

45464



T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK TESİSLERİNDE KULLANILAN
ŞÖNT KAPASİTÖRLERİN
SİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. İRFAN GÜNEY

HAZIRLAYAN
HAKAN ÇITAK

İSTANBUL - 1995

ÖNSÖZ

Günümüzde bütün dünya ülkeleri, yeryüzü ve yeraltı enerji kaynaklarından en ekonomik şekilde faydalanma yollarını ararken, kurulmuş olan enerji kaynaklarının da en verimli şekilde kullanılması üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Bu nedenle elektrik enerjisinin, asrımızın en yaygın kaynaklarından biri olarak üretildiği, santrallerden en küçük alıcıya kadar dağıtımında en az kayıpla taşınmanın hesapları ve yolları araştırılmaktadır.

Dünyamızda elektrik enerjisine olan ihtiyacın her geçen gün biraz daha artması, enerji üretiminin gittikçe pahalılaşması; taşınan enerjinin de kaliteli, ucuz ve iş gören aktif enerji olmasını daha da zorunlu hale getirmektedir. Bu zorunluluk ise; sadece manyetik alan meydana getirmeye yarayan ve aktif akım ile birlikte alıcıya kadar taşınan reaktif akımın alıcılara yakın yük merkezlerinde en ekonomik ve en uygun yöntem olan şönt kapasitör bankları ile üretilmesini gündeme getirmiştir.

Elektrik sistemlerinin şönt kapasitör bankları ile desteklenmesi sonucunda genaratörlerin, trafo merkezlerinin, enerji iletim ve dağıtım hatlarının gereksiz yere yüklenmeleri önlenecek ayrıca diğer elektrik ekipmanlarının da lüzumsuz yere büyük değerlerde seçilmeleri gerekmeyecektir. Böylece, ülkemizin enerji politikasına ait gerek işletme gerekse ekonomik bir çok problemi de çözüme kavuşacaktır.

ÖZET

Enerji üretim merkezleriyle tüketim bölgeleri arasındaki mesafelerin uzun olması ve tüketici gücünün artması, hatlardaki gerilim düşümlerinin kabul edilebilir sınırların üstüne çıkmasına neden olmaktadır. Tüketim gruplarındaki yüklerin değişken olması ise güç katsayısının istenen sınırlar içinde tutulamamasına sebep olur.

Düşük güç faktörü ile hatlardaki gerilim düşümlerinin artması; reaktif akım ve elektrik tesislerinin masraflarını arttırdığı gibi elde edilen enerjinin de maliyetini arttırmaktadır. Güç faktörünün düzeltilmesi ile enerji iletim hatlarındaki gerilim düşümlerinin azaltılması şönt kapasitör gruplarının kurulmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada; elektrik tesislerinde kullanılan şönt kapasitörler ele alınarak yapısal olarak incelenecek, farklı tesislerdeki işletme problemleri ortaya konacaktır. Türkiye Elektrik Kurumu tarafından tesis edilen enerji nakil hatlarında sayısal değerler alınarak, şönt kapasitör gruplarının tesis edilmesinden sonraki işletme büyüklükleri elde edilerek karşılaştırma yapılacak ve tüm enterkonnekte sistemine şönt kapasitör gruplarının en ekonomik bir şekilde nasıl yerleştirileceği araştırılacaktır.

ABSTRACT

The long distance between the energy production centres and the consumption areas together with the increasing of the power requirement cause the voltage regulation on the lines exceed the acceptable limits. Since the loads of the consumption groups are variable, the power factor cannot be stabilized between the required limits.

Increase in the voltage regulation due to the low power factor increases the cost of reactive current and electrical plants, and so also causes increase in the cost of the energy produced. By putting in order the power factor, the voltage regulation on the energy transmission lines can be decreased by using the shunt capacitor groups.

In this study, the shunt capacitors used at the electrical plants shall be examined and their operational problems at different plants shall be determined by comparing the numerical values of the energy transmission lines planted by Turkish Electricity Authority and the operation values of the shunt capacitor groups installed, the most economic way to locate the shunt capacitor groups belonging to the complete enterconnect system is searched.

TEŐEKKÖR

Tez alıőmamda yardımlarını benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. İrfan GÖNEY ' e , bu tezin yazımında bilgisayarını ve zamanını bana ayıran arkadaşım ÖZkan SERPER ' e , öğrenim hayatım boyunca beni sürekli destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	IX

1. BÖLÜM

1. GİRİŞ	1
----------	---

2. BÖLÜM

2. KONDANSATÖRLERİN TEMEL ESASLARI	3
2.1. Alternatif Akımdaki Kondansatörler	3
2.1.1. Kapasite	3
2.1.2. Reaktif güç	4
2.1.3. Kayıp faktörü	4
2.1.4. Kondansatörlerin paralel ve seri bağlanması	6
2.1.5. Kondansatörlerin yıldız ve üçgen bağlanması	6
2.2. Kondansatörlerin Fiziksel Yapıları	8
2.2.1. İzolasyon malzemeleri	8
A-) Katı izolasyon maddeleri	8
a-) Kağıt	8
b-) Yapay film	8
B-) Sıvı izolasyon maddeleri	8
a-) Madensel yağlar	10
b-) Askarele	10
C-) Elektrotlar	10
a-) Metal yaprak elektrotlar	10
b-) Buharlanmış elektrotlar	10

<i>D-)Dielektrik cinsleri</i>	11
<i>a-)Kağıt madensel yağ dielektriği</i>	11
<i>b-)Kağıt - askarele dielektriği</i>	11
<i>c-)Madensel yağ emprenyeli polypropylen film</i>	11
<i>d-)Polypropylen - kağıt dielektriği</i>	12
<i>2.3.Kondansatörlerde Elektriksel Zorlanmalar</i>	12
<i>2.3.1.Elektriksel alan şiddeti</i>	12
<i>2.3.2.Kısmi deşarjlar</i>	13
<i>2.4.Kondansatörlerde Termik Zorlanmalar</i>	15
<i>2.4.1.Kondansatör içindeki ısı oluşumu</i>	15
<i>2.4.2.Kondansatörde ısı dağılımı</i>	16
<i>2.4.3.Isınma ve devrilme gücü</i>	17
<i>2.4.4.Isı geçişi (Akışı)</i>	18
<i>2.5.Eskime Ve Ömür Kaybı</i>	18
<i>2.6.Konstrüksiyon Yapı</i>	19
<i>2.6.1.Bobin cinsleri</i>	19
<i>A-)Yuvarlak bobin</i>	19
<i>B-)Düz bobin</i>	20
<i>2.6.2.Bobin gruplarının hazneye yerleştirilmesi</i>	20
<i>A-)Bobin gruplarının oluşturulması</i>	20
<i>B-)Bobinlerin gövdeye karşı izolesi</i>	21
<i>C-)Gövde formu (Hazne)</i>	21
<i>2.7.Kondansatörde Koruma Düzenleri</i>	22
<i>2.7.1.Bobin veya ünite koruması</i>	22
<i>2.7.2.Hazne koruması</i>	22
<i>2.7.3.Aşırı sıcaklık koruması</i>	22
<i>2.7.4.Deşarj dirençleri</i>	23

3. BÖLÜM

3.ELEKTRİK TESİSLERİNDEKİ ŞÖNT KAPASİTÖR BANKI	25
3.1.Genel Uygulama Hakkında Bilgi	25
3.2.Şönt Kapasitör Ve Senkron Kondanser	25

3.3.Şönt Kapasitörlerin Temel Etkileri	27
3.3.1.Hat akımının azalması	27
3.3.2.Artan yük gerilimi seviyesi	29
3.3.3.Azalan sistem kayıpları	31
3.3.4.Kaynak devrelerinde artan güç faktörü	33
3.3.5.Sistemin görünür gücündeki azalma	34
3.4.Sistemin Şönt Kapasitör İhtiyacının Belirlenmesi	34
3.4.1.Reaktif güç ihtiyacının tahmini	35
3.4.2.Şönt kapasitör bankının sistem içindeki yerleşimi	36
A-)Dağıtım sisteminde kompanzasyon	37
B-)Ekonomik karşılaştırma	37
C-)Acil durum önceliği	42
D-)Minumum sistem kaybı için yerleşim	42
3.5.Şönt Kapasitör Banklarının Ekonomik Yararlarının Hesaplanması Ve Değerlendirilmesi	44
3.5.1.Gerilim düşümlerindeki azalma	48
3.5.2.Kapsitör kullanıldıktan sonra dağıtım hattındaki gerilim düşümü	50
3.5.3.Taşıma kapasitesindeki artış	50
3.5.4.Kapasitör kullanıldıktan sonra azaltılan enerji kayıpları	52
3.5.5.Daha yüksek sistem geriliminden dolayı artan gelirler	53
3.5.6.Artan trafo merkezi kapasitesi	55
3.5.7.Sonuç	57
3.6.Orta Ve Yüksek gerilim Bank seçenekleri	57
3.6.1.Üçgen bank	58
3.6.2.Nötrü topraklı yıldız bank	58
3.6.3.Nötrü topraksız yıldız bank	59
3.6.4.İki eşit parçalı yıldız bank	59
3.7.Şönt Kapasitör Banklarının Sistemlere Elektriki Bağlantısı	59
3.7.1.Sabit ve anahtarlamalı şönt kapasitör bankları	59
3.7.2.Anahtarlama araçları	60
3.7.3.Anahtarlama aracının kontrolü	61
3.8.Şönt Kapasitör Banklarının Korunması	63
3.8.1.Darbe gerilim koruması	63
3.8.2.Sistem koruması	63
3.8.3.Dengesizlik koruması	64

4. BÖLÜM

4.ŞÖNT KAPASİTÖR BANKLARININ İŞLETME PROBLEMLERİ	66
4.1.Şönt Kapasitör Bankının Sistem Kararlılığına Etkisi	66
4.2.Şönt Kapasitör Bankları İle Ortaya Çıkan Rezonans Problemleri	66
4.2.1.Tek fazlı dağıtım trafosu rezonansı	66
4.2.2.Üç fazlı dağıtım trafosu rezonansı	67
4.2.3.Direk rezonans aşırı gerilimleri	68
4.3.Rezonans Problemlerinin Sistem Üzerindeki Etkileri	68
4.3.1.Sigorta amperajlarının artırılması	72
4.3.2.Kapasitör bankının yerinin değiştirilmesi	72
4.3.3.Reaktörlerin kullanılması	72
4.3.4.Haberleşme devrelerinde gürültü frekansındaki akımların indüklenmesi	73
4.4.Hafif Yüklerde Aşırı Gerilimler	73
4.5.Şönt Kapasitör Banklarının Kumanda Ve Korunmasında Kullanılan Kesiciler İle Reaktörlerin İşletme Problemlerine Sayısal Örnekler	74
4.5.1.Şönt kapasitör banklarının açılmasında akımın sıfırdan geçmeden kesilmesinde tranzient toparlanma gerilimi hesabı	74
4.5.2.Şönt kapasitör banklarında ani enerjileme akımları	77
4.5.3. 36 KV 'luk sistemde 10 MVAR 'lık şönt kapasitör ünitelerinin korunmasında kullanılan kesici ve seri reaktörlerin karakteristiklerinin hesabı	80

5.BÖLÜM

5.SONUÇ	85
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	89

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

- A : Yüzey
 AT : Akım Transformatörü
 b : Genişlik
 C : Kapasite
 C° : Santigrad Derece
 C_{eq} : Eşdeğer Kapasite
 cm : Santimetre
 C_r : Yıldız Bağlı Kondansatörlerin Kapasitesi
 C_w : Kondansatörün Isınma Kapasitesi
 C_{Δ} : Üçgen Bağlı Kondansatörlerin Kapasitesi
 $\cos\phi_1$: Şönt Kapasitör Bankı Kullanmadan Önceki Güç Faktörü
 $\cos\phi_2$: Şönt Kapasitör Bankı Kullanıldıktan Sonraki Güç Faktörü
 d : Mesafe
 dm : Desimetre
 E : Elektriksel Alan şiddeti
 E_L : Yük Gerilimi
 E_s : Kaynak gerilimi
 F : Farad
 f_t : Ani Enerjileme Akımı Frekansı
 H : Henry
 I : Akım
 I : Yüzde Akım
 I_c : Kondansatör Akımı
 I_{enj} : Enjekte Akımı
 I_r : Yüzde Temel (Fundamantal) Akım
 I_H : Yüzde Harmonik Akım
 I_x : Kapasitör Eklenmeden Önceki Reaktif Akım
 I_m : Faz - Toprak Akımının Tepe Değeri
 I_1 : Kapasitörsüz Hat Akımı
 I_2 : Kapasitörlü Hat Akımı
 $i(t)$: Enerjileme Akımının Ani Değeri

K : Kelvin, Kesici
KA : Kilo Amper
KV : Kilo Volt, Fazlar Arası Gerilim
KVA : Kilo Volt Amper, Üç Fazlı Yük Gücü
KVAR : Kilo Volt Amper Reaktif, Kapasitör Bank Gücü
KWh : Kilo Watt Saat
KWh₁ : Kapasitör Kullanmadan Önceki Kilo Watt Saat Tüketimi
KWh₂ : Kapasitör Kullanıldıktan Sonraki Kilo Watt Saat Tüketimi
L : Endüktans
ℒ : Laplace Transformasyonu
l : Uzunluk
L_{eq} : Eşdeğer Endüktans
MΩ : Mega Ohm
m : Metre
mH : Mili Henry
MVAR : Mega Volt Amper Reaktif
N : Nötr
nm : Nono Metre
P : Aktif Güç
PCB : Polychlorierte Biphenyle
P_d : Dielektriğin Meydana Getirdiği Kayıp Güç
PDES : Partial Discharge Extinction Stress [Kısmi Deşarj Sönme Yüğü]
PDEV : Partial Discharge Extinction Voltage [Kısmi Deşarj Sönme Gerilimi]
PDIS : Partial Discharge Inception Stress [Kısmi Deşarj Başlangıç Yüğü]
PDIV : Partial Discharge Inception Voltage [Kısmi Deşarj Başlangıç Gerilimi]
P_{k_{azalma}} : Şönt Kapasitör Montajından Sonra Aktif Güç Kaybındaki Azalma
PP : Yapay film [Polypropylen]
Q : Reaktif Güç
q : Elektriksel Yüğü
Q_c : Kapasitör Tarafından Sağlanan Reaktif Güç
Q_k : Devrilme Gücü
Q_{k_{azalma}} : Şönt Kapasitör Montajından Sonra Reaktif Güç Kaybındaki Azalma
Q_s : Kaynak Tarafından Sağlanan Reaktif Güç
Q_t : Kapasitörsüz Reaktif Güç

R : Omik Direnç
 R_a : Harici Isı Geçiş Direnci
 R_d : Toplam Isı Geçiş Direnci
 R_i : Dahili Isı Geçiş Direnci
 R_L : Kayıp Merkezine Kadar Hattın Direnci
 R_o : Nötr Noktası Direnci
 S : Sigorta
 sn : Saniye
 S_1 : Kapasitörsüz Zahiri Güç
 S_2 : Kapasitörlü Zahiri Güç
 t : Sıcaklık, Zaman
 T_L : Dayanma Süresi
 t_o : Ortam Sıcaklığı
 U : Potansiyel Fark
 U_c : Kapasitör Uçları Arasındaki Potansiyel Fark
 V : Yüzde Gerilim
 V_A : Yüzde Gerilim Artışı
 V_D : Yüzde Gerilim Düşümü
 V_F : Yüzde Temel (Fundamantel) Gerilim
 V_H : Yüzde Harmonik Gerilim
 V_m : Faz - Toprak Geriliminin Tepe Değeri
 V_{ort1} : Kapasitör Kullanmadan Önce Yük Sahasındaki Ortalama Gerilim
 V_{ort2} : Kapasitör Kullandıktan Sonra Yük Sahasındaki Ortalama Gerilim
 V_{xd} : Aktif Akımdan Dolayı Meydana Gelen Yüzde Gerilim Düşümü
 V_t : Kapasitör Bankında Kalan Elektrik Yüğü Gerilimi
 $V(t)$: Enerjileme Geriliminin Ani Değeri
 V_{xd} : Reaktif Akımdan Dolayı Meydana Gelen Yüzde Gerilim Düşümü
 W : Watt
 ω : Dairesel Frekans
 X_c : Kapasitif Reaktans
 X_L : Endüktif Reaktans
 X_o : Nötr Noktası Endüktansı

Z : Empedans
 Δt : Sıcaklıktaki Azalma Miktarı
 ΔI : Hat Akımındaki Birim Başına Azalma
 ΔKW : Taşıma Kapasitesindeki Artış
 ΔKWh : Kayıp Enerjideki Yıllık Azalma
 ΔKVA : Orjinal Güç Faktöründeki Kapasitede Artma Miktarı
 α : Isı Geçirme Katsayısı
 α_a : Harici Isı Geçirme Katsayısı
 α_i : Dahili Isı Geçirme Katsayısı
 β : Kayıp Faktörü
 β_k : Devrilme Faktörü
 Σ : Toplam
 μm : Mikro metre
 μF : Mikro Farad
 δ : Kayıp açısı
 δ : Dielektrik Kayıplarının Kayıp Açısı
 $\$$: US Amerikan Doları

1. GİRİŞ

Enterkonnekte elektrik şebekelerinin ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi için alınacak en önemli tedbirlerden biri reaktif şönt kapasitör banklarının kullanımınıdır. Şebekeler geliştikçe ve yükleme seviyeleri yükseldikçe bu sorun daha da belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, sistemin reaktif şönt kapasitör ihtiyacının tesbitinde, teknik parametrelerin yanısıra, sistem işletmesinin ekonomi ve verimliliğini ilgilendiren idari kararlar ve tercihler de söz konusudur. Elektrik şebekelerinde kullanılan şönt kapasitörler birer reaktif güç üreticilerdir. Kapasitörler genaratörlere ilaveten, yükün ihtiyacı olan reaktif gücü üretirler. Teorik olarak aktif ve reaktif güç talebini genaratör ile karşılamak mümkündür. Ancak sistemin işletilmesi sırasında, yaratacağı teknik sorunlar ve ekonomik nedenlerden bu mümkün değildir. Bu nedenle şebekelerde şönt kapasitör uygulaması en uygun çözümdür.

Elektrik şebekelerinde kullanılan şönt kapasitör banklarını oluşturan kapasitör üniteleri, seri ve paralel bağlanarak daha yüksek gerilimlere ve güçlere ulaşılabilir. Kapasitör imalat teknolojisinde son yıllarda büyük gelişmeler olmuştur. Bugün dielektrik olarak kağıt izolasyon yerine yüzeyi pürüklü polypropylen film kullanılmaktadır. Kapasitör elektrotları olarak ise alüminyum folyo tercih edilmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak, PCB (Polychlorierte Biphenyle) türündeki kapasitör yağlarının yerini de non-PCB türündeki, yani doğada kendiliğinden kolaylıkla yok olabilen yağlar almıştır. Üretim teknolojisindeki bu gelişmeler sayesinde kapasitörün aktif kayıpları $3 \text{ Watt} / \text{KVAR}$ seviyesinden $0,15 \text{ Watt} / \text{KVAR}$ mertebelerine düşmüştür. Bu kayıplar kondansatörlerin normal çalışma sıcaklığına etken bir faktör olup çok önemlidir.

Türkiye gibi kalkınmakta olan ülkelerde tüketim artışının karşılanması için her yıl mevcut sistemin %15 'i oranında yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır [1]. Bu teorik bir ifadedir, pratikte başta ekonomik sebeplerden dolayı bu rakama ulaşmak imkansızdır. Bununla birlikte mümkün olduğu kadar yeni santrallerin yapımında programlar dahilinde olmakla beraber, yukarıdaki teknolojik gelişmelerin ürünü olan günümüz şönt kapasitör banklarının kullanılması, enerji ekonomisi açısından aşırı boyutlara varan reaktif enerji artışını karşılamak için zorunlu olarak alınan tedbirlerin başında gelmektedir. Bu sayede elektrik enerjisi sistemlerinde; kayıpların düşürülmesi ile ilave elektrik enerjisi kazanılması, genaratörlerin daha yüksek $\text{Cos}\phi$ ile çalışması, yük baralarındaki gerilimlerin yükseltilmesi ve sistem kapasitelerinin geri kazanılması gibi arzu edilen ekonomik tedbirlerin gerçekleşmesi temin edilir.

Kapasitörlerin bakım sorunlarının olmayışı ve meydana gelen işletme problemlerinin tecrübeler neticesinde o zaman halledilme yoluna gidilmesi, diğer reaktif güç üreticileri açısından şönt kapasitör banklarına büyük ekonomik avantajlar sağlar.

Bu çalışmanın birinci bölümünde niçin şönt kapasitör bankları kullanılmalıdır? Sorusuna genelde yanıt verilerek konuya giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde ise, kapasitörlerin temel esasları ele alınmıştır. Alternatif akımdaki kapasitörler elektriksel büyüklükleri açısından incelenmiş, ayrıca kapasitör izolasyon malzemelerinin önemli özellikleriyle fiziksel yapıları da yine bu bölümde ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, şönt kapasitör montajının şebeke üzerindeki temel etkileri ile birlikte sistemin reaktif güç ihtiyacının ve belirlenen reaktif gücün sistem bazında yerleşimiyle ilgili analize yer verilmiştir. Elde edilen temel bilgiler kullanılarak da şönt kapasitör montajının ekonomik yararlarının hesaplanması ve değerlendirilmesi başlığı altında örnek bir problem verilmiştir. Yine bu bölümde orta ve yüksek gerilim şönt kapasitör banklarının dizaynı, anahtarlanması ve korumasıyla ilgili metodlara da ayrıca değinilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, şönt kapasitör banklarının işletme problemleri ile birlikte işletme problemlerine sayısal örnekler verilmiştir.

Sonuç bölümü olan beşinci bölümde ise, bu çalışmanın genel bir yorumu ile birlikte elektrik şebekelerinin ekonomik ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için öneriler sunulmuştur.



2. KONDANSATÖRLERİN TEMEL ESASLARI

2.1. Alternatif Akımdaki Kondansatörler

2.1.1. Kapasite

Kapasite, iletkenlerden ve izole maddelerden oluşan bir sistemin elektriksel yükü alabilme yeteneğinin bir ifadesidir. Tanıma göre iletkenin C [Farad] kapasitesi, alınan q [Coulomb] yükünün U [Volt] potansiyel farkına oranıdır ve,

$$C = \frac{q}{U} \quad [\text{Farad}] \quad (2.1.)$$

ifadesiyle tanımlanabilir. Bu özelliğin korunması için imal edilen cihaza ise kondansatör denir.

Plakalı kondansatör denilen ve *şekil 2.1.* de görülen kondansatörün kapasitesi için daha genel olan,

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_o A}{d} \quad [\text{Farad}] \quad (2.2.)$$

bağıntısı kullanılır. Bu ifade de,

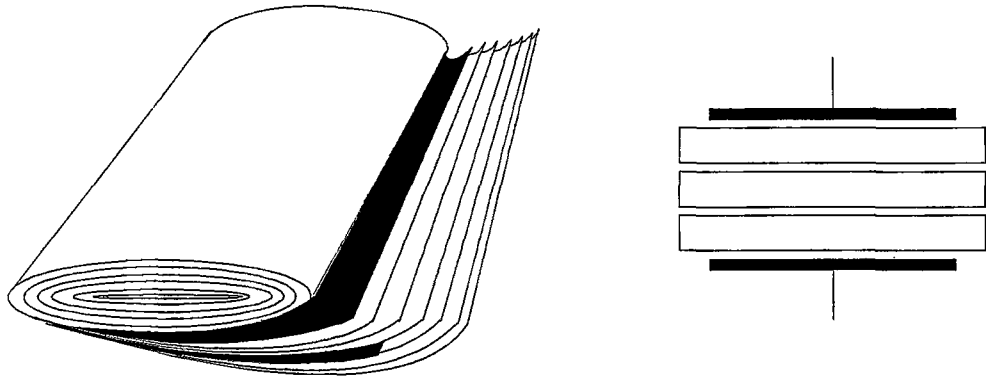
ϵ_r : Bağıl dielektrik katsayısını

ϵ_o : Vakumun dielektrik katsayısını (F/m)

A : Elektrotların yüzeyini (m^2)

d : Elektrotlar arası mesafeyi (m)

göstermektedir.



Şekil 2.1. Bir kondansatör elemanı

2.1.2. Reaktif güç

Bir işletme kondansatörünün ana görevi reaktif güç meydana getirmektir. Alternatif akım ve gerilim altındaki kayıpsız bir C kapasiteli kondansatördeki reaktif güç,

$$Q = U.I = U^2 \cdot \omega.C = \frac{I^2}{\omega.C} \quad [VAR] \quad (2.3.)$$

dir.

Bir kondansatördeki elektrot levhalar arasındaki elektrik alan şiddetini, levhalar arasındaki potansiyel fark ve uzaklık ile ifade edecek olursak,

$$E = \frac{U}{d} \quad [V/\mu m] \quad (2.4.)$$

yazabiliriz.

Dielektrik katsayıları için $\mathcal{E} = \epsilon_0 \epsilon_r$ [$\epsilon_0 \cong 10^{-9} / 36 \pi \quad F/m$] kısaltması yazılacak olursa bağıntı (2.2.) deki kapasite,

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad [Farad] \quad (2.5.)$$

halini alır.

Bütün bu bağıntılar yardımıyla yukarıda yazılan kondansatör gücünün hangi yapısal büyüklüklere bağlı olduğunu görmek için,

$$Q = U^2 \omega \cdot \epsilon \frac{A}{d} \quad [VAR] \quad (2.6.)$$

bağıntısı yazılabilir [2].

2.1.3. Kayıp faktörü

Kondansatör kayıpları, kondansatörün tükettiği aktif güçtür. Elektrot kenarlarının durumu (kısmi deşarj yoğunluğu), elektrot ve izolasyon sisteminin cinsi, izolasyon sisteminin sıcaklığı gibi büyüklükler kayıp faktörünü belirler. Bu büyüklükler kondansatörde bulunan gerilim ile kondansatör akımı arasında 90° den daha küçük kayıp açısı δ 'i oluşturur. (Şekil 2.2.) Kondansatördeki kayıp güç için,

$$P = U.I.Cos\varphi = U.I.Sin\delta \quad [Watt] \quad (2.7.)$$

reaktif güç için ise,

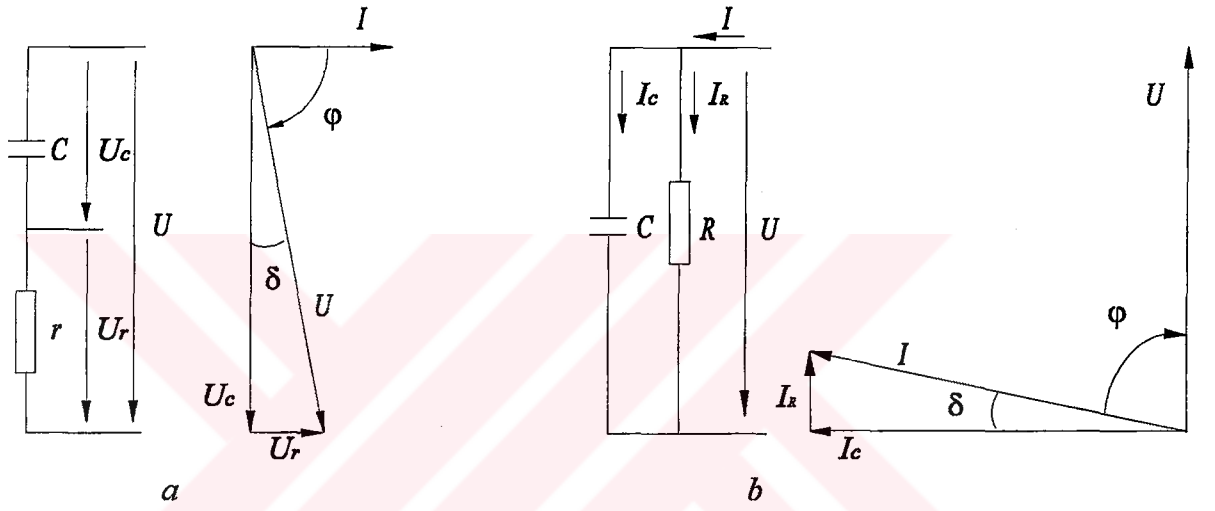
$$Q = U.I. \sin \varphi = U.I. \cos \delta \quad [VAR] \quad (2.8.)$$

yazabiliriz.

Kayıp açısı tanjantı, kondansatör kayıplarının kondansatör reaktif gücüne bölümüdür ve,

$$\tan \delta = \frac{P}{Q} \quad [W/VAR] \quad (2.9.)$$

ifadesiyle tanımlanabilir.



Şekil .2.2. Kondansatör kayıplarının seri ve paralel bağlı dirençle ifadesi

a-) Seri bağlı direnç ile

b-) Paralel bağlı direnç ile

Küçük frekans değerleri için geçerli basitleştirilmiş şekillerde kondansatör kayıpları, kayıpsız bir kondansatör ile paralel veya seri bir direnç göz önüne alınarak incelenir.

Buna göre kayıp açısı tanjantı seri bağlı dirençde,

$$\tan \delta = \frac{U_r}{U_c} = \frac{I.r}{I \frac{1}{\omega.C}} = r. \omega.C \quad (2.10.)$$

Paralel bağlı dirençde ise,

$$\tan \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{\frac{U}{R}}{U. \omega.C} = \frac{1}{R. \omega.C} \quad (2.11.)$$

bağıntılarıyla bulunabilir [3].

2.1.4. Kondansatörlerin paralel ve seri bağlanması

Alternatif gerilim altındaki paralel bağlı kondansatör devrelerinde toplam kapasite,

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad [Farad] \quad (2.12.)$$

ve kayıplı kondansatörlerin kayıp açısı tanjantı,

$$\tan\delta = \frac{C_1 \cdot \tan\delta_1 + C_2 \cdot \tan\delta_2 + \dots + C_n \cdot \tan\delta_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n} \quad (2.13.)$$

dir.

Seri bağlı kondansatörler için toplam kapasite ise,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.14.)$$

ve kayıp açısı tanjantı ise,

$$\tan\delta = \frac{\frac{1}{C_1} \tan\delta_1 + \frac{1}{C_2} \tan\delta_2 + \dots + \frac{1}{C_n} \tan\delta_n}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} \quad (2.15.)$$

dir [3].

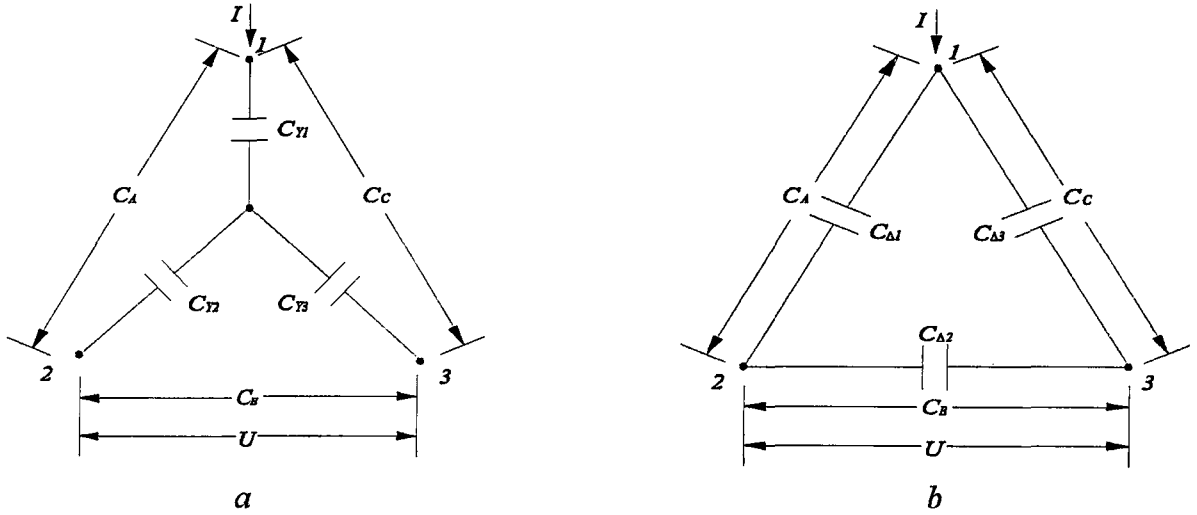
Paralel veya seri bağlı kondansatörler akım veya gerilim değerlerini kapasiteleri oranında paylaşırlar. [$X_c = 1 / \omega \cdot C$]

2.1.5. Kondansatörlerin yıldız ve üçgen bağlanması

Yıldız bağlı kondansatörlerin *şekil 2.3.a*'daki 1 ve 2 nolu bağlantı kutupları arasındaki kapasitesi,

$$C_A = \frac{C_{r1} \cdot C_{r2}}{C_{r1} + C_{r2}} \quad [Farad]$$

dir.



Şekil 2.3. Kondansatörlerin hatta a-) Yıldız b-) Üçgen bağlanması

$C_r = C_{r1} = C_{r2} = C_{r3}$ için 3 fazlı reaktif güç,

$$Q_r = 3 \cdot \left[\frac{U}{\sqrt{3}} \right]^2 \omega \cdot C_r = U^2 \omega \cdot C_r = 3 \frac{I^2}{\omega \cdot C_r} \quad [VAR] \quad (2.16.)$$

dir.

Üçgen bağlı kondansatörlerin şekil 2.3.b deki 1 ve 2 nolu bağlantı kutupları arasındaki kapasitesi,

$$C_A = C_{\Delta 1} + \frac{C_{\Delta 2} \cdot C_{\Delta 3}}{C_{\Delta 2} + C_{\Delta 3}} \quad [Farad]$$

dür.

$C_A = C_{\Delta 1} = C_{\Delta 2} = C_{\Delta 3}$ için 3 fazlı reaktif güç,

$$Q_\Delta = 3 \cdot U^2 \omega \cdot C_A = 3 \left[\frac{I}{\sqrt{3}} \right]^2 \frac{1}{\omega \cdot C_A} = \frac{I^2}{\omega \cdot C_A} \quad [VAR] \quad (2.17.)$$

dır.

Yukarıdaki bağıntılarda $Q_r = Q_\Delta$ ise $C_r = 3 \cdot C_\Delta$ dir.

Bağlantı kutupları arasındaki kapasiteler (kondansatörler yıldız veya üçgen bağlı olsun) C_A, C_B ve C_C ölçüldüğünde, kondansatörlerin toplam reaktif gücü için yeterli hassasiyetle

$$Q = \frac{2}{3} U^2 \cdot \omega \cdot [C_A + C_B + C_C] \quad [VAR] \quad (2.18.)$$

yazılabilir [4].

2.2.Kondansatörlerin Fiziksel Yapıları

2.2.1.İzolasyon malzemeleri

Kondansatörler için genelde organik izolasyon maddeleri kullanılır. Kondansatör izolasyon malzemelerinin önemli özellikleri bir araya getirilerek *tablo 2.2.* de verilmiştir.

A-)Kati izolasyon maddeleri

a-)Kağıt : Kağıt gerek emprenye edilerek stabilite kazanabilmesi, gerekse yüksek dielektrik sabitesi nedeniyle küçümsenmeyecek bir yalıtkandır. Ancak kayıplarının yüksek, delinme geriliminin düşük olması kağıt için büyük bir dezavantaj teşkil eder. Ekseriyetle yoğunluğu $1,5 \text{ gr/cm}^3$ dielektrik katsayısı $6,5$ olan kağıt kullanılmakla beraber kullanılan diğer kağıt malzemeler aşağıda *tablo 2.1.* de verilmiştir [3].

Tablo 2.1. Dielektrik Olarak Kullanılan Kağıt Malzemelerin Özellikleri

<i>Saten Dereceleri</i>	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>S</i>
<i>Yoğunluk gr/cm³</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,0</i>	<i>1,1</i>	<i>1,2</i>	<i>1,3</i>
<i>Hacim içindeki % Lif oranı</i>	<i>53</i>	<i>60</i>	<i>67</i>	<i>73</i>	<i>80</i>	<i>87</i>

Kondansatörlerde izolasyon malzemelerinin artan yoğunluğu ile delinme gerilimi ve kayıp faktörü yükselir. Bu nedenle iki büyüklük arasında bir optimuma varmak için kullanılan yalıtım amaçlı kağıtlar 5 ila $30\mu\text{m}$ kalınlıkta imal edilirler. Yukarıdaki sebeplerin yanında, büyük hacimsel özellik taşımaları ve yüksek nemlilik artışı nedeniyle kağıt, bir izole sıvıyla birlikte vakum altında kurutulur ve emprenye edildikten sonra uygun bir dielektrik olarak kullanılabilir [3].

b-)Yapay film : Yapay maddeler hidrokarbon temeli üstüne pres ve döküm işleminden geçtikten sonra işlenebilir film haline gelirler. Dielektrik katsayısı emprenye edilmiş kağıtdan daha azdır. Fakat yüksek gerilim değerlerine dayanma üstünlükleri $[\mathcal{E}.E^2]$ daha büyük elektrik alan şiddetlerinde kullanılmasına müsaade eder. Yüksek izolasyon direnci, düşük dielektrik kayıp faktörüne sahip olmaları, ayrıca rutubete karşı bir direnç arzetmesi nedeniyle günümüz kondansatör teknolojisinde çokça kullanılan bir malzemedir. Dielektrik katsayısını kuvvetlendirmek için emprenyeli kağıtla birlikte kullanılabilirler. Polystyrol, Polypropylen ticari isimleriyle kullanılmaktadırlar. Yapay filmler $30\mu\text{m}$ kalınlığa kadar işlenebilirler [3].

B-)Sıvı izolasyon maddeleri : Emprenye etme vasıtasıyla boşlukların sıvı izoleli maddelerle doldurulması sonucuna gidilmelidir. Çünkü sıvı izolasyon maddelerinin dielektrik katsayıları, gazlı izolasyon malzemelerin dielektrik katsayılarından daha yüksektir.

Tablo 2.2. Kondansatörler için izole malzeme özellikleri (20 °C deki değerler) [3].

Malzeme Cinsi	Yoğunluk kg/dm ³	Dielektrik katsayısı ϵ_r	Özgül direnç $\Omega \cdot \text{cm}$	Delinme gerilimi (50 Hz) V/ μm	tan $\delta \cdot 10^4$	Max. kullanılabilme sıcaklığı °C
Polystyrol *	1,05	2,55	> 10 ¹⁷	> 200	< 2	80
Polypropylen *	0,91	2,2	4.10 ¹⁷	340	2	100
Madensel yağ	0,85...0,87	2,13...2,17	> 10 ¹³	> 20	< 10	100
Polikarbonat *	1,2	2,8...3,0	10 ¹⁷	280	10	135
Kağıt	1,2	≈ 3	$\approx 10^{16}$	100 **	≈ 20	100
Triklorodifenil (Sentetik yağ)	1,4	5,9	> 10 ¹³	> 50	< 50	150

* Film kalınlığı 10 μm

** 2 tabaka kağıt herbiri 8 μm

U
n
P
o
l
i
a
r

P
o
l
i
a
r

a-) Madensel yağlar : Karışımında kullanılan aromatik (Benzol ve Naftalin türevi) ve alifatik (Parafin) hidrokarbonlardır. Madensel yağlar polar olmayan sıvılar olarak küçük dielektrik katsayısına ve düşük kayıplara sahiptirler. Madensel yağlar iyi eskime sabitliği ve büyük gaz emme özelliği ile kullanılır. Böylelikle kısmi deşarjlarda oluşan hidrojen emilebilir. Dezavantajı ise yanma özelliğidir [3].

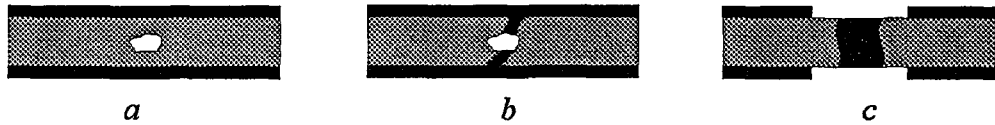
Madensel yağların elektrot-dielektrik konfigürasyonun ayrılmaz bir parçasını teşkil etmesi ve homojen olarak elektrotlar arasında tüm boşlukları doldurması (vakum ve emprenye) durumunda kısmi deşarjların başladığı ve bittiği gerilim seviyeleri yükselir, kenar elektrostatik alan şiddetleri azalır. Katı dielektrik malzemenin delinme gerilimi seviyesinde artar. Ayrıca ısı artışına azaltıcı yönde tesir eder [2].

b-) Askarele : Difenilin klorlanması vasıtasıyla elde edilen sentetik yağlardır. [Genellikle PCB (Polychlorierte Biphenyl) olarak kullanılır.] Büyük dielektrik katsayısına [$\epsilon = 5 - 6$] sahip olması sebebiyle kağıt izolelerin emprenye olması için özellikle uygundur. Kondansatörler için az klorlu difenilin (Di ve Tri klordifenilin) kullanılır. Kimyasal dayanıklılığı ve yanmaz oluşu nedeniyle iyi bir eskime sabitesine ulaşır. Büyük dielektrik katsayıları nedeniyle askarele emprenye edilmiş kondansatörler, madeni yağ emprenye edilmiş kondansatörlerden daha yüksek alan şiddetine dayanabilirler. Fakat yüksek sıcaklıklarda artan iyon hareketi nedeniyle askarele emprenyeli kondansatörlerin kayıp faktörü artar. Bu izole madde piyasada; Clophen, Pyralen, Aroclar ticari isimleriyle kullanılır [3].

C-) Elektrotlar

a-) Metal yaprak elektrotlar : Elektrot materyali olarak en çok alüminyum yapraklar kullanılır ve alüminyum folyo olarak anılır. Yaprak kalınlıkları akım yüküne göre 5 ila 20 μm arasında değişir.

b-) Buharlanmış elektrotlar : Yüksek vakum altında, buhar halindeki alüminyumun (veya çinko) soğutulmuş olan izolasyon malzemelerinin üzerinde yoğunlaştırılmasıyla elde edilir. Noktasal delinmeler esnasında meydana gelen kıvılcım, çevredeki metalde buharlaştırma oluşturarak yalıtımı yeniden sağlar. (Şekil 2.4.) Kendi kendini yenileyen kondansatörün kapasitesi, kayıp faktörü ve izolasyon direnç değerleri değişir [5].

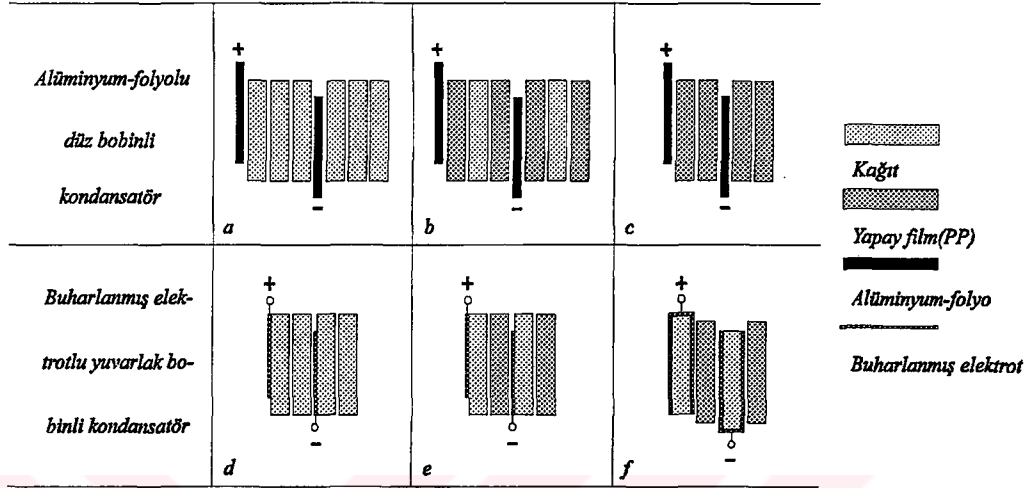


Şekil 2.4. Kendi kendini iyileştiren dielektrik sisteminin meydana gelişi.

a-) Özürlü izolasyon b-) Delinme c-) Kendi kendini iyileştirme

D-) Dielektrik cinsleri

Alüminyum folyo ve buharlanmış elektrotlu kondansatörlere ait bazı dielektrik uygulamaları *şekil 2.5.* de verilmiştir.



Şekil 2.5. Çeşitli dielektrik uygulamaları

a-) **Kağıt madensel yağ dielektriği** : Bu dielektrik yapıya uygun dizayn *şekil 2.5. a* ve *d* 'de görülmektedir. Birer yüzeyleri buhar kaplanmış C veya A saten derecesindeki kağıt, madensel yağ ile emprenye edilir. (*Şekil 2.5.d.*). Kendi kendini yenileyen bu tip dielektrikde, dielektrik katsayısı kağıt kalınlıklarına göre 3,3'den 4,8'e kadar değişebilir. En az 1 en çok 3 kat kağıtdan oluşan bu tip dielektrik malzeme $15 V/\mu m$ 'ye kadar dayanabilir. *Şekil 2.5.a* da görülen aynı tip alüminyum folyolu dielektrik dizaynı içinde aynı şeyler söylenebilir [3].

b-) **Kağıt - askarele dielektriği** : Daha güçlü kondansatör elde etmek için kullanılan bu dielektrik yapı *şekil 2.5.a* 'da görülmektedir. Dielektrik yapı askarele emprenyeli A saten derecesindeki kağıtdan 2 ila 4 kat olmak üzere oluşturulur. Yüksek gerilim değerleri için 4 ila 6 kata kadar M ve C saten derecesinde kağıtlar kullanılabilir. Alışıla gelmiş işletme sıcaklıkları için dielektrik katsayısı 5,3 - 6 arasındadır. Düşük sıcaklıklarda dielektrik katsayısı azalır ve kayıp faktörü artar. Elektrik alan şiddeti $20 V/\mu m$ kadardır [3].

c-) **Madensel yağ emprenyeli polypropylen film** : Dielektrik yapısı *Şekil 2.5.f* de görülmektedir. Her iki yanı metalize edilmiş (buharlanmış) kağıdın görevi polypropylen film-in her yerine madensel yağı işlemektir. Kendi kendini onaran özelliğinden dolayı, $6 - 10 \mu m$ 'ye kadar kalınlıkta bir dielektrik tabakası yeterli olur. Dielektrik sayısı 2,2 kadardır. Dielektrikde polar olmayan maddeler nedeniyle kayıpları azdır. İşletmedeki alan şiddeti $65 V/\mu m$ dir [3].

d-) Polypropylen - kağıt dielektriği : Alüminyum yapraklı kondansatörlerde, polypropylen filmin emprenyesi için bir tabaka kağıt fitil olarak kullanılır. *Şekil 2.5.b* deki dielektrik yapıda emprenye malzeme askareledir. İzole maddelerinin dielektrik katsayıları [kağıt ve askarele de $\epsilon = 6$, polypropylen de $\epsilon = 2,2$] sonuç olarak ölçüsüz bir dağılıma sahip olurlar. Polypropylenin küçük olan dielektrik katsayısı [ϵ] nedeniyle maruz kaldığı elektrik alan şiddeti daha büyüktür. Dielektrik yapıdaki kalın bölüm a ile gösterilip, askarele emprenyeli kağıt için kullanılan büyüklüklerin indisi 2 , polypropylen için kullanılan büyüklüklerin indisi 1 alınırsa ortalama alan şiddeti ,

$$E = E_1 \left[a_2 \left[\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} - 1 \right] + 1 \right] \quad [V/\mu m] \quad (2.19.)$$

ve karışımın dielektrik katsayısı,

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2}{a_2 \cdot [\epsilon_1 - \epsilon_2] + \epsilon_2} \quad (2.20.)$$

olarak bulunur. Sonuç kayıp faktörü ise,

$$\tan \delta = \frac{a_2 \cdot [\epsilon_1 \cdot \tan \delta_2 - \epsilon_2 \cdot \tan \delta_1] + \epsilon_2 \cdot \tan \delta_1}{a_2 \cdot [\epsilon_1 - \epsilon_2] + \epsilon_2} \quad (2.21.)$$

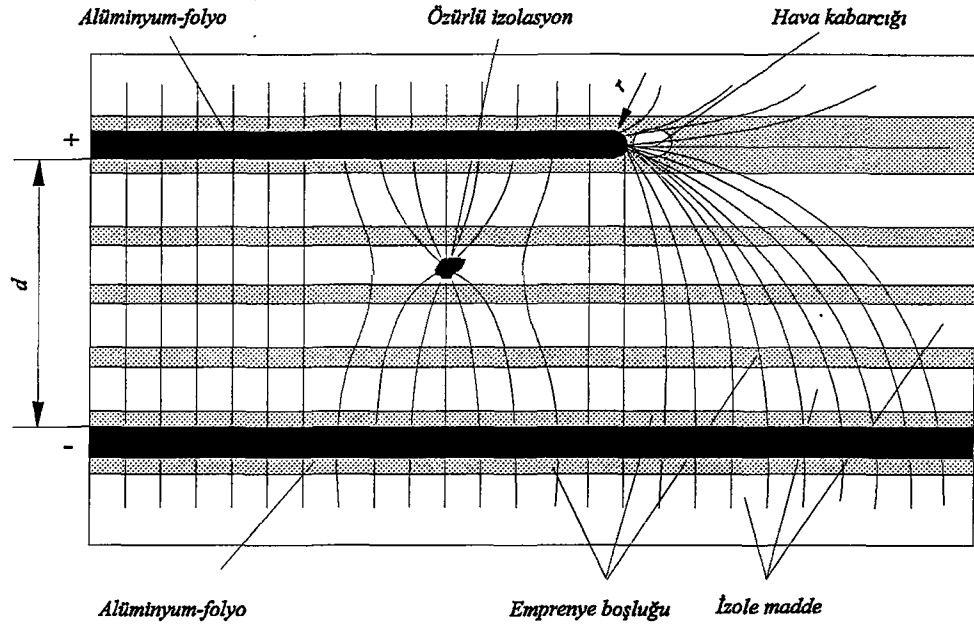
olur.

Kendi kendini yenileyen kondansatörlerde dielektrik yapı *Şekil 2.5.e.* 'ye göre düzenlenir. Ortalama alan şiddeti $40 V/\mu m$ dir. Aynı dielektrik yapı askarele yerine, madensel yağ emprenyeli olarak da düzenlenebilir [3].

2.3. Kondansatörlerde Elektriksel Zorlanmalar

2.3.1. Elektriksel alan şiddeti

Elektriksel alan şiddetleri dielektriğin çeşitli kısımlarında hesaplanan $E = U / d$ homojen alan şiddetinin değerinden daha büyük olabilir. Büyük alan şiddetleri daha çok elektrot yüzeyleri ve dielektrik içerisinde ortaya çıkar. *Şekil 2.6.* bir kondansatör sargısının kenarındaki alan hattının seyrini gösterir.



Şekil 2.6. Emprenye edilmiş çok katlı dielektrikli kondansatörlerde elektrik alan şiddeti ve kısmi deşarjlar.

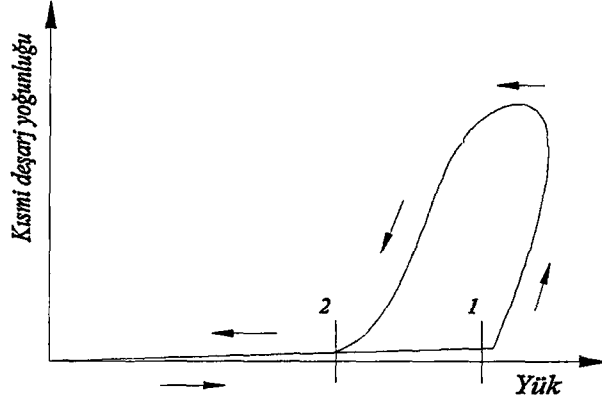
Alüminyum folyodan oluşan elektrotların kesilmiş taraftaki kıvrım yarıçapları (r) $0,5$ ila $1\mu m$ kadardır. Buharlanmış elektrotlarda ise en az $2nm$ olarak hesaplanmalıdır. Çünkü, alan konsantrasyonu d/r oranı büyüklüğüne göre daha kuvvetli olur [3].

2.3.2. Kısmi deşarjlar

İki elektrot arasındaki dielektriğin bir bölümünün izole özelliğini kaybetmesiyle oluşan bölgesel sınırlı boşalmalardır. (Şekil 2.6) Gaz veya sıvı izolasyon maddeleri içerisinde, belirli bir gerilimi aşma sırasında ortaya çıkarlar. Büyük alan konsantrasyonunun olduğu yerlerde, yük boşalmaları sırasında emprenye maddesinin ayrışmasından dolayı veya dielektrik malzeme içinde gaz kabarcıklarının oluşmasından dolayı kısmi deşarjlar meydana gelebilir.

Bir kondansatör işletmesinde, kısmi deşarjlar sürekli olarak söz konusudur. Büyük yüklenme gerilimlerinde kısmi deşarjların sayısı ve şiddeti artan gerilime oranla daha fazladır.

Kısmi deşarjlar, iyi emprenye edilen bir sistemde dielektriği çevreleyen iletkenin (alüminyum folyo) kenarlarında oluşurlar. Sıvı izoleli kondansatördeki deşarj, bir histerezis etkisi gösterir. Şekil 2.7. de 1 düzeyi ekseriya PDIS (Partial Discharge Inception Stress=Kısmi deşarj başlangıç yükü) olarak, yine bu noktadaki gerilimde PDIV olarak tanımlanır. 2 düzeyi, benzer şekilde PDES (PD Extinction Stress = Kısmi deşarj sönme yükü) ve bu noktadaki gerilim değeride PDEV olarak isimlendirilir [5].



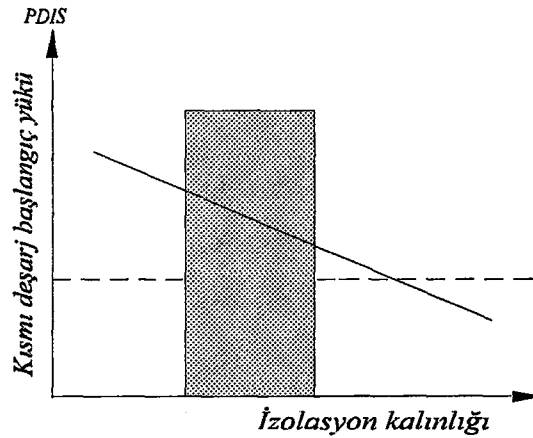
Şekil 2.7. Elektriksel yüklerin sabit hızla yükselmesi ve aynı hızla düşmesi sırasında kısmi deşarj yoğunluğunun histerezis etkisi

Bu düzeyler genellikle aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır.

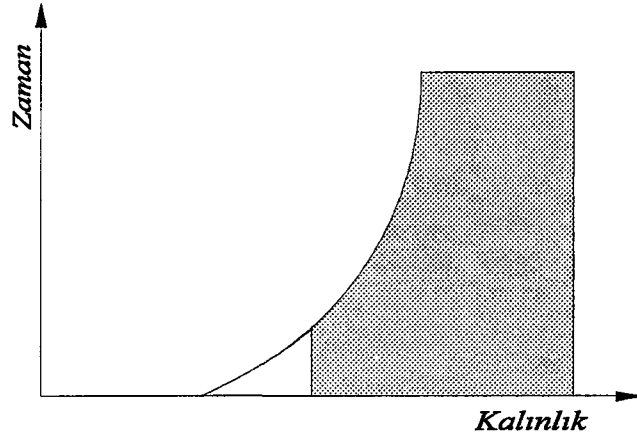
- İzolasyon sisteminin kalınlığı
- İzolasyon sisteminin sıcaklığı
- Emprenye sıvının tipi
- PDIV ' den daha yüksek bir gerilime bağlandığı süre
- Elektrot kenarlarının durumu
- Hidrostatik sıvı basıncı
- Kalıcı rutubet oranı

İzolasyon sisteminin empenyesi sırasında genellikle kısmi deşarj özelliklerinin en elverişli olması için, gazlı boşlukların yok edilmesi ve. bu nedenle sıvının sistemde ortaya çıkan bütün boşlukları doldurması istenir.

Burada dikkat edilecek önemli bir parametrede, izolasyon kalınlığıdır. Şekil 2.8. kısmi deşarj başlangıç yükünün izolasyon kalınlığına, yani alüminyum folyolar arasındaki mesafeye bağlılığını göstermektedir.



Şekil 2.8. Belirli dielektrik sisteminde ve sıcaklıkta izolasyon kalınlığına bağlı olarak kısmi deşarj başlangıç yükü.



Şekil 2.9. Sistem bir darbe gerilimine maruz bırakılırsa dielektrik kalınlığına bağlı olarak kısmi deşarjın kaybolduğu zaman boşluğu.

Şekil 2.9 'da, belirli bir aşırı gerilim tarafından meydana getirilen kısmi deşarjın, gerilimin normal durumuna gelmesinden sonra dielektrik kalınlığına bağlı olarak sona erdiği zaman aralığı görülmektedir.

İyi empenye edilmiş bir izolasyon sisteminde, yukarıda söz edildiği üzere, elektriksel alanı homojen olmayan alüminyum folyo kenarlarında bir kısmi deşarj meydana gelir. Alüminyum folyo kenarları genellikle iyi kontrol edilmediği için, kenarların durumu çeşitli şekillerde oluşur. Bu, doğal olarak kısmi deşarj özelliklerini olumsuz etkiler. Farklılıkların giderilmesine çalışmak ve alan şiddeti en düşük kenar oluşturmak, çoğu zaman alüminyum folyo kenarlarının katlanması suretiyle gerçekleştirilir.

Katlama yapmakla şekil 2.8 ve şekil 2.9 ' da gösterilen eğrilerin paralel yer değişmesi amaç edinilir. Bu şekilde kısmi deşarj özelliklerinde arzu edilen iyileşme elde edilir. Fakat aynı zamanda katlama yoluyla, sistemin empenye edilmesini zorlaştıran önemli hacim kaybının da meydana geldiği bir gerçektir [5].

2.4. Kondansatörlerde Termik Zorlanmalar

2.4.1. Kondansatör içindeki ısı oluşumu

Dielektrik içindeki kayıplar ile akımın sebep olduğu elektrot ve iç devre bağlantılarındaki kayıpların tümü bir kondansatörün toplam kaybını oluşturur. Özel durumlarda dahili güvenlik ve boşalma dirençlerindeki kayıplarda dikkate alınmalıdır. Kondansatördeki kayıplar kendisini termik olarak gösterir.

Dielektrik kayıpları bağıntı (2.3.) yardımıyla,

$$P_b = U^2 \omega . C . \tan \delta_b \quad [Watt] \quad (2.22.)$$

yazılabilir. Akımın ısı kayıpları ise,

$$P_r = I^2 R = [U . \omega . C]^2 . R \quad [Watt] \quad (2.23.)$$

ve

$$P = P_b + P_k = U^2 \omega . C . [\tan \delta_o + R . \omega . C] = Q . \tan \delta \quad [Watt] \quad (2.24.)$$

toplam kondansatör kayıplarını verir.

Kayıp faktörü,

$$\tan \delta = \tan \delta_o + R . \omega . C \quad (2.25.)$$

olarak bulunur.

Alternatif akımın skin effect (deri olayı) etkisinden dolayı frekans ile R direnci doğrusal artar. Bu sebeple $R . \omega . C$ değeri, dielektrik kayıpları vasıtasıyla belirlenen $\tan \delta_o$ değerinden daha fazla kayıp faktörüne etki eder. ($\omega = 2 . \pi . f$, dairesel frekans)

Sinüs formunda olmayan alternatif gerilimde bulunan kondansatörlerin kayıp gücünün hesaplanması, gerilim dalgasının ana titreşim ve yukarı titreşimleri için fourier analizi vasıtasıyla olur.

$$P = \sum_{v=1}^{\infty} C U_v^2 \omega_v \tan \delta_v \quad [Watt] \quad (2.26.)$$

$\tan \delta_v$, v inci titreşimdeki kayıp faktörüdür [3].

2.4.2.Kondansatörde ısı dağılımı

Kondansatörlerde oluşan ısılar serbest veya zorlamalı konveksiyonla ve ışınım (radyasyon) yoluyla soğutucu ortama (çevreye) aktarılır. Isınan kondansatörün sıcaklığı t , ortam (veya soğutucu) sıcaklığı t_o ile gösterilirse kondansatör ortam sıcaklığına ulaşmak için,

$$\Delta t = t - t_o = P . R_d = Q . \tan \delta . R_d \quad [C^\circ] \quad (2.27.)$$

kadar ısı vermek zorundadır.

Yukarıdaki formülde ısınmadan dolayı oluşan kayıp güç P , toplam ısı geçiş direnci de R_d ile gösterilmiştir. R_d ; dahili ısı direnci R_i ile seri harici R_a direncinden oluşur. (Şekil 2.10.a.)

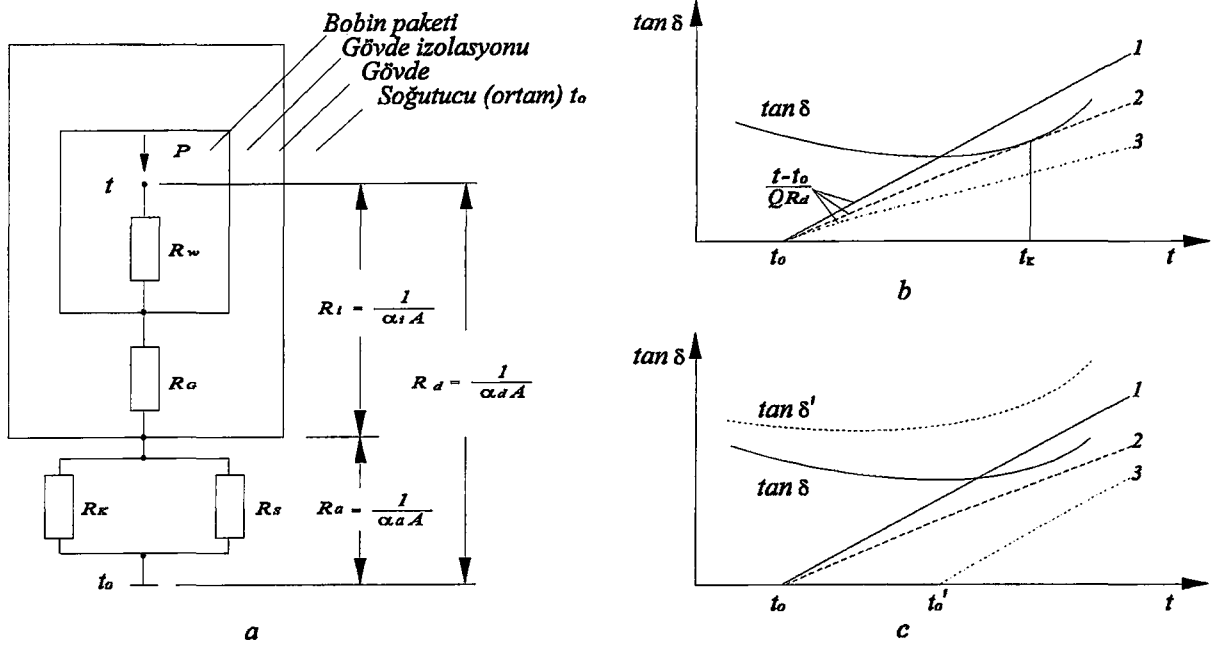
Dahili ve harici ısı geçirme katsayıları α_i ve α_a ile gösterilirse, toplam ısı geçirme katsayısı $\alpha_d = \alpha_i + \alpha_a$ olur. Soğutulacak gövdede etkili yüzey A ile gösterilirse toplam ısı geçiş direnci,

$$R_d = R_i + R_a = \frac{1}{A} \left[\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right] = \frac{1}{\alpha_d . A} \quad [\Omega] \quad (2.28.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

α_i kondansatörün iç yapısıyla ilgilidir.Gövde formu dörtköşe kondansatörlerde, $\alpha_i = 8$ ila 20 $W / m^2 K$ dir. Gövdeden ortama ısı transferi kendi kendine yani serbest konveksiyon yoluyla olan kondansatörlerde $R_k = 1 / \alpha_k A$ ve radyasyon yoluyla yayılmada $R_s = 1 / \alpha_s . A$ dır.

α_a , gövde formu ve yüzey cinsine göre (parlak veya lake) 8 ila 15 $W / m^2 K$ dir. Zorlamalı konveksiyonda ısı serbest konveksiyona göre 10 defa daha çabuk dağıtılabilir [3].



Şekil 2.10. Kondansatörde ısı oluşumu ve ısı geçişi

- a) Isı oluşumunun dirençlerle gösterilmesi
- b) Isı verme ve kayıp faktörü
- c) Termik stabilitenin bozulması

2.4.3. Isınma ve devrilme gücü

İşletmedeki bir kondansatörde, kayıp güç $P = Q \cdot \tan \delta$ ile ısı olarak dağıtılan güç $P_a = \Delta t / R_d$ aynı büyüklükte ise kondansatör termik olarak eşit ağırlıkta çalışıyor demektir. P ile P_a eşitliğinden,

$$Q \cdot \tan \delta = \frac{\Delta t}{R_d} \Rightarrow \tan \delta = \frac{I}{Q \cdot R_d} [t - t_0] \quad (2.29.)$$

yazılabilir.

Bu apsis noktası t_0 ve eğimi $1/Q \cdot R_d = 1/\beta$ olan bir doğru denklemdir. Şekil 2.10.b de çeşitli dielektrik cinslerinin kayıp faktörü ile sıcaklık arasındaki karakteristik eğimleri görülmektedir.

Stabil çalışma için 1 nolu doğru geçerlidir. 2 nolu doğru ise termik olarak kararsız bir eşit ağırlıkta çalışmayı gösterir. Bu aşamada ilgili kondansatör gücü, devrilme gücü (Q_k) olarak tanımlanır ve bağıntı (2.27.)'den (2.29.)'a kadar gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$Q_k = A \cdot \alpha \cdot \beta_x \quad [VAR] \quad (2.30.)$$

bağıntısı yazılabilir.

Devrilme faktörü β_x sıcaklığa bağlıdır ve deneysel olarak belirlenmiştir.

Az ısı dağıtan kondansatörlere ait çalışma durumunu ise 3 nolu doğru göstermektedir. Bu kondansatördeki ısı yükselecektir.

İşletmedeki kondansatörün ısınması ve soğuması tahmini olarak üstel $[-t/\tau_w]$ fonksiyonuna göre belirlenebilir. Burada ısınma zaman sabitesi,

$$\tau_w = R_d \cdot C_w \quad (2.31.)$$

dir.

Kondansatörün ısınma kapasitesi C_w 0,6 ila 1KW sn/Kg K dir. Büyük ve kendi kendine soğuyan kondansatörün ısınma zaman sabiteleri yüksektir [3].

2.4.4. Isı geçişi (Akışı)

Küçük bir dielektrik parçası yükselen kayıplara sahipse ve bu bölge yeteri kadar ısı dağıtamazsa dielektriğin o kısmı ısınır. Böylece kayıplar yükselir ve bir ısı geçişi oluncaya kadar sıcaklık artar. Bu bölgesel ısınmaya karşı kondansatörün tamamı termik yönden stabil olmayabilir. Bunun gibi termik stabiliteyi bozan durumlara aşağıdaki örnekler verilebilir. (Şekil 2.10.c.)

a-) t_o çevre sıcaklığının kabul edilemeyen t_o' sıcaklığına yükselmesi.

1 nolu doğru paralel yer değiştirme ile 3 nolu doğrunun üstüne gelir.

b-) Dielektriğin eskimesi ile kayıp faktörünün artması.

Kayıp faktörü eğrisi $\tan\delta' = f(t)$, ilk eğri $\tan\delta = f(t)$ nin üzerinde bulunur.

c-) Kondansatör elektriksel olarak fazla yüklenirse $[Q'>Q]$ veya ısı vermesi güçleşirse $[R_d'>R_d]$.

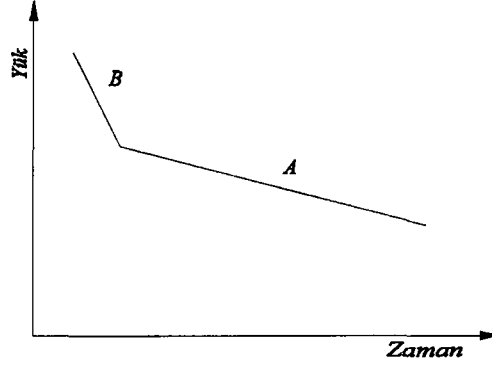
Her iki durum içinde ısı verme doğrusu 2 oluşur. Şekil 2.10.c den görüldüğü gibi bu doğrunun eğimi 1 nolu doğruya göre daha küçüktür [3].

2.5. Eskime Ve Ömür Kaybı

Bir kondansatörün zamanla niteliklerinin kötüleşmesi ile kayıp faktörü büyür, izolasyon direnci küçülür. (Örneğin : alüminyum folyo kenarlarındaki kısmi deşarj yoğunluğu artarsa veya dielektrik içindeki izole malzemeler çözülürse.)

Bir izolasyon sistemi aşırı bir zorlanmaya maruz kalırsa, belli bir düzey içinde eskimenin daha hızlanmasına neden olur. (Şekil 2.11.) Bu düzey her konstrüksiyon için ayrı ayrı belirlenmiştir.

İzolasyon sisteminin şekil 2.11. deki A alanında meydana gelen ömür kaybı; kimyasal, elektrokimyasal yada yalnız termik etkilerle açıklanabilir. İzolasyonun B alanında ortaya çıkan ömür kaybı ise, ekseriya kısmi deşarjlarla açıklanır. Kısmi deşarjlar, serbest şarjlar ile izolasyon maddeleri arasında, izolasyon sisteminin ömür kaybını hızlandıran dalgalanma etkisi anlamına gelir [5].



Şekil 2.11. Elektriksel yüklerin bir fonksiyonu olarak bir izolasyon sisteminin ömrü

$A =$ Elektronik yönden ömür kaybı

$B =$ Kısmi deşarj sonucu ömür kaybı

Dayanma süresi T_L , bir kondansatörün bozuluncaya kadar işletme süresini (sarğı boşalması ; kontakların veya bağlantıların tahribi) veya kondansatörün artık gerçekten işleyemeyeceği zamana kadar (yükselen kayıplar ; kısmi deşarj yoğunluğunun artması) olan süreyi ifade eder. statik karakteristik sebebiyle kondansatör hakkında belirli bir dayanma süresi oluşturulamaz. Bu nedenle ilgili işletme zamanı " dayanmada umulan değer " olarak ifade edilir.

Yaşam süresi herşeyden önce işletme alan şiddeti $[E]$ ve işletme sıcaklığı $[t]$ ile belirlenir. E ve t nin büyük olmayan değerleri için yeterli hassasiyetle dayanma süresinin sayısal değeri,

$$T_L = K. [E.t]^{-n} \quad (2.32.)$$

olarak belirlenir. Burada K ve n , işletmede bulunan çok sayıda kondansatörün gözlenmesi sonucu istatistiki olarak belirlenen sabitlerdir. Güç kondansatörleri için n 7'den 8'e kadar değerler alabilir [3].

2.6.Konstrüksiyon Yapı

2.6.1.Bobin cinsleri

A-)Yuvarlak bobin

Enerji tekniğinde ihtiyaç duyulan gerekli kondansatör kapasitelerini elde etmek için, izolasyon yapı malzemeleri ile elektrotlardan oluşan bir kondansatör bobini sarılır. Makara üzerinde yuvarlak bir bobin şekil 2.12.a da görülmektedir. Bobin sargı mekiğinden çıkarılınca hasas olmayan bir yapı elementidir. Yuvarlak bobinin kapasitesi ise,

$$C = \frac{\epsilon.b.\pi.[r_2^2 - r_1^2]}{d.[d + d_b]} \quad [Farad] \quad (2.33.)$$

dır.

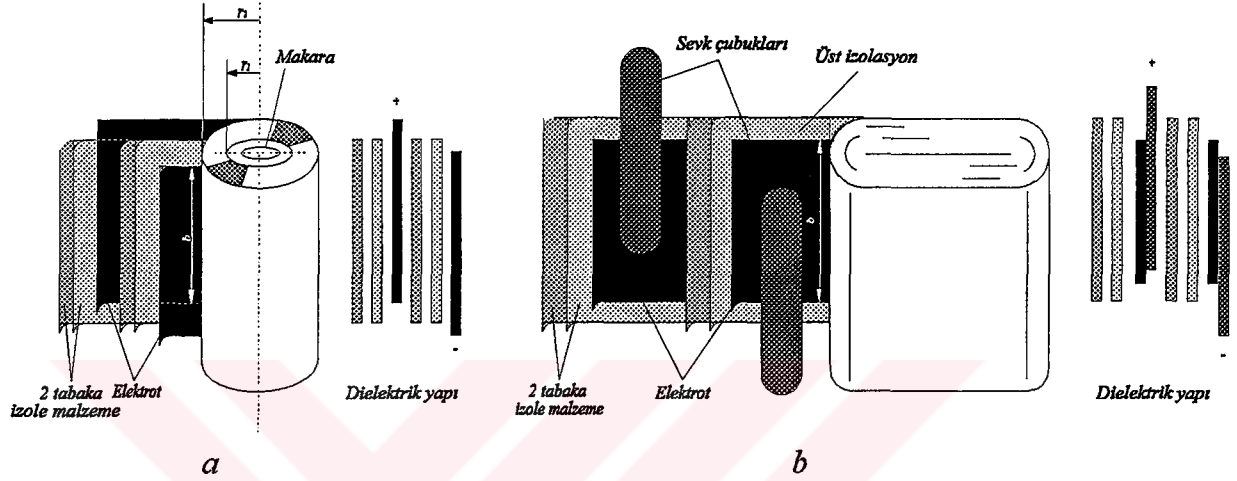
Bu bağıntıda,

b : Dielektriğin etkili genişliğini (m)

r_1, r_2 : Bobin iç ve dış yarı çapını (m)

d, d_E : Dielektrik ve elektrot kalınlığını (m)

göstermektedir [3].



Şekil 2.12. Kondansatör bobinleri a-) Yuvarlak bobin b-) Düz bobin

B-)Düz bobin

Bu bobin makarasız sarılır. Böylece bobin, mekiğinden çıkarılınca kolayca düz hale gelir. (Şekil 2.12.b.) Bu özelliğinden dolayı birden fazla bobin yanyana veya üst üste konarak kolayca bandajlanabilir. Düz bobin dar bir gövde formu içine yerleştirilebilir. Böylece yapı içerisinde gereksiz boşluklar minimuma iner. Emprenye işleminde kullanılan izole sıvının miktarında azalır. Şekil 2.12.b de aktif bobin genişliği b , elektrot uzunluğu l ve dielektrik kalınlığı d ile gösterilirse düz bobinin kapasitesi,

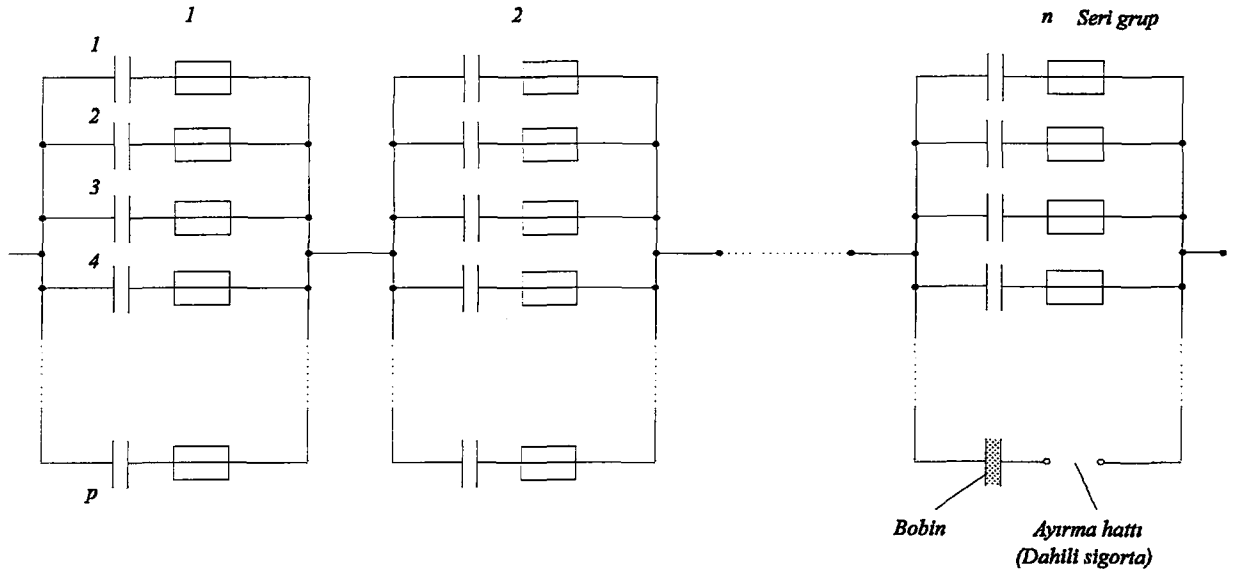
$$C = \frac{2 \cdot \epsilon \cdot b \cdot l}{d} \quad [\text{Farad}] \quad (2.34.)$$

dır [3].

2.6.2. Bobin gruplarının hazneye yerleştirilmesi

A-) Bobin gruplarının oluşturulması

Yüksek gerilim kondansatörlerinde bobinler, önce paralel gruplar oluşturacak şekilde bağlanırlar. Daha sonra bu paralel gruplar birbirleriyle bağlanarak seri grupları oluştururlar. Böylece istenen güç ve kapasite değerleri elde edilebilir. (Şekil 2.13.)



Şekil 2.13. Yüksek gerilim kondansatörlerinde bobinlerin paralel ve seri gruplar oluşturması

Üç fazlı kondansatörlerde ise, üç bobin grubunun üçgen veya yıldız bağlanmasıyla istenen güç ve gerilim büyüklükleri elde edilebilir.

B-)Bobinlerin gövdeye karşı izolesi

Bütün gerilim taşıyan bölümler kağıt veya presbant ile kapatılır. Çıplak tel ve iletkenler ise izole bir hortumdan geçirilir.

Yüksek gerilim kondansatörlerinin bobin paketleri de dayanıklı kağıt veya presbant ile çevrilir. Bununla beraber gövde izolesinin artan kalınlığı ile dahili ısı direnci de orantılı olarak artar. Dayanma gerilimindeki artış ise izolenin artan kalınlığına rağmen daha azdır [3].

C-)Gövde formu (Hazne)

Yuvarlak bobinlerden oluşan küçük kondansatörler beyaz saçtan silindirik veya alüminyum gövde formuna sahiptirler.(Şekil 2.14.a) Büyük güçlü kondansatörler ise dörtköşe gövde formunda, çelik saçtan 1 - 2 mm kalınlıkta imal edilirler. Bu gövde formunda yuvarlak bobin kullanmaktan kaçınılır. Genellikle bobin sütunları yan yana veya üst üste dizildiği için düz bobin kullanmanın avantajı daha fazladır. Dörtköşe gövde formunda düz bobin kullanmakla bobin paketleri ile gövde arasında gereksiz boş yer kalmayacak ve daha dar bir hazne ile bobin paketleri muhafaza edilecektir. (Şekil 2.14.b) Bunun yanında daha az emprenye sıvısı kullanılmasıyla ekonomik de olacaktır. Kondansatörün dahili ısı direnci ise böylece fazla büyümez. Her sıcaklık değişiminde dörtköşe gövde formunun yüzeyleriyle sıvı izole maddeside genişir veya küçülür. Bu nedenle kondansatörler izole sıvı ile tam olarak doldurulur. Aynı zamanda vakum edilerek dış ortamla teması kesilir.

2.7.Kondansatörlerde Koruma Düzenleri

Bu düzenler kondansatörlerdeki işletme arızalarını engellemek ve doğabilecek zararlardan hizmet personelinin korunması için yapılır.

2.7.1.Bobin veya ünite koruması

Kondansatörlerde bobinlerin aşırı akım ve gerilim değerlerinden zarar görmesini engellemek için sigortalar (eriyen tel) kullanılır. Her bobin birbirinden bağımsız olarak sigortalanır. (Şekil 2.13.) Kondansatör böylece uygun işletme şartlarında çalışmış olur. Kondansatörü oluşturan seri bağlı paralel bobin gruplarına ait bobinlerden birinin sigortası atacak olursa paralel gruptaki diğer bobinler üzerine düşen elektrostatik enerji bir miktar artacaktır.

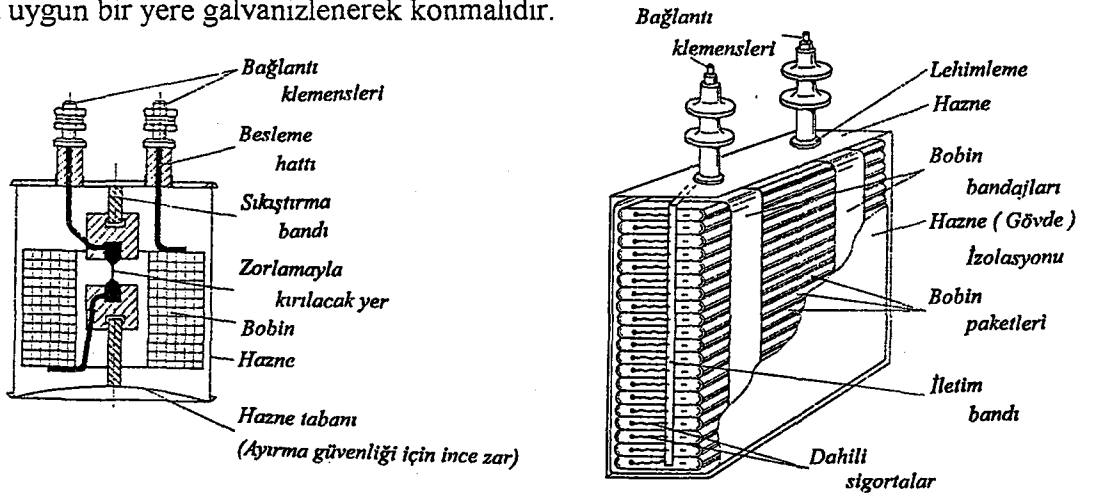
Yukarıda anlatılanın aksine (bobin koruması yerine) harici tip sigortalar ile de kondansatör üniteleri korunabilir.Bu her imalatçı firmanın gerek teknik gerekse ekonomik bakımdan vermek zorunda olduğu bir karardır.

2.7.2.Hazne koruması

Tahmin edilen dayanma süresinin sonuna doğru kısmi deşarjların etkisiyle yada uygun olmayan termik ve elektrik yüklenmelerin sonucu olarak kondansatör haznesinde bir gaz yoğunlaşması olabilir. Bu esnada oluşan gazın basıncı yüzünden, haznenin patlamasını engellemek için buşingden elektrota giden ana bağlantı zorlama ile kırılacak yer üzerinden geçirilir. Böylece haznedeki basınç yükselmesi tehlikeli boyutlara ulaşacak olursa elektrot ile iletimi sağlayan kırılacak yer koparak kondansatörü şebekeden ayırır [3]. (Şekil 2.14.a)

2.7.3.Aşırı sıcaklık koruması

Zorlamalı konveksiyonla yada suyla soğutulan kondansatörlerde yetersiz ve hatalı soğutma esnasında kondansatörün bir bildirim yapması veya şebekeden ayrılması sağlanmalıdır. Bu maksatla bir sıcaklık göstergesi ve şalter kondansatöre veya kondansatör dışında uygun bir yere galvanizlenerek konmalıdır.



Şekil 2.14. Kondansatörlerde konstrüksiyon yapı

a-) Yuvarlak bobinli küçük kondansatörler

b-) Düz bobinli güçlü kondansatörler

2.7.4.Deşarj dirençleri

Hizmet personelinin güvenliği açısından, kondansatörlerin şebeke ile olan bağlantısı kesildikten sonra belli bir süre içinde kondansatördeki artık gerilim, U_N anma geriliminin tepe değerinden 50 volta yada daha küçük değerlere düşürülmelidir. Bu süre; anma gerilimi 660 volt ve daha düşük kondansatörler için 1 dakika, 660 volttan yüksek olan kondansatörler için 5 dakikadan büyük olmamalıdır. (TSE 804 ve VDE 560)

Her kondansatör tesisatı kendine doğrudan bağlı bir boşaltma düzeni ile donatılmalıdır. Eğer kondansatör birimleri seri olarak bağlanmış ise, her bir üniteye bağlanmış boşaltma düzeni, artık gerilimlerin birbirine eklenmesi nedeniyle yukarıdaki boşaltma süresi şartını yerine getiremeyebilir. Kaynak gerilimi bu olayı oluşturacak kadar yüksekse, ayrıca dışardan bağlı bir boşaltma düzeni gerekecektir. Bu ek boşaltma düzeni kondansatör bataryasının uçları arasına bağlanmalıdır.

Standartların öngördüğü süre içerisinde gerilimi tepe değerinden $[U_N \cdot \sqrt{2}]$, $U_k = 50 \text{ Volta}$ düşürmek için gerekli deşarj direncinin değeri aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$R \leq \frac{T_e}{C \cdot \log_e \left[\frac{U_N \sqrt{2}}{U_k} \right]} \quad [M\Omega] \quad (2.35.)$$

Bu bağıntıda,

T_e : Gerilimin $U_N \cdot \sqrt{2}$ değerinden 50 V'a düşmesi için öngörülen süreyi (sn)

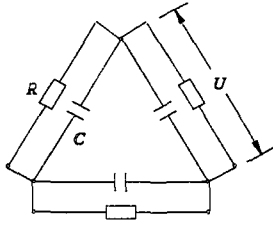
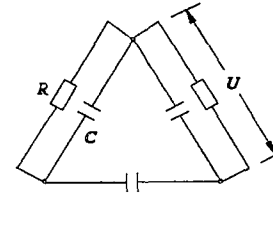
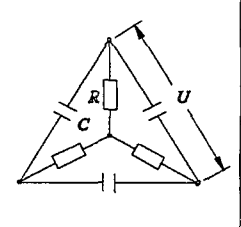
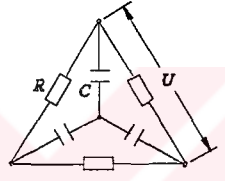
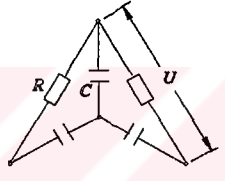
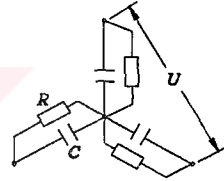
R : Deşarj dirençlerinin değerini (M Ω)

C : Kondansatör ünitesinin kapasitesini (μF)

U_N : Anma gerilimini (V)

gösterir.

Yukarıdaki bağıntıda $R \cdot C$ çarpımını maksimum deşarj süresi sabitesi $[\tau]$ olarak ifade edecek olursak, üç fazlı kondansatörlere ait deşarj dirençlerinin bağlantı kombinasyonları ve geçerli zaman sabiteleri Şekil 2.15. deki gibi olur [3,4].

		Deşarj süresi sabiteleri		
		$\tau = R C$	$\tau = 3 R C$	$\tau = 3 R C$
Üçgen bağlı Kondansatörler				
		$\tau = \frac{1}{3} R C$	$\tau = R C$	$\tau = R C$
Yıldız bağlı Kondansatörler				
		$\tau = \frac{1}{3} R C$	$\tau = R C$	$\tau = R C$

Şekil 2.15. Üç fazlı kondansatörlerde deşarj dirençleri

3.ELEKTRİK TESİSLERİNDEKİ ŞÖNT KAPASİTÖR BANKI

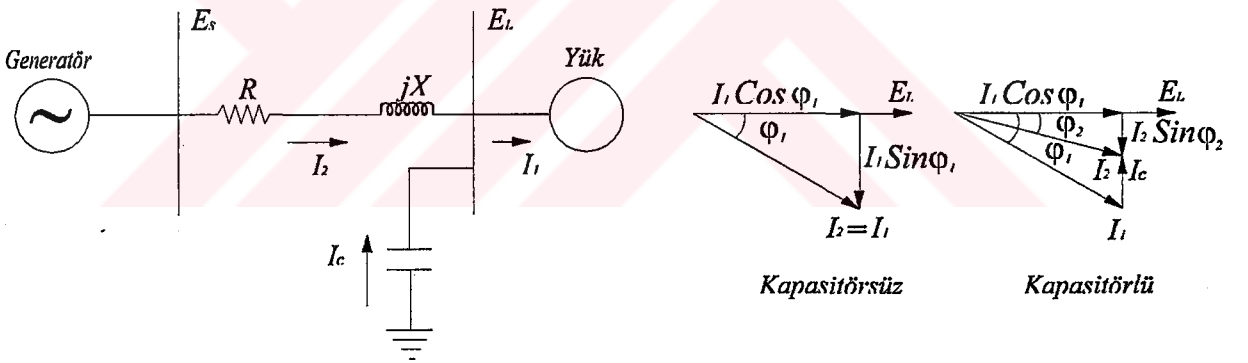
3.1.Genel Uygulama Hakkında Bilgi

Bir kondansatör, elektrik sistemine paralel olarak bağlandığında statik bir reaktif akım kaynağı işlevini görür. Dolayısıyla pratik yada ekonomik olarak bütün reaktif yükü besleyemeyen sistem generatörlerini destekler.

Teorik olarak aktif ve reaktif güç talebini generatörler ile karşılamak mümkündür. Ancak sistemin işletilmesi sırasında, yaratacağı teknik sorunlar ve ekonomik açıdan bu mümkün değildir.

Böylece şönt kapasitörler yüke yakın bağlanarak, yapacağı reaktif akım kaynağı işleviyle kendisini elektrik sisteminin paha biçilmez bir elemanı olarak kabul ettirmiş olur.

Şönt kapasitör bu fonksiyonu ile generatör ve besleme hatlarındaki yüklenmenin azalmasını, yük baralarındaki gerilimin yükselmesini ve sistem kayıplarının azalmasını sağlar. Çünkü; sistemin reaktif yükünün büyük bir çoğunluğu hat boyunca taşınmaz. Şönt kapasitörün basit bir sistem üzerindeki etkisi *şekil 3.1.* de görülmektedir.



Şekil 3.1. Şönt kapasitörlerin etkisini gösteren temel vektör diyagramı.

3.2.Şönt Kapasitör Ve Senkron Kompanzatör

Şönt kapasitörün sistem üzerindeki genel etkisi, yük devresine bağlanacak bir senkron kompanzatör ile de elde edilebilir. Fakat, yük büyük ve konsantrasyonlu değilse senkron makinelerin ekonomik boyutu reaktif yüke yakın kullanılmasına imkan vermez.

Senkron kompanzatörlerin piyasada kullanımı son yıllarda büyük ölçüde azalmıştır. Çünkü; dönen kaynaklardan elde edilen *maliyet / KVAR* oranı artarken, kondansatörlerden elde edilen *maliyet / KVAR* oranı azalmaktadır. Aşağıdaki *tablo 3.1.* de şönt kapasitör ile senkron kompanzatör arasında yapılan bir mukayese diğer önemli özellikleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 3.1. Şönt kapasitör ile senkron kompanzatorların karşılaştırılması

<i>Karşılaştırma Faktörleri</i>	<i>Senkron Kompanzator</i>	<i>Şönt Kapasitör</i>
Gerilim oranları	18 KV üzerinde trafo gerektirir.	Herhangi bir gerilim sınıfına direkt uygulanabilir.
KVA oranları	Minumum ekonomik büyüklük, 15000 KVAR	50 KVAR ve üstü için kullanışlı
Kontrolü	Tamamen ayarlanabilir adım-sız	Genellikle geniş adımlarla anahtarlanır.
Çıkış güçleri VAR	Terminal gerilimiyle ters orantılı olarak değişir.	Terminal geriliminin karesiyle değişir.
Gerilim regülasyonu üzerindeki etkisi	Anlık gerilim regülasyonu	Aralıklı ve gecikmeli gerilim regülasyonu
Montaj	Zor ve pahalı, bazen imkansız	Çok basit ve uyumlu, yer problemi yok
Bakım	Herhangi bir dönen makina gibi pahalı	Bakım yok
İç arızaya karşı koruma	Makinanın boyutuna bağlı olarak standart röle koruması	Bağımsız sigortalar ve denge-sizlik koruması
Dış arıza koruması	Senkronizasyon ekipmanı, kesiciler ve röleler ile	Gerek yok
Acil durumda ek KVAR ihtiyacı	Kısa süreli ve uyarımı artırarak karşılanır.	KVAR çıkışı sistem voltajının karesiyle değiştiği için genellikle gerekmez.
Işık titreşiminin düzeltilmesi	Genelde pahalı fakat büyük yüklerde kullanılabilir.	Etkili ve hızlı bir şekilde yapılamaz.
Güç faktörünün düzeltilmesi	Sadece bu amaç için gereken montaj pahalı	Düşük maliyetli ve pratik
Sistem kararlılığına desteği	VAR sağlanmasıyla otomatik olarak	Çıkış, terminal geriliminin karesiyle değişir.

3.3.Şönt Kapasitörlerin Temel Etkileri

Önceden de bahsedildiği gibi, şönt kapasitör statik bir reaktif akım kaynağıdır. Şekil 3.1. şönt kapasitörün gücü ile orantılı olarak sisteme bir reaktif akım sağlayışını ve kaynağın ürettiği reaktif akımı azaltışını göstermektedir. Şönt kapasitörlerden elde edilen tüm avantajlar bu temel gerçeğe dayanır.

Genel olarak şönt kapasitörlerin şebeke üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Fider akımlarının düşürülmesi,
- Yük baralarındaki gerilimin yükseltilmesi,
- Sistem kayıplarının düşürülmesi,
- Genaratörlerin daha yüksek $\cos\phi$ ile çalışması,
- Genaratör ve besleme hatlarındaki yüklenmenin azaltılması,
- Enerji alışverişi yapılan bağlantı hatları üzerindeki talebin düşürülmesi,

3.3.1.Hat akımının azalması

Kaynak devrelerinden geçen reaktif akım, kapasitör akımı ile orantılı olarak azalır. Fakat toplam hat akımındaki azalma reaktif akımdaki azalmaya nazaran daha azdır. Çünkü; hat akımının iki bileşeni vardır. Bunlardan akımın aktif bileşeni sabit kalırken, reaktif bileşeni kapasitör akımı kadar azalır. Şekil 3.1. söylenenleri yükün kapasitör montajından sonra da aynı kalması şartıyla ispatlamaktadır.

Şekil 3.1. deki I_2 akımının ifadesi,

$$I_2 = I_1 \cdot \cos\phi_1 - jI_1 \cdot \sin\phi_1 + jI_c \quad (3.1.)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadede,

I_1 : Kapasitörsüz hat akımını (Amper)

I_2 : Kapasitörlü hat akımını (Amper)

$\cos\phi_1$: Başlangıçtaki güç faktörünü

gösterir.

Hat ve reaktif akımdaki azalmayı basit bir örnekle aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

Örnek A :

4160 Volt ' luk bir devrede 1000 KVA 'lık bir yük %80 güç faktöründe çalışmaktadır. Bu devreye 500 KVAR ' lık bir şönt kapasitör grubu monte edilirse toplam ve reaktif akımdaki azalma nedir?

$$KVA = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \Rightarrow I_1 = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 4,16^{\angle 36,8}} \cong 139^{\angle -36,8} \cong 111 - j84 \text{ A}$$

$$KVAR = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \Rightarrow I_c = \frac{500}{\sqrt{3} \times 4,16^{\angle -90}} = j70 \text{ A}$$

$$I_2 \cong 111 - j84 + j70 \cong 112 \text{ A}$$

bulunur.

Kaynağın reaktif akımındaki azalma %83 olurken, toplam hat akımındaki azalma ise, %19,3 tür.

Kapasite gözönüne alındığında; hat akımındaki azalma önemli olmakla beraber, sistemin gerilim düşümünün büyük bir kısmının reaktif akımdan dolayı olduğu görülebilir. Herhangi bir devredeki yüzde gerilim düşümünün $[V_D]$ bileşenleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V_{RD} = \frac{KVA \cdot R \cdot \cos \varphi_1}{10 \cdot [KV]^2} \quad (3.2.)$$

$$V_{XD} = \frac{KVA \cdot X \cdot \sin \varphi_1}{10 \cdot [KV]^2} \quad (3.3.)$$

Bu ifadelerde,

R : Hattın direncini (Ω)

X : Hattın reaktansını (Ω)

KVA : Üç fazlı yük gücünü (KVA)

KV : Fazlar arası gerilimi (KV)

gösterir.

X değeri 2 ila 15 R kadar olan tipik güç sistemlerinde, %90 'nın altındaki güç faktörü için reaktif gerilim düşümünün, omik gerilim düşümünden daha büyük olacağı bellidir. Bağntı (3.2.) ve (3.3.) 'ü incelediğimizde $X \cdot \sin \varphi_1 > R \cdot \cos \varphi_1$ olduğunu görebiliriz.

Sonuç olarak; akımın reaktif bileşeninin azalması gerilim düşümünün büyük bir kısmını kompanze eder, sistem voltaj seviyelerini artırır ve gerilim regülatör alanını genişletir diyebiliriz.

Bağntı (3.1.) 'i I_1 'e böldüğümüzde birim başına (Per unit) bir ifade elde ederiz.

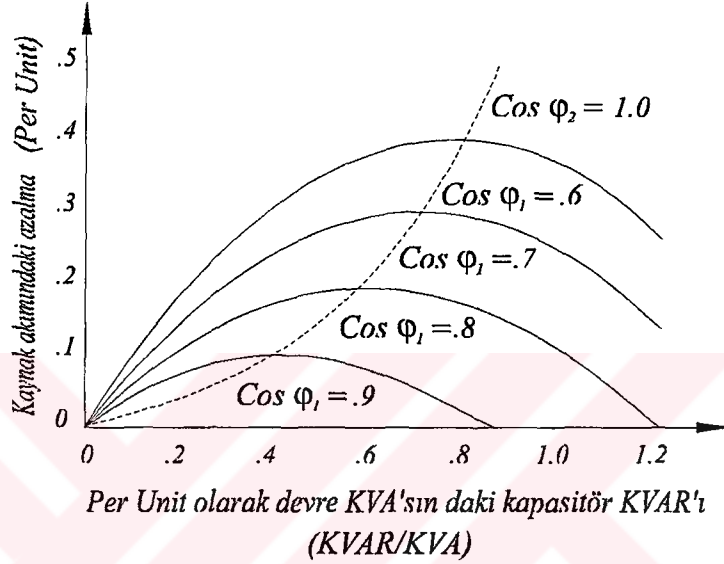
$$\frac{I_2}{I_1} = \cos \varphi_1 - j[\sin \varphi_1 - ckva] \quad (3.4.)$$

Burada, $ckva = \frac{I_c}{I_1} = \frac{KVAR}{KVA}$ olarak ifade edilmiştir.

Kapasitörler monte edildikten sonra ilave olarak bir yük konulmazsa, hat akımındaki birim başına azalma bağıntı (3.4.) 'ü 1 'den çıkararak bulunabilir.

$$|\Delta I| = 1 - \sqrt{[\text{Cos}\varphi_1]^2 + [\text{Sin}\varphi_1 - ckva]^2} \quad (3.5.)$$

Bu ilişki, orjinal yük güç faktörünün ve kapasitör grubunun büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak *şekil 3.2.* de çizilmiştir [6].



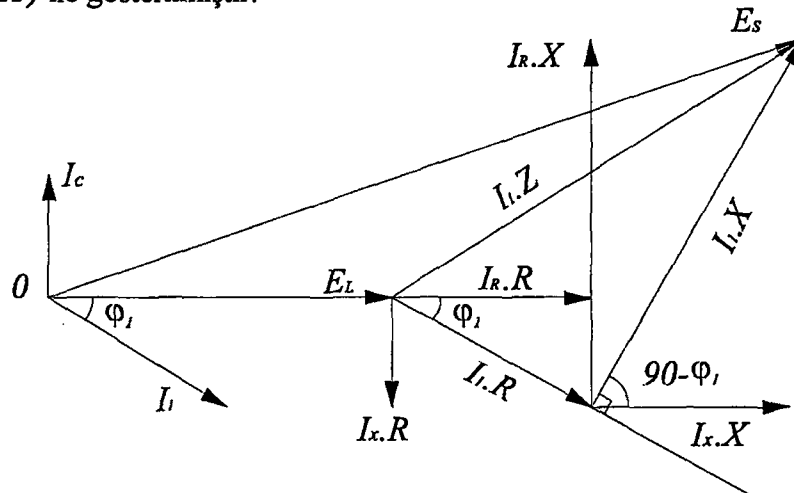
Şekil 3.2. Şönt kapasitörden dolayı hat akımının azalması

3.3.2. Artan yük gerilimi seviyesi

Şekil 3.1. de görülen basit sistem için yük geriliminin ifadesi,

$$E_L = E_s - I_1 \cdot Z \quad (3.6.)$$

dir. Bu bağıntıda $I_1 \cdot Z$ çarpımı endüktif gerilim düşümünü ifade eder. Burada kaynak empedansı $Z (\Omega)$ ile gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Gerilim düşümünün bileşenleri

Bağıntı (3.6.) *şekil 3.3.* 'e göre yeniden düzenlenecek olursa,

$$E_L = E_s - I_L [R \cos \varphi_L + X \sin \varphi_L] - j I_L [X \cos \varphi_L - R \sin \varphi_L]$$

ve hat akımının bileşenleri,

$$I_R = I_L \cos \varphi_L \quad I_X = I_L \sin \varphi_L \quad \text{ise,}$$

$$E_L = E_s - R \cdot I_R - X \cdot I_X - j X \cdot I_R + j R \cdot I_X \quad (3.7.)$$

olarak bulunur. Bu sisteme şönt kapasitör eklendiğinde bağıntı (3.7.),

$$E_L = E_s - R \cdot I_R - X \cdot I_X - j X \cdot I_R + j R \cdot I_X - j R \cdot I_C + X \cdot I_C \quad (3.8.)$$

halini alır. Bu ifadelerde,

E_L : Yük gerilimini

E_s : Kaynak gerilimini

R : Hattın direncini

X : Hattın reaktansını

gösterir.

Şekil 3.3. deki vektör diyagramına sahip sisteme şönt kapasitör eklendiği zaman, yük gerilim vektörü büyür. Çünkü; şönt kapasitör bağlandığı noktaya kadar olan reaktif akımın sebep olduğu gerilim düşümünü azaltmıştır.

Gerilim düşümüne ait vektör diyagramındaki düşey bileşenler ihmal edilecek olursa pratik durumlar için basit ve yaklaşık çözüm sağlayacak,

$$E_L = E_s - R \cdot I_R - X \cdot I_X + I_C \cdot X \quad (3.9.)$$

bağıntısı elde edilebilir. Bu bağıntıda eğer I_C yeterince büyükse omik ve reaktif gerilim düşümleri birbirini yok eder. Ayrıca yük akımının bileşenleri I_R ve I_X sadece yüke bağlı olduğu için hafif yük periyotları boyunca $X \cdot I_C$, $R \cdot I_R$ ile $X \cdot I_X$ gerilim düşümlerinden büyük olabilir. Böylece hat çok fazla kompanze olur ve güç faktörü kapasitif değerlere geçer. Bir dağıtım besleyicisi üzerindeki kapasitif güç faktörü o kadar önemli değildir. Ancak genel bir sistem durumu olarak bu özellik istenmez. Kapasitif güç faktörü ile çalışma, statik kararlılık bölgesini daraltır ve kayıpların, güç faktörünün 1 olduğu durumda elde edilenden daha büyük olmasına neden olur.

Şekil 3.2. 'den de görüleceği gibi güç faktörünün 1 olduğu durumda akımdaki azalma da en büyüktür [6].

Sabit bir kapasitör grubu bir besleyicinin temel regülasyonunu değiştirmez, çünkü kapasitör hem hafif hem de tam yükte gerilimin artmasını sağlar. Elektrikli ekipmanın bu gerilime dayanıp dayanamayacağını belirlemek için hafif yük periyotları boyunca gerilim ve sistem VAR 'ın daki artışı gözlemek gerekir. Kapasitör grubunun anahtarlanması, herhangi bir istenmeyen durumun önlenmesi için gerekebilir.

Yükteki gerilim artışı yaklaşık olarak $X I_c$ ile doğru orantılı olduğu için, bir kondansatör tesisatının yüzde olarak yapacağı gerilim artışı,

$$V_a = \frac{KVAR \cdot X \cdot d}{10 \cdot [KV]^2} \quad (3.10.)$$

dir. Bu bağıntıda,

X : Kapasitör bankına kadar olan hat reaktansını (Ω / Km)

$KVAR$: Kapasitör bankının gücünü ($KVAR$)

d : Kapasitör bankına kadar olan hat uzunluğunu (Km)

KV : Fazlar arası gerilimi (KV)

gösterir. Bu ifade belirli bir konumdaki kapasitörün sebep olduğu gerilim artışını bulmakta kullanılır.

3.3.3. Azalan sistem kayıpları

Herhangi bir iletim veya dağıtım hattının kayıpları, hat akımının karesi ile hat endüktansının ve direncinin bir fonksiyonudur. Kayıplar genellikle $I^2 \cdot R$ Watt kayıpları ile $I^2 \cdot X$ VAR kayıpları olmak üzere iki bileşen halinde ele alınırlar. Şönt kapasitör tesisatı hat akımının reaktif bileşenini azalttığı için kapasitörlerden dolayı meydana gelen kayıp azalması sadece reaktif akımın bir fonksiyonudur. Akımın gerçek bileşeninin hesaplamalarda kullanılmasına gerek yoktur.

Şönt kapasitör ilavesinden dolayı $I^2 \cdot R$ güç kaybı azalması,

$$P_{k\ azalma} = [I_x]^2 \cdot R - [I_x - I_c]^2 \cdot R = 2 \cdot I_c \cdot I_x \cdot R - [I_c]^2 \cdot R \quad (3.11.)$$

bulunur. Aynı şekilde $I^2 \cdot X$ VAR kayıptaki azalma,

$$Q_{k\ azalma} = 2 \cdot I_c \cdot I_x \cdot X - [I_c]^2 \cdot X \quad (3.12.)$$

olarak yazılabilir.

Bu ifade de,

I_c : Kondansatör akımını (A)

I_x : Kapasitör eklenmeden önceki reaktif akımı (A)

R : Hat direncini (Ω)

X : Hat reaktansını (Ω)

gösterir.

Şönt kapasitörlerin sistem kayıpları üzerindeki etkisi; orjinal devre kayıplarının yüzdesi ve kapasitör montaj yüzdesinin bir fonksiyonu olarak *şekil 3.4.* de çizilmiştir. Unutulmamalıdır ki; $ckva = \frac{KVAR}{KVA} = \sin \phi_i$ olduğu zaman kayıplar minimumdur.

Örnek B :

4160 Volt 'luk bir devrede 1000 KVA 'lık yük %80 güç faktöründe çalışmaktadır. Bu devreye 500 KVAR 'lık bir şönt kapasitör grubu monte edilirse empedansı $Z = 0,6 + j0,8 \Omega$ olan bu devredeki kayıp azalımı ne kadar olur?

$$I_1 = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 4,16^{\angle 36,8}} \cong 139^{\angle -36,8} \text{ A}$$

$$I_c = \frac{500}{\sqrt{3} \times 4,16^{\angle -90}} \cong j70 \text{ A}$$

Şekil 3.1. deki vektör diyagramından, kapasitör eklenmeden önceki reaktif akım

$$I_x = 139 \times \sin 36^\circ,86 = 83,4 \text{ A}$$

olarak bulunur.

Bağıntı (3.11.) ve (3.12.) de yukarıdaki büyüklükler yerlerine konacak olursa;

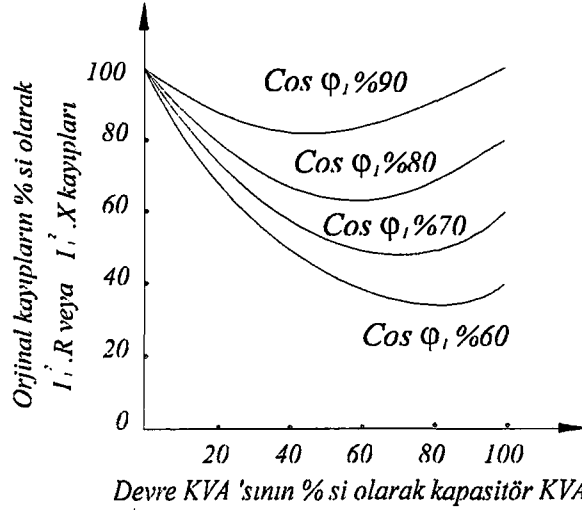
$$P_{k_{azalma}} = 2 \times 70 \times 83,4 \times 0,6 - [70]^2 \times 0,6 = 4065,6 \text{ W}$$

ve

$$Q_{k_{azalma}} = 2 \times 70 \times 83,4 \times 0,8 - [70]^2 \times 0,8 = 5420,8 \text{ VAR}$$

olarak aktif ve reaktif güç kaybı azalması bulunabilir.

Hesaplanan orjinal sistem kayıpları 11592,6 W [$I^2 \cdot R$] ve 15456,8 VAR [$I^2 \cdot X$] dir. Yukarıdaki örnekte hesaplanan kayıp azalımları orjinal sistem kayıplarından çıkarılırsa; sonuçtaki kayıpların, orjinal kayıpların %65 'i olduğu görülür.

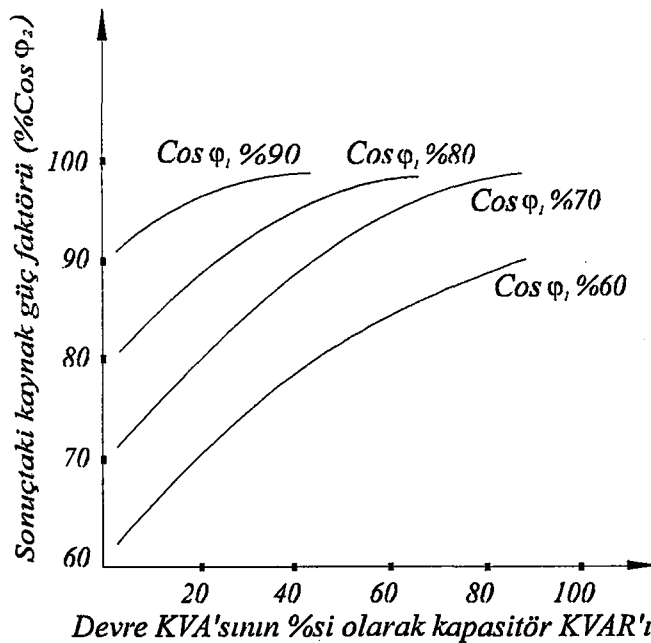


Şekil 3.4. Şönt kapasitörden dolayı devre kayıplarındaki azalma

3.3.4. Kaynak devrelerinde artan güç faktörü

Kapasitör bir VAR genaratörü olarak düşünülebileceği için her hangi bir şönt kapasitör tesisatı, sistemin genel VAR yükünü azaltıcı bir faktördür. Azalan VAR yükü, genaratörleri bileşik güç faktörüne daha yakın işletilebilecek şekilde uyartım seviyelerinin değiştirilmesine izin verir.

Genaratör güç faktörünün nasıl arttığını görmek için Şekil 3.5. 'e bakınız. Bu şekilde genaratör güç faktörü, ilk güç faktörünün $[\phi_1]$ ve şönt kapasitör montajının (KVAR) devre yükündeki (KVA) yüzdesinin bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. Bu eğriler, genaratör üzerindeki yükün kapasitör eklenmesinden sonra da aynı kalması şartıyla elde edilmiştir. Örneğin %60 güç faktöründe çalışan 1000 KVA 'lık bir devreye 500 KVAR 'lık şönt kapasitör eklenirse, sonuç güç faktörü %89 olacaktır. Eğer aynı orjinal güç faktöründe yük ekleyerek kaynağın yükü sabit tutulursa, Şekil 3.5. 'e göre sonuçtaki güç faktörü %81 olur.

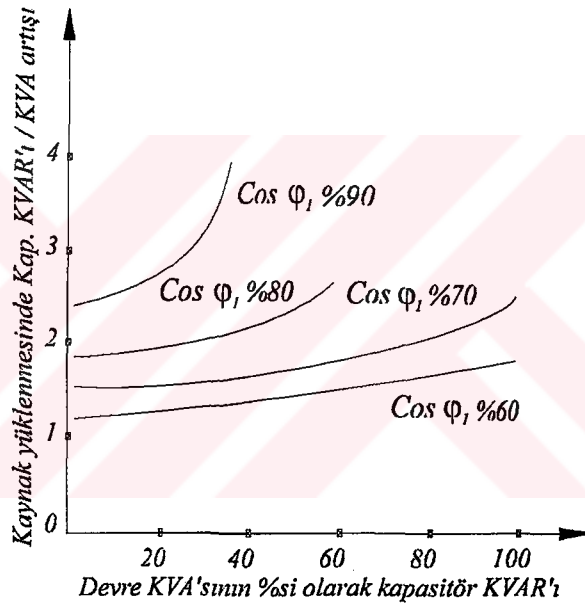


Şekil 3.5. Şönt kapasitörlerin kaynak güç faktörünü artırıcı etkisi

3.3.5.Sistemin görünür gücündeki azalma

Hat akımının reaktif bileşenin azalmasından dolayı kaynağın güç faktöründeki artış, kaynağın ve hattın KVA yükünü azaltıcı yönde etki yapar. Bu etki; kaynağın ve hattın üzerinde varolan fazla yükü rahatlatır, yeni ekipman alımını geciktirir ve bazı devrelerdeki yük artışının gerektirdiği yeni kapasitör ihtiyacını azaltır. Yüklenmedeki bu azalma azalan hat akımı ile doğru orantılıdır.

Yük artışı için ihtiyaç duyulan kapasitör miktarındaki azalma önemli bir avantajdır. İzin verilen yük artışının her KVA 'sı başına düşen kapasitör $KVAR$ 'ı , devre KVA 'sındaki yüzde kapasitör $KVAR$ 'ı ve orjinal güç faktörünün fonksiyonu olarak *şekil 3.6.* da verilmiştir. Eğer bu değer yerleştirilen kapasitör $KVAR$ 'ı başına düşen maliyet ile çarpılırsa, sonuç her bir ek yük KVA sağlamanın ortalama maliyetidir. Kapasitörün diğer avantajlarını ihmal ederek bulduğumuz bu maliyet diğer trafo ve genaratör ekleme yöntemleriyle karşılaştırılabilir.



Şekil 3.6. Şönt kapasitör eklenmesinden dolayı izin verilen yük artışı

Artan yükü karşılayabilmek için kullanılan diğer yöntemlerde KVA / Maliyet oranı eklenen kapasitörlerinkinden daha çok olabilir. Aynı zamanda *şekil 3.6.* ya dikkat edecek olursak her KVA artışındaki kapasitör $KVAR$ 'ı yüksek orjinal güç faktörüyle oldukça keskin bir artışta gösterebilir [6].

3.4.Sistemin Şönt Kapasitör İhtiyacının Belirlenmesi

Üçüncü bölümde şimdiye kadar verilen bilgiler kapasitörlerin temel etkilerinin araştırılmasıyla ilgiliydi. Sistem planlayıcısı bu temel bilgileri ve kendi sisteminin karakteristiklerini kullanarak, ne kadarlık bir reaktif düzeltmenin sistemin neresinde yapılması gerektiğini bulmalıdır.

Burada özellikle unutulmaması gereken, sistemin şönt kapasitöre ihtiyacı olup olmadığını tesbit etmek için sistem geriliminin tek başına bir kriter olamayacağıdır.

Şönt kompanzasyonun, sistemdeki reaktif güç akışlarını minimize ettiği ve hat başı ile hat sonu gerilimlerini birbirine yaklaştırdığı için, gerilim regülasyonu ve sistemin gerilim profili yönünden olumlu bir katkısı olduğu gerçektir. Buna rağmen, sistemde gerilim kontrolü yönünden bir sorun varsa, çözüm sistemin gerilim regülasyonunda aranmalıdır ve bu konuda şönt kapasitör, bara gerilim regülatörü gibi araçlardan yararlanılmamalıdır.

Sistemin şönt kapasitör ihtiyacının tesbiti için, aşağıdaki hususlar teker teker irdelenmelidir.

a-)Özellikle orta gerilim şebekesinde $\cos\phi$ ne mertebededir ve bunu $\cos\phi = I$ değerine çıkarmak mümkünmüdür?

b-)İletim ve dağıtım sistemlerindeki reaktif güç akışları ne mertebededir? Değişik gerilim seviyelerindeki şebekeler arasında trafolar üzerinden bir reaktif güç akışı varmıdır ve bu akışlar minimize edilebilir mi?

c-)Sistemde şönt kompanzasyon yaparak sistem (generatör, trafo, hat) kapasitesini rahatlatmak veya geri kazanmak ne mertebede olacaktır?

d-)Sistem kayıpları ne mertebededir ve bu mertebe dünya standartlarına göre normalmidir? Üretilen enerjinin ne kadarı fatura edilebiliyor ve aradaki farkın nedenleri ve dağılımı nedir?

e-)Yük barasındaki gerilimi yükselterek ve daha iyi kontrol ederek, müşterinin Kilowatt - saat tüketimi ne kadar arttırılabilir ve bu artışın üretici kuruluş lehine yararı ne mertebededir?

f-)Günümüzdeki finansman maliyetleri gözönüne alınarak, şönt kompanzasyon sayesinde sistem (generatör, trafo, hat) yatırımlarının azaltılmasının veya birkaç sene ertelenmesinin üretici kuruluşa sağlayacağı tasarruf ne mertebededir?

Tüm bunlarla ilgili sistem bazındaki mühendislik analizleri, ekonomik mukayeseler ve bilgisayar programları kapasitör uygulamalarında tavsiye edilen prosedürler haline gelmiştir. Bu yeni yöntemler, orjinal klavuz ve ilkelerin hassasiyetini de kanıtlamıştır [7].

3.4.1.Reaktif güç ihtiyacının tahmini

Kapasitörleri uygun $KVAR$ değerlerinde kullanmak için sistem bazında reaktif güç ihtiyaç tahmini yapılmalıdır. Sistemin her bölümündeki reaktif yükler belirlenmeli ve ana amacın sistemin her parçasında mümkün olduğunca pratik ve ekonomik olarak güç faktörünü I 'e yaklaştırmak olduğu unutulmamalıdır.

Böyle bir tahmin için gereken bilgiler, yük akışını bulmak için yapılan analizdekiyle aynıdır ve aşağıdaki maddeleri içerir.

a-)İletim ve alt iletim hatlarının karakteristikleri

b-)Trafo gücü ve mevcut uçlar

c-)Generatör karakteristikleri ve reaktif güç kapasiteleri

d-) Senkron motorlar, generatörler ve şönt kapasitörler gibi mevcut reaktif kaynakların miktarı ve yerleşimi

e-) Tipik dağıtım besleyicisi hat sabitleri ve yüklenmeleri

f-) Güç faktörü ve ana yük uçlarının miktarı

Bütün bu maddelerle beraber reaktif güç ihtiyaçlarına olan geçmişteki eğilimler, yük gelişimiyle ilişkili olarak özellikle incelenmelidir. Bu inceleme, gelecekteki $KVAR$ ihtiyaçlarını belirlemede yardımcı olur [6].

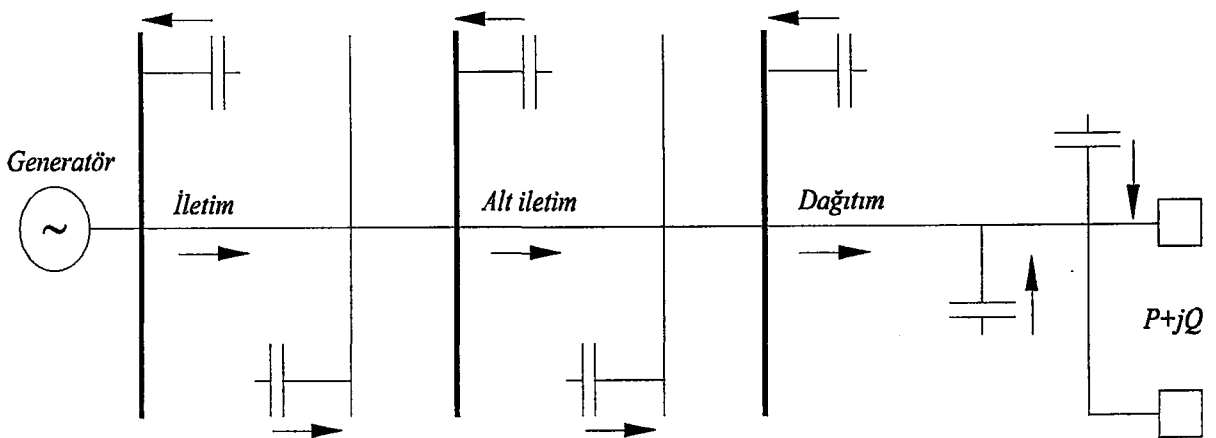
Şebeke analizcisi, yük akışı çalışmasını genellikle yükün tepe (peak) değerindeki gerilim seviyelerine dayanan sistemin, farklı bölümlerinde gereken $KVAR$ 'ın (reaktif gücün) ne kadar olduğunu sistem planlayıcısına bildirmekte kullanabilir. Aynı yük akışı çalışması ile karşılanamaz gerilim şartları yaratmaksızın generatörlerden ne kadar reaktif gücün karşılanabileceğini de söyler.

Yük akışı analizi yapılmaksızın da sistemin reaktif güç ihtiyacı belirlenebilir. Bunun için her bölümün güç faktörünü 1 'e yaklaştırmak için gerekli olan $KVAR$ miktarının hesaplanmasındaki ile aynı bilgiyi kullanmak yeterlidir.

Bu yöntemle amaca ulaşmanın en kolay yolu sistemin eşdeğerini çizmektir. Bunun için şebekeden çekilen zahiri güç (KVA) ve buna ait orjinal güç faktörü $[Cos\phi_1]$ ile istenen, sonuçtaki güç faktörü $[Cos\phi_2]$ bilinmelidir. Bu eşdeğer devre sistemin farklı bölümlerindeki yük karakteristiklerinin benzer olması şartıyla bileşik karakteristiklere sahip olacaktır. Unutulmamalıdır ki, sistemin her bölümünün güç faktörü yük yönü doğrultusunda onu izleyen bölüme bağlıdır. Eğer güç faktörü yük tarafından düzeltilmeye başlandıysa, her bir önceki bölümün güç faktörü 1 'e getirilmeden önce yukarı doğru ayarlanmalıdır.

3.4.2. Şönt kapasitör bankının sistem içindeki yerleşimi

Toplam veya bölüm başına $KVAR$ ihtiyaçları bulunduktan sonra düzenli bir montaj programı yapılmalıdır. Şönt kapasitörlerin en tipik yerleşim şekilleri aşağıda görülmektedir. Bu yerleşimlerden hangisinin kullanılması gerektiğinin ve her birimdeki kapasitör dağılımının belirlenmesinde dört yaygın metod vardır.



Şekil 3.7. Şönt kapasitör banklarının tipik yerleşim şekilleri

A-)Dağıtım sisteminde kompanzasyon

Şönt kapasitör uygulamalarında en çok kullanılan yöntemdir. Reaktif düzeltme gereği arttıkça, güç faktörü hafif yük seviyelerinde I 'e yaklaşıp yada geçene kadar sabit şönt kapasitörler dağıtım besleyicilerine monte edilir. Yük tepe değerindeyken güç faktörünü yine I 'e getirmek için anahtarlamalı kapasitör bankları kullanılır.

Bu metod her yıl, bütün sistemin yükündeki artış ile dağıtım sistemine eklenmesi gereken kapasitörler arasındaki ilişki gözetilerek devam ettirilir. Eğer bu gerilim seviyesindeki montaj, reaktif ihtiyaçları karşılayamaz hale gelirse, bir sonraki gerilim seviyesi gözönüne alınır. Bu yolla bir sistemin reaktif güç ihtiyacının %75 - 80 'i dağıtım hatlarında geri kalanı da ara iletim hatlarında kullanılacak şönt kapasitör banklarıyla sağlanacaktır.

B-)Ekonomik karşılaştırma

Sistemin her bölümü için yerleştirilmiş şönt kapasitörlerin *maliyet / KVAR* 'ından elde edilen sistem maliyet şekillerini içerir. Bu şekiller daha sonra artan yük gerilimi, rahatlayan kapasite ve azalan kayıplar gibi aynı yararları sağlayacak olan kaynak ekipmanının *maliyet / KVA* oranı ile karşılaştırılır.

Bu maliyet şekillerini elde etmenin ve karşılaştırmanın bir çok yolu vardır. Genellikle tercih edilen; sistemin herhangi bir bölümüne monte edilen şönt kapasitörlerin, *maliyet / KVAR* oranının en son montajın *kazanç / KVAR* oranını geçene dek kapasitör ilavesine devam edilmesidir. *Kazanç / KVAR* oranı, orjinal güç faktörü arttıkça azalır. Böylece her bir *KVAR* ilavesiyle kazancın maliyete oranı azalacaktır. Bu oran I olduğunda, şönt kapasitör ilavesinin ekonomik dengesine erişilmiştir. Yalnız *maliyet / KVAR* oranı sistemin her bölümü için farklı olacağından bu karşılaştırma bölümsel bazda yapılmalıdır.

Kazanç / KVAR oranındaki azalma güç faktörünün değişmesinin bir fonksiyonu olduğu için, her kapasitör ilavesinden sonra güç faktörü yeniden hesaplanmalıdır.

Kabul edilmiş ve ispatlanmış diğer bir ekonomik karşılaştırma yöntemi ise kapasitör montajını minimum sistem maliyeti bazında sınırlamaktır. Aşağıda verilen analiz, kapasitör miktarını minimum sistem yatırımına bağlar. Bu analizde,

P : Aktif gücü (KW)

S_1 : Kapasitörsüz zahiri gücü (KVA)

S_2 : Kapasitörlü zahiri gücü (KVA)

Q_1 : Kapasitörsüz reaktif gücü ($KVAR$)

Q_c : Kapasitör tarafından sağlanan reaktif gücü ($KVAR$)

Q_s : Kaynak tarafından sağlanan reaktif gücü ($KVAR$)

ϕ_1 : Başlangıçtaki güç faktörü açısını

ϕ_2 : Sonuçtaki güç faktörü açısını

r : Kapasitörün yıllık *maliyet / KVAR* 'ını

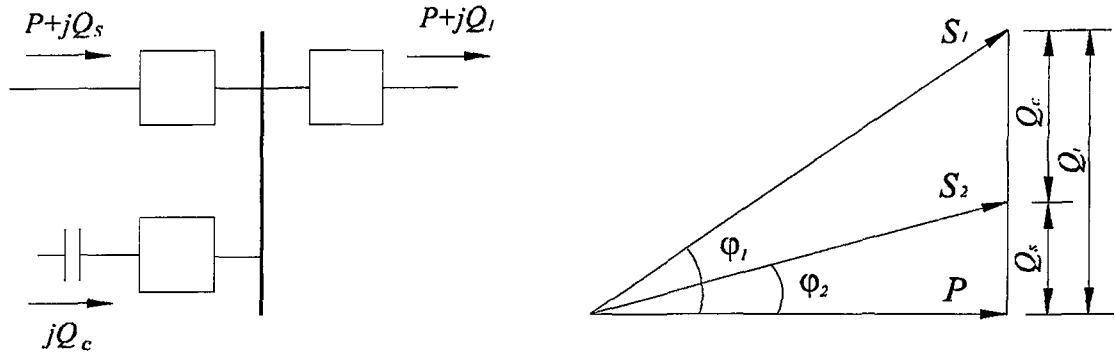
s : Sistemin yıllık *maliyet / KVA* 'sını

c : Sistemin toplam *maliyeti / KW* 'ını

gösterir.

Sistemin herhangi bir noktasındaki *Kilowatt*, *KVAR* ve toplam *KVA* arasındaki vektörel ilişki basit bir sistem için *şekil 3.8.* de görülmektedir.

Yük ve sistem tarafından istenen gerçek güç P , reaktif güç ise Q dir. Reaktif güçler kısmen kaynak generatörlerinden, kalanı da kapasitörlerden sağlanır. Q reaktif gücünün kaynaktan gelen kısmı Q_s ve kapasitör tarafından sağlanan kısımda Q_c dir.



Şekil 3.8. Maliyet formülünün çıkarılması için vektör diyagramı

Yükü beslemek için gereken yıllık yatırım ve masraflar c ile gösterilmiştir. Enerji kaynaklarının her birinin maliyeti birim değerler üzerinden tanımlandığından yükü beslemek için gereken toplam yatırım ve masraflar,

$$c \cdot P = s \cdot S_2 + r \cdot Q_c \quad (3.13.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Sistemin toplam maliyeti, orjinal güç faktörü sabit olarak düşünülürse $\text{Cos}\varphi_2$ gibi tek bir değişken cinsinden yazılabilir.

$$c = \frac{s \frac{P}{\text{Cos}\varphi_2} + r \cdot P \cdot [\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2]}{P} \quad (3.14.)$$

veya

$$c = \frac{s}{\text{Cos}\varphi_2} + r \cdot [\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2] \quad (3.15)$$

c için yazılan son bağıntı orjinal ve sonuç güç faktörü açısı kullanılarak, kaynak devreleri ve kapasitörlerin yıllık toplam maliyetlerinin bir ifadesidir. Bu maliyet değeri minimumken elde edilen sonuç güç faktörü açısı, kaynak devreleri ve kapasitörler için yapılan yatırım arasındaki en ekonomik oranın ölçüsüdür.

Bağıntı (3.15.) de c 'nin φ_2 ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse, toplam maliyet fonksiyonunun minimum olduğu nokta bulunmuş olur.

$$\frac{dc}{d\varphi_2} = \frac{s \cdot \sin\varphi_2}{\cos^2\varphi_2} + r \cdot \left[0 - \frac{1}{\cos^2\varphi_2} \right] = 0 \quad (3.16.)$$

$$\text{Böylece} \quad s \cdot \sin\varphi_2 - r = 0 \quad \text{veya} \quad \sin\varphi_2 = \frac{r}{s} \quad (3.17.)$$

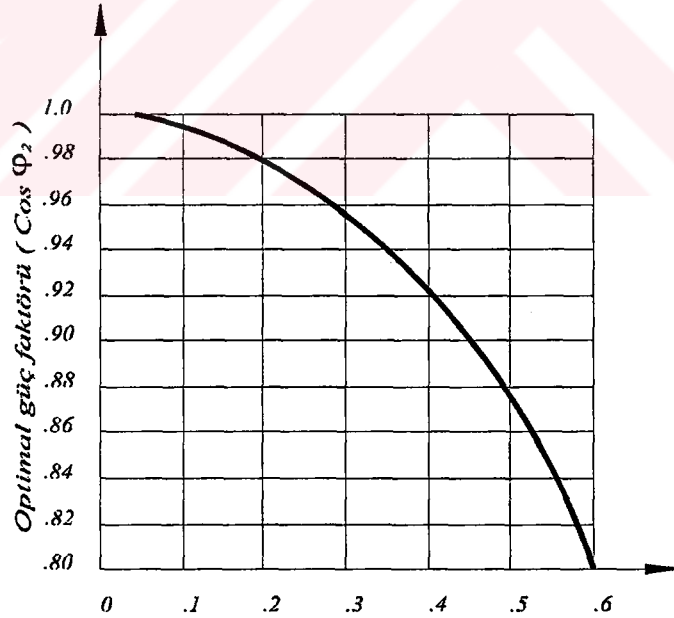
ifadesi elde edilir.

Trigonometrik $\cos\varphi = \sqrt{1 - \sin^2\varphi}$ bağıntısı yardımıyla sonuç güç faktörü direk olarak,

$$\cos\varphi_2 = \sqrt{1 - [r/s]^2} \quad (3.18.)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu bağıntıdan bulunan sonuç güç faktörü, sisteme şönt kapasitör ekleyerek elde edilebilecek optimal güç faktörüdür. Bununla ilgili tipik sonuçlar *şekil 3.9.* da çizilmiştir [6].



$$\frac{\text{Yıllık maliyet / KVAR}}{\text{Yıllık maliyet / KVA}} = \frac{r}{s}$$

Şekil 3.9. Minimum sistem yatırımının bir fonksiyonu olarak optimal sistem güç faktörü

Orjinal toplam maliyet bağıntısında, optimal sonuç güç faktörü yerine konacak olursa,

$$c = \sqrt{s^2 - r^2} + r \cdot \tan\phi, \quad (3.19.)$$

minimum toplam maliyet bağıntısı da elde edilmiş olur.

Primer ve sekonder şönt kapasitör bankı :

Sistem içerisinde kullanılacak olan şönt kapasitör bankları bir trafo merkezinin üst gerilim (Primer) barasına veya alt gerilim (Sekonder) barasına yerleştirilebilir. Bu her iki durum, kapasitör banklarının sağladığı faydalarla beraber maliyetlerini içeren ekonomik bir analizi daha gerektirir.

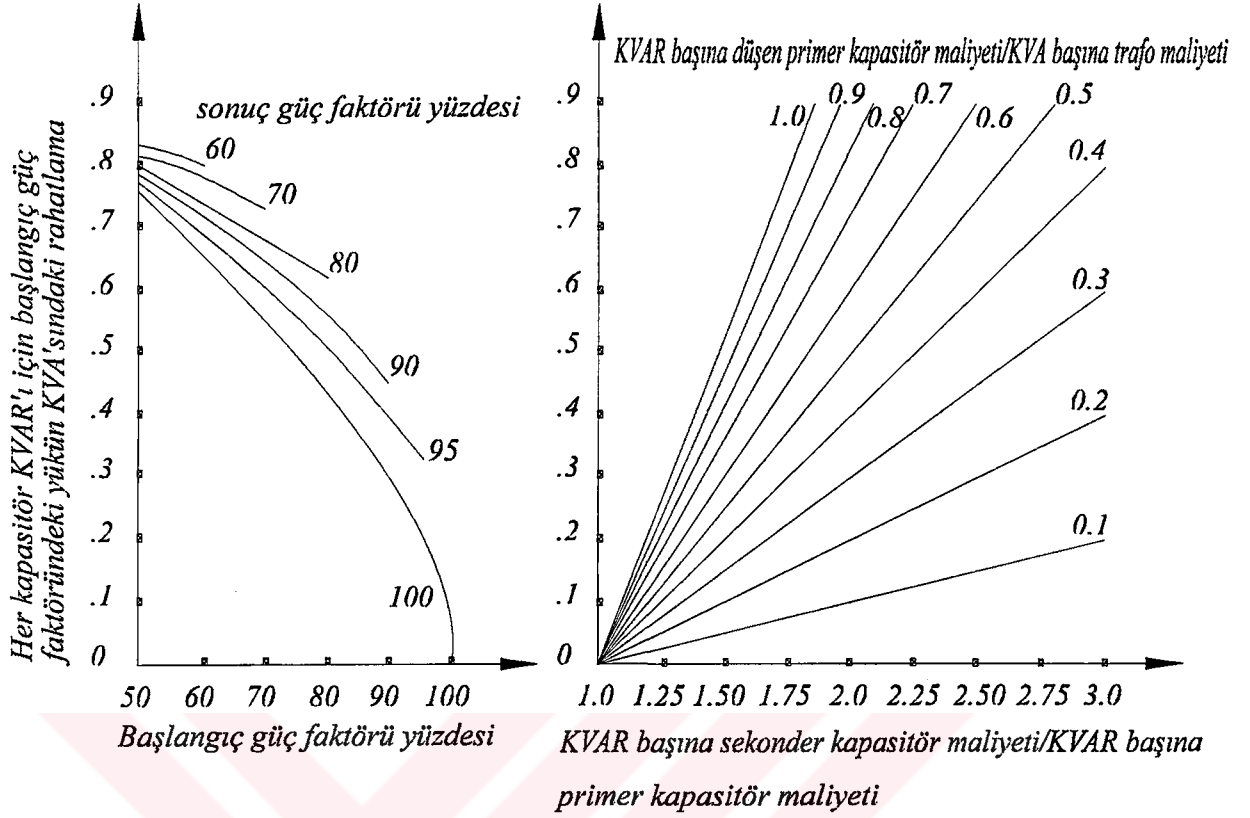
Bazı sistem planlayıcıları; sekonder kapasitörleri, komple sistem uygulaması yerine primer birimlerle karşılaştırmayı tercih ederler. Bu metod onlara zaman kazandırır. Çünkü, primer kapasitörlerin ekonomik olarak kanıtlanmış olduğu varsayılır [6]. Primer kapasitör bankından elde edilen tüm avantajlar, sekonder kapasitör banklarından da elde edilebileceğinden bu bankın ekonomik olup olmadığı kolaylıkla kontrol edilebilir.

Sekonder kapasitör bankları; kayıp azalımı, kapasite rahatlaması ve gerilim artışı sağladığı için her zaman ekonomikmiş gibi görülebilir. Bununla birlikte sekonder kapasitörlerin düzeltecekleri reaktif yükün boyutuna göre küçük oluşları *maliyet / KVAR* oranını oldukça artırır. Yüksek olan bu *maliyet / KVAR* oranı elde edilen avantajları yok etmiş olabilir.

Bu özel durum için " *ekonomik karşılaştırma* " başlığı altında verilen metod kullanılarak ekonomik bir analiz yapılabilir. Fakat çoğunlukla daha pratik olan bir yöntem tercih edilir. Bu yöntemde göre sekonder kapasitör bankının, primer kapasitör banklarına göre ana avantajı trafodaki kapasite rahatlamasıdır. Dolayısıyla, sekonder kapasitör banklarının diğer yararlarının ekonomik kazancı artırıcı olduğu kanıtlanmış olduğundan sadece rahatlıyan kapasite bazında ekonomik bir değerlendirme yapmak yeterli olur.

Şekil 3.10. daki eğriler, termal açıdan sınırlı bir ekipmandaki kapasite rahatlamasını gösteren *şekil 3.20.* deki vektör diyagramından elde edilmiştir. Eğer gerilim, belirleyici bir faktör ise önceden anlatıldığı gibi adım adım giden bir ekonomik karşılaştırma daha kesin sonuçlar verecektir.

Buna rağmen, genel bir durum söz konusu olduğunda sekonder kapasitör banklarının ekonomik olup olmadığını belirlemek mümkündür. Bunun için; başlangıç güç faktörünün, istenen optimal güç faktörünün, sekonder kapasitör maliyetinin primer kapasitör maliyetine oranının ve trafonun *maliyet / KVA* oranının bilinmesi gerekir. *Şekil 3.10.* daki eğrilere göre sekonder kapasitör *KVAR* 'ının, primer kapasitör *KVAR* 'ına olan izin verilebilir oranı gerçek orana eşitse, azalan kayıplar veya artan gelirler gibi ekonomik faydalar pozitif bir yargıya varmak için hesaplanabilir [6].



Şekil 3.10. Primer ve sekonder şönt kapasitör banklarının ekonomik mukayesesi

ÖRNEK C:

Başlangıç güç faktörü $\text{Cos}\phi_1 = \%70$ olan bir sistemde istenen optimal sonuç güç faktörü $\text{Cos}\phi_2 = \%90$ ise bir dağıtım trafosunun sekonder barasına bağlanan şönt kapasitör bankının ekonomik olup olmadığını inceleyelim. Bunun için gerekli parametreler;

$$\$/KVAR = \$21 \text{ (Sekonder şönt kapasitör.)}$$

$$\$/KVAR = \$6 \text{ (Primer şönt kapasitör.)}$$

$$\$/KVA = \$10 \text{ (Transformatör.)}$$

Şekil 3.10. kullanılarak gerekli eksen büyüklükleri,

$$\frac{\$/KVAR \text{ [Sekonder şönt kapasitör]}}{\$/KVAR \text{ [Primer şönt kapasitör]}} = \frac{21}{6} = 3,5 \text{ ve } \frac{\$/KVAR \text{ [Primer şönt kapasitör]}}{\$/KVA \text{ [Transformatör]}} = \frac{6}{10} = 0,6$$

olarak bulunur. Şekil 3.10 dan başlangıç güç faktörü $\%70$ olan bir sistemin sonuç güç faktörünü $\%90$ yapmak için şönt kapasitör ilave edilirse eklenen her bir KVAR 'lık şönt kapasitör için $0,62 \text{ KVA}$ 'lık bir kapasitenin rahatladığı görülebilir.

Primer kapasitörlerin ve dağıtım trafosunun tesisat maliyetlerinin 0,6 olan oranı ile şönt kapasitör ilavesiyle elde edilen kapasite rahatlamasının kesiştiği nokta, yatay ekseninde *KVAR* başına sekonder kapasitör maliyetinin primer kapasitör maliyetine oranı olan 2,1 değerini verir. Bulunan bu değer, hesaplanan gerçek maliyet oranı olan 3,5 dan küçük olduğu için trafonun sekonder barasına bağlanan şönt kapasitör bankının ekonomik olmadığına karar verilir.

C-)Acil durum önceliği

Bir çok kapasitör tesisatı kendini sadece acil durumlarda sisteme yaptığı destek ile gösterir. Bu olay özellikle yüksek gerilim grupları için doğrudur. Büyük bir şönt kapasitör bankı 138 KV 'luk bir baraya tesis edilebilir. Kapasitör bankı çoğu zaman enerjisiz olacaktır. Bununla beraber, sistem alanına bir yıldırım düştüğünde hatta bağlanacaktır. Böylelikle bir hat, arıza boyunca devreden çıkarsa diğer hat tam yükü taşıyabilecektir. Çünkü, bu durumda sistem için gerekli reaktif akım kapasitör bankı tarafından sağlanacaktır. Aynı durumda eğer şönt kapasitör bankı olmasaydı, hat üzerindeki gerilim çok düşük olacak ve komple yük kaybedilecekti.

Anahtarlamalı kapasitör bankları bazen sadece voltaj regülasyonu düzeltme özellikleri için kurulur. Bu tür uygulamada kapasitörler aynı fonksiyonu yerine getiren voltaj regülatörleriyle ekonomik açıdan ve operasyon genişliği bakımından karşılaştırılır. Daha önceki hesaplamaların karmaşık ve uzun oluşu geniş çaplı çalışmaların yapılmasına engel teşkil etmiş, son yıllarda çıkan ve voltaj regülasyon metodlarını karşılaştıran bilgisayar programları ile bu işlemler yaygınlaşmıştır.

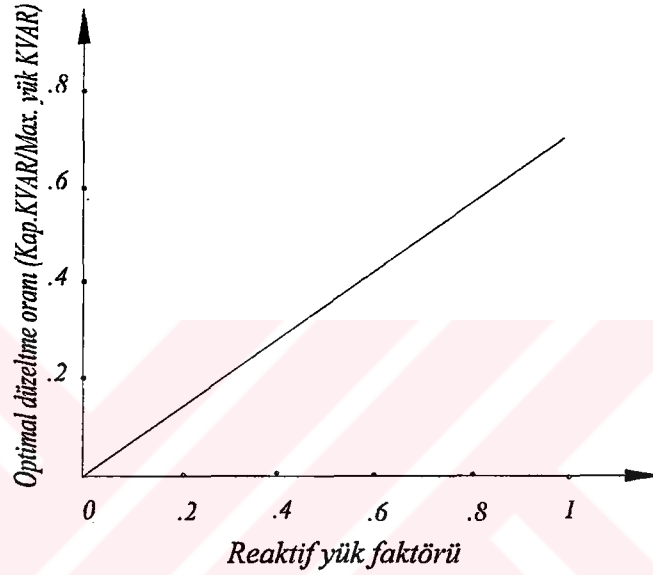
D-)Minimum sistem kaybı için yerleşim

Şekil 3.7. de verilen şönt kapasitör tesisatları, minimum sistem kaybı için her bölümde optimal yerleşimi belirlemektedir. Bu şekiller, özellikle iletim ve alt iletim hatları için doğrudur.

Kapasitör banklarının kesin yerleşimi bir çok değişkeni ihtiva eden bir problemdir. Genellikle özel bir besleyici üzerinde yapılan optimal yerleşim analizi, maksimum kayıp azalımı üzerine kuruludur. Bununla birlikte; değişen yük modeli, kapasitör boyutları ve aynı besleyici üzerinde sabit ve anahtarlamalı kapasitör bankı kullanılmasının etkisi optimal yerleştirme yapılmasını imkansızlaştırabilir. Bu imkansızlıkta, bireysel besleyicileri sürekli olarak analiz etmeyi veya genel duruma uygulanan optimize metodları geliştirmeyi gerekli kılar.

Bütün bu analizlerin sonucunda, şönt kapasitör bankını kaynaktan besleyicinin sonuna kadar olan mesafenin $2/3$ 'üne yerleştirmek pratik ve teorik bakımdan kanıtlanmış bir yaklaşım olarak bilinir. *KVAR* miktarı ve reaktif yük faktörü, bu yaklaşımın maksimum kayıp azalımı sağlayıp sağlamadığını belirleyen faktörlerdir [6,8].

Eğer şönt kapasitör yerleşimi sadece minimum kayıplar düşünülerek yapılırsa; optimal kapasitör bank gücü, sistemin $KVAR$ ihtiyacının bir yüzdesi ve optimal yerleşim de yukarıda açıklandığı gibi olacaktır. Son zamanlarda yapılan çalışmaların sonuçları göstermiştir ki; vardığımız bu sonuç, besleyicinin düşük bir reaktif yük faktörü olduğu durum hariç geçerlidir. *Şekil 3.11.* optimal kapasitör bank gücünün reaktif yük faktörü ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu şekilde, montajın kaynak ile yük arasındaki mesafenin $2 / 3$ 'ünde yapıldığı varsayılmıştır.



Şekil 3.11. Optimal kapasitör tesisatının reaktif yük faktörü ile değişimi

Bütün bu etkilerle beraber kapasitör bankları için en ideal yer; tüm kazancın irdelenmesiyle belirlenen ekonomik kapasitör büyüklüğü ile minimum kayıpların temelde ulaşımıyla bulunacaktır. Gerilim şartlarının, ekipman standardizasyonunun veya montaj sınırlamalarının verilen bir besleyici üzerinde birden fazla kapasitör bankının kullanılmasına neden olma ihtimali, optimal boyut ve yerleşim problemine yeni bir değişken ilave edeceği de unutulmamalıdır.

Aşağıdaki analiz primer besleyicisinde şönt kapasitör ihtiyaçlarının belirlenmesi sürecinde tavsiye edilmektedir. Böylece sistem için ekonomik $KVAR$ miktarını belirlerken şönt kapasitör banklarının sistem içindeki yerleri de belirlenmiş olur.

Ortalama reaktif yükün maksimum reaktif yüke oranı olan reaktif yük faktörü bulunduğundan sonra *şekil 3.11.* kullanılarak kaynaktan yüke kadar olan mesafenin $2 / 3$ 'ünde tesisatı yapılacak olan şönt kapasitör bankının maksimum gücü bulunabilir. Bulunan bu değer ekonomik karşılaştırma başlığı altında verilen metodlarla bulunan kapasitör gücünden küçük çıkarsa uygulamada diğer kapasitör bankları kaynağa yakın yerleştirilmelidir.

Sistemde anahtarlama kapasitör bankları kullanılacaksa, bu bankların yeri gerilim şartları tarafından belirlenir. Bununla birlikte; bu kapasitör bankları genellikle besleyicinin yüke olan uzaklığının $1 / 3$ 'üne yerleştirilir [6,8].

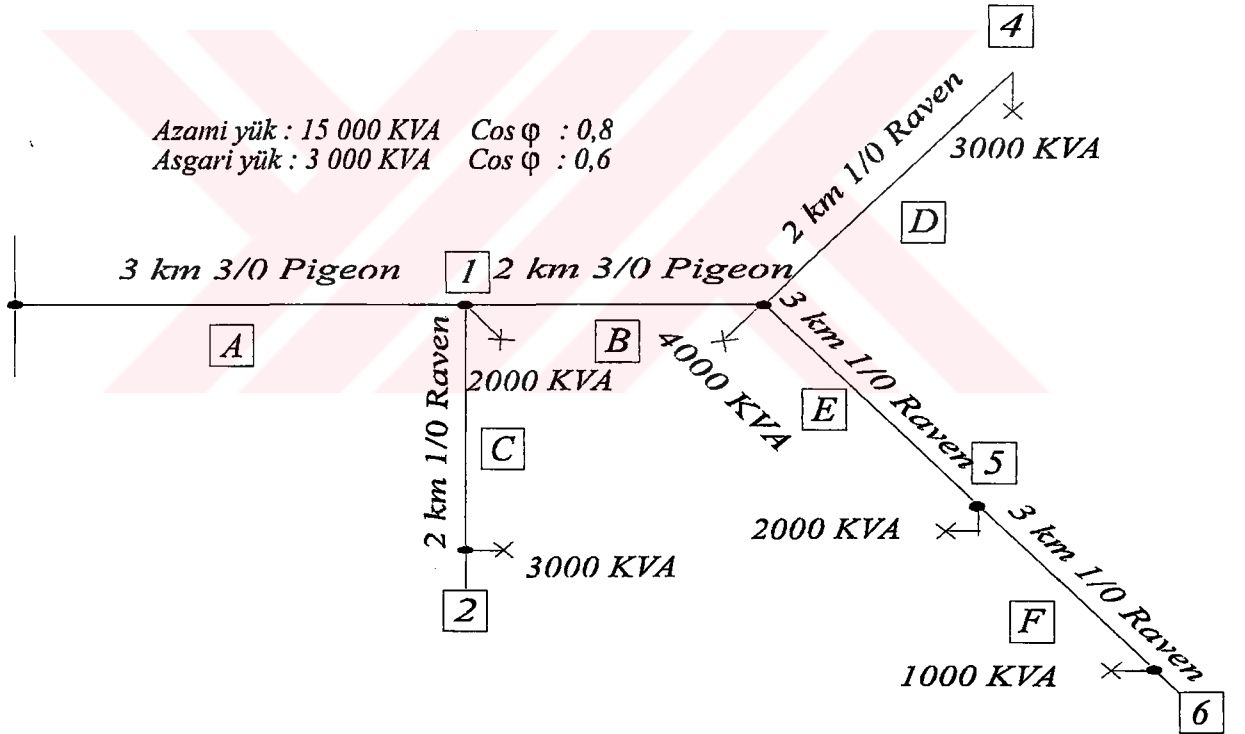
3.5.Şönt Kapasitör Banklarının Ekonomik Yararlarının Hesaplanması Ve Değerlendirilmesi

Şimdiye kadar şönt kapasitör banklarının montajı öncelikle; artan yük gerilimi seviyesi, rahatlayan sistem ve ekipman kapasitesi ve azalan sistem kayıpları gibi temel etkiler bazında incelendi. Bununla beraber, şönt kapasitör banklarının montajı ile elde edilen bu temel etkilerin sonucu olan sistem yatırımındaki maddi kazançları da düşünmek gerekir.

Bu başlık altında verilecek bir örnek ile şönt kapasitör banklarının temel etkilerinin bir fonksiyonu olan ekonomik yararları açıkça görülecektir

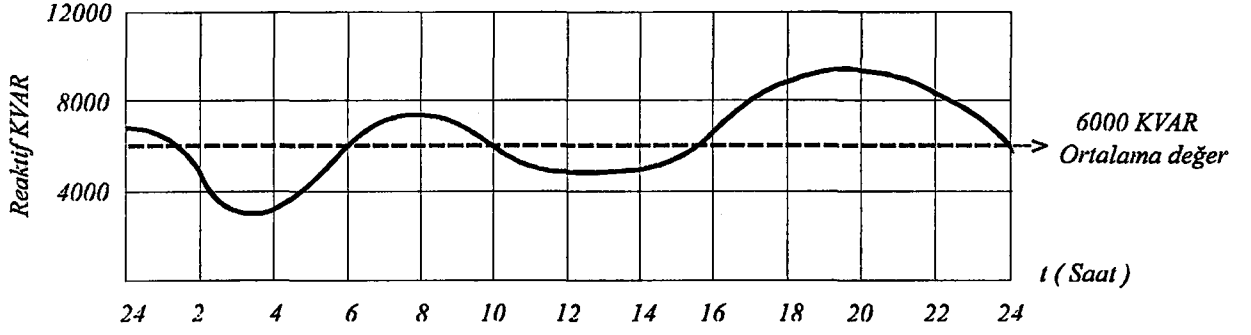
ÖRNEK D:

Aşağıda yaklaşık olarak maksimum yükte dağıtımı gösteren 15 KV 'luk hattın tek hat şeması görülmektedir.

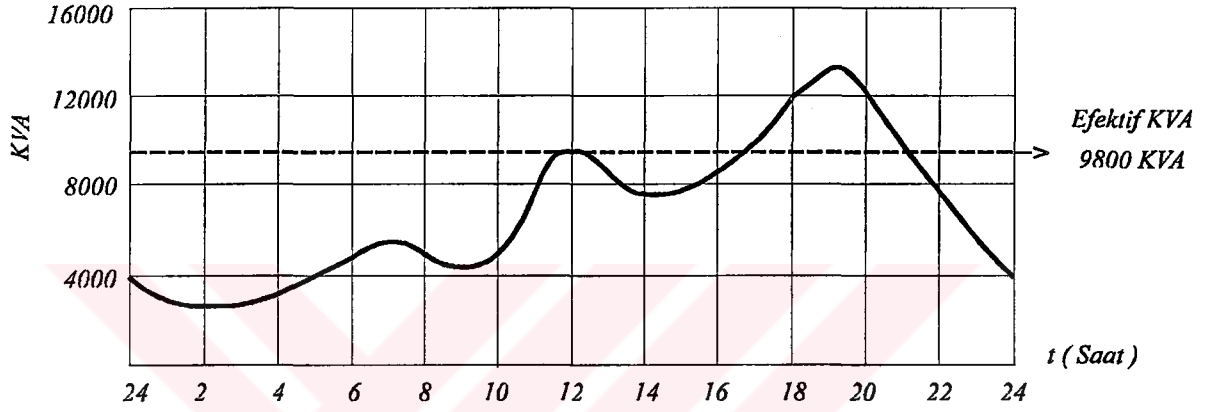


Şekil 3.12. Yaklaşık olarak maksimum yükte dağıtımı gösteren 15 KV 'luk hattın tek hat şeması

Bu hat için zahiri ve reaktif güçlerin günlük yük eğrileri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dağıtım hattındaki toplam günlük reaktif güç eğrisi



Şekil 3.14. Dağıtım hattındaki toplam günlük zahiri güç eğrisi

Bu şekiller problemi incelemek için gerekli yük karakteristiklerini kapsamaktadır. Şönt kapasitör kullanmadan önce dağıtım hattındaki mevcut gerilim durumunu incelemek olumlu sonuç verecektir. Bunun için bağıntı (3.2.) ve (3.3.) 'ün bileşkesi olan aşağıdaki bağıntı kullanılarak hattaki yüzde gerilim düşümü hesaplanabilir.

$$V_d = \frac{S_1 \cdot d \cdot [R \cdot \cos \varphi_1 + X \cdot \sin \varphi_1]}{10 \cdot [KV]^2}$$

Bu bağıntıda,

- R :Hattın direncini (Ω / Km)
- X :Hattın reaktansını (Ω / Km)
- S_1 :Kapasitörsüz zahiri gücü (KVA)
- KV :Fazlar arası gerilimi (KV)
- d :Hattın uzunluğunu (Km)
- φ_1 :Başlangıçtaki güç faktörü açısını

göstermektedir.

Gerilim düşümü, hattın her kısmı için puant ve minimum yüklerde hesaplanabilir.

A kısmı için :

$$S_1 = 15000 \text{ (KVA) [Puant yükte]}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$R = 0,347 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Cos}\varphi_1 = 0,8$$

$$X = 0,406 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Sin}\varphi_1 = 0,6$$

$$V_b = \frac{15000 \times 3 \times [0,347 \times 0,8 + 0,406 \times 0,6]}{10 \times [15]^2}$$

$$V_b = 10,424$$

$$S_1 = 3000 \text{ (KVA) [Minimum yükte]}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$R = 0,347 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Cos}\varphi_1 = 0,6$$

$$X = 0,406 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Sin}\varphi_1 = 0,8$$

$$V_b = \frac{3000 \times 3 \times [0,347 \times 0,6 + 0,406 \times 0,8]}{10 \times [15]^2}$$

$$V_b = 2,132$$

E kısmı için :

$$S_1 = 3000 \text{ (KVA) [Puant yükte]}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$R = 0,55 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Cos}\varphi_1 = 0,8$$

$$X = 0,431 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Sin}\varphi_1 = 0,6$$

$$V_b = \frac{3000 \times 3 \times [0,55 \times 0,8 + 0,431 \times 0,6]}{10 \times [15]^2}$$

$$V_b = 2,794$$

$$S_1 = 600 \text{ (KVA) [Minimum yükte]}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$R = 0,550 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Cos}\varphi_1 = 0,6$$

$$X = 0,431 \text{ (}\Omega/\text{Km)} \quad \text{Sin}\varphi_1 = 0,8$$

$$V_b = \frac{600 \times 3 \times [0,55 \times 0,6 + 0,431 \times 0,8]}{10 \times [15]^2}$$

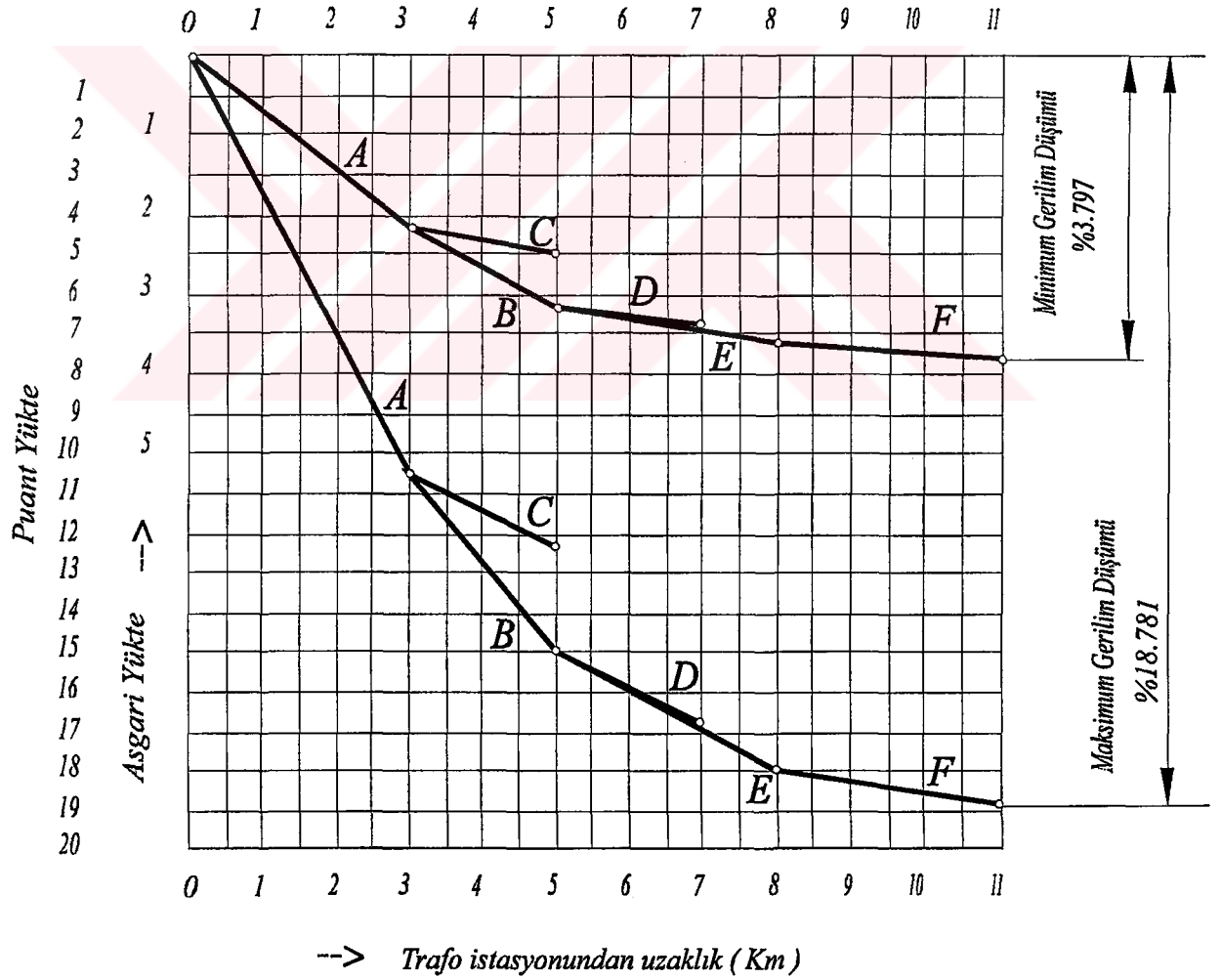
$$V_b = 0,539$$

Hattın diğer kısımları için benzer şekilde bulunan puant ve minimum yüklerdeki gerilim düşümleri *tablo 3.2.* 'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Puant ve minimum yüklerdeki yüzde gerilim düşümleri

KISIM	K V A		% GERİLİM DÜŞÜMÜ	
	Puant Yük	Minimum Yük	Puant Yükte	Minimum Yükte
A	15000	3000	10,424	2,132
B	10000	2000	4,632	0,947
C	3000	600	1,862	0,359
D	3000	600	1,862	0,359
E	3000	600	2,794	0,539
F	1000	200	0,931	0,179

Bu gerilim düşümleri aşağıdaki şekilde, grafik halinde gösterilmiştir.

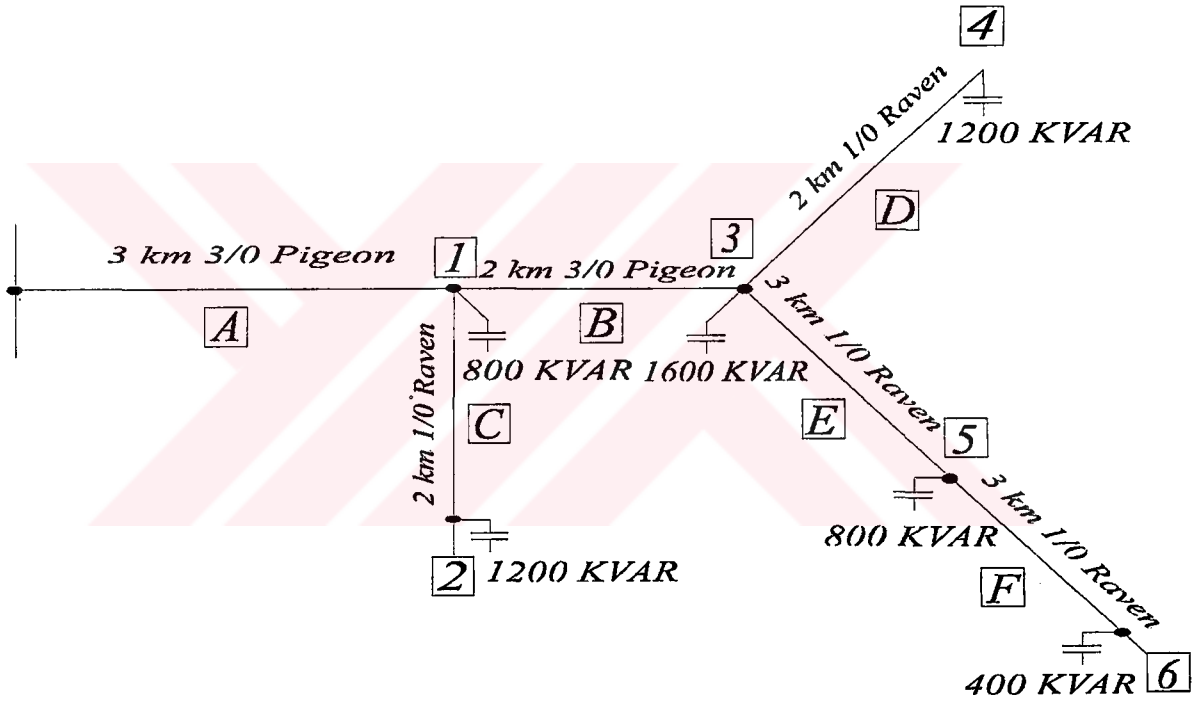


Şekil 3.15. Kapasitörlerin uygulanmasından önce puant ve minimum yüklerde dağıtım hattındaki gerilim düşümleri

Maksimum işletme yararı ve ekonomi elde etmek için güç faktörü 1'e yükseltilmelidir. Bu, enerji kaybının minimum ve hattın taşıma kapasitesinin maksimum olmasını sağlar. Fakat güç faktörünü günün 24 saati 1 yapmak mümkün değildir.

Reaktif yükün maksimum ve minimum değerleri *şekil 3.13.* de gösterilmiştir. En iyi sonuç ortalama reaktif gücü düzelterek alınabilir ki; bu değer söz konusu örnekte yaklaşık olarak 6000 KVAR civarındadır.

Teorik olarak kapasitörler reaktif yüklerin hat boyunca dağıldığı gibi dağıtılmalıdır. Örnekte 15000 KVA'lık toplam yük olduğu için her 1000 KVA'lık yük için yaklaşık olarak 400 KVAR'lık kapasitör temin etmek gerekmektedir. Toplam 6000 KVAR, yük merkezlerindeki trafoların primer baralarına aşağıdaki gibi dağıtılabilir.



Şekil 3.16. Dağıtım hattına konan kapasitörlerin hattaki dağılımı

3.5.1. Gerilim düşümlerindeki azalma

Hattın reaktansı boyunca akan reaktif akımın oluşturduğu gerilim düşümü gibi kapasitörün kapasitif akımı da hattın reaktansı boyunca akarak gerilim yükselmesi meydana getirir. Bu yükselme bağıntı (3.10.) ile bulunabilir.

$$V_a = \frac{KVAR \cdot X \cdot d}{10 \cdot [KV]^2}$$

Bu bağıntıda,

V_A :Yüzde gerilim artışı

$KVAR$:Kapasitör bankının gücünü ($KVAR$)

X :Kapasitör bankına kadar olan hat reaktansı (Ω)

d :Kapasitör bankına kadar olan hat uzunluğunu (Km)

KV :Fazlar arası gerilimi (KV)

gösterir.

A kısmı için:

$$KVAR = 6000 \text{ (KVAR)}$$

$$X = 0,406 \text{ (\Omega/Km)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

$$V_A = \frac{6000 \times 0,406 \times 3}{10 \times [15]^2} = 3,248$$

E kısmı için:

$$KVAR = 1200 \text{ (KVAR)}$$

$$X = 0,431 \text{ (\Omega/Km)}$$

$$d = 3 \text{ (Km)}$$

$$KV = 15 \text{ (KV)}$$

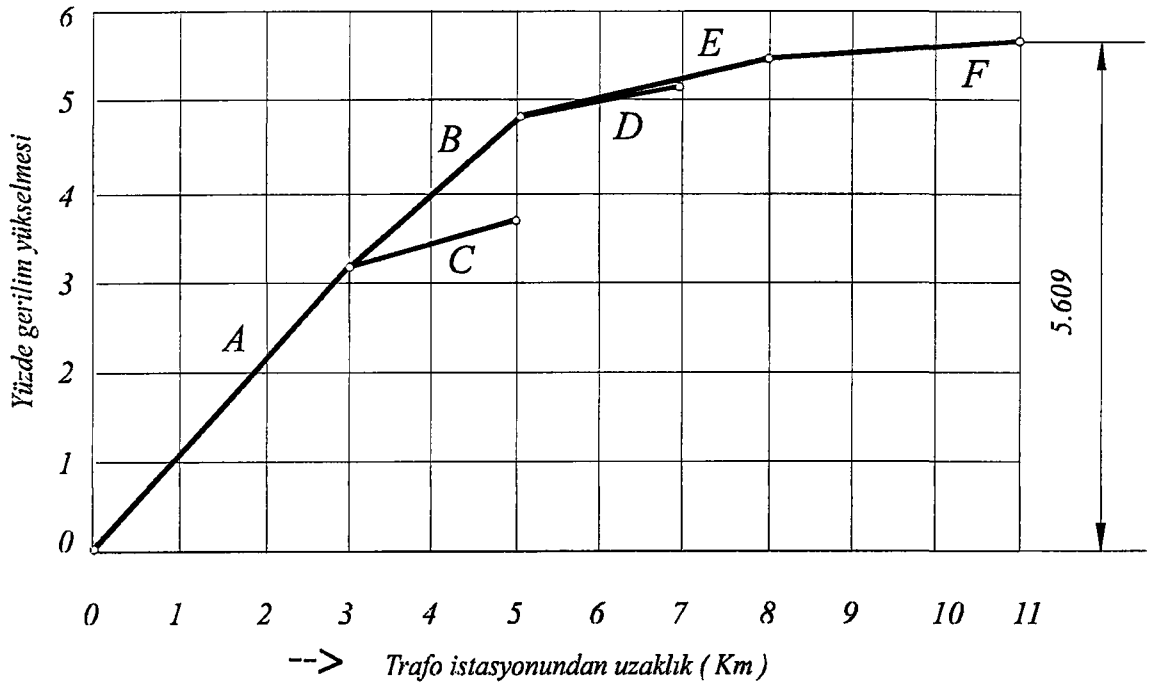
$$V_A = \frac{1200 \times 0,431 \times 3}{10 \times [15]^2} = 0,689$$

Hattın diğer kısımları için benzer şekilde bulunan gerilim artışları aşağıda *tablo 3.3.* 'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kapasitör kullanıldıktan sonraki gerilim artışları

<i>KISIM</i>	<i>KVAR</i>	<i>%Ger. Yük.</i>	<i>KISIM</i>	<i>KVAR</i>	<i>%Ger. Yük.</i>
<i>A</i>	<i>6000</i>	<i>3,248</i>	<i>D</i>	<i>1200</i>	<i>0,459</i>
<i>B</i>	<i>4000</i>	<i>1,443</i>	<i>E</i>	<i>1200</i>	<i>0,689</i>
<i>C</i>	<i>1200</i>	<i>0,459</i>	<i>F</i>	<i>400</i>	<i>0,229</i>

Bu gerilim artışları aşağıdaki şekilde grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Dağıtım hattında kapasitörlerin oluşturacağı gerilim yükselmeleri

3.5.2. Kapasitör kullanıldıktan sonra dağıtım hattındaki gerilim düşümü

Şekil 3.15. dağıtım hattında kapasitör kullanmadan önceki gerilim düşümünü gösterir. Şekil 3.17. ise kapasitör kullanıldıktan sonraki gerilim yükselmelerini verir. Gerilim düşüş eğrisine yükselme eğrisini ilave ederek minimum ve puant yüklerde kapasitör kullanıldıktan sonraki net gerilim düşümü bulunur.

Hattın şönt kapasitör kullanıldıktan sonraki gerilim düşümü aşağıda şekil 3.18. de grafik olarak çıkarılmıştır.

3.5.3. Taşıma kapasitesindeki artış

Bir çok havai hat iletim ve dağıtım devrelerinde, taşıma kapasitesi hat boyunca aşılmaması istenen gerilim düşümü ve kaynak ekipmanının termal kapasitesi tarafından sınırlandırılır.

Şönt kapasitör kullandıktan sonra dağıtım hattının aktif kapasitesindeki artış her bir kapasitör tesisi için artan kapasitedeki artma miktarlarının toplanması yoluyla hesap edilebilir.

Herhangi bir tesisdeki kısmi artış aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir.

$$\Delta KW = \frac{KVAR}{\tan\phi_1 + \frac{R}{X}} \quad (3.20.)$$

Bu bağıntıda,

ΔKW :Hattın taşıma kapasitesindeki artışı (KW)

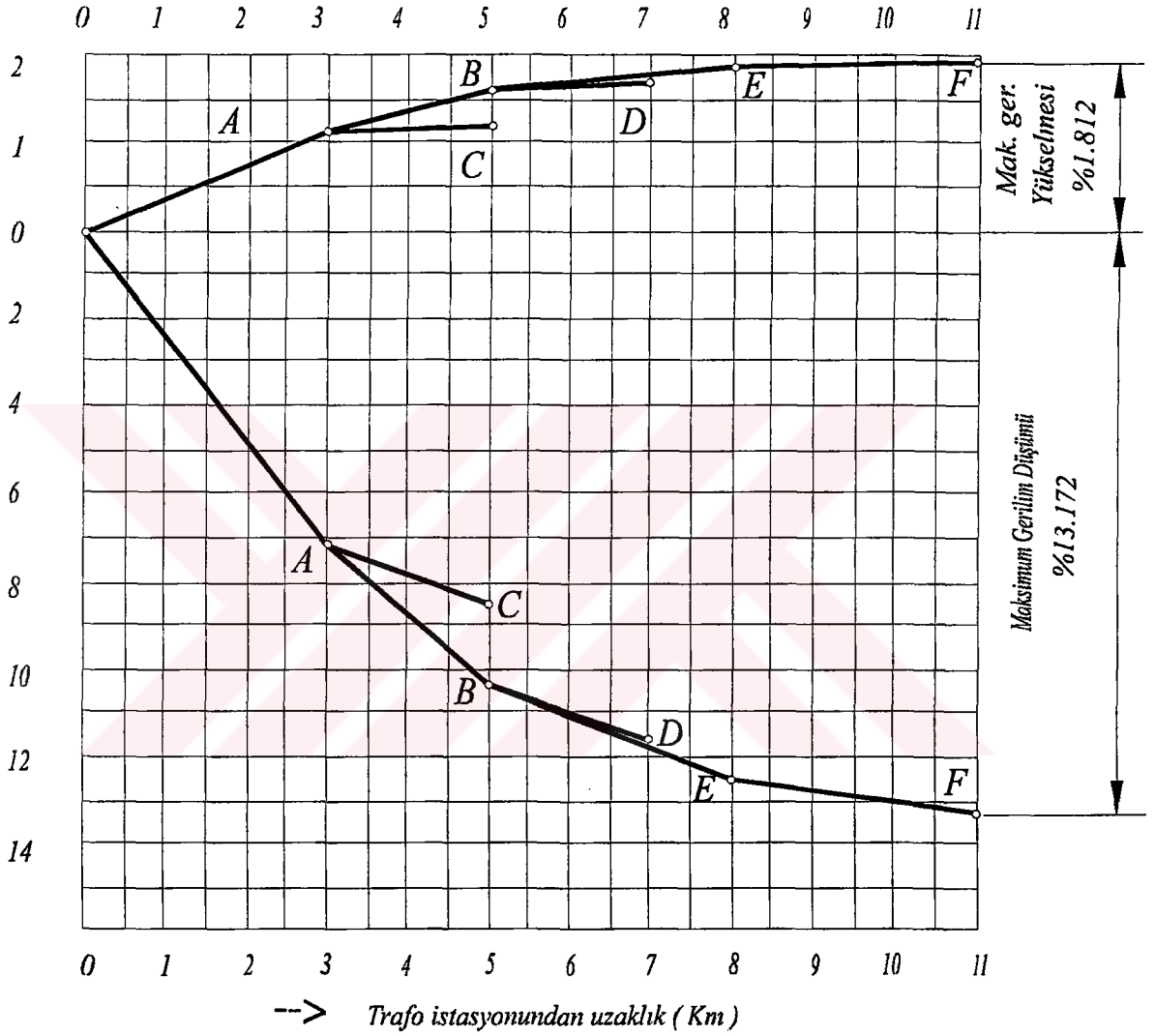
$KVAR$:Kapasitör bankının gücünü (KVAR)

φ_1 :Başlangıçtaki güç faktörü açısını

R :Kapasitör bakına kadar olan hattın direncini (Ω)

X :Kapasitör bakına kadar olan hattın reaktansını (Ω)

gösterir.



Şekil 3.18. Şönt kapasitör kullanıldıktan sonraki gerilim düşümleri

Örnekteki 1 noktasında tesis edilmiş 800 KVAR gücündeki şönt kapasitör bankı nedeniyle artan kapasite,

$$KVAR = 800 \text{ (KVAR)}$$

$$\tan\varphi_1 = 0,75$$

$$R = [0,347 \times 3] = 1,041 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$X = [0,406 \times 3] = 1,218 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\Delta KW = \frac{800}{0,75 + \frac{1,041}{1,218}} = 498,541 \text{ (KW)}$$

Örnekdeki 5 noktasında tesis edilmiş 800 KVAR gücündeki şönt kapasitör bankı nedeniyle artan kapasite,

$$KVAR = 800 \text{ (KVAR)}$$

$$\tan\phi_r = 0,75$$

$$R = [0,347 \times 5 + 0,55 \times 3] = 3,385 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$X = [0,406 \times 5 + 0,431 \times 3] = 3,323 \text{ (}\Omega\text{)} \quad \Delta KW = \frac{800}{0,75 + \frac{3,385}{3,323}} = 452,32 \text{ (KW)}$$

Hattın diğer noktalarındaki şönt kapasitör banklarının meydana getirdiği artışlar aşağıda *tablo 3.4.* de çıkarılmıştır.

Tablo 3.4. Şönt kapasitör banklarının meydana getirdiği kapasite artışları

<i>Kap. bankının bağ. nokta</i>	<i>Omik direnç (ohm)</i>	<i>Reaktans (ohm)</i>	<i>R / X</i>	<i>KVAR</i>	<i>ΔKW</i>
1	1,041	1,218	0,854	800	498,541
2	2,141	2,105	1,017	1200	679,077
3	1,735	2,03	0,854	1600	997,083
4	2,835	2,892	0,980	1200	693,525
5	3,385	3,323	1,018	800	452,320
6	5,035	4,616	1,090	400	217,300

$$\text{Toplam } KW \text{ artışı} = 3537,846 \text{ (KW)}$$

$$\text{Toplam } KVA \text{ artışı} = \frac{3537,846}{0,8} = 4422,307 \text{ (KVA)}$$

Örnekdeki dağıtım hattı için maliyet her KVA için yaklaşık olarak 62 241,763 TL [9] olursa ve yıllık %12,5 [10] masraf yapıldığı kabul edilirse artan hat kapasitesine denk gelen yıllık toplam masraf,

$$[62\,241,763 \times 0,125] \times 4422,307 = 34\,406\,523,03 \text{ TL}$$

olacaktır.

3.5.4. Kapasitör kullanıldıktan sonra azaltılan enerji kayıpları

Dağıtım hattı kayıplarını tahmin etmek için *şekil 3.14.* deki günlük zahiri güç eğrisine başvurmak gerekir.

Bu eğri 12 aylık süreyi yaklaşık olarak temsil edecek şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Bu eğriden 24 saatlik zahiri gücün efektif değeri tesbit edilecektir. Bu değer ordinatların karelerinin ortalamasının kare köküdür. Örnekte efektif değer 9800 KVA dır.

Dağıtım hattında yıllık enerji kaybındaki azalma aşağıdaki bağıntıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$\Delta KWh = \frac{R_L \cdot KVAR \cdot [2 \cdot KVA \cdot \sin \varphi_1 - KVAR] \cdot 8760}{1000 \cdot [KV]^2} \quad (3.21.)$$

Bu bağıntıda,

ΔKWh :Kayıp enerjideki yıllık azalmayı (KWh)

R_L :Hattın direncini; akım olarak üzerinde muhtelif yükler bulunan bir dağıtım hattında yapılacak hesap için kayıp merkezine kadar hattın direnci alınır. Dağıtım hattında gerçek toplam kaybı verecek şekilde toplam yükün çekilebileceği noktaya kayıp merkezi denir.

$KVAR$:Kapasitör bankının gücünü (KVAR)

KVA :Kapasitörsüz üç fazlı yükün 24 saat içindeki efektif değerini (KVA)

φ_1 :Başlangıçdaki güç faktörü açısını

KV :Fazlar arası gerilimi (KV)

gösterir [10].

Örnekte:

$$R_L = 10 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$KVAR = 6000 \text{ (KVAR)}$$

$$KVA = 9800 \text{ (KVA)}$$

$$\sin \varphi_1 = 0,6$$

$$KV = 15 \text{ (KV)} \quad \Delta KWh = \frac{10 \times 6000 \times [2 \times 9800 \times 0,6 - 6000] \times 8760}{1000 \times [15]^2}$$

$$\Delta KWh = 13455360 \text{ (KWh)}$$

Dağıtım hattı kaybını yaklaşık olarak her KWh için 35 TL [9] olarak değerlendirecek yıllık kazanç 470 937 600 TL eder.

3.5.5.Daha yüksek sistem geriliminden dolayı artan gelirler

Şönt kapasitör bankından dolayı artan gerilim seviyesi aşağıdaki iki etkiyi oluşturur.

1-)Ölçüm noktasında sistem gerilimindeki anlık artış, kilowatt-saat kaydında orantılı bir artışa neden olur.

Gerilim seviyesinin yükselmesi ile gerilime hassas yüklerde harcanan enerji miktarı da eklenmiş olur. Bu enerji artışının ekonomik değeri aşağıdaki bağıntı ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$\frac{KWh_2}{KWh_1} = \left[\frac{V_{ort2}}{V_{ort1}} \right]^{1,6} \quad (3.22.)$$

Bu ifadede,

KWh_2 :Kapasitör kullanıldıktan sonraki tüketimi (KWh)

KWh_1 :Kapasitör kullanılmadan önceki tüketimi (KWh)

V_{ort2} :Kapasitör kullandıktan sonra yük sahasında ortalama gerilimi

V_{ort1} :Kapasitör kullanılmadan önceki yük sahasındaki ortalama gerilimi

göstermektedir [10].

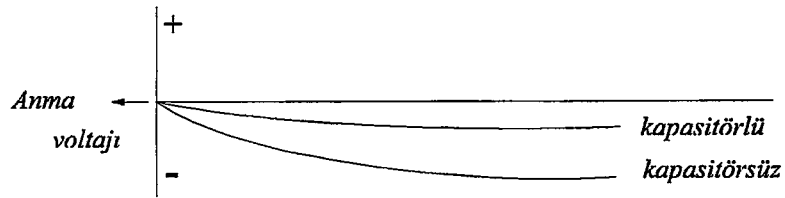
Şekil 3.15. deki grafikten, kapasitör kullanılmadan önceki ortalama gerilim düşümünü % 9,155 ve şekil 3.18. den ise kapasitör kullanıldıktan sonraki ortalama gerilim düşümünü % 6,977 olarak belirleyebiliriz .

Örnekdeki hat için $KWh_1 = 50.10^6$ KWh / yıl ise şönt kapasitör kullanılmadan sonraki tüketim,

$$KWh_2 = 50.10^6 \times \left[\frac{93,023}{90,845} \right]^{1,6} = 51931743,55 \text{ (KWh)} \quad \text{dır.}$$

Ortalama enerji satış fiyatı 550 TL [9] alınmak suretiyle 1931743,55 KWh fazla satıştan elde edilen yıllık gelir 1 062 458 953 TL olacaktır.

2-)Besleyici geriliminin azalan eğimi.



Şekil 3.19. Besleme hattı ile yükler üzerindeki voltaj profili

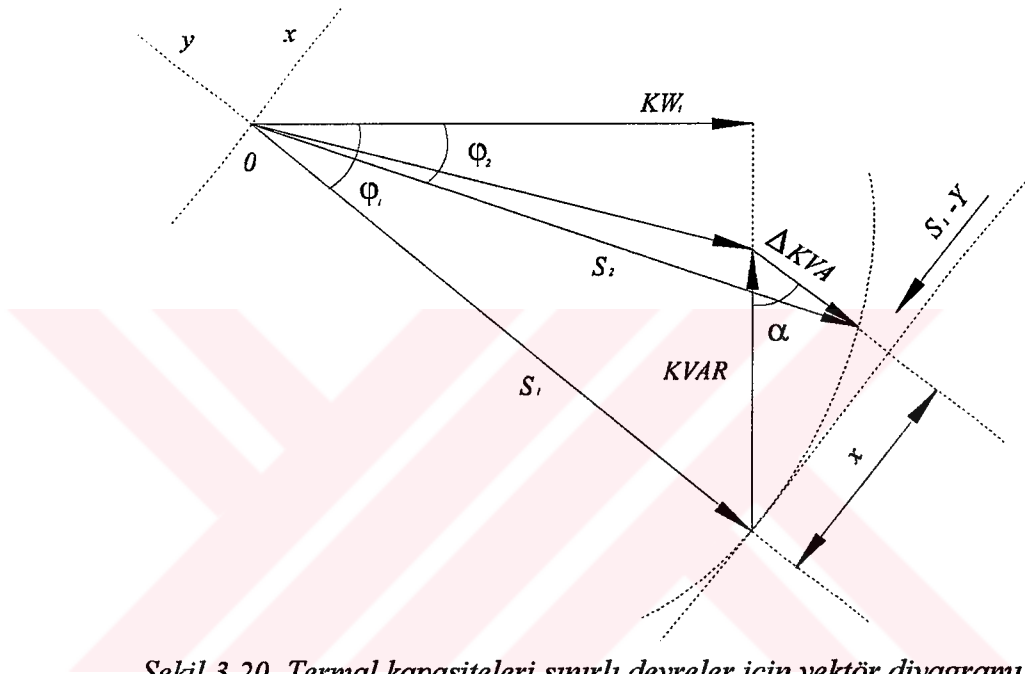
Şekil 3.19. da görüldüğü gibi, şönt kapasitör bankı besleyici geriliminin eğimini azalttığı için ekonomik kazancın ikinci durumu ortaya çıkar. Reaktif gerilim düşümü azaldığı için giriş voltajının çıkış voltajına oranı, 1'e yaklaşır. Bu yaklaşıma bir besleyici regülatörünün kullanılmasını önleyebilir. Bu gibi sistem ekipmanı yatırımındaki herhangi bir azalma şönt kapasitör bankı kullanılmadan dolayıdır.

3.5.6. Artan trafo merkezi kapasitesi

Şönt kapasitör bankı kullanıldıktan sonra kaynak devrelerini orjinal yüklenme değerine yüklemek için gereken ekstra KVA , şönt kapasitörlerin eklenmesinden dolayı kazanılan kapasite miktarı kadardır.

Rahatlayan kapasiteyi veya artan KVA 'yı bulmak için bir bağıntı elde ederken, ilave yükün orjinal güç faktörü ϕ_1 değerinde olduğu varsayılır. Bu kötümser bir yaklaşım olabilir, ancak ilave yükün sonuçtaki güç faktörü açısı ϕ_2 değerinde olduğunu varsaymaktan daha hassas sonuçlar verir.

Bu durum için oluşan vektör diyagramı *şekil 3.20.* de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Termal kapasiteleri sınırlı devreler için vektör diyagramı

Bu diyagramdan; monte edilen şönt kapasitör için rahatlayan kapasite,

$$\Delta KVA = \left[\frac{KVAR}{S_1} \sin \phi_1 - 1 + \sqrt{1 - \left[\frac{KVAR}{S_1} \cos \phi_1 \right]^2} \right] \cdot S_1 \quad (3.23.)$$

olarak bulunur. Bu ifadede,

ΔKVA :Orjinal güç faktöründeki kapasitede artma miktarını (KVA)

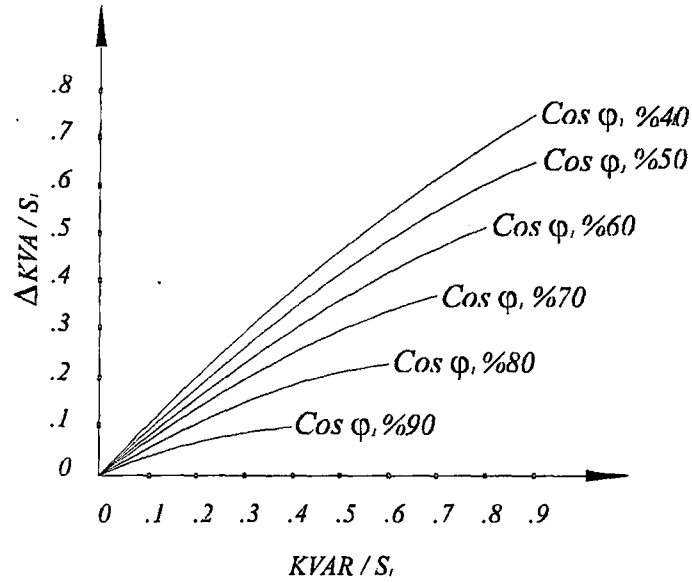
$KVAR$:Şönt kapasitör bankının gücünü ($KVAR$)

S_1 :Kapasitörsüz zahiri gücü (KVA)

ϕ_1 :Başlangıçtaki (orjinal) güç faktörü açısını

gösterir [10].

Yukarıdaki bağıntı birim başına (per unit) değerler haline getirilerek *Şekil 3.21.* de çizilmiştir ve sadece eklenen kapasitörlerin birim başına değeriyle direkt olarak rahatlayan kapasiteyi bulmak için gereken, başlangıçtaki güç faktörünü bilmektir.



Şekil 3.21. Şöntkapasitör montajından sonra rahatlayan kapasite (per unit olarak)

Örnekte trafo merkezinden çekilen aktif gücün değişmemesi şartıyla zahiri gücün azaltılması sonucu ile trafo merkezinin kapasitesinin bir kısmı serbest kalacaktır.

12500 KVA kapasitesindeki trafo merkezine toplam 6000 KVAR 'lık şönt kapasitör montajı yapılıncaya artan kapasite miktarı,

$$\Delta KVA = \left[\frac{6000}{15000} 0,6 - 1 + \sqrt{1 - \left[\frac{6000}{15000} 0,8 \right]^2} \right] \times 15000$$

$$\Delta KVA = 2811,263 \text{ (KVA)}$$

olarak bulunur.

2811 KVA 'lık standart trafo imalatı olmadığı için 2500 KVA 'lık trafo imalat bedeli gözönüne alınarak trafo merkezinin KVA başına bedeli yaklaşık olarak 310 416,8 TL [9,11] kabul edilirse şönt kapasitör montajının sağladığı yatırım kazancı $2500 \times 310 416,8 = 776 042 000 \text{ TL}$ olarak bulunur. Rahatlayan trafo kapasitesine denk gelen yıllık masraf %12,5 kabuledilirse $776 042 000 \times 0,125 = 97 005 250 \text{ TL}$ yıllık masraf yapılacaktır.

2500 KVA 'lık trafo imalat bedeli üzerinden hesap yapmak şönt kapasitör montajının ekonomik faydasının ispatı açısından kötümser bir yaklaşım olabilir. Fakat sonuçta, 2811 KVA 'lık trafo imalat bedelini gözönüne alarak yapılacak hesaptan daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir.

3.5.7.Sonuç

Bütün bu hesaplamalar ile birlikte elde edilecek ekonomik kazancın belirlenebilmesi için tesis edilen şönt kapasitör banklarının maliyetleri de belirlenmelidir ki; sonuçta ekonomik bir karşılaştırma yapılabilir.

Toplam 6 MVAR gücündeki şönt kapasitör banklarının maliyeti yaklaşık olarak 420 000 000 TL [12] ise yukarıda elde edilen yıllık gelir ve giderlerle birlikte şönt kapasitör yatırımının sonuçları aşağıya çıkarılmıştır.

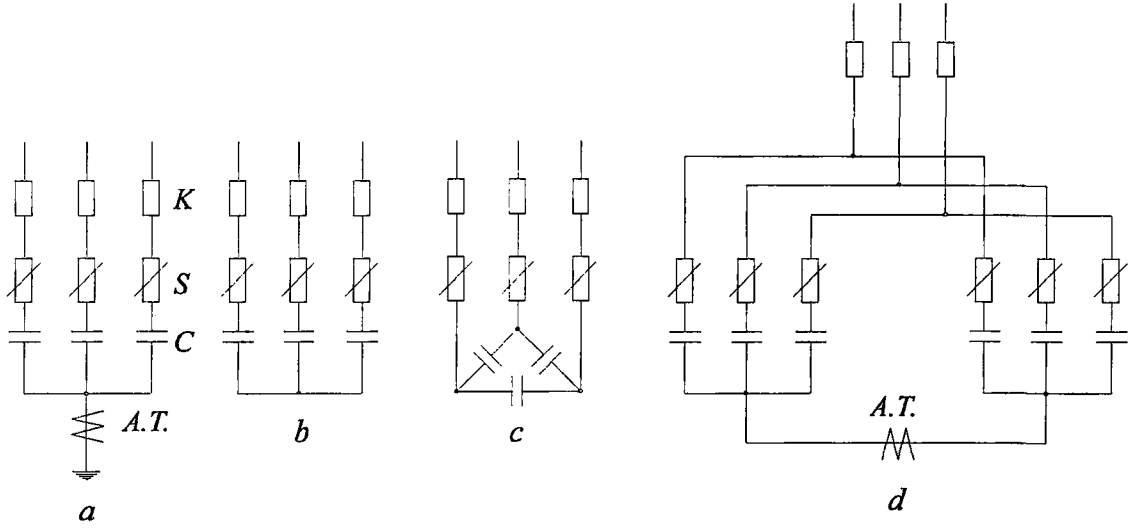
Artan hat kapasitesinin yıllık masrafı	34 406 523,03 TL
Daha fazla KWh satışından elde edilen yıllık gelir	1 062 458 953,00 TL
Azaltılan enerji kayıpları (KWh)	470 937 600,00 TL
Artan trafo merkezi kapasitesinin yıllık masrafı	97 005 250,00 TL
Artan trafo merkezinin sağladığı yatırım kazancı	776 042 000,00 TL
Kurulan toplam 6 MVAR gücündeki şönt kapasitör banklarının maliyeti	420 000 000,00 TL
Şönt kapasitör banklarının montajından dolayı elde edilen yıllık toplam gelir	1 758 026 780,00 TL

Türkiye ekonomisinin içinde bulunduğu şartlar gözönüne alınacak olursa böyle bir maliyet - kazanç analizinin günden güne farklılıklar göstereceği bir gerçektir. Elde edilebilecek en sağlıklı veriler ile yapılan bu ekonomik analiz, şönt kapasitör banklarının tesisi hakkında genel bir fikir vermektedir. Bu analizde elde edilen gelirlerin çok az bir kısmının kapasitör masraflarını karşılamaya yeteceği de net olarak görülmektedir.

Günden güne değişen ekonomik şartlar altında tamamıyla gerçekçi bir analiz yapmak mümkün değildir. Yine de, değişen teknolojik gelişmeler sonucu şönt kapasitör banklarının maliyet oranlarındaki hızlı düşüş, enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin artan reaktif güç problemlerinin çözümü için kullanılacak olan şönt kapasitör banklarının ekonomik güvenilirliğini de hızla arttırmaktadır.

3.6.Orta Ve Yüksek Gerilim Bank Seçenekleri

Orta ve yüksek gerilim şönt kapasitör bankları elektriksel olarak çeşitli bağlantı şekillerinde düzenlenebilirler. Kapasitör üniteleri için 4 değişik bağlantı şekli söz konusudur. Bu bağlantı metodları *şekil 3.22.* de görülmektedir. Kapasitör ünitelerinin bağlantı tercihinde; gerilim seviyesi, bank gücü, sistemdeki diğer kapasitörler, bağlantı noktasındaki kısa devre gücü, tercih edilen koruma yöntemi ve sistemin topraklanıp topraklanmayacağı gibi bir çok etkenin gözönüne alınması gerekir.



Şekil 3.22. Kapasitör ünitelerinin bağlantı metodları

3.6.1. Üçgen bank

Orta ve yüksek gerilimde kapasitörleri fazlar arasına bağlamak en az iki seri grup yada standart dışı gerilimde üniteleri gerektirir. Bu iki durum da maliyeti artırıcı ve korumayı zorlaştırıcıdır.

Üçgen bağlı sistemlerde üç ve üçün katı olan harmonikler kolları dönerler. Böylece kapasitör yalıtkanlarını aşırı zorlayabilirler. Ayrıca üçgen bağlı bankların kaynak tarafında bir faz açık kalsa bile yük tarafında üç fazda da gerilim oluşur ve bu, tehlikeli rezonans şartları yaratabilir. Bütün bu sebeplerden dolayı üçgen banklar yüksek gerilimlerde tercih edilmezler. Bununla beraber, üçgen bağlı kapasitör bankının enerjisinin kesilmesi için sadece iki kesici yeterlidir. Böylece sırf ekonomik sebepler yüzünden bu bağlantı şekli seçilebilir. (Şekil 3.22.c.) [2,6].

3.6.2. Nötrü topraklı yıldız bank

Küçük güçteki banklar için en ekonomik ve en güvenilir bağlantı şeklidir. Yıldırım darbelerinde kapasitörler toprağa bir yol oluşturup bağlandıkları baraların korunmasına yardımcı olurlar. Kapasitör bankının topraklı oluşu, ana şase ve kapasitör gövdelerinin rahatlıkla topraklanabilmesini ve böylece tesisatın daha güvenilir hale gelmesini sağlar. Topraklama sayesinde, kaynak ile her grup arasındaki tek fazlı anahtarlardan dolayı da rezonans şartları daha az olacaktır.

Bununla beraber nötrü topraklı yıldız banklar topraklanmamış sistemlerde koruyucu rölelerin yanılmasına neden olabilir. Aynı zamanda bankın topraklı oluşu, harmonik akımlarının toprağa akmasına dolayısıyla da nötr iletkeninin ısınmasına ve telefon görüşmelerinin karışmasına sebep olur (Şekil 3.22.a.) [2,6].

3.6.3.Nötrü topraksız yıldız bank

Sistemde harmonikler bekleniyorsa, orta büyüklükteki banklar için en uygun bağlantı şeklidir. Aşırı gerilimlere karşı daha duyarlı ve kısa devre gücünün yüksek olduğu noktalarda daha güvenlidir.

Sistemde aşırı arıza akımları bekleniyorsa, bu akımları sınırlayabilme özelliğine sahip nötr topraklanmamış yıldız bank tercih edilir. Böylece bu problemin çözülmesi için pahalı akım sınırlayıcı sigorta kullanımı önlenir. Aynen üçgen bankda olduğu gibi bu bankında enerjisini kesmek için sadece iki kesici yeterlidir. (Şekil 3.22.b.)

3.6.4.İki eşit parçalı yıldız bank

Büyük güçlerde ve yüksek gerilimlerde en ekonomik ve en güvenilir bağlantı şeklidir. Bank nötrü topraksız ve eşit güçte iki yıldız şeklinde düzenlenir. Dengesizlik koruması iki nötr noktası arasındaki akıma bağlı olarak yapılır. Akım trafosu birbirinin aynı iki yıldız arasındaki farkı ölçtüğü için alçak yaıtım seviyesinde olabilir. Dengesizlik koruması yıldırım ve harmonik gibi etkilerden bağımsız çalışır (Şekil 3.22.d.) [2,6].

3.7.Şönt Kapasitör Banklarının Sistemlere Elektriki Bağlantısı

Güç sisteminde bağlantı yapılırken çalışma şartlarıyla ilgili birkaç soru cevaplandırılmalıdır. Bazen kapasitör banklarının; anahtarlanması, topraklanması, korunması ve bağlantı şekli gibi sorunlarının maliyet gözetmeksizin çözülmesi gerekmektedir.

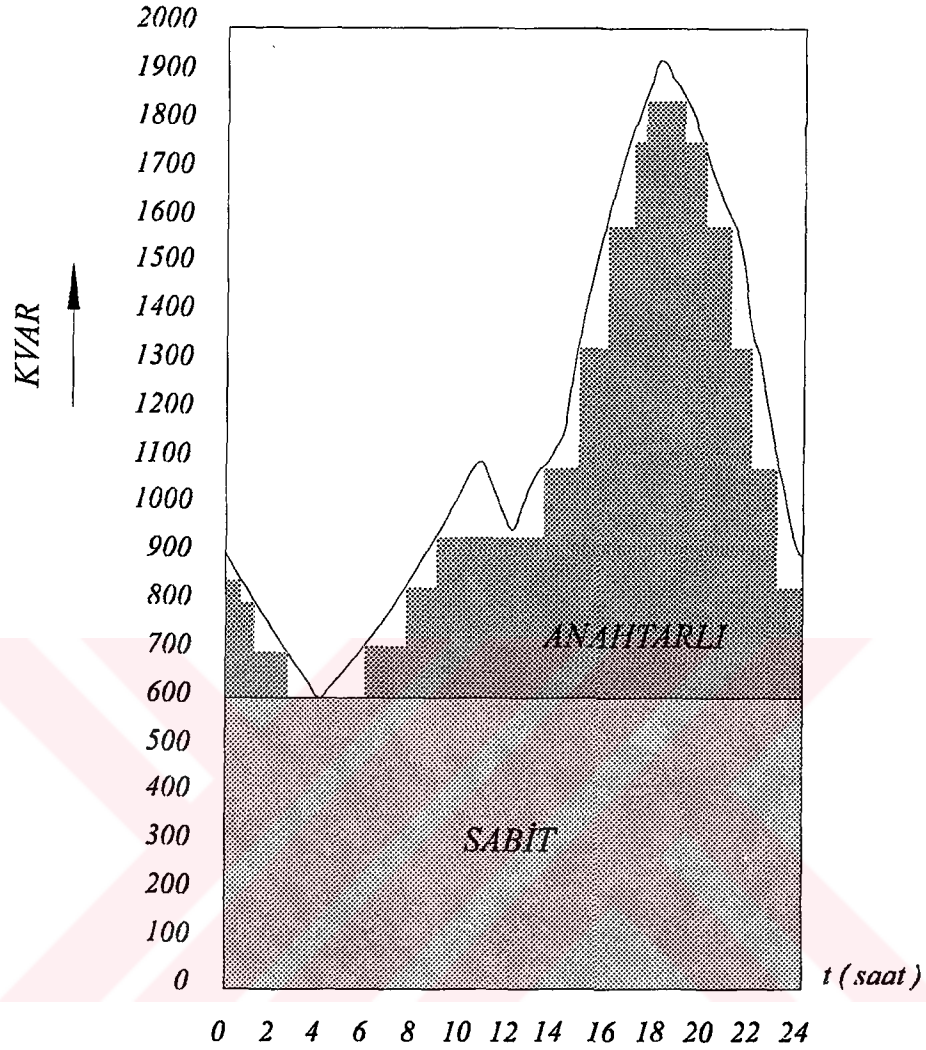
3.7.1.Sabit ve anahtarlamalı şönt kapasitör bankları

Şönt kapasitör banklarının ne kadarının sabit veya anahtarlamalı olacağı yük akış çalışmalarının bir sonucu olarak belirlenebilir. Şekil 3.23. yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilmiş günlük reaktif yük eğrisini göstermektedir.

Bu şekilden sabit kapasitör gücünün en az 600 KVAR olması gerektiği görülebilir. Geriye kalan yük talepleri anahtarlamalı kapasitör banklarıyla karşılanabilir. Burada kullanılacak anahtarlamalı kapasitör banklarının sayısı, gerekli anahtarlama tertibatı ve kontrol techizatının tesisi ile ilgili ilave masraflar yüzünden şekildeki mevcut reaktif yük basamaklarının sayısından çok daha az olacağı bir gerçektir.

Sabit veya anahtarlamalı bütün kapasitör bankları bağlantı kesme yeteneğine sahip bir eleman üzerinden sisteme bağlanmalıdır. Anahtarlamalı kapasitör bankları için bu eleman düzenli aralıklarla, sabit bank için de arasıra çalıştırılır.

Burada tek problem, bir anda anahtarlanacak maksimum miktardır. Bu miktar çoğu zaman kapasitör bankının sisteme bağlanması veya sistemden ayrılışından doğan gerilim değişmelerinden çok, anahtarlama elemanlarının açma - kapama kapasiteleri tarafından sınırlanır [1,8].



Şekil 3.23. Sabit ve anahtarlama kapasitör banklarının reaktif yük eğrisi üzerinde belirlenmesi

3.7.2. Anahtarlama araçları

Özellikle yüksek gerilimdeki uygulamalarında anahtarlama araçlarının büyük maliyetleri ekonomik analizde bazen belirleyici bir faktördür. Anahtarlama elemanının maliyeti, tesis edilen şönt kapasitör bankının *maliyet / KVAR* oranında hesaba katılmalıdır.

Aşağıda sistem yerleşimi üzerine kurulu tipik anahtarlama elemanları verilmiştir. Sekonder devreler de,

- Bimetal elemanlar
- Düşük gerilim röleleri

Primer dağıtım besleyicilerinde,

- Bir veya üç kutuplu yağlı anahtarlar
- Üç kutuplu yağlı kesiciler
- Üç kutuplu havalı kesiciler

İletim veya alt iletim devrelerinde,

- Üç kutuplu yağlı kesiciler
- Tek kutuplu SF₆ kesicileri
- Tek kutuplu vakumlu kesiciler

3.7.3. Anahtarlama aracının kontrolü

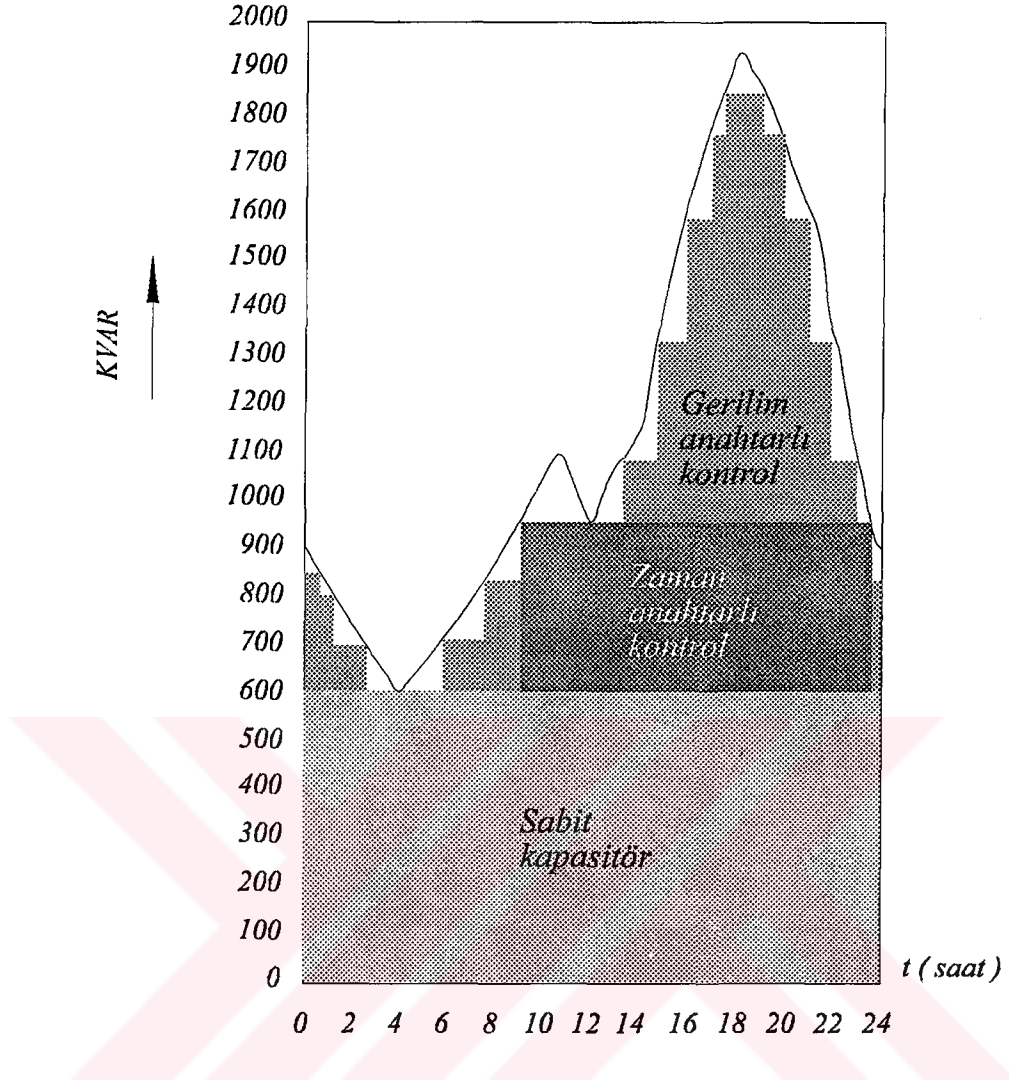
Eğer bir kapasitör bankı düzenli olarak anahtarlanmak zorunda ise, özel bir kontrol metodu kullanılmalıdır. Bu kontrol metodu aynı zamanda sistemin reaktif ihtiyaçlarını karşılayabilmelidir. Kapasitör anahtarlama araçlarına kontrol etmek için kullanılan tipik sistem parametreleri aşağıda verilmiştir.

- Zaman anahtarı
- Gerilim
- Akım
- Gerilim - zaman
- Gerilim - akım
- VAR veya reaktif akım
- Sıcaklık
- El kumandası

Enerji sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar sonucu, primer besleyicilere monte edilmiş kapasitör banklarının anahtarlama işlemlerinin zaman anahtarı ile, dağıtım istasyonlarına monte edilmiş kapasitör banklarının anahtarlama işlemlerinin ise gerilim ile kontrol edildiğini göstermiştir. *Şekil 3.24.* hem zaman hem de gerilim kontrollü anahtarlama işlemini reaktif yük eğrisi üzerinde göstermektedir [8].

Zaman anahtarı ile kontrol, tesisatı en ucuz olan metoddur. Buna ilaveten, sistemin çalışmasından bağımsızdır ve diğer gerilim düzenleyici ekipman ile koordinasyon gerektirmez. Yükün tahmin edilebilir olduğu istikrarlı radyal besleyicilerde kapasitör banklarının zaman kontrolü ile iletim hatları üzerindeki büyük kapasitör bankları başarıyla anahtarlanmıştır.

Dağıtım sistemine yerleştirilmiş kapasitör bankının gerilim değişimine göre anahtarlanması, aynı bölgedeki indüksiyon yada adımlı gerilim regülatörlerinde bir koordinasyon problemi yaratabilir. Buna rağmen gerilimi anahtarlama kullanmak avantajlıdır. Çünkü, hissedici eleman basit ve hazırdır.



Şekil 3.24. Anahtarlama kontrol araçlarının günlük reaktif yük eğrisi üzerinde belirlenmesi

Bahsettiğimiz bu gerilim koordinasyon sorununu çözebilmek için ilgili gerilim regülatör kontrolünün gözönüne alınması gerekir. Kapasitör bankının yada regülatörün haddinden fazla çalışması, iki araç arasında koordinasyon olmamasından kaynaklanabilir. Gerilim kontrolü primer besleyici üzerinde kullanıldığında, kapasitörlerden dolayı ortaya çıkan gerilim değişimi bağıntı (3.10.) kullanılarak hesaplanmalıdır. Gerilim regülatörünün voltaj aralığı ise, hesaplanarak bulunan gerilim değişimini içine almalıdır ki, birinin çalışması diğerinin zıt yönde çalışmasına neden olmasın. Koordinasyon sağlandığı zaman iki araç arasında etkileşim olmaz. Böylece kapasitör bankı sistem tarafından izin verilen maksimum sürede hizmet eder [6].

3.8.Şönt Kapasitör Banklarının Korunması

Diğer tüm elektriksel ekipman gibi şönt kapasitörler de harici veya dahili nedenlerden dolayı arızaya maruz kalırlar. Bu nedenle kapasitör bankı, gerek maliyet yatırımı gerekse bağlantı şekli ile uyumlu olacak bir koruma düzeniyle korunmalıdır.

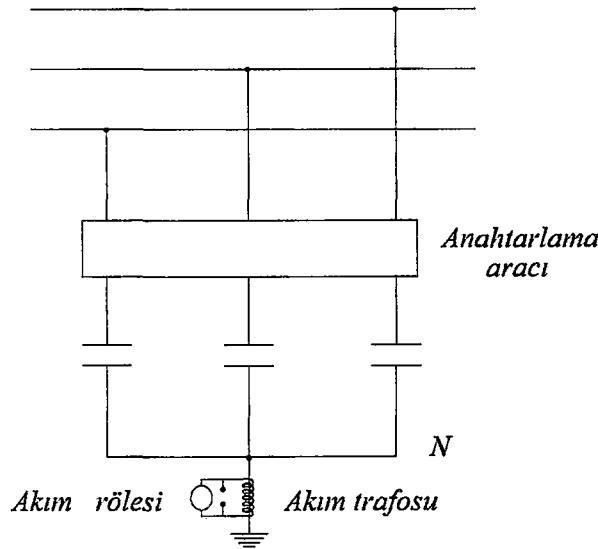
Sisteme bağlanmış büyük kapasitör banklarının korunması iletim ve dağıtım hatlarında önemli bir problemdir. Bu başlık altında koruma metodları ayrı ayrı ele alınıp incelenmiştir.

3.8.1.Darbe gerilim koruması

Şönt kapasitör bankının yıldırım ve diğer geçici rejim gerilim darbelerinden korunmasıdır. Bu koruma nötrü topraklı yıldız banklarda gereksiz olabilir. Fakat diğer banklarda kaynak tarafındaki hatlara uygun parafudurların konmasıyla koruma garanti altına alınmalıdır.

3.8.2.Sistem koruması

Sistemdeki arızalar esnasında meydana gelebilecek aşırı akımlara karşı kapasitör bankını devre dışına alma amacını taşır. Bu koruma, zaman gecikmeli indüksiyon diski tipindeki aşırı akım röleleri ile kolaylıkla sağlanabilir. Röle, sinyali bank akımından alır. Rölenin iki bağımsız kontağından birincisi anında açmalarda kullanılır. Sistemin, geçici aşırı akımlarında yada bankı devreye alırken istenmeyen gereksiz açmalarda bulunmaması için bu kontağın uygun değerlere ayarlanması gerekir. İkinci kontak ise gecikmeli olarak dengesizlik korumasını yedeklemekte kullanılır. Bir zamanlayıcı röle dengesizlik korumasının çalışma süresi içinde bu kontağı bloke eder. Eğer bu süre içerisinde dengesizlik koruması çalışmaz ise bankı devre dışına alır. Şekil 3.25. nötrü topraklı yıldız bağlantı için nötr hattı üzerine bağlanmış bir aşırı akım rölesiyle sistem korumasının nasıl yapıldığını göstermektedir [6].



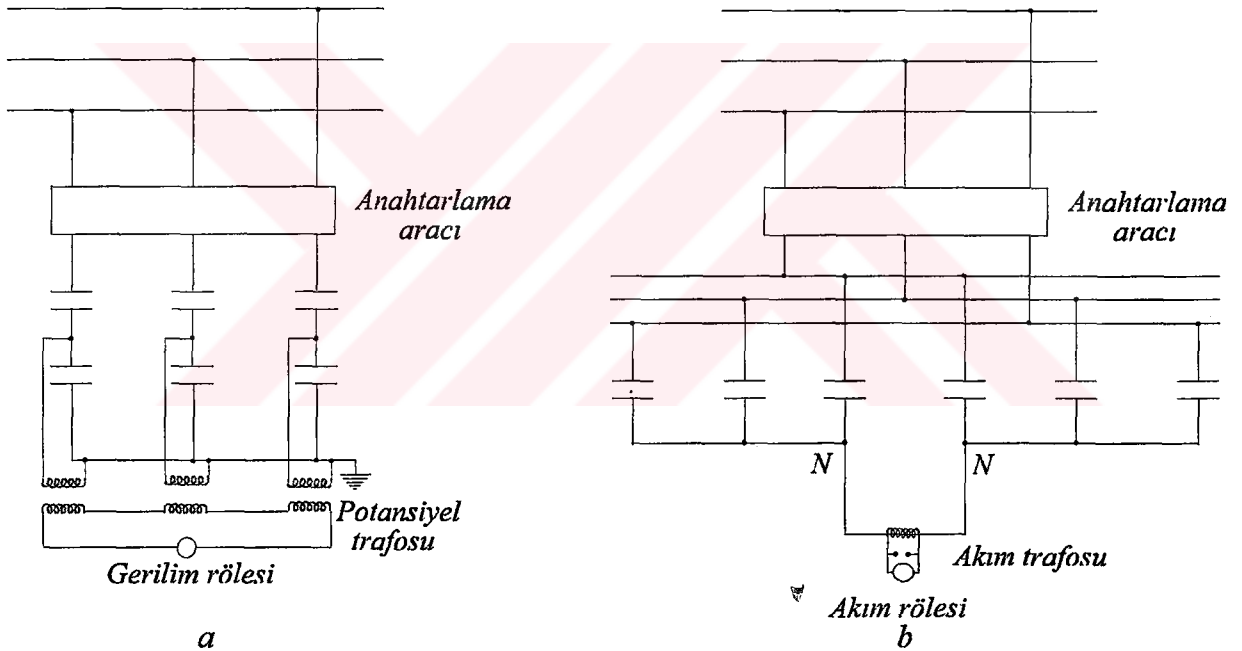
Şekil 3.25. Topraklı yıldız bağlı bankda sistem koruması

3.8.3. Dengesizlik koruması

Bu koruma sistemi, paralel ünitelerin seri bağlanması ile oluşturulmuş şönt kapasitör banklarında bir yada birden fazla ünitenin devre dışı kalması ile diğer kapasitörler üzerindeki aşırı gerilim yükselmesinin önlenmesi amacını taşır.

Standart kapasitörler anma gerilimlerinin %110 'una sürekli dayanabilirler. Normalde, kapasitörlerin arıza oranı %1 'den azdır. Ancak kapasitör aşırı gerilim değerine maruz kalırsa bu yüzde oranı çok hızlı bir şekilde artar. Bu durumda bankı sistemden ayırmak için bir koruma düzeni kullanılmalıdır.

Bu sakıncalı durumu ortadan kaldırmak için bir çok koruma düzeni kullanılabilir. Daha önce de değinildiği gibi kullanılan koruma tipi kapasitör bankının bağlantı şekli ile direkt ilgilidir. Şekil 3.26. da verilmiş olan en yaygın koruma yöntemleri aşağıda incelenmiştir.



Şekil 3.26. Yaygın dengesizlik koruma yöntemleri

a-) En az iki seri gruptan oluşan topraklı yıldız bağlantı

b-) İki eşit parçalı topraksız yıldız bağlantı

Şekil 3.26.a. da topraklanmış yıldız bankın her bir fazına bağlanan üç potansiyel trafosu ve hissedici gerilim rölesiyle yapılmış bir koruma yöntemi görülmektedir. Burada potansiyel trafosunun sekonderi gerilim rölesi üzerinden üçgen şeklinde bağlanmıştır. Eğer kapasitör üniteleri arızalanırsa ortaya bir gerilim dengesizliği çıkar ve röle, üçgen bağlantı üzerinde kalan artık gerilim ile çalışarak korumayı gerçekleştirir.

Kapasitör bankının iki eşit yıldız parçasına bölünerek elde edilen bağlantı şekli *şekil 3.26 b.* de görülmektedir. Yine bu şekilden görüldüğü gibi iki eşit yıldız parçasının nötrleri bir akım trafosu üzerinden birbirine bağlanmıştır. Bir arıza meydana geldiğinde, gerilim dengesizliği oluşur ve iki eşit yıldız parçası arasında bir akım akar. Bu akım, akım trafosunun sekonderi üzerindeki akım rölesi ile hissedilerek koruma gerçekleştirilmiş olur.



4.ŞÖNT KAPASİTÖR BANKLARININ İŞLETME PROBLEMLERİ

4.1.Şönt Kapasitör Bankının Sistem Kararlılığına Etkisi

Daha önce de belirtildiği gibi şönt kapasitör banklarının enerji sistemine tesis edilmesi, kaynak generatörlerinin güç faktörünün artmasına yol açar. Generatörün ürettiği reaktif akımın azalması belirli bir yük ve gerilim için alan akımının büyüklüğünü azaltır. Generatörün karşıladığı yükün statik kararlılığı, endüvi ile stator arasındaki hava boşluğu üzerindeki gerilimle orantılıdır. Generatörde uyarım akımı azaldıkça hava boşluğu üzerindeki gerilim de azalır. Böylece statik kararlılık sınırı generatör uyarım akımı ile doğru orantılı hale gelir.

Şönt kapasitör ilavesinden sonra sistemdeki generatörlerin aktif ve reaktif kapasiteleri analiz edilmeli ve maksimum güç faktörünün nerede olması gerektiği belirlenmelidir. Tecrübeler sonucu türbin generatörlerinin tam yükteki güç faktörü açısının %95 (endüktif) olmasının statik kararlılık açısından herhangi bir sorun çıkarmadığı bilinmektedir [6].

4.2.Şönt Kapasitör Bankları İle Ortaya Çıkan Rezonans Problemleri

Kapasitörler, dönen elektrik makinaları veya transformatörler gibi harmonik yaratmazlar. Fakat kapasitörler bağlı oldukları devrenin endüktansları ile herhangi bir frekansa rezonansa gelme yeteneğine sahiptirler. Bu rezonans şartları sonucunda devredeki diğer elemanlar tarafından yaratılan harmonik gerilim ve akımlar artar.

Kapasitör banklarının sebep olduğu rezonans problemleri üç madde altında toplanabilir.

-Tek fazlı topraklı dağıtım trafoları üzerine yerleştirilmiş şönt kapasitör banklarının primer devre üzerindeki aşırı gerilimleri

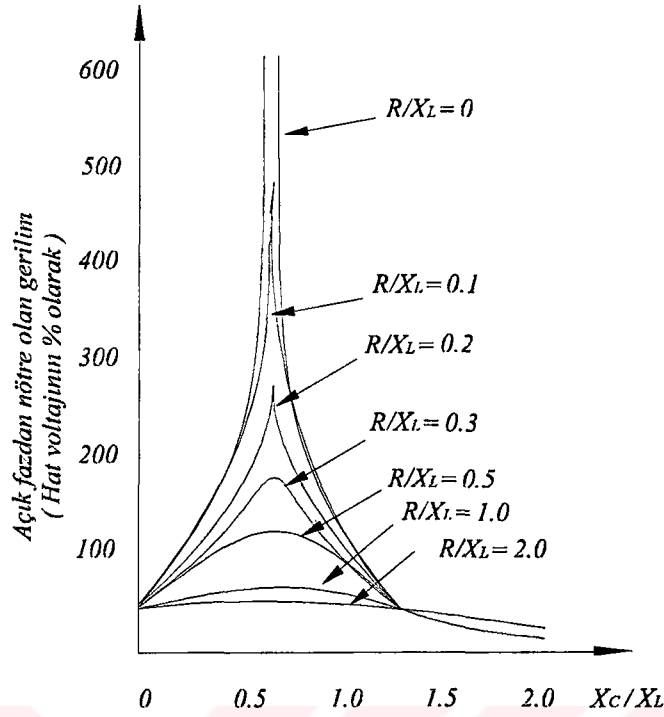
-Primer tarafına yerleştirilmiş şönt kapasitör bankı ile üç fazlı dağıtım trafosunun sekonderi üzerinde meydana gelen tranziyent aşırı gerilimleri

-Şönt kapasitör bankının devreye bağlanmasından dolayı meydana gelen direk rezonans aşırı gerilimleri

İlk iki maddedeki tranziyent aşırı gerilimleri bir veya iki bağlantı elemanının açık devre olması ile ortaya çıkar ve trafonun manyetik reaktansı ile kapasitör reaktansı arasında bir rezonans devresi meydana getirir.

4.2.1.Tek fazlı dağıtım trafosu rezonansı

Yukarıda bahsedilen ilk madde için ortaya çıkan mevcut tipik aşırı gerilimler *şekil 4.1.* de görülmektedir [6].



Şekil 4.1. Bir faz açıkken rezonans şartlarından doğan aşırı gerilimler

Bu tür bir rezonans durumu ile ilgili olarak ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a-)Bu özel rezonans kavramı sadece tek fazlı hatlarda ve topraklanmamış yıldız ve üçgen bağlı kapasitör bankına sahip 4 iletkenli devrelerde görülür.

b-)Rezonans, kapasitör bankı ile gerilim kaynağı arasındaki bir veya iki faz açık devre olduğunda meydana gelir.

c-)Ciddi aşırı gerilim veya nötral evrimler sadece çok hafif yük şartları esnasında meydana gelir.

d-)Rezonans durumu kapasitör bankını topraklayarak, kapasitör bankı ile gerilim kaynakları arasındaki açık fazların önlenmesi ile yada devre sabitlerini (R , X_L , X_C) kritik aralığın dışında tutarak önlenir.

4.2.2. Üç fazlı dağıtım trafosu rezonansı

Bu tür rezonans durumu topraklanmış kapasitör bankı ile topraklanmamış yıldız - üçgen dağıtım trafo grubu üzerinde meydana gelir. Bir veya iki faz iletkeni açık devreyken devrenin kapasitif ve manyetik reaktansları düşük empedanslı bir rezonans hattı oluşturmaya meyillidir. Bu meyil, sekonder üzerinde veya primerin açık olan fazları üzerinde ortaya çıkan yüksek gerilimler ile birlikte akım akışına da izin verir. Bu durumda devre gerilimi normal hat voltajının 2 yada 3 katına ulaşabilir.

Bu problem, şönt kapasitör banklarının bulunmadığı yerlerde bile; hattın toprağa karşı olan kapasitesi yüzünden ortaya çıkabilir. Kapasitör bankı ile trafo arasına konan sigortalarda genellikle bu rezonans ihtimalini arttırır.

Aşağıda sebep - sonuç ilişkisine göre varılmış sonuçlar verilmiştir.

a-)Tranzient gerilimleri, dağıtım trafosunun nötrünün topraklanmasıyla engellenebilir.

b-)Kapasitör bankı ile trafo grubu arasında tek fazlı anahtarlama elemanı kullanılmasından kaçınılmalıdır.

c-)Genellikle bu tür rezonansdan dolayı meydana gelen tehlikeli tranzient aşırı gerilimleri, kapasitör reaktansının manyetik reaktansa oranının üç ve üçten az olduğu sistemlerle sınırlıdır.

4.2.3.Direk rezonans aşırı gerilimleri

Bir şönt kapasitör bankı sisteme bağlandığı zaman istenmeyen rezonans etkisiyle yüksek gerilimler oluşabilir. Bu aşırı gerilimler kapasitör bankından uzak yerlerde meydana gelir. Örneğin; bir primer besleyicisine bağlı kapasitör bankı anahtarlendiğinde, sekonder kapasitör grubu yakınında yüksek tranzient gerilimleri görülebilir. Bu olay; sekonder kapasitör, besleyici ve iki kapasitör bankı arasındaki trafonun endüktansı arasında oluşan rezonans devresinden dolayıdır. Primer kapasitör bankı anahtarlendiğinde aşırı gerilime neden olan rezonans devresi frekansı meydana gelir. Bu tür bir problemde dolayı sigorta veya prafudur arızalanabilir, kapasitör buşingi hasara uğrayabilir.

4.3.Rezonans Problemlerinin Sistem Üzerindeki Etkileri

Yukarıda anlatılan rezonans problemlerinin üçününde tanınması zor ve tahmin edilmesi imkansızdır. Ancak bu problemlerin sistem üzerinde etkileri görüldüğünde basit değişiklikler ile rezonans problemi tamamen ortadan kaldırılabilir.

Genellikle harmonik akımlar kendilerini sigorta atmasıyla gösterirler. Sigortaların atması ise daha çok hafif yüklerde olur. Hafif yüklerde yükselen gerilim, trafoların mıknatıslama akımını arttırır. Mıknatıslama akımı artınca, bu akım içindeki harmonik akım bileşenlerinin genlikleri de artar. Bu harmonik akımlarının hat empedanslarında yarattıkları gerilim düşümleri hatta uygulanan gerilimi distorsiyona uğratar ve bu zamanlarda şebeke besleme geriliminin harmonik bileşenleri artar. İşte bu gerilimin kapasitör banklarına uygulanması rezonansın en tesirli olacağı, kapasitörlerin bağlı bulunduğu şebekeden çekilen yükün az olduğu bir zamana raslayabilir. Bu yükün azlığı, yükün harmonikleri söndürme tesirini de azaltmış olur.

Kapasitörlerde harmonik ve 50 Hz frekanslı temel (Fundamantel) akım ve gerilimlerin incelenmesi harmonik problemlerinin tanınması açısından faydalı olacaktır. Bunun için aşağıdaki açıklamalar ve bağıntılar bu konuda genel bir fikir vermesi açısından oldukça yararlıdır.

Standart kapasitörler %35 aşırı yüklenebilirler. Buna göre harmoniklerin mevcut olduğu bir sistemde kapasitörlerden çekilen güç aşağıdaki,

Temel (Fundamantel) KVA + Harmonik KVA = % 135 Kapasitör KVA

$$V_F \cdot I_F + V_H \cdot I_H = \% 135 \cdot V_F \cdot I_F \quad (4.1.)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada,

V_F :Yüzde temel (fundamantel) gerilimi

V_H :Yüzde harmonik gerilimi (Fundamantel bazında)

I_F :Yüzde temel (fundamantel) akımı

I_H :Yüzde harmonik akımı (Fundamantel bazında)

gösterir.

$$\text{Yüzde gerilim} \quad V = \sqrt{[V_F]^2 + [V_H]^2} \quad (4.2.)$$

$$\text{Yüzde akım} \quad I = \sqrt{[I_F]^2 + [I_H]^2} \quad (4.3.)$$

Aynı zamanda temel (fundamantel) ve harmonik akımların kapasitörün nominal akımının yüzdesi olarak ifadeleri,

$$I_F = \frac{V_F}{100} \quad (4.4.)$$

$$I_H = \frac{n \cdot V_H}{100} \quad (4.5.)$$

n : Harmonik derecesi

bağıntıları ile gösterilebilir.

Yukarıdaki bağıntılar yardımıyla yüzde gerilim ve akım bağıntıları yeniden düzenlenecek olursa,

$$V = \sqrt{[V_F]^2 + 0,35 \frac{[V_F]^2}{n}} \quad (4.6.)$$

$$I = \sqrt{[V_F]^2 + n \cdot 0,35 \cdot [V_F]^2} \quad (4.7.)$$

ifadeleri elde edilir.

Temel (fundamantel) gerilimin herhangi bir değeri ve harmoniğin herhangi bir derecesi için müsaade edilir harmonik gerilim değeri ise,

$$V_H = \sqrt{\frac{0,35 \cdot [V_F]^2}{n}} \quad (4.8.)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir.

Çift harmonikler gerilim sisteminde bulunmayacaklarından, bu harmoniklerde rezonans için uygun frekans tehlikeside söz konusu olmayacaktır. Primeri üçgen veya ayrıca nötr hatsız yıldız bağlı trafo ile düşürme yapılması durumunda akımın üçüncü harmonikleri sekondere bağlı şebekede fazlar arası besleme yapıldığı takdirde mevcut olmayacaktır. Genellikle şebekeler bu şekildeki trafolarla beslendiklerinden üç ve üçün katı olan harmoniklerden bir zarar gelmez.

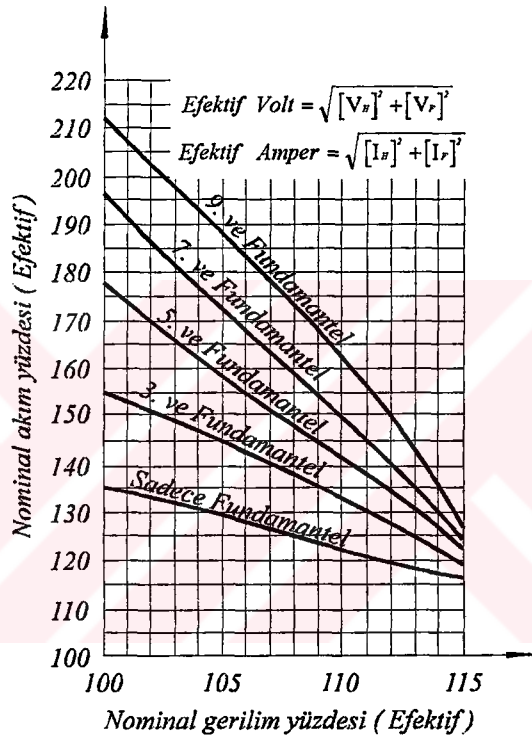
Primeri üçgen bağlı trafolarla mıknatıslama akımındaki üçüncü harmonikler üçgen bağlantı içinde devrelerini kapayacaklardır. Bu durumda besleme hattından üçüncü harmonik akımları çekilmeyeceğinden besleme gerilimi üçüncü harmonik akımlarının hat empedansında yaratacağı üçüncü harmonik gerilim düşümü ile distorsiyona uğramayacaktır. Ancak primer sargıdaki üçüncü harmonik gerilim düşümü yıldız bağlı sekonder sargıya elektromanyetik transfer ile geçen gerilimi distorsiyona uğratacaktır. Sekonderde kapasitörler fazlar arası bağlanmış ise bu kapasitörlerden üçüncü harmonik akımı akmaz. Buna sebep faz - nötr gerilimlerinde aynı fazlarda olan üçüncü harmonik gerilimleri fazlar arası gerilimde birbirlerini yok ederler [10].

Diğer taraftan trafonun sekonderinde kapasitörler yıldız bağlanır ve bu yıldızın nötrü, trafonun yıldız bağlı sekonderindeki nötr noktasına herhangi bir yoldan irtibatlı ise bu durumda kapasitörlerden üçüncü harmonik akımları akacaktır. Yukarıdaki durumda trafonun sekonderinin nötrü topraksız ise teorik olarak kapasitörlerden ve bunların bağlı oldukları nötr topraklamasından üçüncü harmonik akımlarının akmaması gerekir. Ancak trafonun sekonderindeki kaçak empedans üzerinden kapanan devreden, bir miktar akım akacaktır. Bu akımı tesbit etmek için en iyi yol ölçüm yapmaktır.

Sonuç olarak geriye 5 inci ve 7 inci harmonikler kalmaktadır. Asıl tehlike bu harmoniklerde bir rezonans şartının mevcut olmasıdır. Bu şarta uygun tesadüfler de ender olmakla beraber; devre sabitlerinin bu frekanslarda rezonansa uygun olduğunu kabul edelim. Bu demektir ki sadece hattın omik direnci kapasitöre akan akımı sınırlayabilecektir.

Örnek E :

Bir kapasitör için müsaade edilebilir %135 'lik yüklenme geçilmeden % 102 efektif değerli temel (fundamantel) gerilimi %100 olan 7 inci harmoniği ele alalım



Şekil 4.2. Toplam %135 nominal KVA yüklenmesi için 50 hz frekanslı temel akım (fundamantel) ile birlikte muhtelif frekans akımlarının bileşke değerlerinin nominal gerilimin yüzdesi olarak uygulanan bileşke gerilime göre değişimi

Şekil 4.2. den %102 efektif değerli bir gerilimin kapasitörler üzerinde %186 efektif değerli bir bileşke akımı meydana getirebileceğini görebiliriz.

Bu değerdeki yüzde harmonik akım,

$$186 = \sqrt{[100]^2 + [I_H]^2} \Rightarrow I_H = \% 156,831$$

olarak bulunur.

Dağıtım hattının kapasitöre kadar olan direnci %2 'ken, bu örnekteki kapasitörün beslediği dağıtım hattının reaktansı ile kapasitörün kapasitansı 7 inci harmonik için rezonansa gelirse 7 inci harmoniğin gerilim değeri,

$$V = 0,02 \times 1,56831 = 0,0313 = \% 3,13$$

olarak bulunur.

Bu gerilim değeri ise kapasitörden geçen akımı bir miktar arttırarak sigortanın atmasına sebep olabilecektir.

Sigortaların atması pek sık karşılaşılan bir problem değildir. Buna sebep olan şartları düzeltmek ise oldukça kolaydır.

Şimdiye kadar anlatılanlar gerek rezonans şartları hakkında gerekse harmonik akımları hakkında bilgi sahibi olmamıza yönelikti. Bununla beraber daha rezonans problemi başgöstermeden de yapılması gerekenler 4.2. başlığı altında verilmeye çalışıldı. Bundan sonra ise rezonans ve dolayısıyla bu harmonik problemlerinin çözülmesine yönelik tecrübelere dayanan pratik bilgiler aşağıda verilecektir.

4.3.1.Sigorta amperajlarının arttırılması

Kapasitörlerden çekilen toplan güç kapasitör gücünün altında olduğu halde harmonik akımları sigorta atmasına sebep olabilir. Bu tespit edilirse sigorta amperajları arttırılmalıdır.

Harmonik gerilimler bir harmonik voltmetre ile tespit edilebilir. Veya muhtelif zamanlarda bir ampermetre okunup değerler alınarak kapasitörden geçen akım tespit edilebilir.

4.3.2.Kapasitör bankının yerinin değiştirilmesi

Kapasitör bankının yeri değiştirilerek veya kapasitör bankı bölünerek rezonans problemi ortadan kaldırılabilir. Bunun için kapasitör bankının yerleştirildiği yerin durumunun uygun olması gerekir. Bu sebepten dolayı kapasitör bankı çok sıkışık kurulmamalıdır.

4.3.3.Reaktörlerin kullanılması

Eğer mevcut şartlar yüzünden yukarıdaki tedbirler gerçekleştirilemez ise kapasitör bankının bir kısmı ile seri olarak bir reaktör bağlanır. Bu reaktör mevcut harmonik akımıyla aynı miktarda endüktif harmonik akım üretirse bu iki akımın birbirini kompanse etmesi neticesinde kaynaktan pek az harmonik akım çekilmiş olur.

4.3.4.Haberleşme devrelerinde gürültü frekansındaki akımların indüklenmesi

Enerji sisteminde harmonik akım üreten bir ekipmanın bulunmasından dolayı, sistem ile telefon hatları arasında endüktif bir koordinasyon problemi doğabilir. Kapasitörlerin bir harmonik akım kaynağı olmamasına rağmen topraklı ve yıldız bağlı kapasitör bankları harmonik akım veya gerilimleri arttırabilir. Bu arttırma olayı kapasitör bankının, harmonik akım için düşük empedanslı bir hat oluşturmasından kaynaklanır.

Endüktif koordinasyon veya telefon parazitleri geçmişte şimdikinden daha büyük sorunlar yaratıyordu. Son yıllarda telefon kablolarının ve ekipmanının gelişmesi ile bu problem büyük ölçüde çözülmüştür. Parazit probleminin giderilmesi için yapılması gerekenler aşağıda ele alınmıştır.

Tesir faktörüne kumanda etmek :

Tesir faktörleri elektrik enerji dağıtım hatları tarafından yaratılır. Bu tesir, hatların çevresinde meydana gelen manyetik alan ile olur. Hattın tipi, iletkenlerin yerleştirilme şekli, gerilimin frekansı ve dalga şekli ile şönt kapasitör bankları bu alanı tarif ederler.

Genellikle şönt kapasitör bankları yüzünden meydana gelen gürültünün sebebi toprak akımlarıdır. Bu akımların indüksiyonunun azaltılması için;

a-)Yıldız bağlı nötrü topraklı kapasitör bankları yerine üçgen bağlı kapasitör bankları kullanmak

b-)Yıldız bağlı kapasitör banklarının nötrüne reaktör bağlamak

c-)Bir ucu topraklı kapasitör banklarının yerini değiştirmek
gerekir.

Hassasiyet faktörüne kumanda etmek :

Telefon almaçlarının ve çağırma cihazlarının hassas oldukları frekanslar, telefon devresinin tipi, konstrüksiyonu ve telefon devresinin balansı bahsedilen faktörü teşkil eder. Bu hassasiyet faktörüne tesir için;

a-)Toprak dönüşlü telefon devrelerinin kullanılmaması

b-)Transpozisyon yapılması

c-)Telefon kablolarının topraklanması ve böylece ekranlama avantajlarından istifade

d-)Telefon santrali cihazlarını değiştirmek
gerekir.

4.4.Hafif Yüklerde Aşırı Gerilimler

Şönt kapasitör banklarının oluşturdukları gerilim yükselmesi sabit olup yükün büyüklüğüne ve güç faktörü değerine bağlı değildir. Bu yüzden bilhassa hafif yüklerde dağıtım

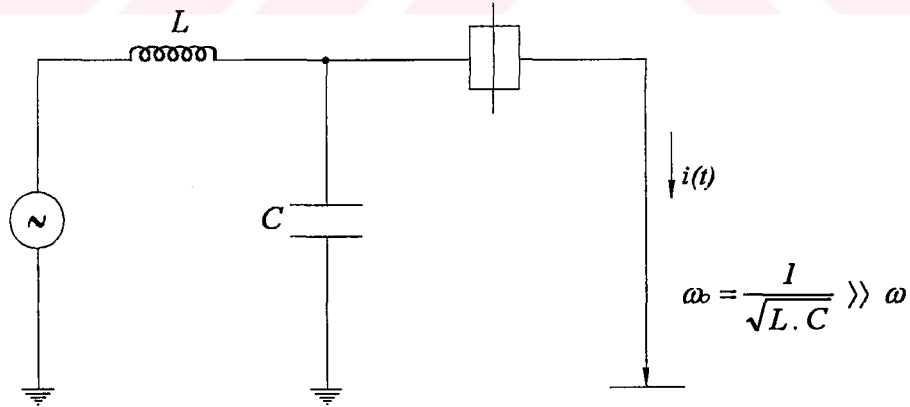
hattı gerilimi pek az düşmüş olacağından bu gerilime kapasitör bankının yarattığı sabit gerilim yükselmesinin eklenmesi ile meydana gelen toplam gerilim yüksek değerlere erişebilir. Bunun önüne geçmek için hafif yüklerde bir gerilim rölesi ve bir şalter ile kapasitör bankı devreden çıkarılır. Fakat bunun yapılması kapasitör bankından 24 saat istifade edilmemesine neden olacaktır. Bunun için en iyi yöntem bir fider regülatörüne gerilimi ayarlatmaktır.

Bir kapasitörün terminalleri arasındaki dielektriğin dizayn edildiği sinüsoidal gerilimin efektif değerine kapasitörün nominal gerilimi denir. Çok fazlı kapasitörlerin kullanılması halinde nominal gerilim, normal şartlarda kapasitörleri besleyen iki faz arasındaki en yüksek gerilimdir. Kapasitörlerin, bu gerilim değerinin 1,1 katından daha büyük gerilimlerde (geçici rejimli gerilimler hariç) çalıştırılmamaları gerekir. Sistemdeki en yüksek işletme gerilim değerinin kesin olarak tesbitindeki zorluklar nedeniyle kapasitör banklarının aşırı zorlanmalarını engellemek için nominal gerilim, tesbit edilmiş en yüksek işletme geriliminin %91'inden küçük alınmamalıdır.

4.5.Şönt Kapasitör Banklarının Kumanda Ve Korumasında Kullanılan Kesiciler İle Reaktörlerin İşletme Problemlerine Sayısal Örnekler

4.5.1.Şönt kapasitör banklarının açılmasında akımın sıfırdan geçmeden kesilmesinde tranziyent toparlanma gerilimi hesabı

Kuvvetli bir akım kesici, akımı 50 hz 'lik dalganın tepe noktasında ani olarak keserek sıfıra indiriyor. Bu durumda $i(t) = -I_m \cdot \cos \omega t$ olduğuna göre $t=0$ anında I_m akımı kesilerek $i(t) = 0$ yapılıyor. Eşdeğer devrenin aşağıdaki gibi düzenlendiği düşünülecek olursa,



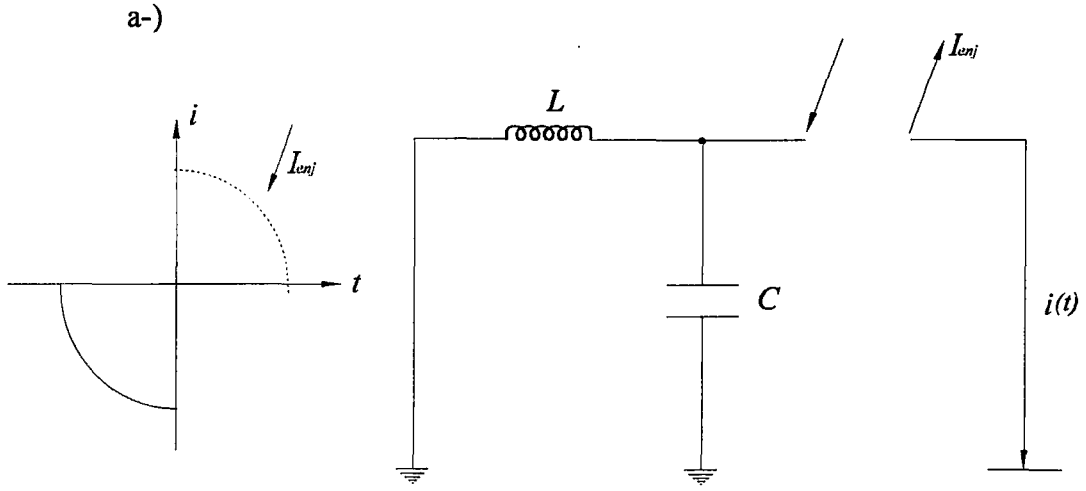
Şekil 4.3. Eşdeğer devrenin gösterilişi

a-) Akımın kesilmesini açıklayan enjekte akımını (akımın kesildiği andaki değere eşit kabul edilen ve kesilen akım yerine uygulandığı varsayılan akımı),

b-) $Z(s)$ empedansını

c-) $V(t) = \mathcal{L}^{-1}[V(s)] = I_m \cdot Z_0 \cdot \sin \omega t$ olduğunu göstererek,

d-) $I_m = 20 \text{ A}$, $L = 10 \text{ mH}$ ve $C = 0,05 \text{ } \mu\text{F}$ için V_m ve ilk tranziyent toparlanma gerilimini hesaplayalım.



Şekil 4.4. Kesilen akım yerine enjekte edilen akımın gösterilişi

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi enjekte akımının (akımın kesildiği andaki değere eşit kabul edilen ve kesilen akım yerine uygulandığı varsayılan akım) ifadesi $I_{enj}(t) = I_m \cdot \cos \omega t$ şeklinde olacaktır. Burada akımın salınım zamanı dairesel ω frekansına göre o kadar kısadır ki; $I_{enj}(t) \cong I_m$ alınabilir. Bu durumda $\cos \omega t = 1$ kabul edilmiştir.

Laplace Transformasyonu ile zaman domeni problemlerinin frekans domeninde çözümlerinin yapılabilmesi için enjekte akımı aşağıdaki şekilde,

$$I_{enj}(s) = \frac{I_m}{s} \quad \text{olarak ifade edilebilir.}$$

b-) s domeninde eşdeğer devrenin empedansı,

$$Z(s) = \frac{s \cdot L \cdot \frac{I}{s \cdot C}}{s \cdot L + \frac{I}{s \cdot C}} = \frac{\frac{s}{C}}{s^2 + \frac{I}{L \cdot C}} \Rightarrow Z(s) = \frac{\frac{s}{C}}{s^2 + \omega^2}$$

olarak bulunur.

c-) Gerilimin s domenindeki genel ifadesi,

$V(s) = I_{enj}(s) \cdot Z(s)$ dir. Bu bağıntıda yukarıda bulunan değerler yerine konacak olursa,

$$V(s) = \frac{I_m}{s} \cdot \frac{\frac{s}{C}}{s^2 + \omega^2} = \frac{\frac{I_m}{C}}{s^2 + \omega^2}$$

olarak bulunur.

$V(t) = \mathcal{L}^{-1}[V(s)]$ olduğuna göre,

$$V(t) = \frac{I_m}{C} \frac{1}{\omega} \sin \omega t = \frac{I_m}{C \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}} \sin \omega t \Rightarrow$$

$$V(t) = \frac{I_m}{\sqrt{\frac{C}{L}}} \sin \omega t = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega t$$

ve $Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ise, $V(t) = I_m \cdot Z_o \cdot \sin \omega t$ ifadesi elde edilir.

d-) $V(t)$ gerilim fonksiyonunun zamana göre türevi, gerilim fonksiyonunun maksimum olduğu anı verir.

$$\frac{dV(t)}{dt} = I_m \cdot Z_o \cdot \omega \cdot \cos \omega t = \text{maksimum tranzient toparlanma gerilimi}$$

Bu ifade de, $V_m = I_m \cdot Z_o$ dır. Buna göre V_m 'in sayısal değeri,

$$V_m = 20 \times \sqrt{\frac{10 \times 10^{-3}}{0,05 \times 10^{-6}}} = 8\,944,271 \text{ V}$$

olarak bulunur.

İlk tranzient toparlanma gerilimi $t=0$ için,

$$\left. \frac{dV(t)}{dt} \right|_{t=0} = I_m \cdot Z_o \cdot \omega = 8\,944,271 \times \frac{1}{\sqrt{10 \cdot 10^{-3} \times 0,05 \cdot 10^{-6}}} \cong 4\,000 \cdot 10^5 \text{ V/sn} = 0,4 \text{ KV}/\mu\text{sn}$$

bulunur.

Akımın kesici tarafından kesilme süresi çok kısadır. Bu durumda akım ω dairesel frekansı ile salınım yapmaktadır. $\omega \gg \omega$ olduğundan bu kısa sürede $I_{enj}(t)$ değeri akımın kesildiği andaki değere eşit alınabilir. Bundan dolayı V_m ve tranzient toparlanma gerilim değerlerinin en yüksek olduğu durum olan $I_{enj}(t) = I_m$ için hesaplar yapılmış olur. $I_{enj}(t)$ yerine akımın kesildiği herhangi bir andaki değeri de konarak o ana ait V_m ve tranzient toparlanma gerilimleri bulunabilir [10,13].

4.5.2.Şönt kapasitör banklarında ani enerjileme akımları

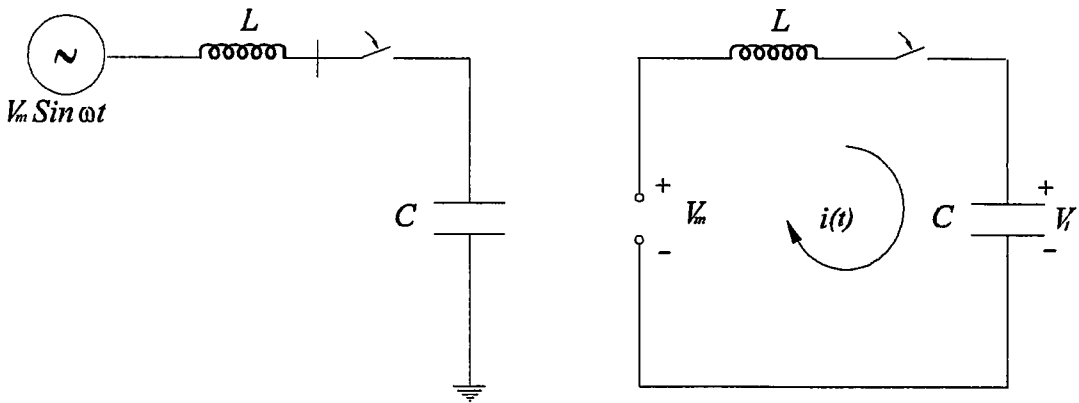
Bir kapasitör bankı enerjilendiğinde yüksek genlikli ve yüksek frekanslı enerjileme akımları meydana gelir. Bu akımların genliği genellikle enerjilemeyi gerçekleştiren kesicinin nominal akımının 20 katı değerlere ulaşabilir.

Kapasitör bankının gücü, devre endüktansı ve kapasitör bankında mevcut olabilecek elektrik yükü bu akımın genliğini ve frekansını tayin eder. Ayrıca kapasitör bankının topraklı veya topraksız oluşu da akımın genliğini değiştirir. Ani enerjileme akımları, tek bir kapasitör bankı ve enerjili kapasitör banklarına paralel bağlı diğer bankların enerjilenmesi için aşağıda açıklanmıştır. Omik direnç ani enerjileme akımının, başlangıçtaki bir kaç peryot da değişmesini önemli ölçüde etkilemediği için ihmal edilecektir.

Kapasitör bankının nötrü topraklanmadığı takdirde gerilim üçgeninin nötrünün kayması sebebiyle ani enerjileme akımının genliği, nötrü topraklıya göre 1,15 katı kadar artabilir. Kapasitör bankının beslendiği sistemde nötr noktası R_o ve X_o dirençleri ile topraklı olduğunda R_o / X 1'den büyük ve X_o / X 3'den büyük ise sistem efektif olarak topraklı olamayacağından gerilim üçgeninde nötr bir miktar kayacaktır. Bunun neticesinde ise yukarıdaki kadar olmasa da ani enerjileme akımı bir miktar artacaktır.

Ani enerjileme akımı kesici kapandığı anda kontakları arasındaki gerilim değerine de bağlıdır. Kaynağın gerilim değeri tam tepe noktasında olduğunda ve kapasitör bankında bu gerilim ile ters polaritede elektrik yükü varsa ani enerjileme akımı en yüksek değerine erişir. Bu durumda kesici kontakları arasında meydana gelen en yüksek gerilim, en yüksek enerjilenme akımını meydana getirir.

Topraklı tek bir kapasitör bankının ani enerjileme akımı aşağıdaki şekil 4.5. deki üç fazlı sistemin eşdeğer devresine göre hesaplanabilir [14].



Şekil 4.5. Topraklı tek bir kapasitör bankı için tek kutuplu diyagram ve eşdeğer devre

Yukarıdaki eşdeğer devredeki akımın değeri aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$i(t) = \frac{V_m - V_t}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \sin \frac{1}{\sqrt{L.C}} t \quad (4.9.)$$

Bu ifadede,

$i(t)$: Enerjileme akımının ani değerini (KA)

V_m : Faz-toprak geriliminin tepe değerini (KV)

V_t : Kapasitör bankında kalan elektrik yükü gerilimini (KV)

L : Eşdeğer endüktansı (H)

C : Enerjilenen bankın kapasitesini (F)

t : Zamanı (sn)

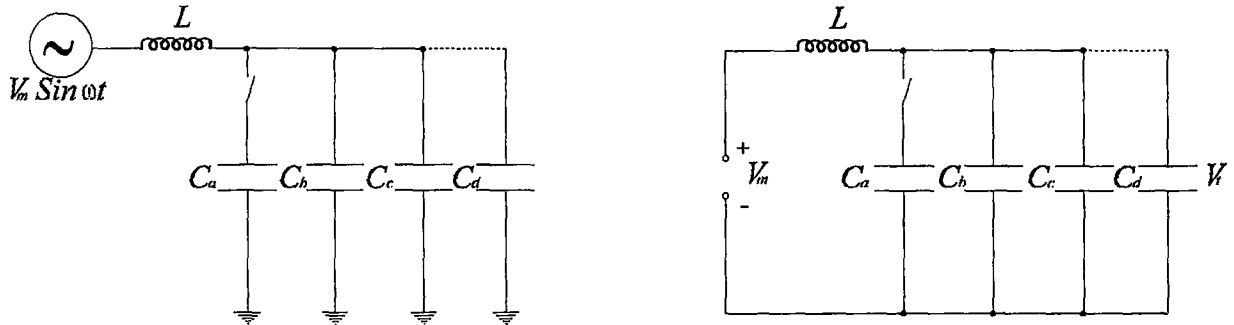
göstermektedir.

Yukarıdaki bağıntıdan da görüleceği gibi $\sin \frac{1}{\sqrt{L.C}} t = 1$ ise $V_t = -V_m$ olduğunda $i(t)$ en yüksek genliğe erişir. Buna göre en yüksek ani enerjileme akımı,

$$I_m = \frac{V_m - V_t}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad (4.10.)$$

olarak bulunur.

En şiddetli enerjileme akımı enerjili kapasitör banklarına paralel bir kapasitör bankının enerjilenmesi ile oluşur. Efektif olarak topraklı sistemlerde nötrü topraklı kapasitör bankları için yapılacak hesaplarda aşağıdaki *şekil 4.6.* kullanılacaktır.



Şekil 4.6. Topraklı kapasitör banklarının paralel enerjilenmesi için tek kutuplu ve eşdeğer devreleri.

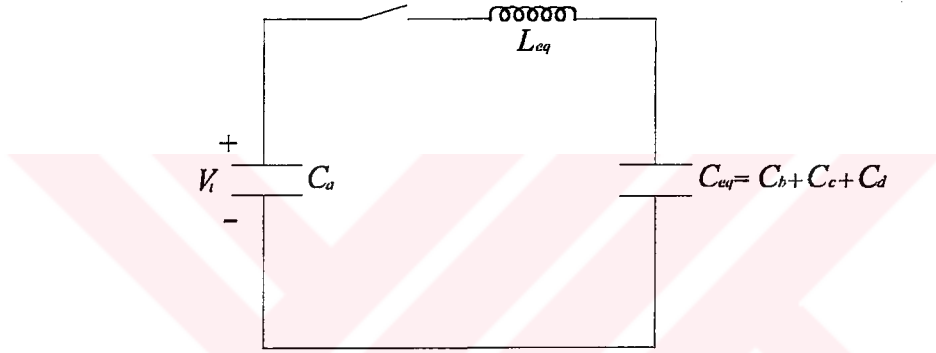
Enerjili kapasitör bankına paralel birden fazla enerjilenmiş kapasitör bankları bulunabilir. En şiddetli ani enerjileme akımı en son kapasitör bankının enerjilenmesinde oluşur. Şekil 4.6. da C_a enerjilenen bankı; C_b , C_c ve C_d ise enerjili bankları gösterir.

Eşdeğer devreyi daha basit bir hale getirmek için enerjili kapasitör banklarının eşdeğerini C_{eq} olarak gösterelim. Bu değer

$$C_{eq} = C_b + C_c + C_d$$

dir.

Buna göre basitleştirilmiş hesap devresi aşağıda verilmiştir. Burada serviste olan kapasitörlerle enerjilenen kapasitör bankı arasındaki endüktans L_{eq} ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Topraklı kapasitör banklarında paralel işletme halinde ani enerjileme akımı basit hesap devresi

Seri bağlı C_a ile C_{eq} 'nin eşdeğeri C_r ile gösterilirse ani enerjileme akımının değeri,

$$i(t) = \frac{V_m - V_t}{\sqrt{\frac{L_{eq}}{C_r}}} \sin \frac{t}{\sqrt{L_{eq} \cdot C_r}} \quad (4.11.)$$

olarak gösterilebilir.

Topraklı kapasitör bankları için ani enerjileme akımının en büyük genliği,

$$I_m = \frac{V_m - V_t}{\sqrt{\frac{L_{eq}}{C_r}}} \quad (4.12.)$$

ve ani enerjileme akımı frekansı ise,

$$f_i = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{eq} \cdot C_T}} \quad (4.13.)$$

olur.

Nötrü topraklanmamış kapasitör bankları için yukarıdaki bağıntı 1,15 ile çarpılmalıdır [10].

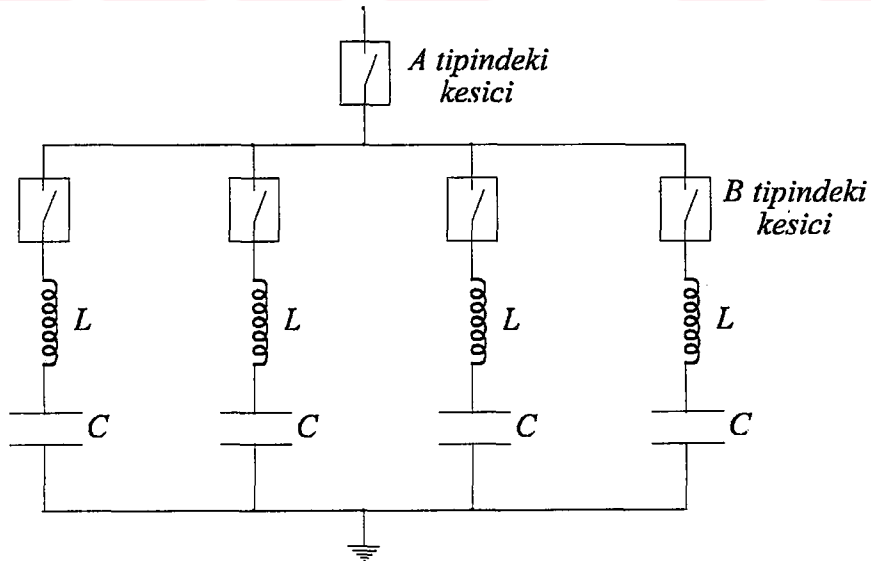
Şönt kapasitör banklarında kesici seçimi ani enerjileme akımının zamana göre değişiminin maksimum değeri kullanılarak yapılabilir. Bunun için,

$$\left. \frac{di(t)}{dt} \right|_{t=0} = \frac{V_m - V_t}{L_{eq}} \quad [KA/sn] \quad (4.14.)$$

bağıntısı kullanılabilir.

4.5.3. 36 KV 'luk sistemde 10 MVAR 'lık şönt kapasitör ünitelerinin korunmasında kullanılan kesici ve seri reaktörlerin karakteristiklerinin hesabı

36 KV 'luk bir sistemde 10 MVAR 'lık şönt kapasitör ünitelerinin korunmasında kullanılan kesici ve seri reaktörlerin karakteristikleri aşağıdaki tek kutuplu sistemde hesaplanacaktır.



Şekil 4.8. Kesici ve seri reaktörlerin tek kutuplu eşdeğer devresi

Kesiciler A ve B tipi olarak adlandırılmıştır. 10 MVAR 'lık kapasitörün kapasitansı,

$$C = \frac{KVAR}{U^2 \cdot \omega} = \frac{10000}{[36]^2 \times 314} = 24,573 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Yine 10 MVAR 'lık kapasitör bankının nominal akımı,

$$I = \frac{U \cdot C \cdot \omega}{\sqrt{3}} = \frac{36 \cdot 10^3 \times 24,573 \cdot 10^{-6} \times 314}{\sqrt{3}} = 160,372 \text{ A}$$

olarak bulunur.

Kesicilerin sürekli rejimdeki nominal kapasitif açma ve kapama akımları,

A tipi kesici için : 1750 A

B tipi kesici için : 600 A

olsun.

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü gibi A tipi kesici üzerinden geçen toplam akım $4 \times 160,372 = 641,488 \text{ A}$ olacaktır. Bu durumda ekonomik açıdan fayda sağlamak için A tipi kesici yerine B tipi kesici kullanılamayacaktır.

Seri reaktör hesabında ise aşağıdaki esaslar göz önüne alınmıştır.

a-)B tipi kesicide ani kapama akımının tepe değeri 10 KA alınmıştır. Bu değer kesici ömrünü etkilediğinden imalatçılardan talep edilecek önemli bir karakteristiktir. Buna göre kesicinin kontaklarının ve kesme ortamının bakımından önce kaç adet kapama yapabileceği imalatçı firmadan öğrenilebilir.

b-)Bir kapasitör bankı enerjilenirken diğer kapasitör banklarının da enerjili olduğu durumdaki akım hesaplanacaktır.

Akımın tepe değeri hesaplanırken kapasitör bankında kalan elektrik yükü gerilimi $[V_t]$ sıfır alınmıştır. Böylece kapasitörün enerjilenmeden önce bir elektrik yüküne sahip olmadığı kabul edilmiştir. Bunun için kapasitörün bir deşarj direncine sahip olması ve ayrıca önceden enerjili olup açılmasından itibaren 5 dakika geçtiği göz önüne alınmıştır.

Daha öncede kullandığımız $I_m = \frac{V_m - V_t}{\sqrt{L_{eq} / C_r}}$ bağıntısında, V_m faz-nötr geriliminin

tepe değeridir. Bu formülü daha basitleştirmek için aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır. Burada n : Paralel bağlı kapasitör adedini ve U : Fazlar arası gerilimin efektif değerini göstermek üzere;

$$I_m = V_m \cdot \sqrt{\frac{C_r}{L_{eq}}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U \cdot \sqrt{\frac{C_r}{L_{eq}}} = \sqrt{\frac{2}{3}} U \cdot \sqrt{\frac{C_r}{L_{eq}}}$$

dir.

$$C_r = \frac{C \cdot n \cdot C}{C + n \cdot C} \quad ; \quad L_{eq} = L + \frac{L}{n}$$

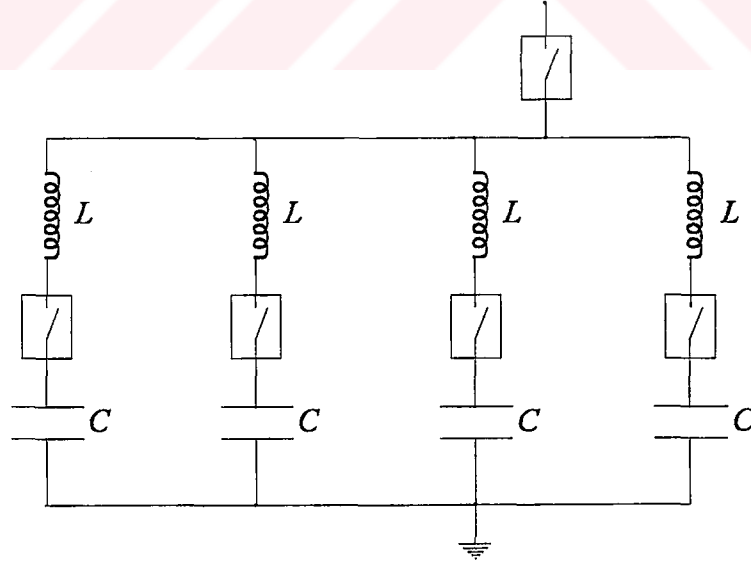
ise ve

$$C_r = \frac{C \cdot n \cdot C}{[n+1] \cdot C} \quad ; \quad L_{eq} = L \cdot \left[\frac{n+1}{n} \right]$$

düzenlemeleri yapılarak yukarıdaki I_m ifadesinde yerine konursa,

$$I_m = \sqrt{\frac{2}{3}} U \cdot \sqrt{\frac{C \cdot n \cdot C}{[n+1] \cdot C} \cdot \frac{n}{L \cdot [n+1]}} = \sqrt{\frac{2}{3}} U \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

bağıntısı elde edilir. Yukarıdaki $L_{eq} = L + \frac{L}{n}$ bağıntısının yazılabilmesi için, *şekil 4.7.* den de görülebileceği üzere enerjilenen kapasitör bankına bağlı seri reaktörün kesiciden önce yerleştirilmesi gerekir.



Şekil 4.9. Seri reaktörün kesiciden önce bağlanmasıyla ilgili tek kutuplu sistem.

Burada $n=3$ olduğuna göre, istenen ani enerjileme akımının belirli bir değeri için gerekli seri reaktörün endüktansı;

$$10 = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 36 \times \frac{3}{3+1} \times \sqrt{\frac{C}{L}}$$

ifadesinden

$$\frac{10}{22,045} = \sqrt{\frac{C}{L}} \Rightarrow \frac{24,573}{0,205} = L$$

$$L = 119,868 \mu H$$

olarak bulunur.

Sonuç olarak ;

a-)Kapasitör bankının nötrü topraklı seçilmiştir. Eğer bankın nötrü topraklı değilse hesaplamada I_m 1,15 ile çarpılmalıdır.

b-)Kapasitör bankları arasındaki endüktans ile kapasitör banklarının kendi endüktansı hesaba katılarak yukarıdaki endüktans $[L]$ değeri azaltılabilir. Ancak kesin hesap için kapasitör imalatçısı ile bağlantı kurulması ve ayrıca baraların endüktansının hesaplanması tavsiye edilir.

c-)Ani enerjileme akımının osilasyon frekansı,

$$f_t = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_r}}$$

den hesaplanırsa;

$$f_t = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{119,868 \times 24,573}} 10^6 = 2933,996 \text{ Hz}$$

olarak bulunur.

Bu değerle akımın yükselme hızı belirlenmiş olur. Akımın yükselme hızının çok yüksek olmasını seri reaktör önlemektedir. Aksi halde bu hız özellikle bazı tipteki kesicileri bir çok darbesiyle kolayca tahrip eder. Vakumlu kesiciler seri reaktöre ihtiyaç göstermeyebilir. Bu kesiciler için çoğu zaman bara bağlantılarının endüktansı yeterli olmaktadır. SF_6 gazlı kesiciler için ise seri reaktör gereklidir. Bazı kesici imalatçıları gazlı kesicilerde seri reaktörün değerinin bazı ölçülerden daha az olmasını tavsiye etmektedir. Buna sebep, yukarıda hesaplanan osilasyon frekansının çok yüksek olması neticesinde ani kapama akımının yükselme hızının büyük oluşudur.

d-)Kapasitör banklarında mäsade edilebilir darbe akımının tepe değerinin kontrol edilmesi gerekir. Bu değer nominal akımın 30 ila 100 katı olabilmektedir.

e-)Ayrıca reaktör vasıtasıyla sınırlandırılan ani kapama akımının tepe değeri, kapasitör bankında olduğu gibi trafo istasyonunun baralarında da kısa devre dinamik zorlanma akımının aşılmasını engeller. Bilindięi gibi bu değer $2,55 I_{kd}$ (I_{kd} : Kısa devre akımının kararlı rejimdeki değeri) dir.



5.SONUÇ

Elektrik enerjisi dağıtımının yeni başladığı sıralarda iletim ve dağıtım hatlarının güç faktörleri oldukça yüksek değerlerdeydi. Şebeke yüklerinin zamanla büyümesi sonucunda reaktif akımların, aktif akımlara nazaran daha fazla artmaya başlaması ile sistemin güç faktörünün düşmesi; enerji iletim ve dağıtım hatlarında kayıpların artmasına, aşırı gerilim düşümlerine ve trafo istasyonları ile generatörlerin fazla yüklenmelerine neden olmuştur. Günümüzde çevre bilincinin üretim santralleri üzerindeki baskısının artması, mevcut enerji kaynaklarının ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesini gündeme getirmiştir. Bu ise elektrik tesislerinde kullanılan şönt kapasitör banklarına olan önemi arttırmıştır.

Şebekeler geliştikçe ve yüklem seviyeleri yükseldikçe enterkonnekte elektrik şebekelerinin ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi için alınacak en önemli tedbirlerden biri de şönt kapasitör banklarının kullanılmasıdır. Elektrik şebekelerinde kullanılan şönt kapasitörler birer reaktif güç üreticilerdir. Kapasitörler generatörlere ilaveten, yükün ihtiyacı olan reaktif gücü üretirler. Teorik olarak aktif ve reaktif güç talebini generatörler ile karşılamak da mümkündür. Ancak şönt kapasitör banklarının generatörlere nazaran herhangi bir gerilim sınıfına direkt uygulanabilirliği, *KVAR* çıkış gücünün sistem voltajının karesiyle değişmesi ve düşük maliyetleri nedeniyle, son zamanlarda şönt kapasitör banklarının daha çok tercih edilmesine neden olmuştur.

Şönt kapasitör banklarından elde edilen tüm avantajlar, şönt kapasitörün gücü ile orantılı olarak sisteme bir reaktif akım sağlaması ve kaynağın ürettiği reaktif akımı azaltması esasına dayanır. Bu esasa göre şönt kapasitör banklarının şebeke üzerindeki etkileri analiz edilerek, yapılacak ekonomik bir karşılaştırma enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin artan reaktif güç problemlerinin çözümü için kullanılacak olan şönt kapasitör banklarının ekonomik güvenilirliğini rahatlıkla ispat eder.

Reaktif güç, santrallerde generatörler tarafından üretilerek transformatör ve enerji nakil hatları üzerinden tüketiciye ulaşır. Bu esnada elektrik tesisleri reaktif güç tarafından gereksiz yere işgal edileceklerinden, hattın taşıma kapasitesinden tam olarak yararlanmak mümkün olmaz ve işletme ekonomik olmaktan çıkar. Bu nedenle tesisleri reaktif güçten kurtarmak, tesis elemanlarının kapasitelerinden tam olarak faydalanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak maksadı ile reaktif gücün santrallerde değilde tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak üzere şönt kapasitör banklarının orta veya yüksek gerilim şebekelerine yerleştirilmesi düşünülebilir. Fakat bu gibi işletmelerde orta gerilim şebekesinden sonra daha geniş bir alçak gerilim şebekesi bulunduğundan, orta ve yüksek gerilim şebekelerine yerleştirilen şönt kapasitör bankları ile alçak gerilim transformatörleri ve alçak gerilim şebekeleri, reaktif akımın yükünden kurtulmuş olmaz. Bu nedenle tek başına orta veya yüksek gerilim şebekelerinin şönt kapasitör banklarıyla desteklenmesi sistemin güç faktörünü düzeltip kapasitesini rahatlatmaz.

Elektrik idareleri, çok geniş bir ağa sahip alçak gerilim şebekelerinin ekonomik bir şekilde işletilebilmesi için müşterilerine güç katsayısını belirli bir değerin altına düşürmemelerini şart koşar. Güç katsayısı belirli bir sınırın üstünde kaldığı sürece çekilen reaktif enerji için hiç bir bedel ödenmez. Güç katsayısı bu değerin altına düştüğü oranda sarf edilen reaktif enerji için çeşitli fiyat kademelerine göre hesaplanan bir meblağ ödenir.

Elektrik idaresinin şart koştuğu güç katsayısının altına düşmemek için, tüketicilerin gerektiği taktirde ihtiyaçları olan reaktif gücü kendilerinin üretmeleri daha iyi sonuçlar verir. Türkiye Elektrik Kurumunun uygulayacağı reaktif enerji tarifesi ile dağıtım şebekelerine bağlı ve belli bir değerin üzerinde reaktif enerji kullanan müşteriler şönt kapasitör montajı ile kompanzasyona teşvik edilmeli böylece kısmende olsa alçak gerilim şebekelerinde güç katsayısının belli değerlerin altına düşmemesi sağlanmalıdır. Reaktif enerjinin çokça çekildiği orta gerilim yük merkezlerinde ise reaktif güç üretimi için yapılan yatırımın kısa bir süre içerisinde kendisini amorti ettiği düşünülecek olursa Türkiye Elektrik Kurumu orta ve yüksek gerilim şebekelerinde bu yatırımı üslenmeli, böylece enterkonnekte elektrik şebekelerinin çok daha ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi sağlanmalıdır.

Yüksek ve orta gerilim şebekelerinde montajı yapılan şönt kapasitör banklarına ait tesis malzemelerini seçerken açma ve kapama esnasında baş gösteren olayların tesirleri gözönünde bulundurulmalıdır.

Şönt kapasitör bankları devreye sokulurken veya paralel bağlanırken meydana gelen geçici rejimler esnasında kısa devre akımına benzer büyük akımlar çekerler. Bu akımların değerleri ve süreleri kapasitör gücüne, söz konusu şebeke parçasının endüktif direncine ve frekansına bağlıdır. Eğer anahtar, gerilimin en büyük değerlerinde kapanırsa akım darbeleri de en büyük değerlerini alır. Bu akımın tesir süresi nadiren 1 veya 2 periyotdan daha uzun olur. Bu esnada kapasitör uçlarında meydana gelen aşırı gerilimler en çok şebeke geriliminin 2 katına çıkar. Bu sebeple kapasitörlerin aşırı gerilim değerlerine dayanabilmesi için kapasitör izolasyon geriliminin nominal gerilimin 3,5 katına eşit olması öngörülür.

Kapasitörler devreden çıkarken, kapasitif akımın kesilmesinin daha zor olması sebebi ile büyük arklar meydana getirirler. Bu sebeple kullanılacak anahtarların açma hızının büyük olması gerekir. Şönt kapasitör banklarında kullanılan anahtar, sigorta gibi bağlama elemanlarının seçilmesi esnasında bu özellikler gözönünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden şönt kapasitör banklarının montajında kullanılan bağlama elemanları, normal tesislerde kullanılanlardan biraz daha farklıdır ve bunlar kapasitör gücüne denk gelen nominal akımdan daha büyük akımlara göre seçilirler.

Sonuç olarak; şönt kapasitör banklarının montajından doğabilecek birkaç işletme probleminin sistem üzerindeki etkileri bilinmeli ve buna göre de tecrübeler neticesinde gerekli çözümler uygulanmalıdır. Unutulmaması gereken önemli bir hususta reaktif enerjinin satılması ile sağlanan gelirlerin hiç bir zaman taşınan reaktif gücün sebep olduğu masrafları karşılamayacağıdır.



KAYNAKLAR

- [1] Çakır , H. , Küçük , S. , Pekiner , F. O. : " Enerji Dağıtım Sistemlerinde Şönt Kapasitör Kullanılmasının Şebeke Gerilimi Üzerindeki Etkileri " , Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü , Yıldız Üniversitesi 1989 İstanbul
- [2] Elektrik Mühendisleri Odası : " Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları " , 1983 İstanbul.
- [3] Pollmeier , F. J. : " Kondansatörlere " , Hütte Elektrische Energietechnik , Band 2 , Berlin Heidelberg New York 1978.
- [4] Türk Standartları Enstitüsü : Güç Kondansatörleri , TS 804 / Nisan 1986.
- [5] Bo Stenerhag, L. , E. Wirsén : " Ein Schlüsselwort Für Arbeitskondensatoren " , Asea Zeitschrift Mart 1984.
- [6] Westinghouse Electric Corporation : " Shunt Capacitors " , March , 1982
- [7] Uyar, N. : " Enterkonnekte Elektrik Şebekelerinde Şönt Kompanzasyon " , ETİTAŞ Bornova/İzmir
- [8] Gönen , T. : " Electric Power Distribution System Engineering " , McGraw-Hill 1986.
- [9] TEK Genel Müdürlüğü : " Enerji Nakil Hatlarının Kilometrik ve Trafo Merkezlerinin Eleman Bazında 1992 Yılı Birim Fiyatları " , Mayıs 1992
- [10] Alparslan , Y. : " Enerji Taşıma Şebekelerinde Reaktif Güç ve Kapasitörlerin Kurulması " , TEK Trafo Merkezleri Proje Dairesi Başkanlığı , Haziran 1984.
- [11] Best , 1992 Yılı Standart Satış Fiyatı
- [12] ETİTAŞ , 1992 Yılı Fiyatları Bornova / İzmir
- [13] Eralp , F.Y. : " Geçici Olaylar ve Laplace Transformasyonu " , İstanbul.
- [14] Güney , İ. , Terzi , Ü. K. : " Şönt Kapasitör Gruplarında Ani Enerjileme Akımları ve Sınırlandırılması " , Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Eylül 1993, Trabzon
- [15] Uyar , N. : " Orta Gerilim Güç Kondansatör İmalat Teknolojisi ve Sanayi Tesislerinde Uygulamaları " , ETİTAŞ Bornova / İzmir.
- [16] Şahin , A. : " Reaktif Güç İhtiyacının Tesbiti ve Kondansatör Gücü Hesabı " , SEGEM Ankara 1985
- [17] İnan , M. : " Orta Gerilim Şebekeleri " , İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Cilt II , 1973 İstanbul
- [18] Köksal , M. : " Reaktif Güç Kompanzasyonu " , 1993 Ankara
- [19] " Broşür ve Dökümanlar " , ETİTAŞ Bornova / İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan ÇITAK,

19. 04. 1969 tarihinde İsviçrede Doğdu. Orta öğrenimini Balıkesir Merkez Teknik Lisesi Elektrik Bölümünde tamamladıktan sonra 1988 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünü kazandı. 1991 - 1992 eğitim - öğretim döneminde bölümünden birincilik ile mezun oldu. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Programına başladı. Halen Akhisar Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde görev yapmaktadır.

