 \sqrt{3}}} \sqrt{P} \quad (6,22)$$

ve optimal akım değeri için de;

$$I_0 = \sqrt{\frac{A_1}{A_3 \sqrt{3}}} \sqrt{P} \quad (6,23)$$

eşitlikleri bulunur. Buradan, optimal gerilim ve optimal akımın P gücünün karekökü ile orantılı olduğu anlaşılır.

6.1.3 Tüm Dağıtım Şebekesinin Optimizasyonu

Dağıtım şebekelerinde bir P gücünün iletilmesinde optimal gerilimin hatlar için farklı dağıtım postaları için farklı değerlerde olduğunu göstermektedir. Bu durumda tüm şebekenin toplam maliyeti,

$$T = LD + A \quad (6,24)$$

D= Hat uzunluğu

(6,3) ve (6,19) eşitliklerinden,

$$T = (D.L_0 + A_0) + (D.L_1 + A_1).U + A_2 \sqrt{3} UI + (2.D.\sqrt{L_2 J_0} + A_3).I \quad (6,25)$$

elde edilir. Bu ifadeye Lagrange yöntemi uygulandığında, yeni bir λ'' Lagrange katsayısı elde edilir.

$$\frac{\partial T}{\partial U} = \frac{\lambda''}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial U} \quad \text{veya} \quad D.L_1 + A_1 + A_2\sqrt{3}I_0 = \lambda''I_0 \quad (6,26)$$

$$\frac{\partial T}{\partial I} = \frac{\lambda''}{\sqrt{3}} \frac{\partial P}{\partial I} \quad \text{veya} \quad 2D\sqrt{L_2J} + A_3 + A_2\sqrt{3}U_0 = \lambda''U_0 \quad (6,27)$$

buradan optimal gerilim,

$$U_0 = \sqrt{\frac{2D\sqrt{L_2J_0} + A_3}{(DL_1 + A_1)\sqrt{3}}} \sqrt{P} \quad (6,28)$$

ve optimal akım,

$$I_0 = \sqrt{\frac{DL_1 + A_1}{(2D\sqrt{L_2J_0} + A_3)\sqrt{3}}} \sqrt{P} \quad (6,29)$$

olarak bulunur. (6,29) ifadesiyle

$$U_0^2 = Z_e.P \quad (6,30)$$

bağıntısı yardımıyla

$$Z_e = \frac{2D\sqrt{L_2J_0} + A_3}{(DL_1 + A_1)\sqrt{3}} \quad (6,31)$$

ekonomik empedans olarak tanımlanır. (6,29) ifadesi ile verilen maliyet fonksiyonu optimum olarak,

$$T = (D.L_0 + A_0) + 2(D.L_1 + A_1).\sqrt{Z_e.P} + A_2P \quad (6,32)$$

değerini alacaktır.

6.1.4 Zorunlu Gerilim ve Kesitle Optimizasyon

İletim hatlarında optimal gerilim seçilmesi mümkün değildir. Örneğin iletim hattının optimal gerilimi, kullanılan gerilim kademelerinden ara değerine rastlaması durumunda bu değerlerin bir alt veya üst değerini kullanmak gerekir. Çünkü ara gerilim değerleri için şebekede kullanılacak elemanların temini oldukça zordur. Böyle bir durumla karşılaşıldığı takdirde, zorunlu gerilimle yapılan maliyetin, optimal gerilimle yapılan maliyetten ne kadar uzaklaştığının bilinmesi gerekmektedir.

İletim hatlarındaki optimal kesitte bazı durumlarda zorunlu olarak seçilemeyebilir. Çünkü kablo ve iletkenler belirli standartlarda üretilir. Bunların ara değerlerinin üretiminin olmaması nedeniyle zorunlu kesit kullanılır.

Kesitin optimal değeri kullanılarak U zorunlu gerilimi altında maliyet değişiminin doğrusal olduğu ve

$$T_u = T_0 + \frac{DL_1 + A_1}{U} (U - \sqrt{Z_e P})^2 \quad (6,33)$$

yazılabilir.

Zorunlu kesite ve gerilime bağlı olarak maliyet ifadesi,

$$T_{uq} = (DL_0 + A_0) + (DL_1 + A_1).U + DL_2 q + (A_2 + A_3 / U\sqrt{3})P + (DJ/q)(P^2 / 3U^2) \quad (6,34)$$

bu ifade (6,32) ifadesi ile karşılaştırılarak;

$$T_{uq} = T_u + \frac{DJ}{q} \left(q \sqrt{\frac{L_2}{J}} - \frac{P}{U\sqrt{3}} \right)^2 \quad (6,35)$$

şeklinde olur.

Dağıtım şebekelerinin planlanmasında güç yoğunluğunun çok fazla olduğu bölgelerde dağıtımın en büyük orta gerilim kademesinde yapılması, indirici merkezlerin sayısının fazla olması şebeke için optimal bir çözümdür. Optimal gerilimin ülkemiz de 34,5kV olarak kullanılması hem ekonomik hem de kayıpların minimuma indirilmesi açısından önemlidir. Ülkemizde 34,5kV'tan daha yüksek bir gerilim kademesi kullanılmadığından , bu gerilimin üstündeki gerilim için şebeke elemanlarının üretimi olmadığından daha yüksek gerilim kullanılmamaktadır. Eğer daha yüksek bir gerilim çıkma olanağı doğduğu takdirde gerilimin daha da yükseltilmesi daha az kayıpla enerji iletiminin imkanını sağlayacaktır. [33,34,23]

6.2 Optimal Güç Akışı

Enerjinin çok düğümlü büyük bir dağıtım şebekesinde güçlerin farklı değerlerde olması dolayısıyla akımında hatlar üzerinde farklı değerler alması maliyet üzerinde olumlu ya da olumsuz etkileri vardır. Hatlardaki kayıpları en az düzeye indirecek bir güç akış dağılımının sağlanması amaçlayan 'Optimal Güç Akışı' ilk kez 1968 yılında gerçekleştirilmiştir. [76] sistemdeki hat kayıplarının en aza indirilmesi için sistemdeki

bara gerilimleri, baralardaki reaktif güçler, üretilen aktif güçler ve transformatörlerin ayar oranları birer kriter olmalıdır.

1 barası salınım barası olarak seçilmiş bir enerji sisteminde , n sistemdeki generatör baralarının sayısı ve m yük baralarının sayısı olmak üzere, hat kayıpları,

$$P_k = f(P_2, P_3, \dots, P_{n+m}, V_1, V_2, \dots, V_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_m, t_1, t_2, \dots, t_{nl}) \quad (6,36)$$

şeklinde yazılabilir. [77] Buradaki,

P_k = Sistemdeki hat kayıpları,

P_i = i . baradan sisteme verilen aktif güç,

V_i = i . bara faz gerilimlerinin genliği,

Q_i = i . baradan sisteme verilen bir fazın reaktif gücü,

t_i = i . transformatörün ayar oranıdır.

(6,36) ifadesindeki P,V,Q ve t değişkenlerinin fonksiyonudur. Bu değişkenlerin değişmesi, joule kayıplarının değişmesine yol açar. Bu durumda Joule kayıplarındaki değişim miktarı,

$$\Delta P_k = \sum_{i=2}^{n+m} \frac{\partial P_k}{\partial P_i} \Delta P_i + \sum_{j=1}^n \frac{\partial P_k}{\partial V_j} \Delta V_j + \sum_{k=1}^m \frac{\partial P_k}{\partial Q_k} \Delta Q_k + \sum_{r=1}^{nl} \frac{\partial P_k}{\partial t_r} \Delta t_r \quad (6,37)$$

olacaktır. ΔP_k hat kayıplarının değişim miktarı, sisteme verilen güçler cinsinden

$$\Delta P_k = \Delta P_1 + \sum_{i=2}^{n+m} \Delta P_i \quad (6,38)$$

olarak ifade edilebilir.

Güç akışı analizinde salınım barası dışındaki bara güçleri sabit tutulduğu için

$$\Delta P_k = \Delta P_1 \quad (6,39)$$

veya açık olarak

$$[\Delta P_k] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_k}{\partial t} & \frac{\partial P_k}{\partial V} & \frac{\partial P_k}{\partial Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta t \\ \Delta V \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (6,40)$$

yazılır.

Hat kayıpları, bara gerilimleri, reaktif güçler ve transformatörlerin ayar oranlarındaki izin verilen toleranslar ile optimizasyon teknikleri kullanılarak en az düzeye indirilir.

Sistemin optimal çalışması için Joule kayıplarının minimuma indirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde hala devam etmektedir. Kayıpların minimum kılacak bir güç

akışında geleneksel güç akışlarına göre önemli bir kayıp azalmasının olduğu belirlenmiştir. [40]

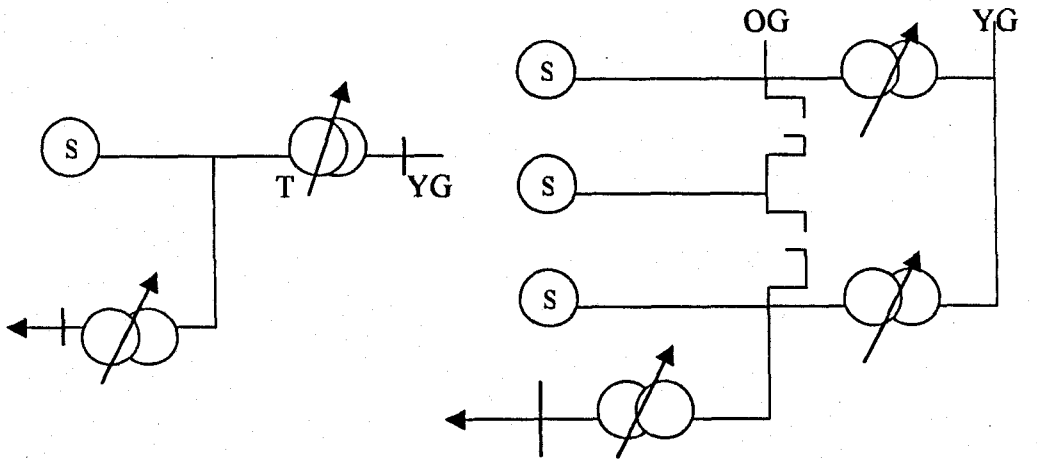
6.3 Elektrik Şebekelerinde Gerilimin Ayarlanması

Elektrik şebekesindeki güç kayıpları gerilimin karesiyle ters orantılıdır. Bu nedenle enerji sistemlerinde gerilim ayarlanması büyük önem taşır. Elektrik şebekelerinde gerilimin ayarlanmasında aşağıdaki yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

- 1) Santrallereki senkron generatörler ile.
- 2) Transformatör ve ototransformatörlerin çevirim oranlarını değiştirmekle.
- 3) İletim hat parametrelerinin değiştirilmesiyle.
- 4) İletim hatlarından çekilen reaktif gücün değiştirilmesiyle.

6.3.1 Senkron Generatörler Ve Transformatörler İle Gerilimin Ayarlanması

Senkron generatörler enerji sistemi için önemli olan faktörlere bağlı rejimlerde ve gereken parametrelerle çalışmaktadırlar. Aktif güç ile birlikte reaktif gücüde üretirler. Elektrik şebekelerinin önemli düğüm noktalarında gerilimin değeri gereken civarda tutumak için santrallerde aktif güç grafiğinin yanı sıra reaktif güç grafiğide tayin edilir. Yükseltici transformatörlerle bir blokta çalışan senkron generatörlerin generatör gerilim şebekesi ile direkt ilişkisi yoktur. (Şekil 6.1 a) İç tüketim sisteminin tüketicileri ise gerilimi ayarlanabilen transformatörlerden beslenmektedirler. Bu durumda senkron generatörün reaktif gücünün ve buna ilişkin gerilimin geniş çapta değişmesi kolaydır. Boşta çalışan generatörlerin gerilimi $\pm 10U_N$ civarında ayarlanır.



Şekil 6.1 a) İç tüketim

b) İç tüketim ve generatör gerilim şebekesi

Generatör şebekede çalışırken gerilimi $\pm 5U_N$ civarında değiştirilebilir. (Şekil 6.1b) Santrali yüksek gerilim şebekesine bağlayan transformatör vasıtasıyla gerilimi ± 5 tekrar U_N civarında ayarlamak mümkündür. Yüksek gerilimide

transformatör ve ototransformatörlerde gerilimi $\pm\%12U_N$ ile $\pm\%16U_N$ civarında değiştirmek mümkündür. Ayarlama işlemi kademeli olarak yapılır. Otomatik ayarlama yüksek gerilim bobinlerinin sarım sayısını değiştirmekle yapılır. Orta gerilim bobinlerde gerilim $\pm 2 \times \%2,5U_N$ civarında yüksüz, 6-10kV olan transformatörlerde ise gerilim $\pm\%5U_N$ civarında ve yüksüz değiştirmek mümkündür.

6.3.2 Reaktif Gücün Ve Hattın Kompanzasyonu

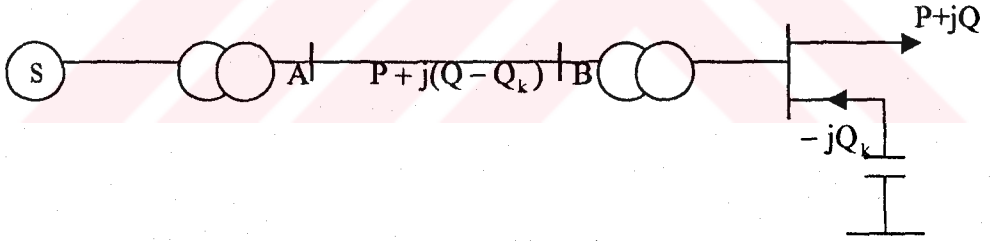
Gerilim düşümünün yaklaşık bağıntısına bakıldığında görülmektedir ki, reaktif gücü ve hattın reaktansını azaltmakla gerilim düşümü azaltmak mümkündür.

$$\Delta U \approx \frac{P R_H + Q X_H}{U} \quad (6,41)$$

Aktif ve reaktif gücü karakterize eden parametre güç faktörüdür.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}; \quad \tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (6,42)$$

Şebekeden aktarılan reaktif gücü azaltmak için reaktif gücün bir kısmını tüketicilerin yanında üretmek mümkündür. Bu amaçla senkron kompansatörler ve statik kondansatör bataryaları kullanılır. Aktarılan reaktif gücü azaltmanın bir diğer yöntemi de senkron motorlar aracılığıyla reaktif güç üretmektir.



Şekil 6,2 Kondansatör bataryasıyla reaktif güç kompanzasyonu

Senkron generatörlerden çekilen ve şebekeden geçen reaktif güç azaldığında tüketicilerin uçlarındaki gerilim kayıpları da azalacak ve gerilim düşümü daha az olacaktır.

$$\Delta U^I = \frac{P R_{\Sigma} + j(Q - Q_k) X_{\Sigma}}{U} \quad (6,43)$$

Tüketicilerin mevcut reaktif güç faktörü (0,75-0,85) istenilen güç faktörü (0,92-0,95)'dir.

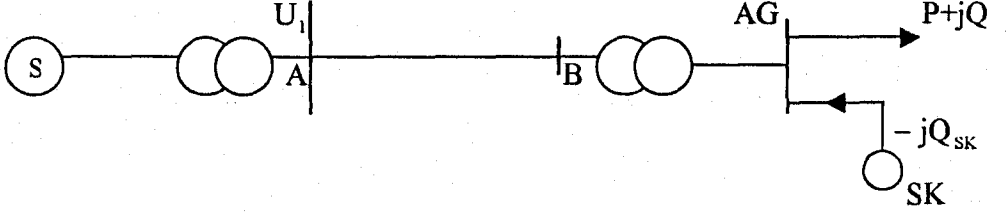
Senkron kompansatörler yardımıyla reaktif güç üretmek ve tüketmek mümkündür. Senkron kompansatörlerin tüketebileceği güç üreteceğinden 2 kat daha az olur. Senkron kompansatörler iki şarta göre seçilirler.

1)-Reaktif güç faktörünü sabit tutmak için ($\tan \varphi = \text{sabit}$)

2)-Tüketicinin uçlarındaki gerilimi istenilen değerde tutmak ($U_{ist} = \text{sabit}$)

Birinci koşula göre senkron kompansatör hesabı kondansatör bataryasının reaktif gücünün tespiti gibidir.

İkinci koşula göre senkron kompansatörün üretmesi gereken reaktif güç hesabı aşağıdaki gibidir.



Şekil 6,3 Senkron kompansatör yardımıyla gerilim ayarlanması

Senkron kompansatör olmadığı durumda hat başındaki gerilimin yaklaşık değeri,

$$U_1 \approx U_2 + \frac{P.R_\Sigma + jQ.X_\Sigma}{U_2} \quad (6,44)$$

Burada R_Σ, X_Σ ;Enerji iletim hattı ve transformatörlerin toplam direnci ve reaktansdır.

Senkron kompansatör olduğunda hattın önündeki gerilimin yaklaşık değeri;

$$U_1 \approx U_{2ist} + \frac{P.R_\Sigma + j(Q - Q_{SK}).X_\Sigma}{U_{2ist}} \quad (6,45)$$

Burada U_{2ist} : Hattın sonunda olması istenilen gerilim Q_{SK} : Senkron kompansatörün üretmesi gereken reaktif güçtür. (6,44) ve (6,45) bağıntılarından aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

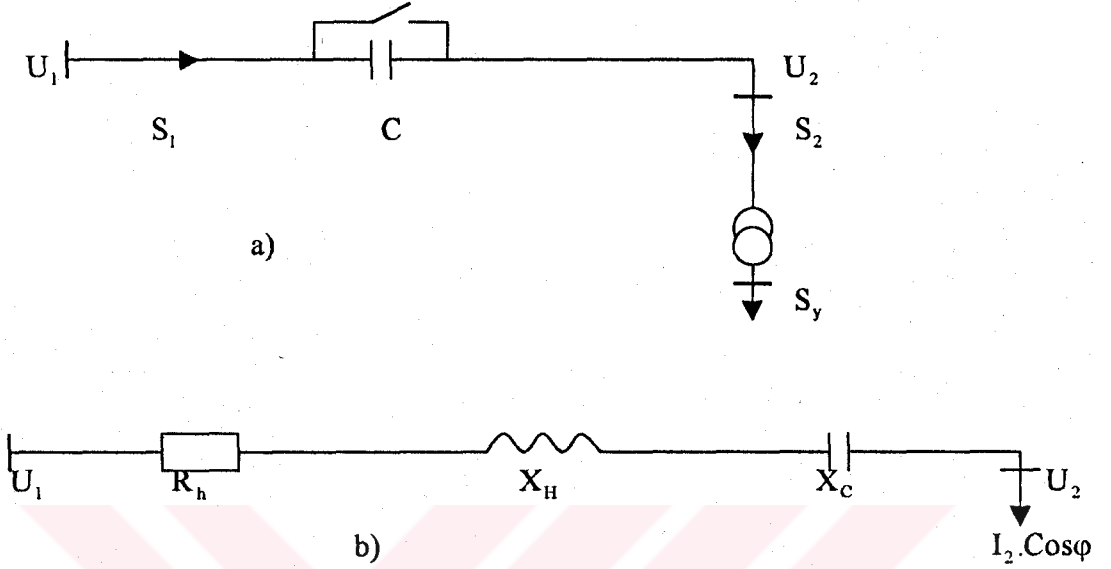
$$\frac{Q_{SK}.X_\Sigma}{U_{2ist}} = U_{2ist} - U_2 + \frac{P.R_\Sigma + jQ.X_\Sigma}{U_{2ist}} - \frac{P.R_\Sigma + jQ.X_\Sigma}{U_2} \quad (6,46)$$

Eşitliğin sol tarafındaki sununcu iki terim farkı çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Burada senkron kompansatörün üretmesi gereken reaktif güç için aşağıdaki bağıntıyı yazmak mümkündür.

$$Q_{SK} [MVAR] = \frac{(U_{2ist} [kV] - U_2 [kV]).U_{2ist} [kV]}{X_\Sigma [\Omega]} \quad (6,47)$$

$U_{2ist} > U_2$ olduğunda senkron kompansatör üretici, $U_2 > U_{2ist}$ olduğunda senkron kompansatör tüketici gibi çalışır.

Hattın reaktansının kompanzasyonu; hattın reaktansını azaltmak için hatta seri olarak kondansatör bataryaları bağlanabilir. Bu durumda hattın eşdeğer şeması Şekil 6,4 'deki gibi olacaktır.



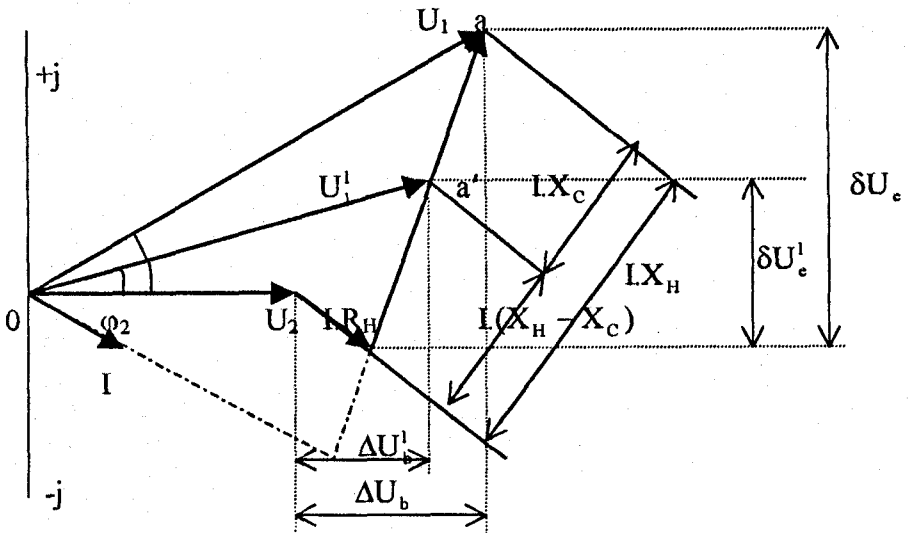
Şekil 6,4 Hattın reaktansı seri bağlı kondansatör bataryasıyla kompanzasyonu

Kondansatörün reaktansının işareti hattın reaktansının işaretine ters olduğu için hattaki gerilim düşümü bağlantılarının boyuna ve enine bileşenleri:

$$\Delta U_b^1 = I_2 \cdot [(R_H \cdot \cos\varphi) + (X_H - X_C) \cdot \sin\varphi]$$

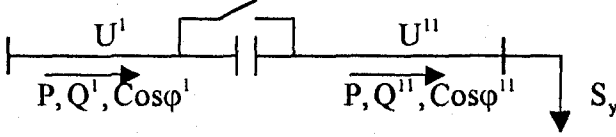
$$\delta U_e^1 = I_2 \cdot [(X_H - X_C) \cdot \cos\varphi - (R_H \cdot \sin\varphi)] \quad (6,48)$$

şeklinde yazılabilir. U_2 belli olduğunda $X_C < X_H$ kabul edilirse hattın önündeki



Şekil 6.4 Hattın reaktansının kompanzasyonu

gerilim istenilen değeri U^1 kadar olabilir. (a^1 noktası). Gerilim düşümünün boyuna ve enine bileşenleri ΔU_b^1 ve δU_e^1 değerinde olmuştur. $X_C = X_H$ olduğunda hattın reaktansı tümüyle kompanse edilmiştir. Gerilim düşümü yalnız hattın direncine bağlıdır.



Şekil 6.5 Kondansatör gücünün seçimi

Kondansatörden geçen aktif güç P değişmez. Çünkü kondansatörlerin kayıpları çok küçük tür ve ihmal edilebilir.

$$P = \sqrt{3} \cdot U^1 \cdot I \cdot \cos\varphi^1 = \sqrt{3} \cdot U^{11} \cdot I \cdot \cos\varphi^{11} \quad (6,49)$$

$$U^1 \cdot \cos\varphi^1 = U^{11} \cdot \cos\varphi^{11} \quad (6,50)$$

Kondansatör bataryasının istenilen gücü;

$$Q_C = Q^{11} - Q^1 = p \cdot (\tan\varphi^{11} - \tan\varphi^1) \quad (6,51)$$

olarak bulunur.[]

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elektrik enerjisi günümüzde çok kullanılan bir enerji kaynağı olması nedeniyle bu enerji kaynağının en verimli şekilde kullanılmasını zorunlu bir hale gelmiştir. Elektrik enerjisinin kullanımı esnasında, üretildiği noktadan tüketiciye gelene kadar elektriksel kayıplar oluşur. Bu kayıplar üretilen enerjinin gereksiz olarak hatlarda ve şebeke elemanlarında harcanır. Bu kayıp enerjinin minimum seviyeye düşürülmesiyle önemli bir miktar enerji kullanıma kazandırılmış olacaktır. Üretim ve iletimde oluşan bu ek kayıpların azaltımıyla ilgili olarak günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu oluşan kayıpların azaltımı bu yıllarda ülkemizde oluşma eğilimi gösteren enerji sıkıntısıyla daha da önem kazanmıştır.

Elektrik enerjisindeki kayıpların oluşumu ve azaltımı, bu çalışmada ele alınmış ve kayıp azaltım metotları anlatılmış. Dağıtım şebekelerinde uygulaması incelenmiştir.

İkinci Bölümde, elektrik şebekelerindeki dengesiz yüklenmelerin oluşturduğu kayıplar ele alınmıştır. Bu bölümde dengesizlik analizinin nasıl yapıldığı ve dengeli ve dengesiz yüklenme hallerinde şebekeden çekilen güçlerdeki değişiklik açıklanarak, dengesiz yüklenme ile hatlardaki kayıp ve toprak yolunda oluşan kayıplar incelenmiştir. Dengesiz yüklenme ilişkin bir sayısal uygulama tablo halinde verilmiş ve oluşan ek kayıplar gösterilmiştir. Dengesiz yüklenmenin önlenmesi için, dağıtım şebekelerinde alınması gereken tedbirlerde anlatılmıştır. Dengesiz yüklenmelerin dağıtım şebekelerinin de ek kayıp gücün azaltımının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Üçüncü Bölümde, özellikle dağıtım kayıplarının en önemli nedenlerinden biri de, şebekeden tüketicilerin çekmiş olduğu reaktif akımdır. Reaktif akımın şebekeden çekilmesinin önlenmesi de kayıp azaltımına oldukça büyük bir etki yapar. Reaktif akımın oluşumu ve bunun azaltımı için yapılan kompanzasyon bu bölümde anlatılmıştır. Reaktif akımın iyi kompanze edilmesi durumunda sadece kayıplar açısından önemli kazançların yanında şebekenin gerilim düzeyini ve kalitesinde artmasına neden olur. Bu bölümde reaktif akımın kompanzasyonun faydaları ve kompanzasyon çeşitleri de kısaca anlatılmıştır.

Dördüncü Bölümde, elektrik dağıtım şebekesindeki dağıtım optimizasyonu ve fider düzenlenmesi incelenmiştir. Fiderlerin düzenlenmesinde ve dağıtımın optimizasyon teknikleri ile şebekede oldukça önemli enerji kayıplarının önüne

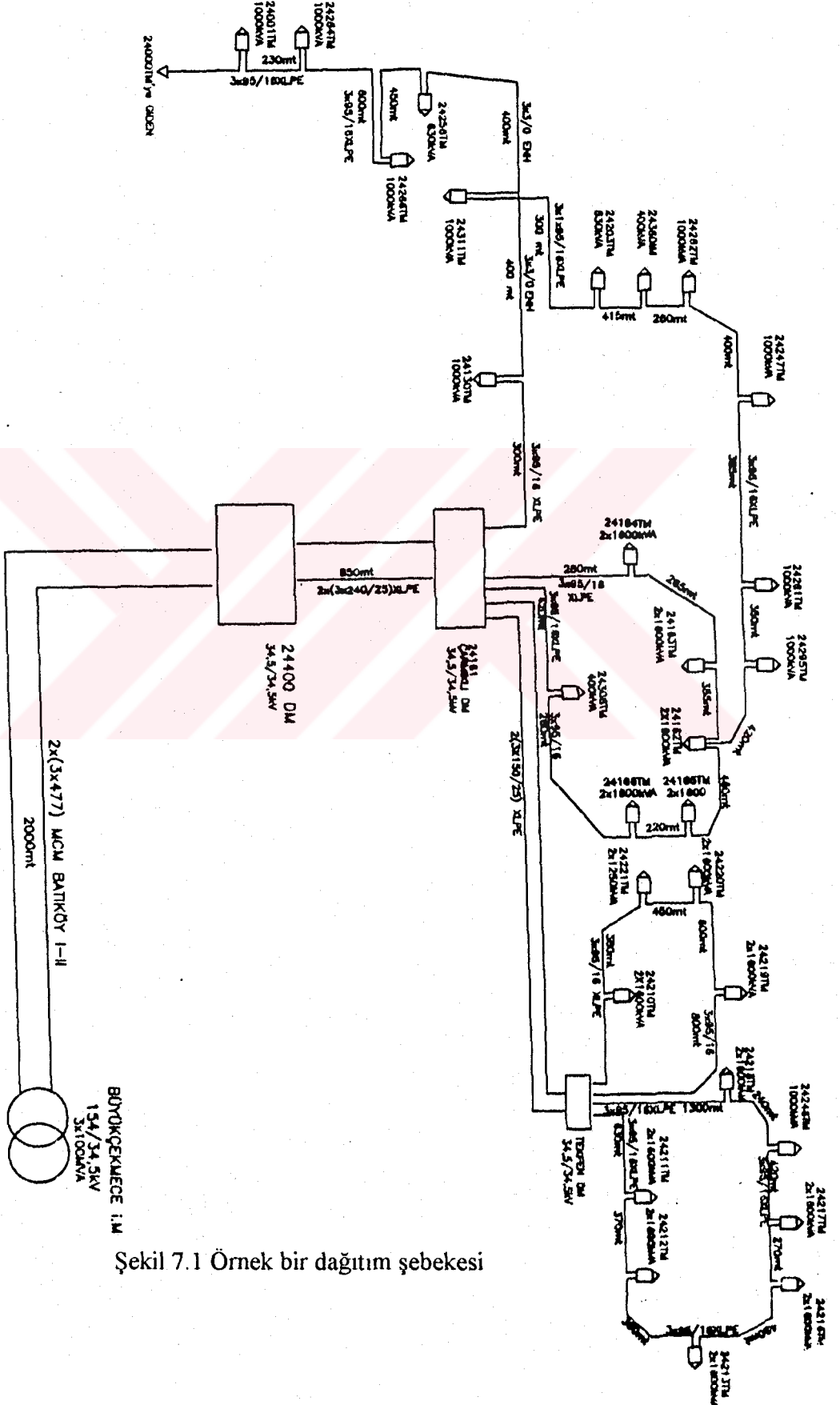
geçilebilecektir. Fider düzenlenmesindeki ana amaç yüklü fiderlerin yüklerinin, az yüklü fiderlere yükünün kaydırılmasıdır. Bu düzenlemenin ne şekilde, ne zaman ve hangi anahtarlama işlemleriyle yapılacağı anlatılmıştır. Dağıtım optimizasyonu ve fider düzenlenmesi nasıl ve hangi kriterlerin göz önüne alınacağı da açıklanmıştır.

Beşinci Bölümde, elektrik dağıtım şebekelerindeki transformatörlerin gruplandırılarak çalıştırılması anlatılmıştır. Bu metotta, dağıtım şebekelerindeki transformatör merkezlerinde bulunan transformatörlerin belirli zamanlarda paralel çalıştırılmasıyla sistemdeki transformatörlerin oluşturduğu kayıpların azaltımına yardımcı olacaktır. Transformatörlerin ne şekilde ve nasıl paralel çalıştırılacağı ve paralel olarak devreye alınma kriterleri incelenmiştir.

Altıncı Bölümde, elektrik dağıtım şebekelerinde gerilim optimizasyonu ve gerilimin ayarlanması ile kayıp azaltımı incelenmiştir. Özellikle enerji sistemlerinin tasarlanmasında kayıplar, göz önünde bulundurularak yapılacak optimizasyon ile daha sistemin tasarlanmasında minimum kayıp hedeflenmelidir. Belirli bir bölgede ki gücün artması durumunda bu bölgede bir üst gerilim seviyesine geçilmesi sistemdeki elemanlardan oluşan kayıpların azalması yönünde etki yapacaktır. Gerilim optimizasyonu ile birlikte güç akışının da optimizasyonu önem kazanır. Güç akışının optimizasyonu fiderlerin düzenlenmesiyle ve dağıtımın optimizasyonu ile de oldukça önemlidir.

Elektrik dağıtım sistemlerinde kayıpların azaltımı için yukarıda anlatılan metotların şebekelere uygulanması ile önemli bir miktarda kayıp oranları azaltılacaktır. Ayrıca bu sistemlerin şebekelerde uygulanması için ek bir maliyet gerektirecektir. Bu ek maliyet ise uzun dönemde kendini amorti edecektir.

Elektrik dağıtım sistemlerindeki kayıp azaltımı metotlarını örnek bir dağıtım şebekesi üzerinde yorumlanması daha iyi anlaşılmasını sağlanacaktır. Bu nedenle Şekil7,1'deki örnek dağıtım sistemi göz önüne alınarak metotlar üzerine yorumlar yapılmıştır. Örnek dağıtım sisteminin özelliklerini yorumların daha sağlıklı olması için verelim. Büyükçekmece İndirici Merkezinden beslenen 34,5kV 2(3x477MCM) Enerji Nakil hattıyla beslenen Batıköy I-II fiderlerinden Batıköy I fiderinin beslediği transformatörlerin bölgesi incelenmiştir. İndirici Merkezde 3 adet 154/34,5kV 100MVA Üçgen-yıldız bağlı ve nötr noktası direnç üzerinden topraklıdır. Batıköy I fiderinin beslediği bölge genellikle konut ağırlıklıdır. İki adet dağıtım merkezlerinden beslenen kapalı devreler incelenmiştir. Dağıtım merkezlerinde bu fiderlerden başka beslenmekte



olan fider grupları vardır. İndirici merkezdeki güç transformatörü ve transformatör merkezlerindeki dağıtım transformatörleri ayrı ayrı çalışmaktadır.(2x1600kVA) Fiderin kış puant yükü yaz puant yükünde %25 daha fazladır. Kış puantı 18 MW'tır.

Dağıtım şebekesindeki reaktif akımın kompanzasyonu yapılması durumunu incelendiğinde; dağıtım merkezlerine reaktif akımın değerlerine göre devreye (kademeli) olarak giren ve yükün reaktif akımını kompanzasyonunu 34,5kV baraya bağlanacak kondansatör gruplarıyla yapılması uygundur.

Dağıtım şebekesindeki dengesizliğin olup olmadığının tespit edilmesi gerekir. Dengesizlik olması durumunda indirici merkezlerdeki transformatörün yıldız noktası direnç üzerinden topraklı olması nedeniyle sistemden bir artık akım akacaktır. Buakım güç kaybını oluşturur. Dengesizliğin tespiti için dağıtım merkezlerindeki fiderlerin ve dağıtım transformatörlerinin alçak gerilim çıkışlarının faz yük değerinin her bir fazın saatlik, aylık, mevsimlik yük durumları çıkartılmalıdır. Dengesizlik derecesinin azaltılması için reaktif gücün alçak gerilim barada oldukça iyi kompanze edilmeli, faz dengelerinin sağlanması için tüketici gruplarının dengeli olarak fazlara yüklenmesinin sağlanması gerekir. Bunun için enerji aldıkları noktaların ve faz bağlantılarının değiştirilmesi gerektirir.

Dağıtım şebekesinde SCADA sistemiyle işletilmesi hızlı olarak yük değişimlerinde yüklenen fiderlerin yükünün daha az yüklü fiderlere aktarılmasını sağlayarak kayıp azaltımında önemli bir yer tutar. Arıza durumlarında da sisteminde en az enerji kesitine neden olunur. SCADA sistemi dağıtım şebekesinin işletilmesinde kayıpların azaltımı için önerilir. Dağıtım şebekesindeki 24161 DM'den beslenen kapalı şebekenin puant yük durumunda , kapalı devrenin I. kolunun 24308, 24166, 24165 TM'lerinden oluşmakta II. kol 24164, 24163, 24162, TM'lerden ve 24295 TM'den beslenmekte olan diğer TMlerde bu kol üzerindedir. II. kol 24203 TM'de açıktır. I. kol üzerindeki gerilim düşümü: 6,96V II. kol üzerindeki gerilim düşümü:22,352V olarak bulunur. Yapılan hesaplamalarla fiderin açılmasının en uygun yerinin I. Kol üzerinde 24162 TM'de açılması, II. kol 24162 TM (Hariç) kolun uzantısı 24162 TM'de açılıp, 24203 TM'den beslenmesi en uygun çözümdür. Bu durumda I.Kol gerilim düşümü 6,96V II. Kol gerilim düşümü 10,96V olur. Kapalı şebekenin minimum kayıpla çalışma durumudur.

Dağıtım şebekesindeki transformatör merkezlerindeki 34,5/0,4kV 2x1600kVA dağıtım transformatörlerinin paralel olarak çalıştırılması, TM'nin gücü 780kVA'yı

geçmesi durumunda transformatörlerin paralel bağlanması kayıplar açısından daha iyidir. TM'nin gücü 780kVA'nın altında olması durumunda tek bir transformatör devrede olması gerekir.

Şebekelerde meydana gelen arızaların devre harici edilmesi esnasında, arızanın tespiti ve selektivitenin sağlanamaması dolayısıyla arızanın dışındaki transformatör merkezlerinin de etkilenmesiyle gereksiz elektrik kesintilerine neden olur. Bu durum ekonomik zararların oluşmasına neden olur. Ekonomik zararlar tüketici grubunun cinsine bağlıdır. Bu nedenle arızaların enerji sistemi en az derecede etkilemesi istenir.

Dağıtım şebekerinde kayıp etkenlerinden biride enerji sisteminde çalışan elemanların gereksiz olarak büyük veya yanlış seçilmesidir. Kısaca açıklayacak olursak, özellikle fabrikalarda çalışan alternatif akım motorlarının gereksiz olarak büyük seçilmesi de bir ek kayıp oluşturur.

Ülkemizde kayıpların çok fazla olması ve kayıp azaltımı için gerekli olan metotlarda yalnızca reaktif akım ile kompanzasyonu sık olarak kullanılmakta ve bu yöntemde tam sıhhatli olarak çakıştırılan sistemler oldukça azdır. Bu metotların kullanılabilmeye başlanması ile ülkemizde üretilen enerjiyi daha faydalı kullanmamız söz konusu olacak ve enerji darboğazına girdiğimiz bu günlerde kısa vade de bazı metotların uygulanması sonucu sistemde bir rahatlama meydana gelecektir. Bu sebeple özellikle büyük sanayi ve yapılaşmanın olduğu kısımlarda kısa sürede büyük enerji kayıplarının azalması sağlanacaktır. Kayıp azaltım metotlarının randımanlı olarak uygulanması ve gözetlenebilirliği açısından enerji sisteminin her notasındaki yük akışını saatlik, günlük, aylık ve mevsimlik olarak izlenebilirliğinin artırılması ve sağlıklı ölçümlerin yapılması metotların daha sıhhatli çalışması bakımından büyük fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] YILDIRIM, N., Teknik Olmayan Dağıtım Kayıpları, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı: 134,2000
- [2] AY, S., Dengesiz Yüklenen Enerji Dağıtım Tesislerinde Oluşan Ek Kayıplar, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı: 72, 1993
- [3] AY,S., The Effects of Current and Voltage Unbalances in Power Transformers upon Optimal Operation, Florence World Energy Research Symposium,pp.929-936 ,1986
- [4] BAYRAM, M., Dengesiz yüklerin Transformatörler Üzerine Tesirleri, Matbaa teknisyenleri Basımevi, 1979
- [5] ŞERİFOĞLU, N., Enerji Sistemleri I Ders Notları, İ.Ü., 1997
- [6] HENRIET, P.-TRAKAN, N., Elektrik İletim Şebekelerinin İşlemesi ve Koruması, Birinci Bölüm, İ.T.Ü.,1975
- [7] NEUMANN, R.-GÜRMEN, H., Dengesiz Çok Fazlı Sistemlerin Simetrik Bileşenler İle Analizi, İ.T.Ü., 1962
- [8] WAGNER, C.F., EVANS, R.D., Symmetrical Components as to the Analysis of Unbalanced Electrical Circuits, McGraw-Hill, 1993
- [9] TARKAN, N., AY, S., Enerji sistemlerinde Optimal Çalışma Büyüklüklerinin Belirlenmesi, Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, Y.T.Ü., 1988
- [10] AY, S., Analysis of Earth-Path Losses in Power Systems Resulting from Unbalanced Loading, International Conference Signals and Systems, Vol.2,pp.235-245 , 1987
- [11] FALLOU, J.-GÜRMEN H., Genel Elektroteknik Dersleri, Cilt ½,İ.T.Ü., 1967
- [12] ÇAKIR, H., Elektrik Şebeke Kayıpları, Y.T.Ü., 1985
- [13] BAYRAM, M.,Elektrik Tesisleri Dersleri,Cilt 1/1, İ.T.Ü.,1978
- [14] BAYRAM, M., Elektrik Tesislerinde Topraklama, İ.T.Ü.,1977
- [15] TMMOB, Elektrik Müh. Odası İstanbul Şubesi, Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları, 1983
- [16] MILLER,T.J.E., Reactive Power Control In Electric Systems,1982
- [17] BAYRAM, M., Güç Katsayısının Düzeltilmesi ve Güç Kondansatörleri,1977

- [18] TELEMECANIQUE, Elektrik Cihazlar San. A.Ş., Güç Faktörünün Kompanzasyonu, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:66 ,1991
- [19] İLİSU, İ., Reaktif Güç Kompanzasyonunda Otomatik Kondansatör Tesisleri, Elektroteknik Dergisi, Sayı:8, 1985
- [20] YILDIRIM, E., Reaktif Enerji Kompanzasyonu, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:61,1990
- [21] ASHMOLE, P.H., Tehcnical Summary of Reactive Compansation in Power Systems Industrial Applications, IEEE Digest 1979/52, Universtiy of Birmingham,England, 1979
- [22] YEŞİLKILIÇ, V., Elektrik Enerjisinde Tasarrufun Bir Aracı Olarak Dağıtım Otomasyonu, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:49,1988
- [23] PEKİNER, O.,F.,-ENSARİ, R., Enerji Dağıtım Optimizasyon Metotlarının Seçilmesi ve Uygulanması, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:104,1997
- [24] CİVANLAR, S., GRAINGER, J., J., YIN, H., LEE, S., H., Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4,No.3,pp.1217-1223, 1988
- [25] BARAN, M., E., WU, F.,F., Network Reconfiguration in Distiribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2,pp 1401- 1407,1989
- [26] CASTRO, C., A., WATANABE, A.,A., An Efficient Reconfiguration Algorithm for Loss Reduction of Distiribution Systems, Electric Power Systems Research 19, pp.137-144,1990
- [27] KIM, K., KO, Y., HUNG, K., H., Artifical Neural Network Based Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8,pp.1356-1366,1993
- [28] NARA, K., SATOH, T., KITAGAWA, M., Distribution System Loss Minimum Reconfiguration by Genetic Algorithm, Proc.3rd Symp. Expert Systems Application To Power Systems, pp.724-730,1991
- [29] TAYLOR, T.,LUBKEMAN, D., Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5,pp.239-246, 1991

- [30] ŞERİFOĞLU, N., Güç ve Enerji Kayıplarının Azaltılması Metotları Ders Notları, 2000
- [31] CHEN, C.,S., CHO, M., Y., Energy Loss Reduction by Critical Switches, IEEE Transaction onPower Delivery, Vol.8, No.3,pp.1246-1253, 1993
- [32] ALPERÖZ, N., Transformatörlerin Paralel Çalıştırılması, 3e Dergisi, Sayı:18 1995
- [33] SANER, Y., Güç Dağıtımı, Y.T.Ü., 1991
- [34] ALPERÖZ, N., Elektrik Enerjisi Dağıtımı, 1987
- [35] PEŞİNT, A., Elektrik Santralleri Enerji İletimi ve Dağıtımı, 1978
- [36] BAYRAM, M., Elektrik Tesisleri Dersleri Cilt 1,1978
- [37] İNAN, M., Orta Gerilim Şebekeleri, Cilt 2, 1982
- [38] ÖZAY, N., GÜVEN, N., Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Orta Gerilim Seviyesinin Belirlenmesi, EMO Dergisi. Sayı:397, 1996
- [39] TAYLAN, N., Dağıtım Şebekelerinde İşletme Kayıpları Hakkında Öneriler, EMO Dergisi, Sayı:15, 1999
- [40] KAYPMAS, A., ÇELENLİOĞLU, M., Dalı, O.G. Dağıtım Şebekelerinde Yük Akışı Analizi, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:104, 1997
- [41] ALPERÖZ, N., Elektrik Transformatörleri I-II,1980
- [42] BAYRAM, M., Elektrik Tesislerinde Enerji Kesilmesinin Sebep Olduğu Zararlar ve Bunlara Karşı Alınan Tedbirler, Elektrik Enerjisi Sempozyumu, 1984
- [43] ÇELEBİ, Ö., Orta gerilim Şebekelerinde Kullanılan Gerilim Kademelerinde Optimizasyon, Yüksek lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994
- [44] TÜRELİ, A., Paralel Enerji Nakil Hatlarında Dengesizlik ve Kayıplar Yönünden Optimum Faz Sıralaması ve Transpozisyonu, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu,1971
- [45] ŞERİFOĞLU, N., Transformatörler Ders Notları,2000

ÖZGEÇMİŞ

1974 Bursa’da doğdum. İlkokul ve ortaokulu Edremit’te okudum. 1992 yılında Edremit Elektrik Teknik Lisesini bitirdim. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğini kazandım. 1996 yılında aynı okuldan mezun oldum ve aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünde halen Yüksek Lisans öğrenimime devam etmekteyim.

