

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Gaz İzoleli Şalt Tesisleri

Selma Trablıus

Yüksek Lisans Tezi

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elk.
Elek.

20000 TL

GAZ İZOLELİ ŞALT
TESİSLERİ
(GİS)

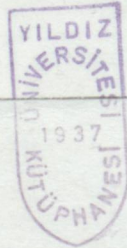
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜH. SELİM TRABLUS

İSTANBUL 1990

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 152
138
Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.
Tarih : 20.04.1992
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 20.000.000.000
Ayniyat No : 1/2
Kayıt No : 48349
UDC : 621.3 378.242
Ek :

+

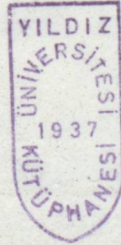


YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GAZ İZOLELİ ŞALT
TESİSLERİ
(GIS)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜH.SELİM TRABLUS



İSTANBUL 1990

İÇİNDEKİLER

I. BÖLÜM

TEORİK ESASLAR

1.SP ₂ Gazının Özellikleri.....	1
1.1.Genel Olarak.....	1
1.2.Kimyasal Özellikleri.....	1
1.3.Fiziksel Özellikleri.....	1
1.3.1.Elementer İşlevler.....	1
1.3.2.Emisyon Karakteristiği.....	2

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, tecrübelerinden istifade ettiğim değerli hocam sayın Prof.Dr.Hüseyin ÇAKIR'a bu vesileyle teşekkür etmeği bir borç bilirim.

Selim Trablus

2.3.Sonuçlar.....	18
3.Emisyonlu Alanın İçin Bazı Özellikler.....	19
3.1.Sivri.....	19
3.2.Alan Emisyonlu Delinme.....	19
3.2.1.Bir Alan Emisyon Akımının Mevcudiyeti.....	19
3.2.2.Alan Emisyonunun 482 Çukuk Alanıyla Delinme Mekanizması.....	20
3.3.Gaz İçindeki Olaylarla Delinme.....	23
3.4.Elektrodlarda Alanın Açık Yüksekliği Sonucu Delinmeler.....	24
3.4.1.Kenar(Sınır) Delinmeler.....	24
3.4.2.Lokal Alan Büyümesi.....	25
3.5.Kirli Alanlar Sonucu Oluşan Delinme.....	25
3.6.Sonuçlar.....	26

II. BÖLÜM İÇİNDEKİLER

PRATİK ESASLAR

I. BÖLÜM

1. Giriş... TEORİK ESASLAR	29
2. Katı İzole Maddeler.....	30
1. SF ₆ Gazının Özellikleri.....	1
1.1. Genel Olarak.....	1
1.2. Kimyasal Özellikleri.....	1
1.3. Fiziksel Özellikleri.....	1
1.3.1. Elementer İşlevler.....	1
1.3.2. İyonizasyon Karakteristiği.....	2
1.4. Delinme Mekanizmaları ve Tutuşma Şartları.....	4
1.4.1. Homojen Alanda Delinme.....	4
1.4.2. Homojen Olmayan Alanda Delinme.....	6
1.4.3. Townsend Deşarjı.....	9
1.4.4. Streamer Teorisi.....	10
2. Delinme Geriliminin Hesabı.....	13
2.1. Genel Hesaplama Tarzı.....	13
2.2. Benzerlik Kanunu.....	15
2.3. Sonuçlar.....	18
3. Benzerlik Kanunundan Sapmalar İçin Teoriler.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Alan Emisyonlu Delinme.....	19
3.2.1. Bir Alan Emisyon Akımının Mevcudiyeti.....	19
3.2.2. Alan Emisyonunun Göz Önüne Alınmasıyla Delinme Mekanizmaları.....	20
3.3. Gaz İçindeki Olaylarla Delinme.....	23
3.4. Elektrodlarda Alanın Aşırı Yükselmesi Sonucu Delinmeler.....	24
3.4.1. Kenar(Sınır) Delinmeler.....	24
3.4.2. Lokal Alan Büyümesi.....	25
3.5. Kirlenmeler Sonucu Oluşan Delinme.....	25
3.6. Sonuçlar.....	26
3.11. GIS Tezlemlerinde Termik ve Dinamik Kisa Devre Sorumluluğu.....	33

II. BÖLÜM

PRATİK ESASLAR

1.Giriş.....	29
2.Katı İzole Maddeler.....	30
3.Akışkan İzole Maddeler.....	30
4.Gaz İzole Maddeler.....	31
5.SF ₆ İzoleli Şalt Tesisleri (GIS)	33
5.1.Yüksek Basınç Tesisleri.....	33
5.2.Alçak Basınç Tesisleri.....	33
5.3.GIS Tesislerinin Yapısı.....	34
5.4.Yapı Elemanları.....	35
5.4.1.Baralar.....	35
5.4.2.Ayırıcılar.....	36
5.4.3.Topraklama Şalterleri.....	38
5.4.3.1.Topraklayıcı Ana Cihaz.....	39
5.4.3.2.İşletme Topraklayıcısı.....	39
5.4.3.3.Hızlı Topraklayıcı.....	39
5.4.3.4.Koruma Topraklayıcısı.....	39
5.4.4.Güç Şalterleri.....	41
5.4.5.Güç Şalterlerinin Gaz Akış Şeması.....	41
5.5.Kapsüllenmiş Akım Trafosu.....	44
5.6.Kapsüllenmiş Gerilim Trafosu.....	45
5.7.Geçişler.....	45
5.7.1.Kablo Bağlantısı.....	46
5.7.2.Transformatör Bağlantısı.....	46
5.7.3.Hava Hat Bağlantısı.....	47
5.8.Bağlantı Parçaları.....	47
5.9.Bütün Konvansiyonel Tesislere Uygun Yapı Biçimleri.....	48
5.10.GIS Tesislerinin Bir Fazlı ve Üç Fazlı Olarak Kapsüllemesi.....	51
5.10.1.Bir Fazlı Kapsüllemenin Faydaları.....	51
5.10.2.Üç Fazlı Kapsüllemenin Faydaları.....	52
5.11.GIS Tesislerinde Termik ve Dinamik Kısa Devre Zorlanmaları.....	53

5.11.1.Boyutlandırma İçin Ana Parametre.....	53
5.11.2.Bir Fazlı Kapsüllenmiş Tertiblerin Dinamik Zorlanması.....	55
5.11.3.Üç Fazlı Kapsüllenmiş Tertiblerin Dinamik Zorlanması.....	55
5.11.4.Termik Zorlanma.....	55
5.12.GIS Tesislerinde Geçici Aşırı Gerilimler.....	56
5.12.1.GIS Tesislerinde Aşırı Gerilimlerin Ortaya Çıkması, Yayılması ve Tesirleri.....	56
5.12.1.1.Ayırıcı Bağlantılar.....	56
5.12.1.2.Dengeleme Olaylarının Yayılması.....	58
5.12.1.3.Aşırı Gerilimlerin Tesirleri....	58
5.12.2.Yüksek Gerilim Tesislerinde Ölçümler.....	58
5.12.2.1.380'kV luk Bir GIS Tesisinin Yüksek Gerilim Tarafında Geçici Olaylar	58
5.12.2.2.Yüksek Gerilim İletkeninden Kumanda Dolabına Kadar Bir GIS'in Geçici Gerilimleri.....	59
5.13.GIS Tesislerinin Aşırı Gerilime Karşı Korunması ve İzolasyon Koordinasyonu.....	59
5.13.1.İzolasyon Koordinasyonu İçin Önemli Kriterler.....	60
5.13.2.Konvansiyonel İzolasyon Boyutlandırılması ve Emniyet Seviyesi.....	60
5.13.3.İzolasyon Koordinasyonunun İstatistikî Kullanımı.....	61
5.13.4.SF ₆ Basınçlı Gaz İzolasyonunun Özellikleri	62
5.13.5.Aşırı Gerilim Koruması İçin Tedbirler....	62
5.14.GIS Tesislerinde SF ₆ Gaz Kontrolü.....	63
5.15.GIS Tesislerinde Hususî Problemler.....	64
6.Konvansiyonel ve GIS Tesislerinin İzolasyon Kıyaslamaları.....	65
6.1.Konvansiyonel Tesislerin İzolasyonu.....	66
6.2.GIS Tesislerinin İzolasyonu.....	66
6.3.Her iki İzolasyon Sisteminin Kıyaslanması.....	67
6.3.1.İç ve Dış İzolasyon Arasında Kıyaslama.....	67
6.3.2.GIS Tesislerinin İzolasyonunun Hususî Özellikleri.....	69

7.SF ₆ Tekniğinin Faydaları.....	70
7.1.Hibrid Şalt Tesisleri.....	71
7.2.Elektrik Güç Santral Tesislerinde SF ₆ Teknolojisinin Kullanımı.....	75
8.Izole Edilmiş Boru Gaz kablolarıyla Enerji İletimi.....	76
8.1.Havaf Hatlar Vasıtasıyla Konvansiyonel Enerji Taşıma.....	76
8.2.Yeraltından Enerji Taşımaya Olan Talepler.....	76
8.2.1.Havaf Hatlara Bağlı Yeraltı Taşıma Kabloları.	76
8.2.2.Havaf Hatlara Paralel Yeraltı Taşıma Kabloları.....	77
8.2.3.Yeraltı Taşıma Elemanına Umumi Güç Talepleri.	78
8.3.Yüksek Güçlerin Taşınması için Boru Gaz Kablosu....	78
8.3.1.Boru Gaz Kablolarının kullanım İmkanları.....	81
9.SF ₆ Tekniğinin Geleceği.....	83
10.SF ₆ -GIS Teknolojisinin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi.....	84
11.Dünyada Halen İşletme İçinde Bulunan Mevcut GIS Tesislerinden Örnekler.....	84

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisine artan ihtiyaç, büyük şehirlerde ve endüstri sahalarında büyüyen enerji yoğunluğu, mevcut yüksek gerilim şebekelerini tüketim merkezlerinin içlerine kadar genişletmeyi lüzumlu kılmıştır. Taşıma geriliminin, tüketiciye yakın yerdeki şehir veya endüstriyel kablo şebekelerinin gerilimine transformasyonu ekonomik faydalar yanında, emin bir enerji beslemesine imkan vermektedir. Bu yüzden modern tekniğin bütün talepleriyle ve çevreyle uygunluk teşkil eden yeni bir şalt tesis tipi geliştirmek zaruri olmuştur.

SF₆-Gazının izolasyon ve söndürme tekniğine girişi, metal kapsüllü gaz izoleli şalt tesislerinin (GIS-Gas isolierte Schaltanlagen/Gas Insulated Switchgear) geliştirilmesine ön ayak olmuştur. GIS-Tesisleri konvansiyonel şalt tesislerindeki bütün şalt cihazlarını (SF₆-Basıncılı gazıyla izole edilmiş olarak) topraklanmış metal gövde-lerde tutan tesislerdir.

Konu, teorik ve pratik esaslar adı altında iki bölümde incelenmiştir. I. Bölümde SF₆'nın fiziksel özelliklerinden itibaren GIS-Teknolojisinin önemli teorik kriterleri ele alınmıştır.

II. Bölümde GIS-Teknolojisinin pratikteki uygulamaları anlatılmış ve Türkiye açısından bir değerlendirme yapılmıştır.

Haziran, 1990

Selim Trablus

İstanbul

VORWORT

Der steigende Bedarf an elektrischer Energie und die wachsende Energiedichte in Grossstaedten und Industriegebieten machen es notwendig, die bestehenden Hochspannungsnetze bis in die Verbrauchszentren hinein auszudehnen. Die Transformation der Übertragungsspannung auf die Spannung staedtischer oder industrieller Kabelnetze nahe am Verbraucher bringt nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern ermöglicht erst in vielen Faellen eine sichere Energieversorgung.

Aus diesem Grund war es erforderlich, einen neuen Schaltanagentyp zu entwickeln, der bei geringstem Raumbedarf allen modernen technischen Anforderungen entspricht und zugleich ausgesprochen umweltfreundlich ist.

Es, dass das Gas " SF_6 " in Isolation- und Lichtbogenlöschtechnik eintritt, hatte angeführt, die metallgekapselten gasisolierten Schaltanlagen (GIS-Gas Insulated Switchgear) entwickelt worden zu sein. GIS-Anlagen sind Anlagen, welche die allen Schaltgeraete (isoliert mit Druckgas SF_6) in konventionellen Schaltanlagen mit Hilfe von den geerdeten Metallgehaeusen erhalten.

Das Thema ist als theoretische und praktische Grundlagen innerhalb der zwei Kapitele genau untersucht. Im ersten Kapitel hatte man die wichtigen theoretischen Wertmesser der Technologie "GIS" seit der physikalischen Eigenschaften von SF_6 beachtet.

Im zweiten Kapitel sind die Einsetzungen bei der Praxis der Technologie "GIS" erzaehlt und im Hinblick auf die Türkei ausgewertet.

Juni, 1990

Selim Trablus

Istanbul

I. BÖLÜM

TEORİK ESASLAR

1.SF₆-Gazının Özellikleri:1.1.Genel Olarak:

SF₆ , 1900'lü yıllarda Moissan ve Lebeau tarafından Paris'te ilk defa flor gazı içinde kükürdün yakılması ile elde edildi.1937'de Cooper SF₆'yı izole edici gaz olarak araştırdı.1938'de Alman Patent Grosse elektrik arkını söndürme amacıyla SF₆ ile ilgilendi.1948'den itibaren flor gazı içinde 300°C 'de akışkan kükürdün yakılmasıyla daha büyük miktarlarda imalat yapıldı.SF₆'lı ilk güç şalteri 1960'da Amerika'da, 1966'dan itibaren GIS-Tesisleri işletmeye girmiştir.

1.2.Kimyasal Özellikleri:

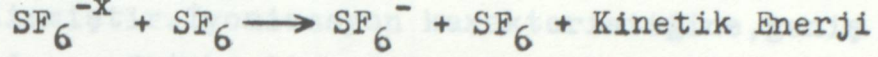
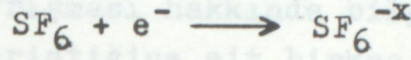
SF₆-Molekülünün yapısı sekiz yüzlü olarak kabul edilmektedir.SF₆-Gazı yaklaşık bir asal gaz gibi davranır. Normal şartlarda renksiz,kokusuz,tatsız,yanmaz,zehirsiz bir gazdır.Gaz kimyasal olarak 500°C' e kadar stabildir.

1.3.Fiziksel Özellikleri:1.3.1.Elementer İşlevler:

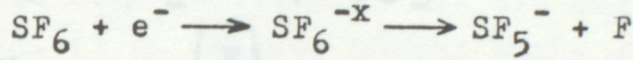
SF₆-Molekülleri,çok kolayca elektronları tutma özelliğine sahiptir.Bunun için bu gaz elektronegatif olarak bilinir.Bu olay, gaz hacminde elektronlar bakımından fakirleşmeye sebebiyet verir.Tutma sonucu,delinmeye sebebiyet veren elektron yığılmalarından elektronlar çekilir.ve yığılmaların büyümesi yavaşlatılır.Ortaya çıkan iyonlar, alan içinde parçacıklar arasındaki iyi enerji transferinden dolayı aynı yada benzer ölçülerde enerji kazanırlar. Hiçbir negatif iyon teşkil etmeyen gazlara kıyasen,SF₆'nın yüksek dielektrik dayanımı elektronlar için geniş tutma olasılığına bağlıdır.

Negatif molekül iyonları aşağıdaki mekanizmalara göre teşkil olunabilir:

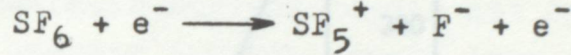
a) Nötr SF_6 molekülü ile Rezonans tutma, bu olayda iyon biriktirilir. İyon bir darbeye başka bir molekülle stabilize edilebilir.



b) Ayrışma sonucu yığılma, buradan fazla enerji molekülün ayrışmasına sebebiyet verir.



c) Çifte iyon teşkili. Molekül, elektron darbesi sonucu, yeniden tutulma olmaksızın bir pozitif ve bir negatif iyon ayrışır.



(a) ve (b) işlevi elektron sayısını azaltır, (c) işlevi elektronların alanı bozmasına sebebiyet vererek yük taşıyıcı sayısında bir artış meydana getirir.

Elektron ayrılmasına sebebiyet veren işlevler:

- Tahrik edilmiş (hareketli) atomlara sahip negatif iyon darbeleri,
- İyonlar sayesinde yayılan ışımaların absorpsiyonu,
- Yüksek enerjili elektron, iyon veya molekül darbeleri,
- Nötral atomlu darbeler.

Bu olaylar kritik bir yığılma oluşumunu teşvik eden bir elektron artışına sebebiyet verirler.

1.3.2. İyonizasyon Karakteristiği:

İyonizasyon olayları çok kompleks oldukları için, iyonizasyon katsayılarının tesbiti küçük basınçta homojen alanda yapılmaktadır. 1. Townsend iyonizasyon katsayısı α ve yığılma katsayısı η , akım artış denklemi üzerinden belirlenebilir.

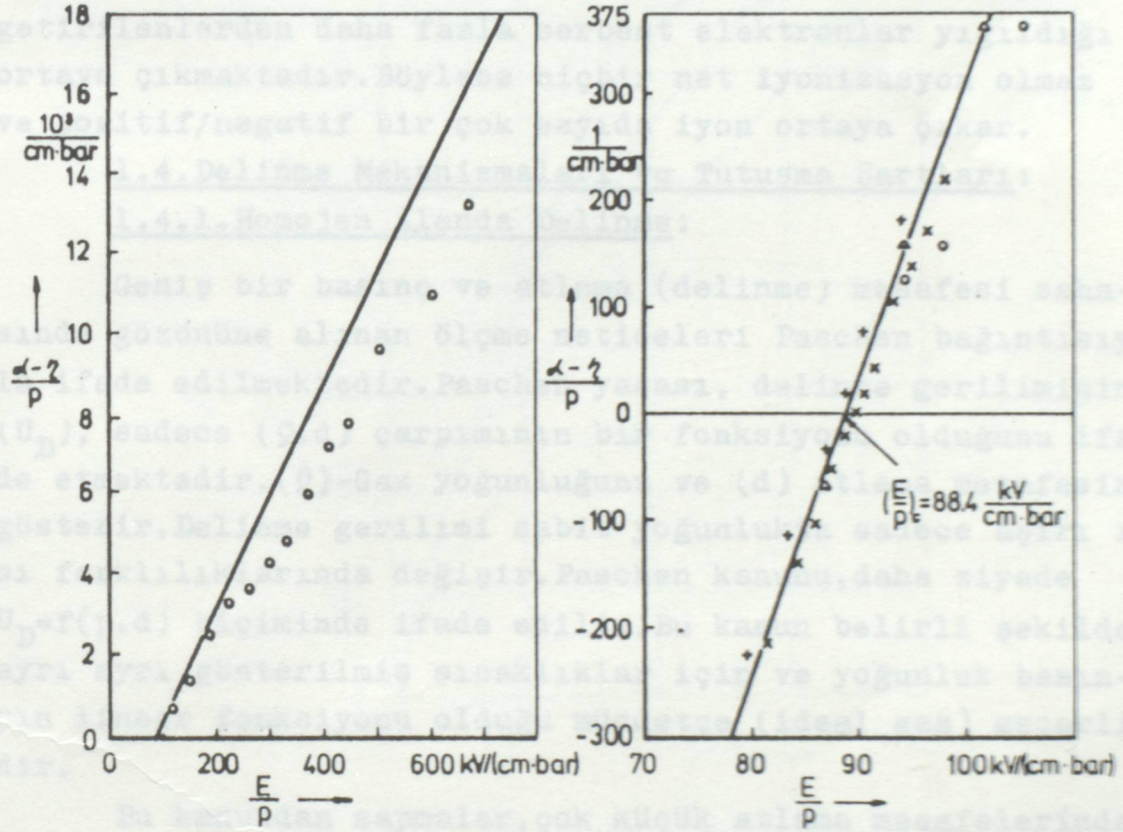
$$I = I_0 \left[\frac{\alpha}{\alpha - \eta} e^{(\alpha - \eta)d} - \frac{\eta}{\alpha - \eta} \right] \quad (1.1)$$

I_0 = Başlangıç akımı (Tamamiyle katodda ultra-viyole ışın yayılması sonucunda oluşur.)

Meydana gelen yığılmaların zamanla gelişimi incelenir. Bu, çeşitli yük taşıyıcıların ve sekonder tesirlerin yığılma hızı üzerine ayrıca iyonizasyon, elektron yığılması ve elektron ayrışması hakkında bilgi verir. SF_6 için iyonizasyon karakteristiğine ait birkaç ölçme neticesi Şekil:1.1' de ifade edilmiştir. İyonizasyon karakteristiğine, geniş bir E/p sahasında aşağıdaki lineer denklem ile yaklaşılabılır.

$$\frac{\alpha - \eta}{p} = k \left[\frac{E}{p} - \left(\frac{E}{p} \right)_c \right] \quad (1.2)$$

$$k = 27,7 \text{ 1/kV} \quad , \quad \left(\frac{E}{p} \right)_c = 88,4 \text{ kV/(cm.bar)}$$



Şekil:1.1 (1.2) Denklemine göre SF_6 için iyonizasyon karakteristiği.

Kaçınılması mümkün olmayan alan bozulmaları ve gerekli yüzey şartlarını meydana getirmede karşılaşılan zorluklar bunun önemli nedenleridir. SF_6 , ideal olmayan bir gaz olduğu için, gaz basıncı ile ilgili iyonizasyon karakteristiğini bir sıkışabilme faktörü ile değiştirilmesi tek-

lif edilmiştir. Bu teklifte, karakteristik basınç yerine gaz yoğunluğu dikkate alınmaktadır. Bu yüzden iyonizasyon karakteristiği aşağıdaki biçimde kullanılır. Bu, (1.2) denklemini yoğunluğa bağlı kılmaktadır.

$$\frac{\alpha - \eta}{\rho} = k \left[\frac{E}{\rho} - \left(\frac{E}{\rho} \right)_c \right] \quad (1.3)$$

$$k = 27,7 \text{ l/kV} \quad , \quad \left(\frac{E}{\rho} \right)_c = 14,4 \text{ kV.l/(cm.gr)}$$

İyonize olan elektronlar bir hız dağılımına tabi oldukları için, (1.2) ifadesi sadece büyük sayıdaki gaz moleküllerinin ortalama davranışını verir. (1.2) ifadesinden, 88,4 kV/(cm.bar) altındaki E/p değerlerinde meydana getirilenlerden daha fazla serbest elektronlar yığıldığı ortaya çıkmaktadır. Böylece hiçbir net iyonizasyon olmaz ve pozitif/negatif bir çok sayıda iyon ortaya çıkar.

1.4. Delinme Mekanizmaları ve Tutuşma Şartları:

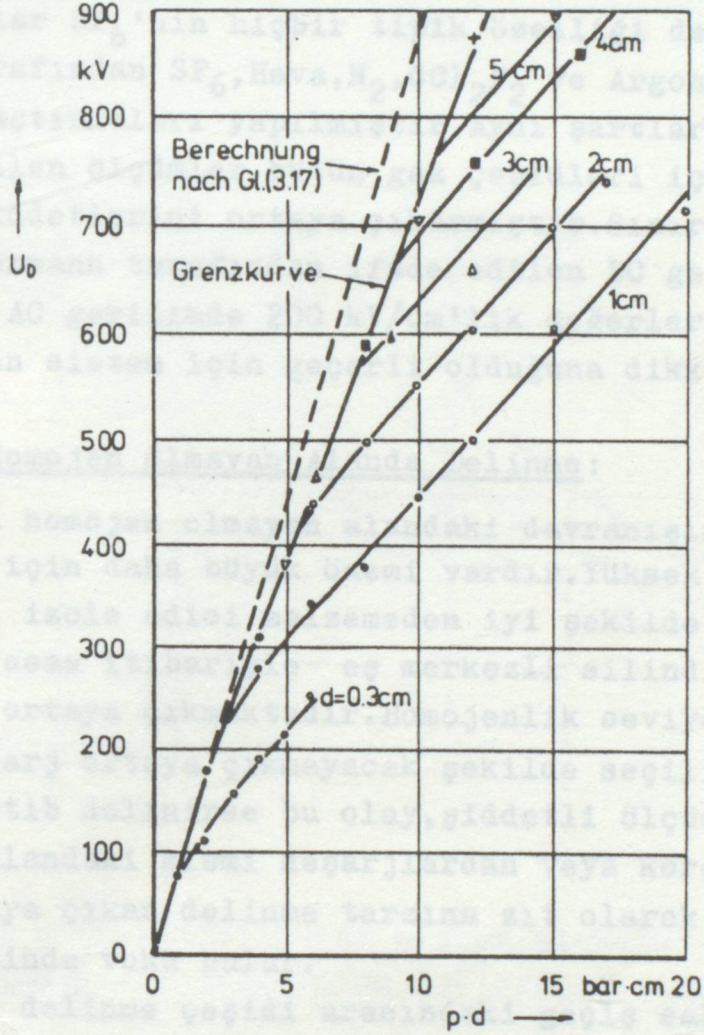
1.4.1. Homojen Alanda Delinme:

Geniş bir basınç ve atlama (delinme) mesafesi sahasında gözönüne alınan ölçme neticeleri Paschen bağıntısıyla ifade edilmektedir. Paschen yasası, delinme geriliminin (U_D), sadece ($\rho.d$) çarpımının bir fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir. (ρ)-Gaz yoğunluğunu ve (d) atlama mesafesini gösterir. Delinme gerilimi sabit yoğunlukta sadece aşırı ısı farklılıklarında değişir. Paschen kanunu, daha ziyade $U_D = f(p.d)$ biçiminde ifade edilir. Bu kanun belirli şekilde ayrı ayrı gösterilmiş sıcaklıklar için ve yoğunluk basıncın lineer fonksiyonu olduğu müddetçe (ideal gaz) geçerlidir.

Bu kanundan sapmalar, çok küçük atlama mesafelerinde veya daha yüksek basınçlarda ortaya çıkmaktadır. Sapmalar, yüksek alan şiddetleriyle ilişkili olarak (100 kV/cm) elektrotlarda meydana gelmektedir. Sapmaların ortaya çıktığı sıradaki alan şiddeti değeri, elektrod dış yüzey durumuna ve gaz hacmindeki parçacık şeklindeki kirlenmelere bağlıdır.

Paschen bağıntısı, ölçme değerleri $p < 2 \text{ bar}$ ve $d > 0,3 \text{ mm}$

için alındığı takdirde, lbar.cm'lik (p.d) değerlerine kadar ifade edilmektedir. Paschen bağıntısına göre, delinme gerilimi belirli bir atlama mesafesinde artan basınçla beklenilenden daha az arttığı için, daha yüksek (p.d) değerlerinde (d) parametresiyle bir anlatım tercih edilmektedir. Oppermann ve Kawaguchi et al'in ölçme değerleri Şekil:1.2'de gösterilmiştir.



Şekil:1.2 SF₆ için, çeşitli atlama mesafelerinde Paschen eğrileri.

Her iki araştırma birbirine mutabıktır. Kesikli eğri (1.12) denklemine göre bir hesaplamaya uymaktadır. Yoğunluk 1 bar'daki değerden hareket ederek, lineer olarak ekstrapolasyonu yapılmıştır. Ölçülen sınır eğri, p.d=2 bar.cm'den itibaren hesaplanan değerlerden daha küçüktür.

Bugün bu sınır eğri Paschen eğrisi olarak ve (d) parametresine bağlı eğriler Paschen bağıntısından sapmalar olarak ifade edilmektedir.

Şekil:1.2'den,geçerlilik sınırındaki delinme alan şiddetinin (yani sınır alan şiddeti),basınca ve atlama mesafesine pratik olarak bağlı olmayan bir değere (150-250 kV/cm) sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.Paschen bağıntısından bu sapmalar SF₆'nın hiçbir tipik özelliği değildir. Oppermann tarafından SF₆,Hava,N₂,CCl₂F₂ ve Argon arasında kıyaslama araştırmaları yapılmıştır.Aynı şartlar altında gerçekleştirilen ölçümler,bütün gaz çeşitleri için aynı sınır alan şiddetlerini ortaya çıkarmıştır.Sınır alan şiddetinin, Oppermann tarafından ifade edilen DC gerilimde 160 kV/cm ve AC gerilimde 200 kV/cm'lik değerlerinin sadece araştırılan sistem için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir.

1.4.2.Homojen Olmayan Alanda Delinme:

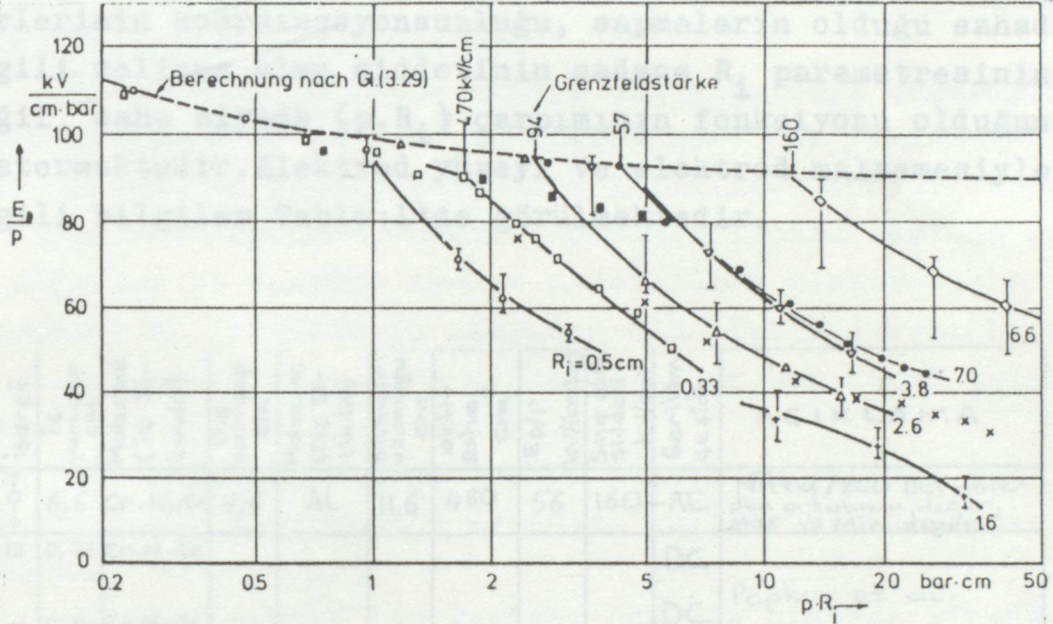
SF₆ nın homojen olmayan alandaki davranışının teknik kullanım için daha büyük önemi vardır.Yüksek gerilim tesislerinde, izole edici malzemeden iyi şekilde faydalanılması için esas itibariyle eş merkezli silindir veya küre alanlar ortaya çıkmaktadır.Homojenlik seviyesi,hiçbir kısmi deşarj ortaya çıkmayacak şekilde seçilir.Eğer böyle bir tertib delinirse bu olay,şiddetli ölçüde homojen olmayan alandaki kısmi deşarjlardan veya korona delinmesinden ortaya çıkan delinme tarzına zıt olarak direk bir delinme biçiminde vuku bulur.

Her iki delinme çeşidi arasındaki geçiş sahası Sangkasaad tarafından araştırılmıştır.Eğer alan homojensizliği çok büyük olmadığı takdirde 6 bar'a kadar ki basınç sahasında hiçbir korona delinmesi ortaya çıkmamıştır.Lokal homojen olmayan alanda meydana gelen bozulmalar partiküller ve yırtıklar (yarıklar) şeklinde ortaya çıktığı takdirde, korona delinmeleri oluşabilir.Bu durum daha ziyade,hazır monte edilmiş yapı parçalarında bir kısmi deşarj denemesiyle ortaya çıkartılabilir.

Silindir alandaki davranışa genel bir bakış vermek için, (1.4) bağıntısı kullanılır.

$$\frac{E_D}{p} = f(p \cdot R_1) \quad (1.4)$$

AC ve DC gerilimde negatif iç silindir ile birlikte en düşük delinme gerilimleri ortaya çıktığı için Şekil:1.3 de sadece bu tür ölçme değerlerine bir bakış gösterilmiştir.



Şekil:1.3 Eş merkezli silindir alanda ölçümlerin kıyası. (İşaretler Tablo:1'de belirtilmiştir.)

Kesikli eğri, (2.11) denklemine göre hesaplanan davranışa tekabül etmektedir. Burada lineer bir yoğunluk artışı 1 bar'daki değerden hareket ederek kabul edilmektedir. Benzerlik kanunu makroskopik alanda sınırlanmış olmasaydı o zaman bütün ölçme noktalarının hesaplanan eğri üzerinde bulunması gerekirdi. Şekil:1.3'de homojen olmayan silindir alan için, homojen alandaki gibi benzer bir davranış görülmektedir. Küçük delinme alan şiddetlerinde (küçük basınçta)

ölçme neticeleri hesaplanan eğri üzerinde veya yakınında bulunmaktadır. Şekil:1.3'den, sapmaların başladığı sınır alan şiddetinin belirlenmesine çalışılırsa, o zaman 60kV/cm ve 200 kV/cm arasında bu alan şiddeti bulunabilir.

Farklı deneme şartları, genel olarak geçerli bir alan şiddetinin ifade edilememesine sebebiyet verir. Buna karşılık, eğrilerin bir bölümünde kuvvetli sapmaların olduğu sahada sabit E_D/p değerine doğru bir doyma eğilimi farkedilmektedir. Husbands'ın ölçme değerleri, çok yüksek basınçta (20 bar) E_D/p değerinin, hesaplanan değerlerin %14'üne kadar azalabildiğini göstermektedir. (Bak. $R_1 = 1,6$ cm). Ölçme değerlerinin koordinasyonsuzluğu, sapmaların olduğu sahada ilgili delinme alan şiddetinin sadece R_1 parametresinin değil, daha ziyade ($p.R_1$) çarpımının fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Elektrod yüzeyi ve elektrod malzemesiyle ilgili bilgiler Tablo:1'de görülmektedir.

İşaret	İç yarıçap cm	Malzeme (İç Si-Lindir)	Dış yarıçap cm	Malzeme (Dış Si-Lindir)	Silindir uzunluğu cm	aktif sahaya cm^2	E_D/p KV/(cmbarf)	Sınır alan şiddeti KV/cm	Gerilim geçişi	AÇIKLAMA
○	6,6	Cr-Ni-Çe	7,6	AL	11,6	480	56	160	AC	Nitta/200 Delinmeden ortalama değer, Max ve Min. değer.
□	0,33	Cr-Ni-Çe							DC	Popkov et al.
■	0,5	Cr-Ni-Çe							DC	
○	0,5	Cr-Ni-Çe	12,5	Pirinç	91,5	257	66	190	DC	Bartnik, Cooke/ Ortalama, maximal ve minimal değer
○	2,6	AL	12,5	Pirinç	91,5	1340	48	94	DC	
○	3,8	Cr-Ni-Çe	12,5	Pirinç	91,5	1960	51	114	DC	
○	1,6	AL	4,3	AL	27	244	41	-	AC	Husbands/ Ortalama, max. ve min. değer
x	2,5	AL	4,8	Gelik	25	353	48	-	AC	Menju
●	7,0	AL	12,5	AL	75	3300	44	57	AC	Ermel Ortalama değer

Tablo: 1 Şekil:1.3 için ölçme şartları.

Artan yüzeyle birlikte E_D/p 'nin Nitta tarafından ifade edilen azalışı Cr-Ni-Çelik mamülü elektrodların dahilinde

de mevcuttur. Ancak Alüminyum elektrodlar karşılıklı olarak kıyaslanırsa, monoton hiçbir gelişme bilinemez. Cr-Ni-Çelik mamülü iç iletkenlerde daha yüksek E_D/p değerlerine ulaşılmaktadır.

1.4.3. Townsend Deşarjı:

Bir gaz hattında zayıf bir alan bulunursa, gaz hacmindeki daima mevcut serbest elektronlar ve iyonlardan dolayı küçük bir yol alma akımı akar. Yüksek alan şiddetlerinde, bu akım iyonizasyon işlevleriyle çok şiddetli olarak yükseltilir. Primer iyonizasyon işlevleri elektronlar ve nötr moleküller arasındaki darbeler sayesinde elektron iyon çiftlerini oluştururlar.

Elektronların çabuk artışı bir yığılmaya sebebiyet verir. Townsend'in delinme teorisine göre ilk yığılma katoda başlar ve deşarj hattından geçer. Elektronlar böylece anoda akarlar, buna karşılık pozitif iyonlar katoda geri giderler ve katoda tekrar oluşturulan elektronlara çarparlar. Bu iyonizasyon olayının daha fazla devamı halinde akımın artışına ve son olarak iletken bir kanal içinde yükselmesine sebebiyet verilir.

Her yığılmanın geri tesiri tekrar en azından yeni bir başlangıç elektronunu ayırması halinde bir deşarjın tutuşması vuku bulur.

Elektronegatif bir gazdaki homojen olmayan alanda tutuşma şartının çıkartılması için, bir yığılma içindeki pozitif iyonların sayısının (N) tesbit edilmesi gerekmektedir. Toplam geri (ters) etki katsayısı (γ), pozitif iyonların sayısı ile ilişkilidir ve katoddan çıkan iyon darbeleri ve fotonlar sonucu iyon başına birçok elektronun nasıl çözüldüğünü ifade etmektedir. Maksimum alan şiddetinin bulunduğu alan hattı üstünde, katodun x aralığında, bir başlangıç elektronu bir N_e yığılmasına doğru artar.

$$N_e = e^{\int_0^x (\alpha - \eta) dx} \quad (1.5)$$

($x, x+dx$) aralığında, (x) yerindeki mevcut elektron



lar yeni iyonları meydana getirir. İyayı sekonder elektron-

$$dN = N_e \cdot \alpha \cdot dx \quad (1.6)$$

Böylece bir başlangıç elektronu için pozitif iyonların toplam sayısı (1.7) ifadesiyle belirtilebilir.

$$N = \int_0^d e^{\int_0^x (\alpha - \eta) dx} \alpha dx \quad (1.7)$$

Pozitif iyonlar, $\alpha < \eta$ için olan alan hacmi içinde dahi oluşturuldukları için, bütün elektrod aralığı üzerinden integral almak gerekir. $N \gg 1$ olur olmaz, deşarj kendiliğinden başlar. Böylece tutuşma şartı (1.8) denklemi olmaktadır.

$$\gamma \int_0^d e^{\int_0^x (\alpha - \eta) dx} \alpha dx \gg 1 \quad (1.8)$$

Homojen bir alan değişimi için:

$$\gamma \frac{\alpha}{\alpha - \eta} \left[e^{(\alpha - \eta)d} - 1 \right] \gg 1 \quad (1.9)$$

olmaktadır. Eğer $\alpha < \eta$ ise, (1.9) denkleminden hiçbir delinmenin ortaya çıkamayacağı görülmektedir. (1.8) ve (1.9) denklemlerindeki tutuşma şartlarını kullanmak zordur.

Çünkü γ , gazın saflığına ve yüzey yapısına çok bağlıdır. Bu amaçla, homojen olmayan alanda çift integrasyonlu şartın değerlendirilmesi gerekmektedir. Delinmenin hızlı bir gelişimi, fotonlar sayesinde ters etkiden dolayı da mümkün olmaktadır.

1.4.4. Streamer Teorisi:

Deşarjın kısa zamanlı akışı, delinmenin birtek yığılma tarafından iletilebildiği kabulünü verir. Kanal oluşumu esnasında yığılma içindeki birtek hacimsel yük, belirli bir kritik büyüklüğe sahip yığılmanın devamlı artmasına ve onun artış hızının anod doğrultusunda büyük ölçüde yükselmesine (Anoda Doğrultulmuş Streamer) sebebiyet verir.

Pozitif iyonlar katoda geri akmalarından önce, kuv-

vetli hacimsel yük alanlarından dolayı sekonder elektronları çekerler. Bu suretle sekonder yığılmalar oluşur. Sekonder elektronlar, yığılma başı içindeki darbe iyonizasyonu sırasında ortaya çıkan kuvvetli UV-ışımaya çözülürler. Böylece kısa zamanda yığılma başı ve katod arasında bir deşarj hortumu ortaya çıkar (Katoda Doğrultulmuş Streamer).

Her iki Streamer oluşumu sayesinde, elektronlar iletken bir plazma kanalıyla bağlanmıştır. Bu kanalda yüksek değerli deşarj oluşur. Streamer oluşumu için, şimdiye kadar geniş fiziksel bir teori henüz geliştirilememiştir. Ancak aşağıdaki şartların yerine gelmesi gerekmektedir:

- Yığılma başında, kâfi miktarda yüksek enerjili foton oluşturulmalıdır,
- Bu fotonların, yığılma başının direk yakınındaki gazı iyonize edebilmeleri gerekmektedir,
- Sekonder yığılmaların ortaya çıkabilmeleri için yığılma başındaki hacimsel yük alanı kâfi miktarda büyük olmalıdır.

Raether tarafından, $(\alpha - \eta)x_c \sim 20$ 'lik bir yığılma şiddetlenmesi esnasında homojen alanda yığılma oluşumunun elde edilebildiği ifade edilmiştir (Burada x_c , 20 şiddetlenmedeki kritik yığılma uzunluğu). Böylelikle homojen alanda tutuşma kriteri formülize edilebilir. Eğer katoda başlatılmış bir yığılma tüm elektrod aralığı üzerinden (d) kritik şiddetlenmeye maruz kalırsa, kendiliğinden deşarj oluşur. Homojen olmayan alanda, elektrod aralığı üzerinden maksimum alan şiddeti hattı boyunca, $(\alpha - \eta)(x)$ fonksiyonunun integralinin alınması zorunludur. Katod alanı monoton olarak düşerse, o zaman elektronegatif bir gazda yığılma, sadece $(E/p)_c$ 'nin elde edildiği x_c yerine kadar artabilir (Katoddan daha büyük uzaklıkta $\alpha < \eta$ olduğu için). Böylece bilinen Streamer kriterinin, n_0 başlangıç elektronları için formülize edilmesi mümkündür.

$$\int_0^{x_c} (\alpha - \eta) dx = \frac{K}{n_0} \quad (1.10)$$

K, gaz yoğunluğunun ve yığılma uzunluğunun zayıf bir fonksiyonudur ve geniş anlamda sabit olarak kabul edilebilir. Streamer kriteri, gözlenen fiziksel olaylara dayalı deneysel bir şarttır. Halbuki, deşarj mekanizması üzerine hiçbir yargıya izin vermez. Bu kriterin, delinme geriliminin hesaplanmasındaki elverişliliği çeşitli gazlarda çok geniş bir parametre sahasında ispatlanmıştır.

Townsend ve Streamer teorisinin tesirleri, $n_0 = 1$ kabulü ile aynı etkilerdir (Ancak negatif iyon akış zamanından daha küçük zamanlardaki delinme gelişimi hariç olmak üzere). $N \gg 1$, Townsend oluşumuna göre tutuşma için kritik bir iyon sayısı teşkil edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu olay kritik şiddetlenme olarak da anlaşılabilir. Ayrıca bir veya daha fazla yığılmanın elde edilip edilmediği ehemmiyetsizdir. Bu amaçla, K ve γ çok az olarak tam manasıyla bilinmektedir. Çeşitli yazarlar K'yı farklı değerler olarak kabul ederler. Raether tarafından ~20'lik bir değer kabul edilir. Pedersen tarafından SF₆ için ~ 10,6'lık bir değer ifade edilmiştir.

Homojen alanda (1.10) denklemi,

$$(\alpha - \eta) d = K \quad (1.11)$$

şeklinde basitleşebilir. (1.3) ifadesi gözönüne alınarak (iyonizasyon karakteristiği) delinme gerilimi belirtilebilir:

$$U_D = \frac{K}{27,7} (kV) + 9 \cdot d \left(14,4 \frac{kV \cdot l}{cm \cdot g} \right) \quad (1.12)$$

Tam olarak bilinmeyen K'nın etkisini elde etmek için, K değişken olarak kabul edilir ve (1.12) denklemi K'ya göre türetilirse,

$$\frac{\partial U_D}{\partial K} = \frac{1}{27,7} \text{ kV} \quad (1.13)$$

ortaya çıkar.

Iyonizasyon karakteristiğinin değişimini gösteren eğrinin büyük dikliğinden dolayı, K ile delinme geriliminin değiştirilmesi küçük kalmaktadır.

Daha büyük ($\rho.d$) değerlerinde (Bu değerler SF_6 'nın pratik kullanımında ortaya çıkarlar) , (1.12) denkleminin birinci teriminin önemi azalır. Böylece, delinme geriliminin hesaplanması için K 'nin tam olarak bilinmesi önemli olmamaktadır. Bu sonuçlardan, K -değerinin sadece küçük ($\rho.d$) değerlerinde direk delinme geriliminden tesbit edilebildiği görülebilmektedir.

2. Delinme Geriliminin Hesabı:

2.1. Genel Hesaplama Tarzı:

Eğer aşağıdaki büyüklükler bilinirse, diğer elektrod biçimleri için delinme gerilimi Streamer teorisine göre hesaplanabilir.

a) Yığılmanın en şiddetli olarak arttığı kritik alan hatının alan değişiminin ($E(x)$) bir formül veya bir nümerik tablo biçiminde bilinmesi,

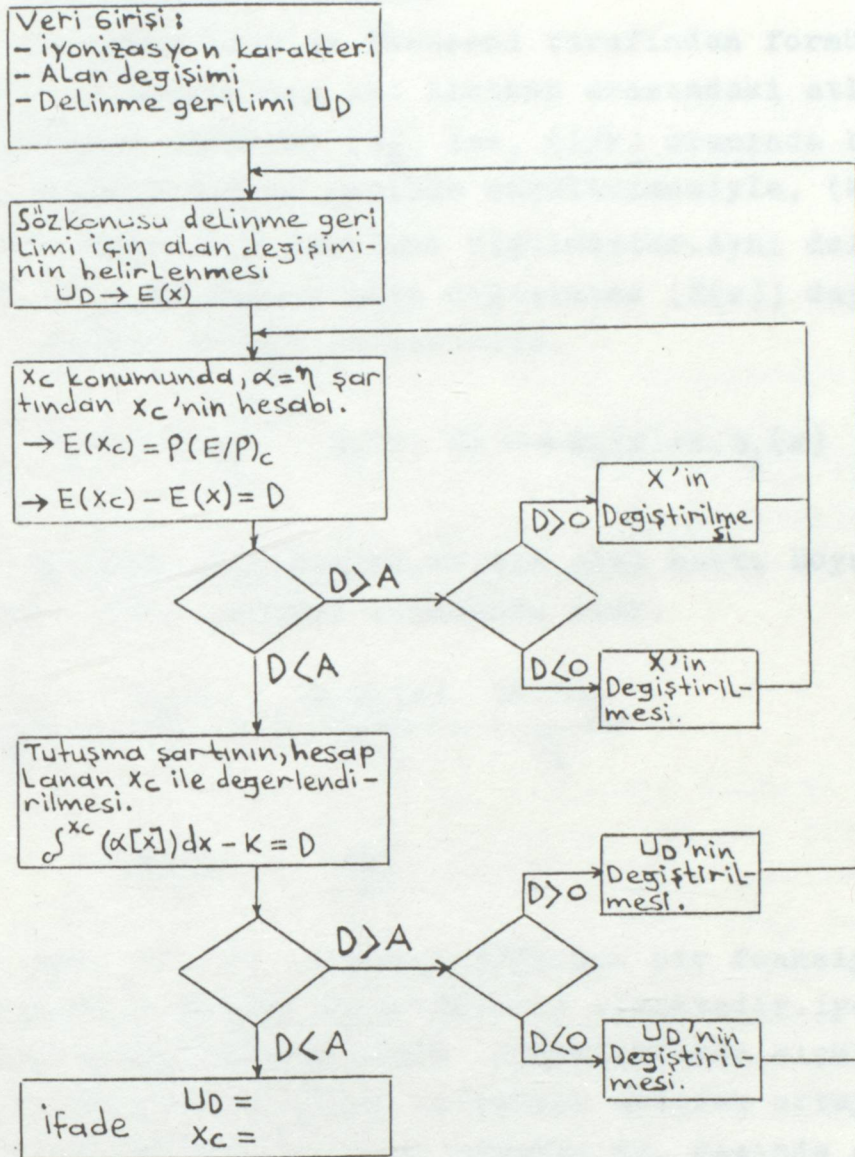
b) İyonizasyon karakteristiği eğrisi $\frac{\alpha - \eta}{\rho} = f(E/\rho)$, denklem (1.3) ,

c) Alan monoton azalırsa, $\alpha - \eta = 0$ olduğu yerde , integrasyonun kesilebilmesi şartı.

Tutuşma şartını (Denklem (1.10)) genel olarak değerlendirmek mümkün değildir. Sadece tamamen basit durumlarda veya teknik uygulama için tamamıyla ölçülebilen basitleştirmelerle, delinme gerilimi için (U_D) anlaşılır bir formül ifade edilebilir. Ekseriya kritik yığılma uzunluğu sadece genelleştirilmiş bir ifade içinde gözönüne alınır veya tümünün nümerik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil:2.1'de belirtildiği gibi, böyle durumlarda bir iterasyon metoduna göre derece derece ilerlemek gereklidir.

Veri girişinden sonra, (U_D) gerilimi için bir başlama değeri ile alan değişimi tesbit edilir. Kritik yığılma uzunluğu için bir "Başlangıç" değerinin verilmesinden sonra kısmi bir programla (x_c)'nin yeri (konumu) alan değişimi içinde araştırılır. Burada $E(x_c) = \rho(E/\rho)_c$ şartı , yani $\alpha = \eta$ yerine getirilmiş olmalıdır.

Arama programı, sapma kriterinin yerine getirilmesiyle stop ettirilir. Ve tutuşma şartı elde edilen (x_c) değeriyle değerlendirilir.



Şekil:2.1 Genel hesaplama metodunun akış şeması (A=Kesme şartı, D=Fark).

Böylece elde edilen yığılmanın çok büyük veya çok küçük olup olmadığına göre (U_D) değeri değiştirilir ve yeniden hesaplama başlatılır. Ayrıca, yığılma büyüklüğü için sapma kriteri gerçekleştirilinceye kadar yeni (x_c) ve (U_D) değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu suretle belirlenen (U_D) değeri delinme gerilimidir ve son geçiş içinde hesaplanan (x_c) değeri yığılma uzunluğudur. Çok düz alan değişimleri müstesna olmak üzere, normal tarzda iterasyon olayları bir noktaya yönelirler.

2.2. Benzerlik Kanunu:

Bu kanun 1913'de Townsend tarafından formülize edilmiştir. (p) basıncında iki iletken arasındaki atlama (geçiş) veya delinme gerilimi (U_D) ise, (1/k) oranında bütün ebadların tümüyle benzer şekilde küçültülmesiyle, (k.p) basıncında aynı (U_D) gerilimi ölçülmüştür. Aynı delinme gerilimi (U_D) ve benzer alan değişimine ($E(x)$) dayanarak (2.1) ifadesi ortaya çıkmaktadır.

$$U_D = \int_0^d E_1(x) dx = \int_0^{d/k} E_2(x) dx \rightarrow E_2(x) = k \cdot E_1(x) \quad (2.1)$$

Halbuki iyonizasyon, kritik alan hattı boyunca incelenirse, (2.2) ifadesi sözkonusu olur.

$$\frac{(\alpha - \eta)_2}{\rho_2} = f \frac{E_2(x)}{\rho_2} = f \frac{k \cdot E_1(x)}{k \cdot \rho_1} = \frac{(\alpha - \eta)_1}{\rho_1} \quad (2.2a)$$

$$\frac{(\alpha - \eta)}{\rho} = f \left(\frac{E}{\rho} \right) \quad (2.2b)$$

Eğer $(\alpha - \eta)/\rho$, sadece (E/ρ) 'nin bir fonksiyonu olursa, benzerlik kanunu ancak geçerli olmaktadır. İyonizasyon karakteristiği sadece küçük yoğunluklarda ölçülebildiği için ve moleküller arası kuvvetler artarak ortaya çıktıkları için, bu şartın ideal olmayan SF_6 gazında çok yüksek yoğunluklarda gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği şüphelidir.

Benzerlik kanununa göre, geometrik benzer sistemlerin (Ör: Eşit yarıçap oranlı koaksiyal silindireler) delinme gerilimi, basınçla ve alan değişimi için (g) ile gösterilen önemli bir büyüklükle tesbit edilebilir.

$$U_D = f(p, g) = f\left(k \cdot p, \frac{g}{k}\right) \quad U_D = f(p, g) \quad (2.3)$$

(2.3) ifadesinden, U_D 'nin yalnızca (p.g) çarpımının bir fonksiyonu olduğu ortaya çıkmaktadır. Delinme gerilimi aynı ise, basınca bağlı alan şiddeti benzer sistemlerde sabit kalmaktadır.

$$\frac{E_1(x)}{p_1} = \frac{kE_1(x)}{kp_1} = \frac{E_2(x)}{p_2} \quad (2.4)$$

(2.3) ve (2.4) denklemlerinden, basınçla ilişkili alan şiddetinin sadece (p.g) çarpımının bir fonksiyonu olduğu ortaya çıkmaktadır.

$$\frac{E(x)}{p} = f(p.g) \quad (2.5)$$

Elektrod sisteminde en büyük zorlanmanın olduğu yerde, delinme deşarjı esnasındaki maksimum alan şiddeti işaretleştirilirse, delinme alan şiddeti (E_D) olarak ve bu yerde tesbit edilen geometrik büyüklük olarak kıvrılma yarıçapı (r) alınır, o zaman (2.6) bağıntısı ortaya çıkar.

$$\frac{E_D}{p} = f(p.r) \quad (2.6)$$

Elektronegatif bir gazda deşarj oluşumu için, sadece devamlı azalan bir alan değişimine ait net bir iyonizasyonun ortaya çıktığı bölüm önemli olduğu için, (2.6) bağıntısının geçerliliği amacıyla bu sahadaki alan değişimlerinin benzerliği kâfidir. Ayrıca, benzerlik kanunu (2.6) bağıntısı formunda kullanılmaktadır. Bu, tutuşma şartı sadece yüksek alan şiddetinde gerçekleştirilir gerçekleştirilmez, benzerlik kanununun lokal bir alan bozulma sahasında tatbik edilebileceğini göstermektedir. Alan değişimi için karakteristik geometrik büyüklük, makroskopik tertib tarafından değil, bozulma tarafından belirlenir. Eş merkezli silindir durumundaki bütün silindir sistemleri, kritik yığılma uzunluğu daha kısa veya atlama mesafesine eşit olduğu müddetçe ve bu silindirler farklı yarıçap oranlarına sahip olsalar bile (2.6) denklemiyle uygunluk teşkil ederler.

Düz elektrodlu özel durumda, benzerlik kanunu Paschen bağıntısını ihtiva etmektedir. Ayrıca atlama mesafesi (d) karakteristik geometrik büyüklük olur ve (2.7) bağıntısı ortaya çıkar.

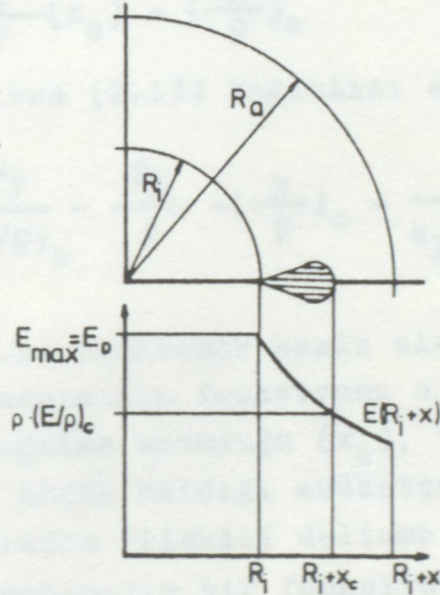
$$\frac{E_D}{p} = f(p.d) \quad (2.7)$$

Buraya kadar Streamer teorisi, $(\alpha-\eta)/\rho = f(E/\rho)$ bağıntısı ve yığılma büyüklüğü için sabit bir (K) ile ilişkili olduğu için, bu teoriye göre hesaplanan delinme gerilimleri benzerlik kanununa uymaktadır. (1.12) bağıntısının biçim değiştirmesinden anlaşılacağı gibi, homojen alanda bu gerçekleştirilmiştir:

$$\frac{E_D}{\rho} = \frac{(K/27,7)kV}{(\rho.d)} + 14,4 \frac{kV.1}{cm.g} \quad (2.8)$$

(E_D/ρ) , böylelikle sadece $(\rho.d)$ çarpımının fonksiyonudur.

Örnek olarak, homojen olmayan bir alan için delinme geriliminin silindrsel alan için hesaplanması istenmiş olsun: Şekil:2.2'de gerekli büyüklükler ifade edilmiştir.



Şekil:2.2 Eş eksenli bir silindir alanında delinme alan şiddetinin hesaplanması için geometrik tertib.

Maksimum alan şiddetinden hareket ederek alan şiddeti aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E(R_1+x) = E_D \frac{R_1}{R_1+x} \quad (2.9)$$

Bu alan değişimiyle ve iyonizasyon karakteristiği

(1.3) ile tutuşma şartı ortaya çıkar.

$$\int_0^{x_c} k_1 \left(\frac{E_D R_1}{R_1 + x} - \rho \left(\frac{E}{\rho} \right)_c \right) dx = K \quad (2.10)$$

$$k_1 = 27,7 \text{ l/kV} \quad , \quad \left(\frac{E}{\rho} \right)_c = 14,4 \frac{\text{kV.l}}{\text{cm.g}}$$

Bu bağıntının integrali alınır (2.11) denklemi elde edilir.

$$R_1 \cdot E_D \ln \frac{x_c + R_1}{R_1} - \rho x_c \left(\frac{E}{\rho} \right)_c = \frac{K}{k_1} \quad (2.11)$$

x_c , (2.12) şartından hesaplanırsa ,

$$\frac{E}{\rho}(x_c) = \left(\frac{E}{\rho} \right)_c \quad (2.12)$$

ve kullanılırsa (2.13) bağıntısı elde edilir ,

$$\frac{E_D}{\rho} \ln \frac{E_D/\rho}{\left(\frac{E}{\rho} \right)_c} - \frac{E_D}{\rho} + \left(\frac{E}{\rho} \right)_c = \frac{K}{k_1 (\rho \cdot R_1)} \quad (2.13)$$

E_D/ρ , bu denklemde kesin olarak mevcuttur ve yalnızca $(\rho \cdot R_1)$ çarpımının fonksiyonu olarak iterasyonla hesaplanabilir. Yığılma uzunluğu (x_c), $(R_a - R_1)$ atlama mesafesinden daha küçük kaldığı müddetçe iterasyon geçerlidir. Böylece basınçla ilişkili delinme alan şiddetinin yalnızca $(\rho \cdot R_1)$ çarpımının bir fonksiyonu olduğu, dış silindirin çapına bağlı olmadığı gösterilmiş olur. Teknik kullanım için (2.13) denklemi, logaritmik terimin geliştirilmesiyle basitleştirilebilir. Burada tam formül kullanılmıştır.

2.3. Sonuçlar:

Streamer teorisi ve benzerlik kanunu, geçerlilikleri için aynı şartları gerektirirler. Ölçülen delinme gerilimi değerleri, hesaplamayla uygunluk teşkil ederse benzerlik kanunu dahi geçerli olmaktadır. Townsend veya Strea-

mer mekanizmasına göremi delinmenin vuku bulup bulmadığı, delinme geriliminin ölçümü için önemli değildir. Çünkü yük taşıyıcılarının kritik şiddetlendirilmesinden sonra deşarjın tutuşması oluşmaktadır. Streamer kriterinin model teklifiyle bir sistemin delinme gerilimi hesaplanabilir. Gerçekte gaz delinmesi sırasındaki olaylar çok kompleks olduğu için, modele dayandırılan kabüller tamamiyle fiziksel olamamaktadır. Aynı şekilde, model geçerlilik sınırlarına sahip olabilmektedir.

3. Benzerlik Kanunundan Sapmalar İçin Teoriler:

3.1. Giriş:

Benzerlik kanunundan sapmalar sadece SF₆-Elektronegatif gazına mahsus olmadığı için, burada ; öne sürülen mekanizmalar üzerine genel bir bakış verilmektedir. Bazı teoriler alan şiddetine bağlı olarak iyonizasyon için ortaya çıkan sekonder tesirlerle sapmaları açıklarlar. Diğer teoriler bizzat iyonizasyon olayındaki sebepleri araştırır. Üçüncü bir ihtimal olarak, gaz hacminin çok küçük bir bölgesi içinde (mikro alan) delinme kriterinin yerine getirilmesidir. Bu suretle benzerlik kanunu sadece makroskopik alan değişimi göz önüne alındığı takdirde, artık görülebilir şekilde tatbik edilemez.

3.2. Alan Emisyonlu Delinme:

3.2.1. Bir Alan Emisyon Akımının Mevcudiyeti:

Kerner tarafından, soğuk metal yüzeylerde 10⁻⁵ Torr' luk vakumda 10⁻¹⁴ A/cm² ' lik bir elektron akım yoğunluğu 10 kV/cm'lik bir alan şiddetinde ölçülebilmıştır. Müşterek monte edilmiş elektrodlar 10 kV/cm'de kuvvetli, lokal ve zamana bağlı olarak çok düzensiz bir emisyon göstermişlerdir. Bu olay, toz parçacıklarına ve metal kıymıklarına dayandırılmaktadır.

Daha yüksek alan şiddetli şartlandırmadan sonra, elektrodlar birçok merkezden oluşan aynı ölçülü bir emisyonu gösterirler. Bu merkezler 0,3 nm² den daha küçük olmak zorundadır. Müller tarafından, azot maddesi içinde; 150kV/cm lik alan şiddetlerinde 3ns'den daha az süreli ilgili emis-

yon arkı gözetlenmiştir. Patlamalar yaklaşık 10^3 elektron-
dan oluşmaktadır. Dutton ve Morris 140 kV/cm'lik bir alan
şiddetinde; havada $1,5 \cdot 10^{-13}$ A/cm²'e kadar alan emisyon
akımını belirlemişlerdir.

Shibuya, SF₆'da basınç miktarını 6 bar alarak; 140
kV/cm'lik bir alan şiddetinde yaklaşık $4 \cdot 10^{-9}$ A/cm² lik
akımları tesbit etmiştir. Yakın zamana kadar, Ermel tara-
fından SF₆ gaz delinmesi üzerine emisyon akımlarının et-
kisi fikri benimsenmiştir. Çeşitli araştırmacıların ifa-
delerini kıyaslayabilmek için, akımlar makroskopik elek-
trod yüzeylerine dayandırılır. Word tarafından, metan ga-
zındaki ölçümlerde; alan şiddetine bağlı olan ancak atı-
ma aralığına bağlı olmayan zayıf akımlar tesbit edilmiş-
tir. Bu akım gaz artışına da bağlı değildir.

Word, delinmeler esnasında ince partiküller oluşt-
ğunu kabul eder. Bu partiküller, hareketleri sayesinde bir
yük transferini gerçekleştirirler. Boulloud; tozlu bir e-
lektrod sisteminde, hava içinde, homojen alanda yüksek ba-
sınç altında 10^{-9} A/cm² 'lik bir akım ölçmüş ve akımın
gerilimin karesiyle arttığını tesbit etmiştir. Tozdan ka-
çınılması suretiyle aynı şartlar altında 10^{-11} A/cm²'lik
bir akım akmıştır. O halde toz, akımı önemli ölçüde yük-
seltmektedir.

3.2.2. Alan Emisyonunun Göz Önüne Alınmasıyla

Delinme Mekanizmaları:

Cookson tarafından teklif edilen mekanizmalar üç ana
grupta toplanmıştır:

- a) Sadece alan emisyonlu delinme,
- b) Gazhacminde alan emisyonlu ve hacimsel yük oluşumlu
delinme,
- c) Elektrodlar üstünde alan emisyonlu ve yük toplanması
sayesinde oluşan delinme.

(a) şıkkındaki olaylar, (b) ve (c) şıkkında oluşa-
bilen ya çok şiddetli lokal bir emisyonu şart koşarlar
veya kuvvetlice şiddetlendirilmiş sekonder olaylara daya-
nırlar.

List tarafından; katodda elektronlar tarafından sebebiyet verilen özel yığılmaların bir silsilesi ile delinmenin ortaya çıktığı kabul edilmiştir. Bu elektronlar, alan emisyonu ve sekonder elektron emisyonları sayesinde, katoddaki pozitif iyonlar tarafından meydana getirilir. Yayılmış elektronların büyük akım yoğunluğu sayesinde, gazın lokal olarak çok ısınabilmesi ihtimali de mevcuttur. Küçük gaz yoğunluklu bu hacimde, daha sonra iyonizasyon delinmeye yol açar. Cookson; γ -olaylarını şiddetlendiren mekanizmaların tek başına delinme geriliminin kuvvetli bir azalmasını açıklayamayacağı sonucuna gelmiştir.

Basınç yüksekse; (b) mekanizmalarına göre gaz hacmindeki pozitif iyonlar katoddaki alanı, emisyon akımı teşvik edilecek şekilde arttıırırlar. SF_6 'da; küçük E/p 'de dahi, yani $\alpha - \eta < 0$, büyük α -katsayılarından dolayı büyük sayıda pozitif iyonlar teşkil edilir. Pozitif hacimsel yükün büyümesi, stabilitesizliğe sebebiyet veren başka bir akım artışını doğurur. Boyle ve Kisliuk; bu esas üzerine bir delinme kriteri geliştirmişlerdir. Bu kriter E/Q 'dan başka parametre olarak E' 'de içine almaktadır.

Pozitif hacimsel yükler sayesinde katod-hacimsel yük sahasında iyonizasyonun teşvik edildiği diğer araştırmacılar tarafından da kabul edilmiştir. Young; emisyon akım yoğunluğuyla ilgili ölçümlerinden ve oluşturulan alan distorsiyonuna ait hesaplamadan, eğer katodda tesirli alan şiddetlenmesi ortaya çıkması halinde; emisyonun elektronlar üzerinden aynı ölçüde dağılamadığını ortaya çıkarmıştır. Her iki tesirin aynı zamanda ortaya çıktığında düşünülebilir.

(c) mekanizmasına göre; katoda yerleşen elektrik alan içinde, pozitif iyonlar sürüklenirler. Bir toz parçacığı veya katodda izole edici özelliğe sahip bir oksid tabakası bulunursa, o zaman iyonlar; oluşumları esnasında hemen deşarj olamazlar ve katodda toplanırlar. İnce oksid tabakasının en dış yüzeyindeki yüksek elektrik alan, metal elektronlarının bir alan emisyonuna sebebiyet verir. Bu emisyon mekanizması, Malter tarafından vakum içinde keşfe-

dilmiştir. Mahl; üst yüzeyin yüklenmesini direk olarak oksid tabakalı bir metal üst yüzeyindeki elektronların yansımaları sayesinde ölçmüştür ve oksid tabakasının delinme dayanımını belirlemiştir. Mahl, ayrıca; katoddaki emisyonun hususi noktalarda bulunduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bu emisyon merkezleri birkaç dakika sonra kaybolabilirler ve başka yerlerde yeni merkezler ortaya çıkabilir. Llewellyn Jones ve Morgan tarafından; ifade edilen mekanizmalar sayesinde, Townsend delinmesi esnasında γ -katsayılarının kuvvetli bir artışının ortaya çıktığı ve böylece küçük ($\alpha.d$) değerlerinde delinme kriterinin gerçekleştirilebildiği kabul edilmiştir. List, Watson ve Sharbaugh tarafından,

$$\frac{d\sigma^+}{dt} > 0 \quad (3.1)$$

(3.1) formunda bir delinme kriteri ifade edilmiştir. Burada, σ^+ = izole edici kattaki iyon yoğunluğudur. Eğer birim zaman başına katod tabakası üstünde, deşarj oldukları zamankinden daha fazla pozitif iyonlar hasil olursa bir delinme ortaya çıkar. Alan artışı daha sonra bir emisyon çoğalmasından dolayı delinmeye sebebiyet verir. Müller; kendisi tarafından gözlenen kısa zamanlı püskürmeler sayesinde elektronların lokal olarak katoddan çıktıklarını kabul etmektedir. Bu yüzden Streamer kriteri (n_0) başlangıç elektronları için kullanılabilir:

$$\int_0^{x_c} (\alpha - \eta) dx = \frac{K}{n_0} \quad (3.2)$$

Öyle ise; eğer $E/\rho < (E/\rho)_c$ olduğunda, hiçbir net iyonizasyon ortaya çıkmaması gerektiği için, bu kriter hiçbir delinmeyi açıklayamaz. Goldspink ve Lewis; kâfi bir yüklenme esnasında oksid tabakasının delindiğini kabul etmişlerdir. Meydana gelen kıvılcım daha sonra bir Streamer deşarjını tutuşturabilmektedir. Bu mikro deşarjlar; ancak yüklenmiş parçacıkların anoda veya katoda yakın olması halinde ve yük dengelenmesinin söz konusu olması ha-

linde ortaya çıkabilirler.

3.3.Gaz İçindeki Olaylarla Delinme:

Mosch ve Hauschild; elektriki delinmenin tesadüfi karakterinin büyük sapmalar için önemli bir sebep ifade ettiğini kabul etmişlerdir. İhtimal büyüklüğü olarak incelenen elektrik dayanımının dağılım fonksiyonu silindir alanında birçok araştırmalar sayesinde deneysel olarak tesbit edilmektedir. Elde edilen sonuç, iki parametreyle bulunan bir çift üstel dağılıma götürmektedir. Elektrik dayanımının başlangıç dağılımları, deşarj hacminin elementer sahaları için çıkartılabilir. Rein et al; şimşek ve şalt darbe gerilimleri için delinme olasılığını, tesadüfi iyonizasyon olayları ve katoddan çıkan alan emisyonu esasına dayanarak hesaplamıştır. Sonuçlar; alan etkisini, basınç etkisini ve darbe faktörünü geniş bir geometrik saha içinde açıklayabilmektedir.

Dağılım için gerekli sabitleri belirtmek için; pratikteki kullanım için şartlı olarak doğru olan bir çok ölçümlerden çıkan neticeler gerekmektedir. Eğer $\alpha < \eta$ olursa, delinmelerin neden ortaya çıkabildiği üzerine hiçbir esasî teorik açıklama yoktur.

Menju et al, bir eş eksenli silindir tertibde delinmeleri $E/\rho < (E/\rho)_c$ esnasında tesbit etmiştir ve bunların ($\alpha < \eta$ olmasına rağmen) α ve η katsayılarının statik özellikleri sebebiyle ufak yığılmaların delinmeye sebebiyet verebilmesine dayandığını söylemiştir. Winkelkemper ve Oppermann tarafından aşağıdaki iki düşünce, düşük delinme gerilimlerinin sebebi olarak gösterilmiştir.

a) Streamer gelişiminin hızlı ceryan etmesi sırasında, elektronların ortaya çıkması ve yığılma arasındaki süre daha fazla ihmal edilebilir küçüklükte değildir, bu yüzden tesirli yığılma katsayısı küçük olur, yavaş ceryan eden olaylar esnasında ölçülen yığılma katsayısından daha küçüktür.

b) Alçak basınçta ölçülen α/ρ veya η/ρ değerleri, yüksek basınçta geçerli değildir.

Bir elektron yığılıncaya kadar ki (t_a) zamanı yığılma katsayılarının (η) tanımı içinde olduğu için, (a) tezi hiçbir mâna vermez. Her iki büyüklük elektron hızı (V_-) üzerinden birbiriyle ilişkili olmaktadır.

$$\eta = \frac{1}{V_- \cdot t_a} \quad (3.3)$$

Eğer (b) tezi doğruysa; doğruluk ölçümleri esnasında ve küçük basınçta ($\alpha - \eta$)/ ρ katsayısının bir yoğunluk bağıntısının SF_6 'da tesbit edilebilmesi gerekmektedir. Cohen'nin hava ve azottaki ölçümleri, yüksek yoğunluklarda α / ρ ; E / ρ 'nun daha fazla fonksiyonu olmadığını göstermiştir. Moleküller arasındaki değişken tesirler, salınımların teşvik edilmesi sonucu elektronlardan daha fazla enerji çektikleri için, bu araştırmalarda α -katsayısı artan yoğunlukla azalmaktadır. Negatif iyonlardan elektron çözümlmesi, yüksek basınçta aynı şekilde bir rol oynayamaz.

3.4. Elektrodlarda Alanın Aşırı Yükselmesi Sonucu

Delinmeler:

3.4.1. Kenar (Sınır) Delinmeler:

Homojen alandaki doğruluk ölçümlerinde; sabit atlama aralığında, düşük basınçtaki delinmelerin elektrod sisteminin merkezinin yakınında vukubulduğu ve daha yüksek basınçta ise delinme yerinin elektrodların kenar bölgesine bir geçişi olduğu tesbit edilmiştir. Bu geçiş; Paschen yasasına göre beklenen gerilimlerin önemli ölçüde altında bulunabilen delinme gerilimleri ile ilişkilidir.

Pedersen tarafından, bu davranışın kenar profildeki alanın aşırı büyümesine dayandırılabilceği gösterilmiştir. Daha büyük atlama mesafeleri dikkate alınmadan, elektrod yakınında dar bir bölgede tutuşma şartının yerine getirilmesi mümkündür. Plaka elektrodlarda yapılan araştırmalarda, herşeyden önce plaka elektrodlarının düz parçası ile kenar profil arasındaki geçiş büyük dikkat gösterilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Kenar alan tesirleri diğer elektrod geometrilerinde

de ortaya çıkabilmektedir. Eğer maksimum alan şiddeti elektrodların aktif parçası içinde ortaya çıkacak şekilde dizayn edilirse, bu etkilerden kaçınılabılır. Arzu edilmeyen kenar delinmelerden korunmak için, ya deneyler sırasında delinme yerlerini gözetlemek yada deneyden sonra krater yardımıyla lokalize etmek zarûridir.

3.4.2. Lokal Alan Büyümesi:

Pratik kullanımdaki elektrodlar üstündeki alan, kaçınılamayan elektrod pürüzlülüğünün etkisiyle veya ince iletken veyahut izole edici özelliğe sahip partiküller sayesinde yükselebilmektedir. Daha önceki delinmeler, aynı etkiye sahip krater ve küçük parçacıkları meydana getirirler. SF_6 için iyonizasyon karakteristiği $(E/p)_c$ sahasında çok dik olarak değişir. Eğer kritik alan şiddeti sadece az aşılsa, bu olay net iyonizasyonun çok büyük olmasına yol açar.

Kısa bir mesafeden sonra, elektrod yakınında kritik yığılma büyüklüğü elde edilebilir. Böylece herşeyden önce direk elektrod yakınındaki alan değişimi ölçüdür. Deneme zaman noktasını tesbit etmek amacıyla gerçek bir elektrod üst yüzeyinin Topolojisinin tam olarak elde edilmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, pürüzlülük ölçümleri sayesinde ve ışık veya elektron mikroskobu yardımıyla oranlara bir bakış yapabilmek mümkündür.

Üst yüzey özelliklerinin sadece asıl deneme düzeni dışında bir ölçme serisinden önce veya sonra belirlenebilmesi problemi daima mevcuttur. Üst yüzey, çeşitli bozucu geometrilerin kabulü ile tesbit edilebilmektedir.

3.5. Kirlenmeler Sonucu Oluşan Delinme:

SF_6 , hava veya azotlu gaz karışımları içindeki delinme geriliminin ölçümü, saf SF_6 içindeki delinme geriliminin bu gazların küçük ilavelerinden pratik olarak etkilenmediğini ortaya koymuştur. Halbuki katı kirlenmeler büyük bir etkiye sahip olabilirler. Cohen tarafından; delinme deney düzenindeki gazın bir vantilatörle devir daimi yapılması suretiyle, yüksek basınç altındaki ölçümler-

de delinme geriliminin kuvvetli bir azalması tesbit edilmiştir. Bu etki, dağılan toz parçacıklarına ve kirlenmelere dayandırılmaktadır. Müller tarafından; azotta yüksek basınçta delinme geriliminin önemli ölçüde yükselmesi, elektrodların devamlı şekilde tozunun giderilmesinden sonra ve deney düzeninin filtresinin tozu alındıktan sonra elde edilebilmiştir.

GIS-Tesislerinin montajı veya işletilmesi esnasında mekanik aşınma sonucu, iletken olan partiküller izolasyon sistemi içine girebilirler. Ancak, kirlenmelerin mevcut olması mutlaka yeni delinme mekanizmalarına sebebiyet vermez. Yüklenen parçacıklar elektroda yaklaşımları esnasında deşarj olabilirler. Daha sonra bu mikro deşarj delinmeyi tutuşturabilir.

Elektrod üstünde bulunan bir parçacık, alanı lokal olarak yükseltir ve bu suretle delinmeye sebebiyet verir. Berger'in araştırmalarına göre, parçacık; elektrod üst yüzeyinin yakınındaki deşarj sırasında bir sivri uç gibi tesir eder. Bu olay; serbest parçacıkların, elektrod üst yüzeyinde yapışık olarak kalan aynı büyüklükteki parçacıklardan daha şiddetli olarak delinme gerilimini nasıl azaltabildiğini açıklar.

Cobine göre; delinme gerilimi, katod üst yüzeyindeki kirlenmelerden dahi (Ör: Yağ, parmak izi, oksid tabakaları, toz ve absorbe edilmiş olan gazlar) etkilenmektedir. Oppermann, ince yağ tabakalarının temiz elektrodalara kıyasla delinme gerilimini azalttığını tesbit etmiştir.

3.6. Sonuçlar:

Daha yüksek makroskopik alan şiddetlerinde (>100 kV/cm) bir alan emisyon akımının mevcudiyeti kesin olarak bilinmektedir. Bununla birlikte hangi mekanizmalarla delinme geriliminin etkilendiği şüphelidir. Elektronegatif olmayan gazlarda homojen alanda ortaya çıkarılan akımın, bir Townsend deşarjının oluşumu için önemli ölçüde bir paya sahip olduğu düşünülmektedir. SF_6 gibi kuvvetli elektronegatif gazlarda ortaya çıkarılan elektronlar böylece

hemen birikebilirler ($E/g < (E/g)_c$) ve anoda doğru yavaş iyonlar olarak süzülürler. Eğer gaz hacminde $\alpha < \eta$ olursa önemli hiçbir yığılma yükselmesi ortaya çıkmaz. Ermel'e göre; emisyon oluşumuyla, SF_6 içindeki benzerlik kanunundan sapmalar arasında bir ilişki mevcuttur. Burada emisyonun, sapma sebebi olup olmadığı açıkça görülememektedir. Emisyon, sadece diğer sebeplerden dolayı sapmaların ortaya çıkması için bir işaret olabilir. Ancak emisyonun, başlangıç elektronlarını yüksek alan şiddeti olan yerlerde hazırladığı ve böylece tutuşma gecikmesini azalttığı kesindir.

Bölüm 3.3'de gaz içinde düşünülen olaylar şimdiye kadar deneylerle ispat edilememiştir. Dağılım sabitlerini belirlemek için, yığılma istatistiği teorisi teknik şartlar altında birçok denemenin ölçme neticesini gerektirmektedir. Bu, ölçülen değerlere yaklaşım yapabilen bir dağılıma sebebiyet verir. Bununla birlikte, asıl gaz delinme mekanizması üzerine yargılar çıkarmak mümkün olmamaktadır. Benzerlik kanunundan gerçek sapmalar çok yüksek gaz yoğunluklarında beklenebilir.

Hippel tarafından; eğer normal şartlar altında gazların delinme dayanımından hareketle, akışkan ve katı izole maddelerin dayanımı üzerine hüküm verilmesi gerektiğinde, benzerlik kanununun herhangi bir ekstrapolasyonu sırasında ortaya çıkan problemler gösterilmiştir.

1 bar'da hava için 30 kV/cm'lik dayanımlı kıyaslamaların yapılmasıyla; 2000 bar'daki bir basınca tekabül eden ortalama bir yoğunluktaki akışkan ve katı izole edici maddelerin yaklaşık 60000 kV/cm 'i tutabilmeleri gerekmektedir. Katı ve akışkan izole edici maddeler ancak pratik olarak sadece 100 kV/cm ve 2000 kV/cm arasında bir dayanıma ulaşırlar (özel durumlarda yaklaşık 10000 kV/cm 'e kadar).

Hippel, bu olayı; alan içinde hızlanan elektronlar sayesinde sadece elektronların sıçrayışları değil, bilâkis akışkanlar içinde molekül titreşimleri ve katı maddelerde kafes titreşimlerinin tahrik edilmesine dayandırır.

Elektrodlarda alan yükselmesi sayesinde ortaya çıkan sapmaların, makroskopik sapmalar olarak yorumlanması gerekmektedir. Eğer, SF_6 gazındaki gibi delinme şartı direkt elektrod yakınında yerine getirilebiliyorsa, mikro alana dikkat edilmesi gerekmektedir. Benzerlik kanunu en genel halde elektrod mikro alanı içinde elde edilir. Bu yüzden sapmalardan makroskopik manada bahsedilebilir.

Katı karakterdeki kirlenmeler yüksek basınçta delinme geriliminin kuvvetli bir azalmasına sebebiyet verirler. Parçacıklar, her şeyden önce lokal alanın aşırı yükselmesine ait mekanizmalar üzerine tesirli olurlar, buna karşılık kirlenme tabakaları emisyonu teşvik edebilirler.

Benzerlik kanununun araştırılmasıyla ilgili gerekli hipotezler şunlardır:

- Benzerlik kanunu, lokal alanın aşırı yükselme sahası içinde dahi geçerlidir,
- SF_6 'daki benzerlik kanunu, makroskopik alanda çok yüksek basınçlara kadar sınırlı olmayacak şekilde geçerlidir. Bu basınçlarda, çok yüksek yoğunluklara geçiş sırasında moleküllerin karşılıklı kuvvetli bir tesiri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca aşağıdaki şartlar yerine gelmelidir;
 - Tesirsiz kenar alan,
 - Tesirsiz pürüzlülük,
 - Tesirsiz kirlenme.

Bu iki hipotezin esasına dayanarak, bütün bozucu etkilerden mümkün mertebe kaçınmak suretiyle araştırmalar gerçekleştirilir.

II.BÖLÜM

PRATİK ESASLAR:

1.Giriş:

Hava, konvansiyonel şalt tesis yapısında önde gelen bir izolasyondur.Hava çok ucuz bir izole edici madde olmasına rağmen, aşağıdaki sebeplerden dolayı asla ideal bir izolasyon değildir.

a) Havanın elektrik dayanımı relatif azdır.Bu yüzden yüksek ve çok yüksek gerilimlerde, gerilimli parçalar arasında birbirine karşı ve toprağa karşı çok büyük aralıklar gereklidir. Lüzumlu aralıkların artan gerilimle anormal orantılı olarak arttığı ortaya çıkmaktadır.Bundan dolayı gelecekteki milyon mertebesindeki gerilimlerde çoğu defa zor gerçekleştirilebilir büyük aralıklar ortaya çıkacaktır.

b) Havanın elektrik dayanımı basıncına bağlıdır.Böylece elektrik tesislerinin ve işletme elemanlarının yerleştirilmesi sırasında büyük deniz seviyesi yüksekliklerine dikkat edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. 1000'metreden büyük deniz seviyesinde uygun işletme gerilimi, her 100m'lik seviye artışı için %1 veya %1,25 civarında indirilmesi lazımdır.

c) Havanın elektrik dayanımı hava nemine de bağlıdır.Nemli ve sisli havada çok yüksek gerilim tesislerinde korona olaylarının sık ortaya çıktığı bilinmektedir.

d) Hava izoleli tesisler; şimşek darbeleri, kar ve buz tabakası gibi atmosferik etkilere maruz kalmaktadırlar.Bu boyutlandırmayı zorlaştırır ve tesislerin arızalanmasına zemin hazırlar.

e) Endüstri sahalarında, çok işlek caddelerde ve sahil kenarları yakınında hava, ekseriya çok kirlenmeye maruz kalır. Bu, izalatörlerin dış yüzeyinde yabancı tabakaların ortaya çıkmasına ve böylece izalatörlerin atlama dayanımının önemli ölçüde azalmasına sebebiyet verir.Bu durumlarda, sadece izalatörlerin sık sık temizlenmesi veya pahalı dahili tesislerin inşa edilmesi söz konusu olur.

f) Ancak temiz havalı sahalarda dahi özellikle açık hava tesisleri, kirlenme ve benzeri olaylardan ve bunun sonucu olarak işletme emniyetinin azalmasından kaçınmak için, relatif sık ve gerekli bir bakıma ihtiyaç duyarlar.

g) Hava izoleli şalt tesislerinde; kafesleme, kapsülleme gibi ilave tedbirlerle uygun bir dokunma (temas) korumasının temin edilmesi gereklidir. Çok büyük dikkate rağmen, bu dokunma koruması mutlak (kati) olamamaktadır. Aynı şekilde yabancı cisim ve hayvanların bu tür tesislerin içine girmesi kesin olarak azaltılabilmiş değildir.

h) Hava izoleli yüksek gerilim tesislerinin büyük saha ve hacim ihtiyacı; bugünkü görünümüne göre şüphesiz, çevreye hissedilir bir rahatsızlık vermektedir.

2. Katı İzole Maddeler:

Katı izole maddelerde; modern plastik maddeler (silikon kauçuk), herşeyden önce mineralik dolgu maddeli epoksi reçineler ön planda bulunmaktadır. Bu maddeler için yüksek gerilimlerde gerekli olan büyük cidar kalınlıklarında birçok problemler ortaya çıkmaktadır. İmalat sırasında çatlaklardan ve boşluklardan dolayı iç zorlanmalar oluşabilir. Böylelikle elektriki sınır yüzey problemleri ve kısmi deşarj tehlikesi söz konusu olur. Sürekli termik dayanıklılık dahi bu tür zorlukları büyültmektedir. Katı madde izolasyonlu denemeler, herşeyden önce bu tekniğin basit kullanımı üzerine hiçbir sonuca götürmemektedir.

3. Akışkan İzole Maddeler:

Bu tür maddeler bütün boşlukları doldurmak gibi bir faydaya sahiptirler. Uygun haznelere içinde gerilimli parçaların çevresine tertib edilmeleri gerekmektedir. Akışkan maddelerin sıkıştırılamaması bir dezavantaj teşkil etmektedir. Bu yüzden elektrik arkları esnasında yüksek basınçlar ortaya çıkabilmektedir. Burada daha çok transformatörlerde kullanılan izolasyon yağı söz konusudur. Genişletilmiş elektrik tesisleri için gerekli olan büyük yağ miktarı, bu izole maddenin tutuşabilirliğiyle ilgili olarak, bu çözümün çok önemli bir zararını ifade etmektedir.

Bir dahili hacim tesisindeki yağ örtüsü özellikle kuvvetli duman çıkışı ve zor söndürülebilirlikten dolayı az yağ miktarlarında dahi hemen hemen bir felâkettir. Çok bağlantı ve vidalama yerine sahip bir tesisin kusursuz sızdırmazlık kontrolü tecrübelerine göre anormal derecede zor olmaktadır. En az bir sızıntı dahi tesisin istenilmeyen şekilde kirlenmesine sebebiyet verebilmektedir.

Ayrıca izole yağın eskime davranışı da dezavantaj olarak değerlendirilebilir; bu olay daha ziyade büyük tesislerde yağ durum kontrolünün zor gerçekleştirilebildiği sırada etkili olmaktadır. Başka bir akışkan izole madde olarak "Clophen" sözkonusu olabilir. Bu maddenin tutuşmazlık gibi bir faydası vardır. Kullanım sırasında, elektrik arki oluşumunda tuzlu asit buharı meydana geldiği için insanlarda sağlığa zararlı tesirleri olmaktadır.

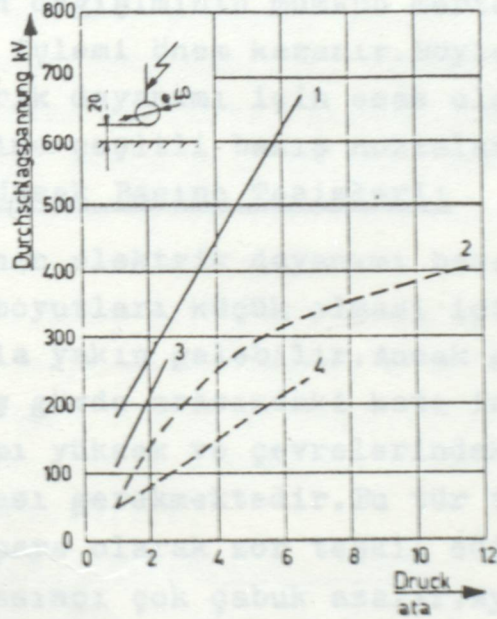
4. Gaz İzole Maddeler:

Bu gruptaki maddeler genel olarak daha fazla faydalara sahiptir.

- a) Homojen bir izolatör teşkil ederler. Kaçak yol, atlama ve bu suretle kısmi deşarj ihtimali azdır.
- b) Elektrik arklarının ortaya çıkması esnasında, ark enerjisi sıkıştırılan gaz tarafından kabul edilir. Gazın kontrol edilmiş deşarjıyla infilâklar azaltılabilir.
- c) Gazlar umumiyetle temiz ve kolayca kullanılabilir.
- d) Sözkonusu gazlar tutuşmaz ve termik olarak aşırı yüklenebilirler.

İzole edici gaz burada tamamıyla, akışkan izole maddelerde olduğu gibi, uygun muhafazalar içindedir. Bu muhafazalar genelde boru şeklindedir. Herşeyden önce burada basınçlı (sıkıştırılmış) hava izole edici gaz olarak düşünülebilir. (1,5MPa - 2MPa)'lık basınçlarda havanın elektrik dayanımı gerçekten çok büyük artar. Öyleyse bu yüksek basınçlarda, tesisin inşasının pahalı ve zor olmasını sağlayan yekpâre bir çelik muhafaza (kapsül) gereklidir. Kapsülleme içindeki bir sızıntı hemen çok büyük bir basınç düşüşüne sebebiyet verir ve böylece elektrik dayanımının bir azalması da sözkonusu olur.

Elektrikli arızaların ortaya çıkmasından kaçınmak için böyle bir tesis en kısa zamanda devreden çıkarılmalıdır. SF_6 gazında hiçbir eskime sözkonusu değildir. Isı taşıma miktarı havadan yaklaşık 2,5 kat daha fazladır. Bu yüzden soğutma özellikleri havaya kıyasla çok elverişli bulunmaktadır. SF_6 'nin izolasyon kabiliyeti aynı basınçtaki havadan 2,5-3 kat daha iyidir (Şekil:4). Dielektrik sabiti 1'e eşittir. SF_6 'nin buhar basıncı karakteristiğinden; bu gazın ortam sıcaklığındaki (hacimsel ısı) yüksek basınçlarda akışkan madde durumuna geçtiği anlaşılmaktadır. Örneğin; $-20^\circ C$ 'de $0,7MPa$ 'lık basınçta, $+5^\circ C$ 'de $1,5MPa$ 'lık basınçta akışkan hale döner. Açık hava tesisinin alt sıcaklık sahası içinde, relatif az basınçlar SF_6 'nin akışkanlaşmasına kâfi gelebilmektedir. Bu durum SF_6 izoleli şalt tesislerinin tasarlanması sırasında gözönüne alınır.



Şekil:4 SF_6 ve hava içindeki bir küre-plaka kıvılcım hattının delinme gerilimleri.

- 1 1,2/50 μs , %50 Delinme Darbe Gerilimi (SF_6)
- 2 1,2/50 μs , %50 Delinme Darbe Gerilimi (Hava)
- 3 A.C. Delinme Gerilimi (SF_6)
- 4 A.C. Delinme Gerilimi (Hava)

Elektrik arka içinde SF_6 - gazı ayrışır ve esas itiba-

riyle SF_5 ve Flor'a. Bu ayrışma ürünlerinin %90'nı tekrar SF_6 'ya kombine olur. Diğer %10'luk kısım kapsüllemeyi oluşturan metallerde, Metal-Florid meydana getirirler. Bu maddeler kuru durumda çok iyi bir izolatördürler. Su ilavesiyle; izole edici parçaların dielektrik özelliklerini önemli ölçüde azaltan elektrolit haline geçerler. Bu yüzden SF_6 gazının kuru olması önemlidir. Bu tür zararlı etkileri bulunan maddelerin absorbe edilmesi imkânında vardır.

5. SF_6 -İzoleli Şalt Tesisleri (GIS) :

Şalt tesislerinde SF_6 -Gazının kullanılmasıyla; bütün gerilimli parçalar, SF_6 ile doldurulmuş, topraklanmış metal gövdeler (kapsüller) içinde bulunmaktadır. Gerilimli parçalar ile gövdenin birbirine karşı durumu izole edici parçalarla tesbit edilmiştir. Bu parçalar dairesel veya konik biçimde olabilmektedir. Bu tür parçalarla SF_6 gazı içindeki homojen alan değişiminin mümkün merteye az bozulması için, şekil verme işlemi önem kazanır. Böyle bir tesisin ana planı ve elektrik dayanımı için esas olan SF_6 gazının basınç seçimi üzerine çeşitli bakış noktaları aşağıda özetlenmiştir.

5.1. Yüksek Basınç Tesisleri:

SF_6 'nın elektrik dayanımı basınçla artar. Bu yüzden, tesislerin boyutları küçük olması için yüksek basınçlarda çalışmak akla yakın gelebilir. Ancak gerilimli parçalar ve topraklanmış gövde arasındaki katı izole parçaların elektrik dayanımı yüksek ve çevrelerindeki elektrik alanında homojen olması gerekmektedir. Bu tür tesislerde metal kapsülleme yekpare olarak zor teşkil edilir. Bir sızıntı esnasında gaz basıncı çok çabuk azalır. Ayrıca yüksek basınç açık hava SF_6 -Tesislerinde gazın sıvılaşma tehlikesi de mevcuttur, bundan dolayı çok güvenilir bir ısıtma öngörülmesi zarûridir.

5.2. Alçak Basınç Tesisleri:

Alçak basınç tesisi denince 0,15MPa ve 0,6MPa arasındaki basınç sahası anlaşılır. Tesis gerçi biraz daha büyük boyutlara sahiptir, ancak hafif metalden kapsüllemeler kullanılabilir, böylelikle ağırlık ve fiatlar aşağıya çeki-

lir. Tesiste bir sızıntı ortaya çıkarsa, SF_6 gaz basıncı azalır fakat basınç düşmesi çabuk vukubulmaz, bu yüzden en azından kısa bir zaman geçici bir işletme kontrol edilebilir. Elektrik arklarında oluşan basınç yükselmeleri bakımından daha elverişli faktörler ortaya çıkar. Yüksek basınç tesisinin, küçük boyutlarından dolayı alçak basınç tesislerine nazaran ısı transferi daha azdır. Bugün pratik olarak yukarıdaki sebeplerden dolayı sadece alçak basınç tesisleri yapılmaktadır.

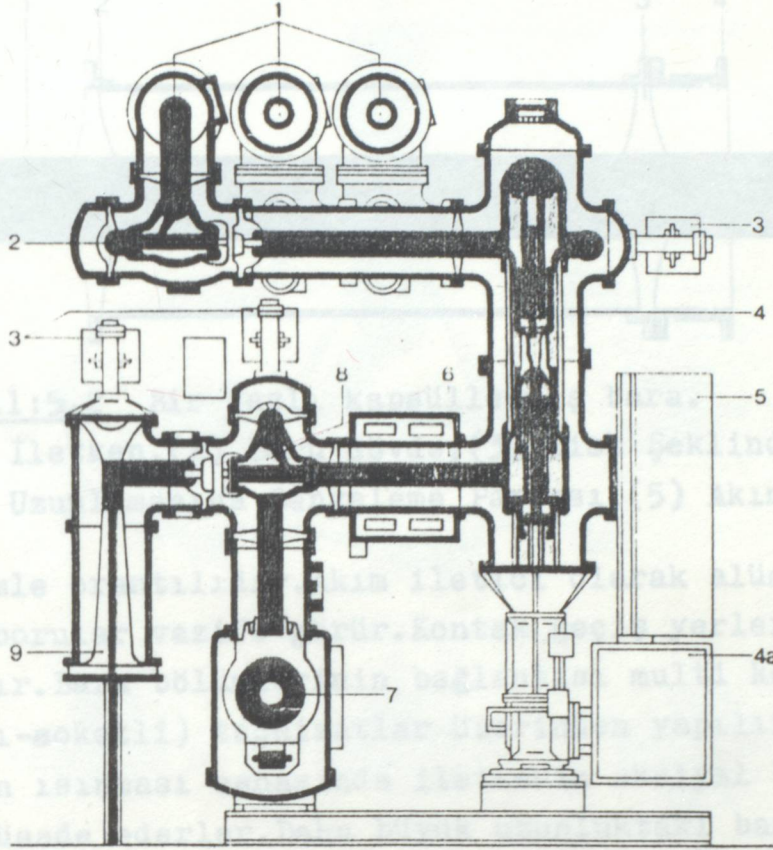
Elektrik dayanım bakımından, SF_6 basıncı atmosfer basıncına düşmesi esnasında geçici bir işletme kontrol edilebilecek şekilde dizayn yapılır. SF_6 'nın daha büyük özgül ağırlığından dolayı yavaş yavaş hava ile karışarak elektrik dayanımının azalması ortaya çıkabildiği için bu kontrol ancak kısa zamanlı olur. Bununla birlikte şimdiye kadar işletme tecrübelerinin; pratik olarak sızıntı ortaya çıkmadığını ve sızıntı kayıplarının yıllık olarak uygun değerlerde bulunduğunu göstermesiyle, tesisi biraz daha dar yerleştirmek ve azalan basınçta işletme imkânından vazgeçmek düşüncesi ortaya atılmıştır. Halbuki genelde alçak basınç tesisleri kurulursa artan basınçta yükselen elektrik dayanımdan şu şekilde istifade edilir:

Tesisin daha büyük bir gerilim sahası için gerekli boyutlarla dizayn edilmesi (Ör: 220kV için 300 kV'a kadar veya 380 kV için 500 kV'a kadar). Böylelikle uygun bir SF_6 basıncının seçimiyle istenilen işletme gerilimine uygun bir geçiş yapılabilir.

5.3. GIS Tesislerinin Yapısı:

Bir GIS tesisi esas itibariyle konvansiyonel tesislerde kullanılan benzer elemanları ihtiva eder (Ayırıcılar, topraklama şalterleri, güç şalterleri, baralar, akım ve gerilim trafoları gibi). Şekil:5.1 bir GIS tesisinin kesitini göstermektedir.

Boru şeklindeki elemanlardan inşa edilen metalik kapsülleme, gerilimli bütün tesis parçalarını kuşatır. Yüksek gerilim altındaki parçalar döküm reçine izalatörler tarafından taşınırlar.



Sekil:5.1 SF₆ izolasyonlu tam kapsüllenmiş 145 kV'luk bir şalt alanı.

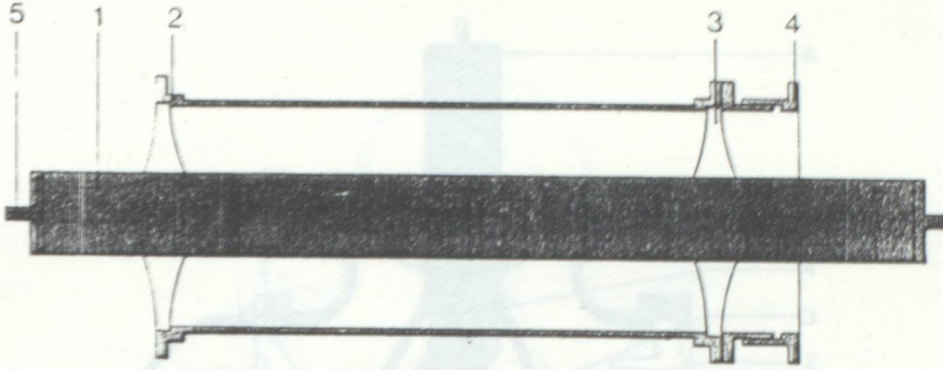
(1) Baralar, (2) Ayırıcılar, (3) Topraklama Şalterleri, (4) Güç Şalteri, (5) Kumanda Dolabı, (6) Akım Trafosu, (7) Gerilim Trafosu, (8) Kablo Ayırıcı Şalteri, (9) Kablo Uç Bağlantısı.

İzalatörler, bölme izalatörleri olarak da tertiblenirler. Bunlar tesisi birbirine karşı ayrı gaz hacimlerine bölerler. Bakım, kontroller ve icabı halinde revizyonlar bu suretle basitleştirilir.

5.4. Yapı Elemanları:

5.4.1. Baralar:

Bara kapsüllemeleri herbiri bir alan parçasına teka-bül eden segmentlerden inşa edilmiştir. Kapsüllemenin çapı



Sekil:5.2 Bir fazlı kapsüllenmiş bara.

(1) İletken, (2) Boru Gövde, (3) Disk Şeklinde İzalatör, (4) Uzunlamasına Dengeleme Parçası, (5) Akım Bandı.

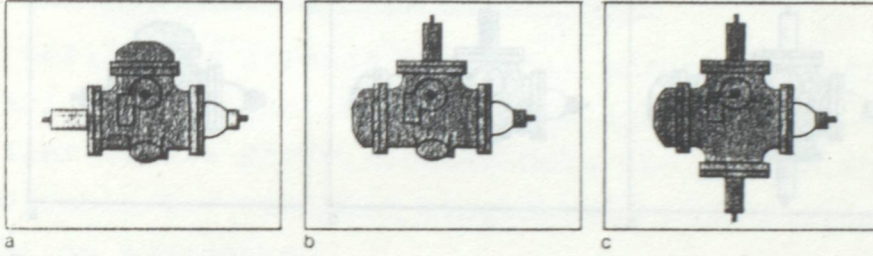
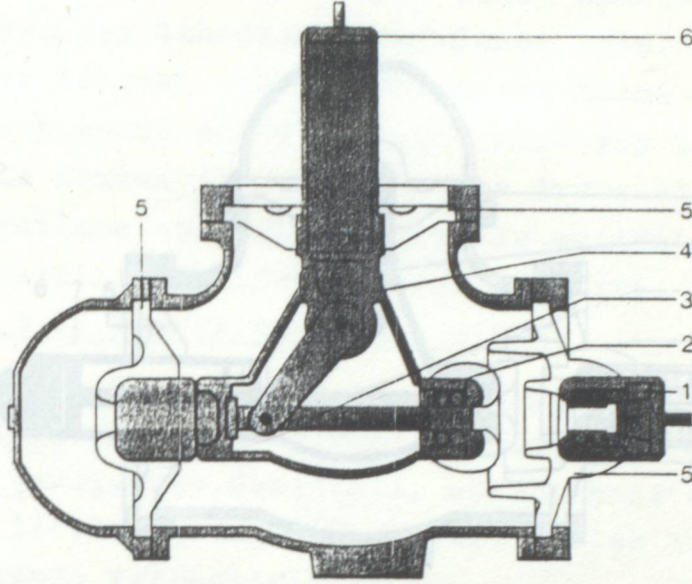
gerilimle orantılıdır. Akım iletici olarak alüminyum veya bakır borular vazife görür. Kontak geçiş yerleri gümüşle kaplanır. Bara bölümlerinin bağlantısı multi kontak (çok parçalı-soketli) teçhizatlar üzerinden yapılır. Bunlar baraların ısınması esnasında iletkenin aksiyal bir genişmesine müsaade ederler. Daha büyük uzunluktaki baralarda ise kapsülleme içinde dahî genişme elemanları lüzumludur. İletken borular homojen döküm reçine izalatörler tarafından taşınırlar. Mekanik dayanım baraların boyutlandırılmasına da tesir eder. Bu suretle ortaya çıkan kesitler büyük ve nominal akım altında ısınma da küçük olur.

5.4.2. Ayırıcılar:

SF₆ izoleli şalt tesislerinde iki tip ayırıcı şalter kullanılır: (a) Tesis parçalarına ve çıkışlara karşı bir ayırma hattının oluşturulması için. Bu tip ayırıcı sadece akımsız durumda vazife yapabilir. Ve tesislerin ancak düşük yük akımlarının şalterlenmesini gerçekleştirebilir. (b) Yük ayırıcı şalterleri, normal ayırıcılardan farklı olarak bir akım kesme tertibatına sahiptir. Ohalde yük akımları açılabilir ve açık konumda ayırma şartları yerine getirilebilir.

Normal bir ayırıcının kapsüllemesi, küçük pencerelerle teçhiz edilmiştir. Bu pencerelerle ayırıcının şalt konumu direkt olarak görülebilir.

bir bilgi verir.



Sekil:5.3 Bir normal ayırıcı şalter kutbu kesiti.

(1) Kontak Parçası, (2) Kontak Parçası, (3) Şalt mili, (4) Kontak taşıyıcı, (5) Disk şeklindeki izalatör, (6) Bağlantı parçası.

(a) Uzunlamasına yapı biçimi, (b) Açılı yapı biçimi, (c) Çapraz yapı biçimi.

Ayırma hattının elektrik dayanımı, toprağa karşı faz dayanımından %25 daha yüksek olmaktadır. Yük ayırıcı şalterler, normal bir ayırıcının yerine tesis içinde monte edilebilirler. İlave olarak; SF_6 gaz akışını şalter borusu ucundaki ark akış noktası sahasında temin eden bir üfleme pistonuna sahiptirler. Böylelikle açma arki hızlıca söndürülür. Üç kutup; güç şalterlerinde olduğu gibi döner yaylı depo taşıyıcı tahrike sahiptir.

Şalter gövdesindeki pencere şalt konumu için kesin

— Motor tahriki, rahat hizmet için, uzaktan kumanda amacıyla veya yay tahrikinin kurulması için.

Motor tahriki tehlike durumunda daima bir el kontrol-lü kol ile kumanda edilebilir.Çözücülü yay tahriki; elek-triki tesis koruma ile tesisin kısa devre edilmesi için bütün topraklama şalterleri, tesisin emniyet sistemleri içine alınmıştır.Kilitleme sistemleri gibi.

5.4.3.1. Topraklayıcı Ana Cihaz:

Bu alet, T- şeklinde bir bağlantı parçasına (Şekil:5.5) veya özellikle bir yük ayırıcı ile birlikte monte edilebilirler (Şekil:5.6).Gerilimli, ekranlanmış sabit lâle kontak daima iletken üstünde,hareketli kontak topraklanmış kapsül üstünde yerleştirilir.

5.4.3.2. İşletme Topraklayıcısı:

Gerilimsiz durumda bir tesis parçası,örneğin revizyon amaçları için topraklanmak zorunda kalınırsa bu tür topraklayıcılar vazife görür.Kumanda kolu ile şalterlenen bir ana topraklayıcı cihazdan oluşmaktadır.Kol yerine motor tahriki de mümkündür.

5.4.3.3. Hızlı Topraklayıcı:

Şalterlenmemiş bir tesisin ilk olarak topraklanmasında emniyet sebeplerinden dolayı, topraklama şalterinin gerilim üzerine dahi kapatılması yani tesisin kısa devre edilebilmesi istenir.Burada yay tahriki ön görülmüştür.Bu tahrik ana topraklayıcı cihazın tahrik eksenine üzerine yerleştirilir.Yayın gerilmesi bir kol veya motor ile mümkündür.Yay belli bir noktaya kadar gerilir ve bu noktadan kapama ile yay boşaltılır.Açma için yay tekrar gerilmez.

5.4.3.4. Koruma Topraklayıcısı:

Bir dahili atlamanın muhtemel olmadığı durumda; tesis normal elektriki koruma teçhizatlarıyla gerilimsiz olarak şalterlenir.Ortaya çıkacak elektrik arkını çok çabuk kısa devre etmek, ilave bir emniyet olarak istenir.Koruma topraklayıcıları, hızlı topraklayıcılar gibi yay tahrikiyle teçhiz edilir.

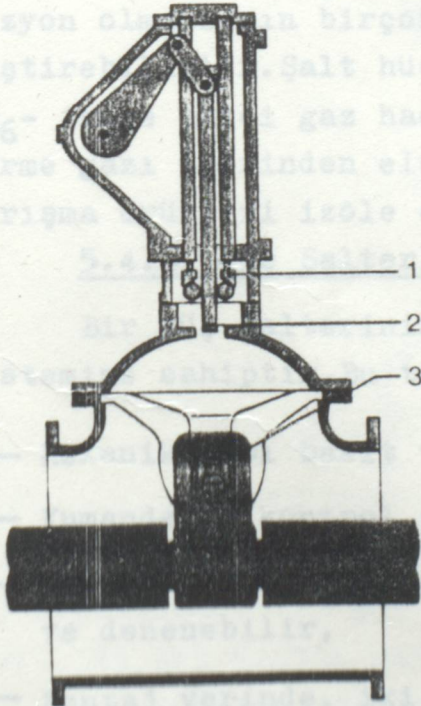
5.4.4. Güç Şalterleri:

SF_6 -Gazının, iyi bir ısıyı iletmesi ve elektro-negatif olması nedeniyle elektrik akım sıfır geçiş sahasında ısıyı çeker ve bu nedenle elektronlar yakalanır. SF_6 -Güç şalteri iki basınç presiyonu göre çalışır. Daha yüksek basınç altında bulunan SF_6 gazı şalt basınç parçası içinde depolanır. Bu parça çözüldükten sonra, izolasyon gazı olarak adlandırılır ve şaltin altına tutulur. Genellikle bu tür güç şalterlerini, yüksek basınçlı şalterler olarak karakterize etmek yer

Açma olayında şaltin hareket eden sıkıştırma silindiri içindeki şaltin pistonu ile şaltin sıkıştırma silindiri ve gaz birleştirilerek şaltin elektrik arki sahasına akar. Ana şaltin sıkıştırma silindiri ile şaltin sıkıştırma oranlarını kontrol eder. Şaltin sıkıştırma silindiri olarak ortaya çıkan elektrik arki şaltin yüksek ark enerjisine dayanıklı malzemelerden yapılmıştır. Kontak parçaları arasında tutulur. Buna şaltin sıkıştırma kapasitesi için önemli bir faktördür. Şaltin sıkıştırma kapasitesine göre şaltin sıkıştırma oranı ayarlanabilir.

Şekil:5.6 Yük Ayırıcı Şalterindeki Topraklama Şalteri.

Bu yüzden SF_6 -güç şalterleri bakım gerektirmezler. Revizyon olayında bir çok bakım gerektirmezler. Revizyon olayında bir çok bakım gerektirmezler. Revizyon olayında bir çok bakım gerektirmezler. Revizyon olayında bir çok bakım gerektirmezler.



Şekil:5.5

Bir T-Gövdesindeki Topraklama Şalteri.

- (1) Kontak Parçası, (2) Şalt Mili,
(3) Kontak Parçası.

5.4.4. Güç Şalterleri:

SF₆-Gazının, iyi derecede ısıyı iletmesi ve elektro-negatif olması nedeniyle, arkların akım sıfır geçiş sahasında ısısı çekilir ve serbest elektronlar yakalanır. SF₆-Güç şalteri iki basınç prensibine göre çalışır. Daha yüksek basınç altında bulunan SF₆-Gazı bir şalt basınç parçası içinde depolanır. Bu parça çevresindeki gaz, izolasyon gazı olarak adlandırılır ve basıncı düşük tutulur. Genellikle bu tür güç şalterlerini, üflelemeli piston şalterler olarak karakterize etmek yerinde olur.

Açma olayında aşağıya doğru hareket eden sıkıştırma silindirindeki gaz, sabit bir piston vasıtasıyla sıkıştırılır ve gaz bir büz tertibi üzerinden elektrik arkı sahasına akar. Ana ve yardımcı büzden oluşan bu tertib optimal akış oranlarını sağlar. SF₆-Gazının şalt basıncı akıma bağlı olarak ortaya çıkar. Elektrik arkı sadece, yüksek ark enerjisine dayanıklı malzemeyle teçhiz edilmiş ark kontak parçaları arasında tutuşur, buna karşılık akım taşıma kabiliyeti için önemli ana kontak parçalarında hiçbir tutuşma artığı ortaya çıkmaz.

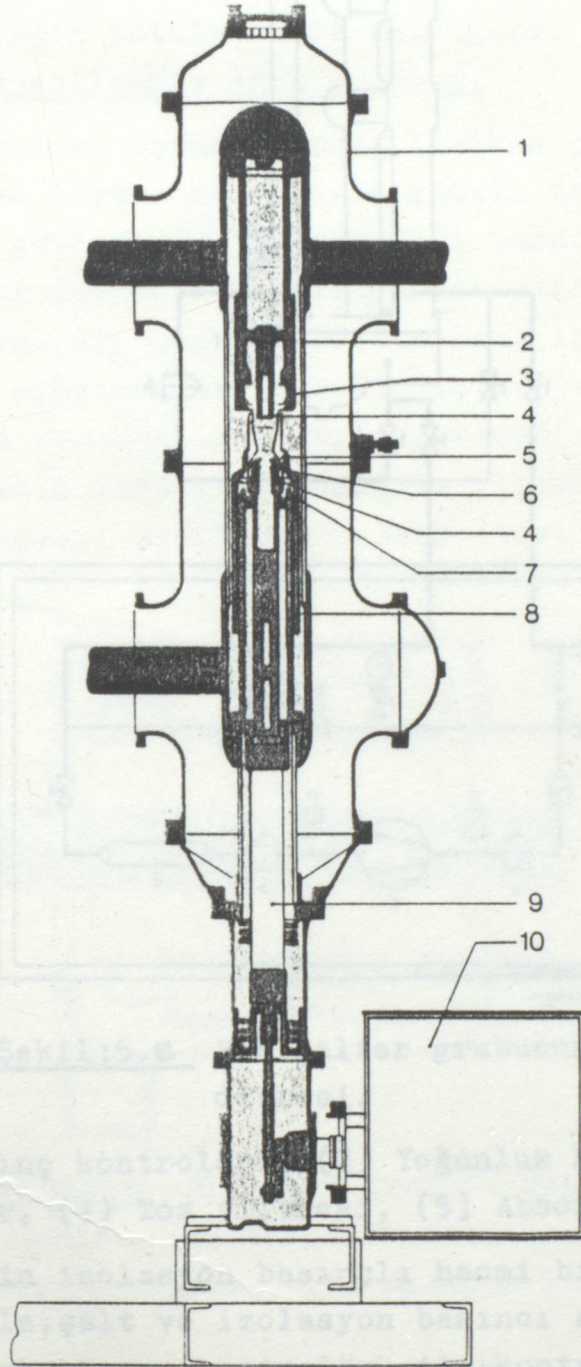
Bu yüzden SF₆-Güç şalterleri bakım gerektirmezler. Revizyon olmaksızın birçok kısa devre bağlantılarını gerçekleştirebilirler. Şalt hücrelerinin SF₆-Gaz hacmi tamamıyla SF₆- izole edici gaz hacmiyle ayrılmıştır. Bu yüzden söndürme gazı üzerinden elektrik arkının etkisiyle ortaya çıkan ayrışma ürünleri izole edici gazı kirletemezler.

5.4.5. Güç Şalterlerinin Gaz Akış Şeması:

Bir güç şalterinin üç kutbu müşterek bir gaz besleme sistemine sahiptir. Bu tertibin faydaları şunlardır:

- Mekanik yapı basit ve görülebilmektedir,
- Kumanda ve kontrol şeması basittir,
- Şalter kendi besleme birimiyle fabrikada monte edilir ve denenebilir,
- Montaj yerinde, iki gaz hattının ve kumanda kablola-

rının bağlantısı kâfidir.Şekil:5.8' de bir şalter grubunun kapalı SF₆-Gaz akış devresi şematik olarak gösterilmektedir.



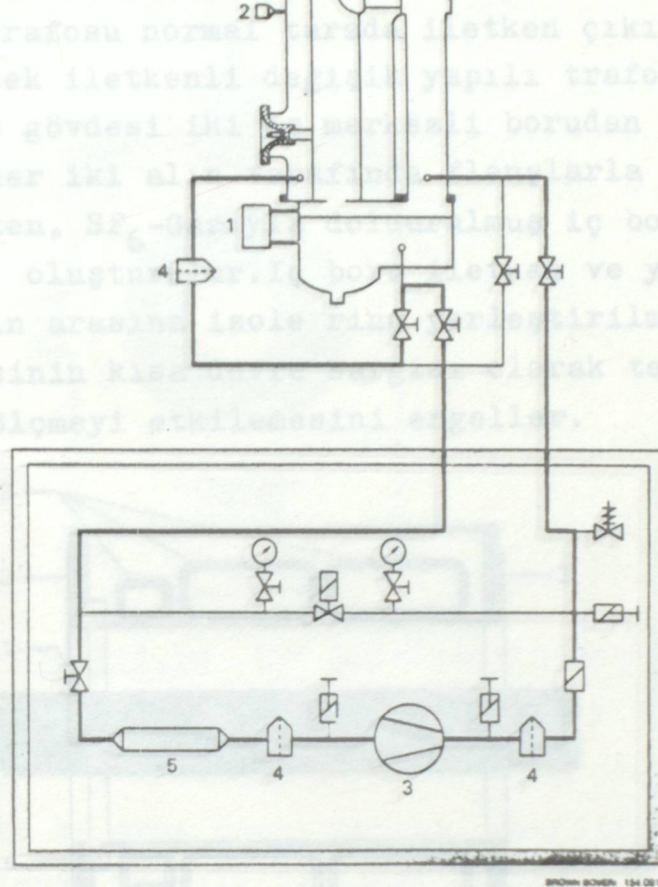
Şekil:5.7 Bir Güç Şalter Kutbunun Kesiti

- (1) Kapsülleme, (2) Şalt hücresi, (3) Sabit ana kontak parçası, (4) Ark kontak parçası, (5) Ana büz, (6) Yardımcı büz, (7) Hareketli ana kontak parçası, (8) Sıkıştırma silindiri, (9) Şalt çubuğu, (10) Döner yay tahriki.

tarsa, o zaman gaz magnetik ventil Üzerinden şalt basınç hacminden izolasyon basıncına üflenir. Toz filtresi, kontak tutuşması sonucu oluşan şalt tozunu alır, buna karşılık "Absorbsiyon" filtresi ayrışma ürünlerinin ve nemliliğin tutulmasını sağlar.

5.5. Kapsüllemiş Akım Trafosu:

Akım trafosu normal bir iletken çıkış çerçevesinde bulunur. Ve tek iletkenli dijital yapıda trafo olarak dizayn edilir. Trafo gövdesi iki ayrı borudan oluşmaktadır. Bu borular her iki ayrı iletkenle kapatılmıştır. Primer iletken, SF₆ gazı ile kaplı iç boru iletkeni vasıtasıyla oluşmaktadır. Bu borular ve yan flanşlardan birisinin arasına izole film geçirilmiştir. Bu ring trafo gövdesinin kısa devreye uğramak üzere tesisatını ve böylece ölçmeyi etkilemesini engeller.



Şekil:5.8 Bir şalter grubunun gaz akış devresi.

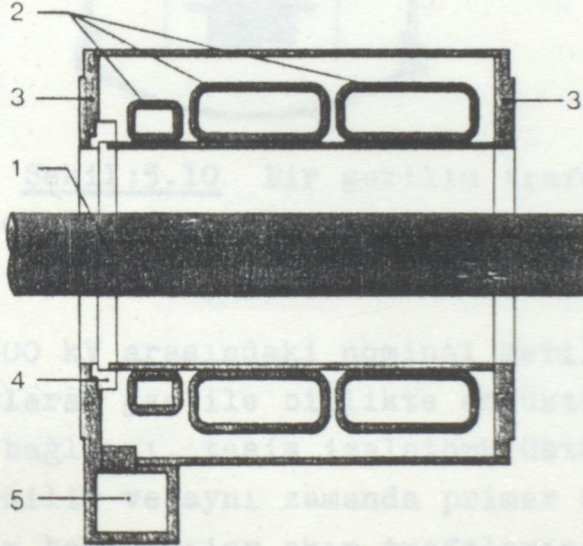
- (1) Fark basınç kontrolörü, (2) Yoğunluk kontrolörü,
(3) Kompresör, (4) Toz filtresi, (5) Absorbsiyon filtresi.

Şalterin izolasyon basınçlı hacmi bir gaz yoğunluk kontrolörü ile, şalt ve izolasyon basıncı arasındaki basınç farkı bir fark basınç kontrolörü ile kontrol edilmektedir. Bir şalterleme sırasında gaz şalt basınç hacminden izolasyon basınç hacmine akarsa, o zaman fark basınç kontrolörü bir kompresörü çalıştırır. Bu kompresör esas basınç farkını teşkil eder. Sıcaklık artışlarından dolayı basınç farkı ar-

tarsa, o zaman gaz magnetik ventil üzerinden şalt basınç hacminden izolasyon basınç hacmine üflenir. Toz filtresi, kontak tutuşması sonucu ortaya çıkan şalt tozunu alır, buna karşılık "Absorbsiyon" filtresi ayrışma ürünlerinin ve nemliliğin tutulmasında rol oynar.

5.5. Kapsüllenmiş Akım Trafosu:

Akım trafosu normal tarzda iletken çıkış çerçevesinde bulunur. Ve tek iletkenli değişik yapıllı trafo olarak dizayn edilir. Trafo gövdesi iki eş merkezli borudan oluşmaktadır. Bu borular her iki alın tarafında flanşlarla kapatılmıştır. Primer iletken, SF_6 -Gazıyla doldurulmuş iç boru iletkeni vasıtasıyla oluşturulur. İç boru iletken ve yan flanşlardan birisinin arasına izole ring yerleştirilmiştir. Bu ring, trafo gövdesinin kısa devre sargısı olarak tesir etmesini ve böylece ölçmeyi etkilemesini engeller.



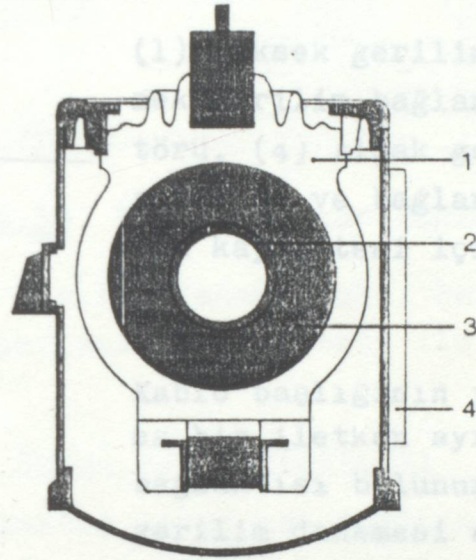
Şekil:5.9 Bir akım trafosu kesiti.

(1) Primer iletken, (2) Sekonder sargılı çekirdek, (3) Metal flanş, (4) İzole ring, (5) Klemens kutusu.

İç ve dış boru arasındaki hacme sekonder sargılı 5 trafo çekirdeği yerleştirebilme imkanı vardır. Bu hacim dış havayla bağlantılıdır. Çekirdeklerin sayısına, çekirdek gücüne ve doğruluk sınıfına bağlı olan sekonder donanımın hacim ihtiyacına göre, çeşitli yapı uzunluklarında akım trafoları mevcuttur.

5.6. Kapsüllenmiş Gerilim Trafosu:

Kapsüllenmiş tesislerin gerilim trafoları üç şekilde dizayn edilir. 170 kV'a kadar nominal gerilimler için döküm reçine izolasyonlu endüktif bir trafo kullanılır. Sekonder bağlantılar konvansiyonel trafolardaki gibi bir klemens kutusunda yerleştirilir.



Şekil:5.10 Bir gerilim trafosu kesiti.

(1) İzole edici gövde, (2) Sekonder sargı, (3) Primer sargı, (4) Klemens kutusu.

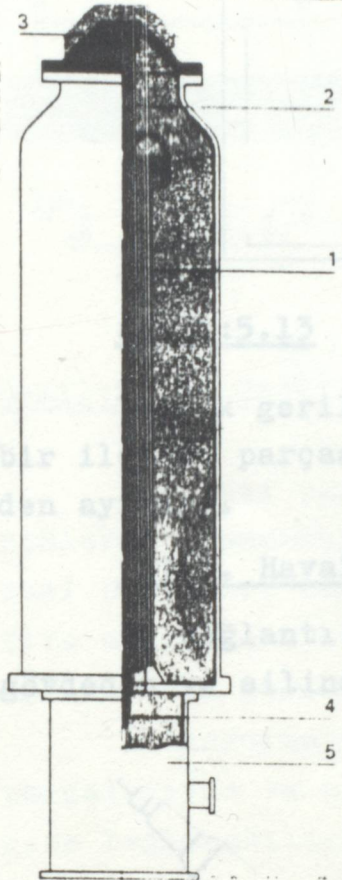
170-300 kV arasındaki nominal gerilimler için, ana izolasyon olarak gaz ile birlikte endüktif trafo kullanılır. Primer bağlantı, tesis izalatörü üstünde soketli olarak monte edilir ve aynı zamanda primer sargı taşınmış olur. Sekonder bağlantılar akım trafolarındaki gibi benzer olarak döküm reçine teçhizatı içinde bir geçiş plakası üzerinden dışarıya doğru gönderilir. 300 kv üzerindeki tesislerde kapasitif gerilim trafoları kullanılır.

Yüksek gerilim kapasitesi, yağla izole edilmiş olarak konvansiyonel tarzdaki gibi dizayn edilir. Yüksek gerilim bağlantısı bir tesis izalatörü üzerinden dışarı gönderilir. Bu izalatör aynı zamanda kondansatör çubuklarını yukarıda destekler.

5.7. Geçişler:

5.7.1. Kablo Bağlantısı:

Bir kablo başlığı gövdesiyle yapılmaktadır. Bu gövde ihtiyaca göre direkt veya bir ara gövdeyle çıkış ayırıcısında tertiblenmiştir.



Şekil:5.11

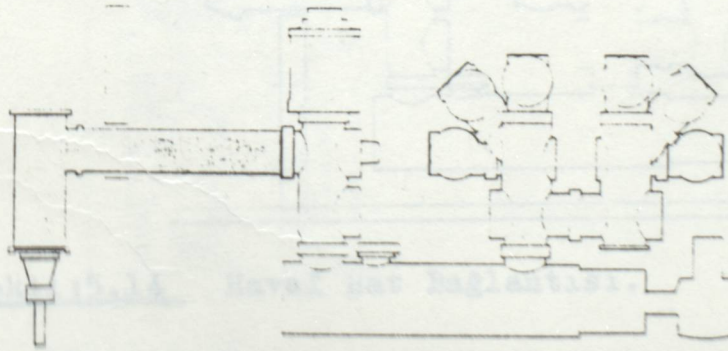
Kapasitif bir gerilim trafosunun kesiti.

(1) Yüksek gerilim kapasitesi, (2) Yüksek gerilim bağlantısı, (3) Bölme izolatörü, (4) Alçak gerilim kapasitesinin izolatörü ve bağlantısı, (5) Alçak gerilim kapasitesi için muhafaza.

Kablo başlığının yan desteği içinde kısa bir iletken ayrıca çifte bir kontak bağlantısı bulunur. Bu parçalar, yüksek gerilim denemesi sırasında tesisi ve kabloyu ayırmak için uzaklaştırılabilir. Kablo bağlantı gövdesine her çeşit konvansiyonel kablo bağlanabilir.

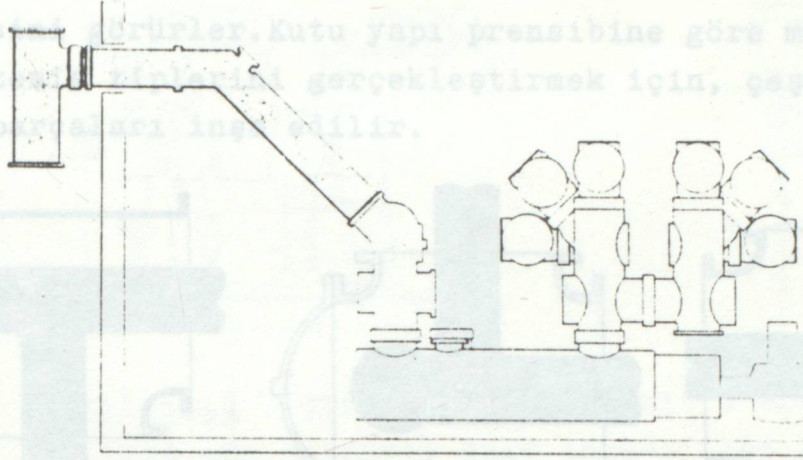
5.7.2. Transformator Bağlantısı:

Ekonomik tarzda, basit yapı birimiyle gerçekleştirilir. Kompansatörlerin ilavesiyle transformator titreşimlerinden tesis korunmuş olur.



Şekil:5.12 Kablo Bağlantısı.

Tesislerin müşterek yapısında aparatların bağlanması vazifesini görürler. Kutu yapı prensibine göre mümkün olan bütün tesisler gerçekleştirilmek için, çeşitli bağlantı parçaları inşa edilir.

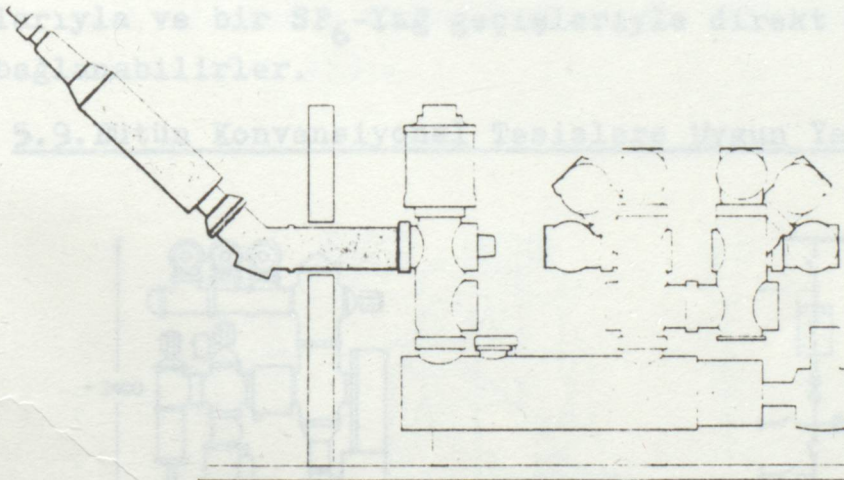


Şekil:5.13 Transformator Bağlantısı.

Yüksek gerilim denemesinde; başlık gövdesi içinde bir iletken parçasının demontajı ile tesis transformatörden ayrılır.

5.7.3. Havaf Hat Bağlantısı:

Bu bağlantı; havaf hat teçhizatından, 45° açılı bir gövdeden ve silindirik uzatma gövdesinden oluşur.

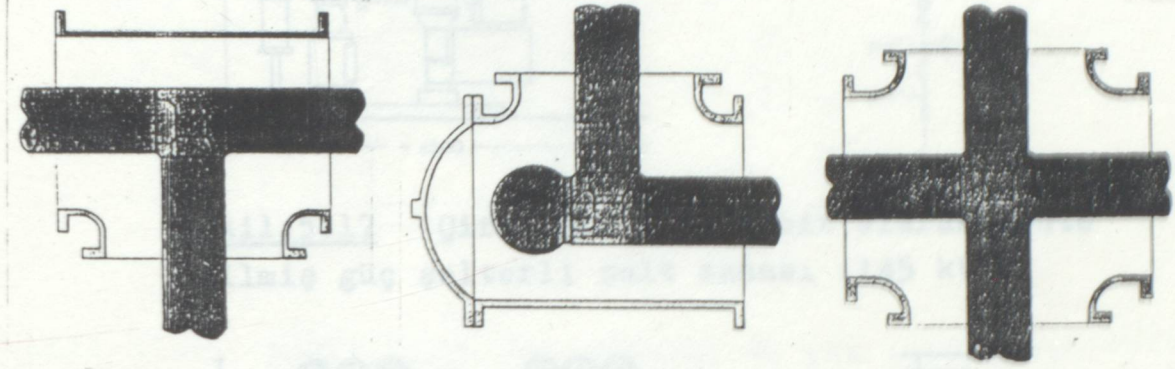


Şekil:5.14 Havaf Hat Bağlantısı.

Lüzumlu atlama uzunlukları, donanımların aynı tarzda aralarının açılmasıyla gerçekleştirilir.

5.8. Bağlantı Parçaları:

Tesislerin müşterek yapısında aparatların bağlanması vazifesini görürler. Kutu yapı prensibine göre mümkün olan bütün tesis tiplerini gerçekleştirmek için, çeşitli bağlantı parçaları inşa edilir.

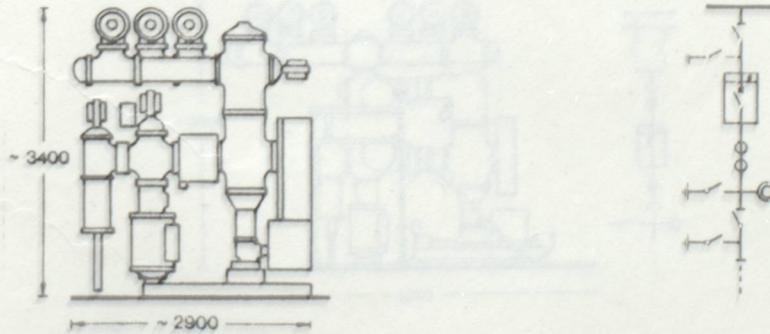


Şekil:5.15 Çeşitli Bağlantı Parçaları.

Bağlantı parçaları, kapsülleme bölümlerini hususî kısımlarla tamamlayan kapsülleme parçalarından oluşur. Bu hususî parçalar, bağlantı elemanlarını ve akım hatlarını ihtiva eder. İcabı halinde bu parçalar üzerine normal bölme izalatörleri yerleştirilebilir.

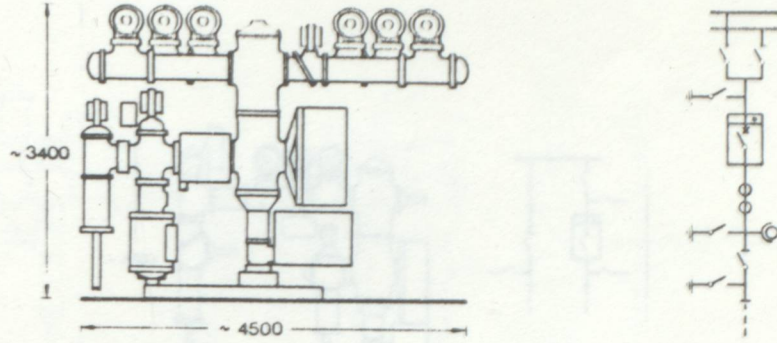
Transformatörler bir kutuplu kapsüllenmiş bağlantı parçalarıyla ve bir SF₆-Yağ geçişleriyle direkt olarak tesise bağlanabilirler.

5.9. Bütün Konvansiyonel Tesislere Uygun Yapı Biçimleri:

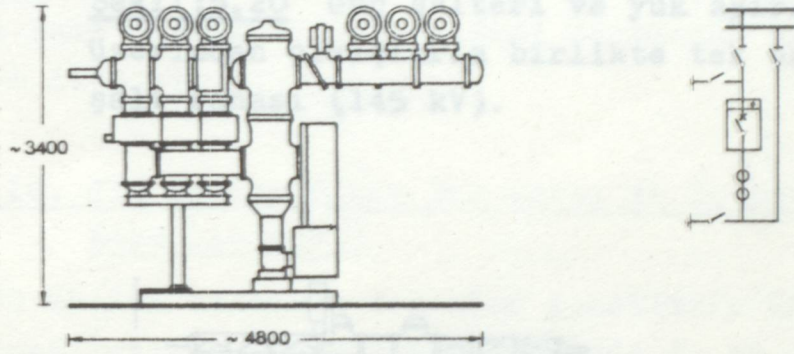


Şekil:5.16

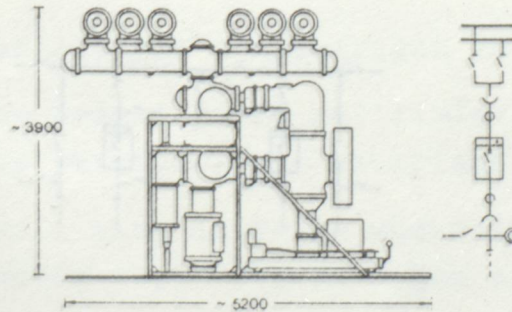
Tek baralı ve sabit olarak monte edilmiş güç şalterli şalt sahası (145 kV).



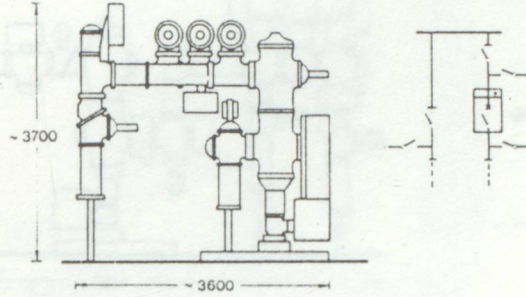
Şekil:5.17 Çift baralı ve sabit olarak monte edilmiş güç şalterli şalt sahası (145 kV).



Şekil:5.18 Sabit olarak yerleştirilmiş güç şalteri üzerinden enine bağlantılı çift baralı şalt sahası (145 kV) .



Şekil:5.19 Çift baralı ve taşınabilir güç şalterli şalt sahası.(145 kV)



Sekil:5.22
içindeki şalt
na ayırma

Şekil:5.20 Güç şalteri ve yük ayırıcısı üzerinden çıkışlarla birlikte tek baralı şalt sahası (145 kV).

5.10. 145 kV Geriliminde Tek Baralı Şalt Sahası İçindeki Kapalılar

300 kV'den itibaren şaltlar genellikle bir fazlı olarak kapsüllenir. Bu tür şaltlarda da üç fazlı kapsüllenme uygulanır. Şalt sahasında, üç faz birбору tarafından devrelenir.

5.10.1. Bir Fazlı Şalt Sahasının Fazlıları

Görülebilir dielektrik zorlanma, eş merkezli potansiyel yüzeyler,

Sadece faz gerilisiyle dielektrik zorlanması,

Gas izolasyonu sadece gerililerle sorlanır. Bu aşırı gerililerde akımdırlandırılabilir,

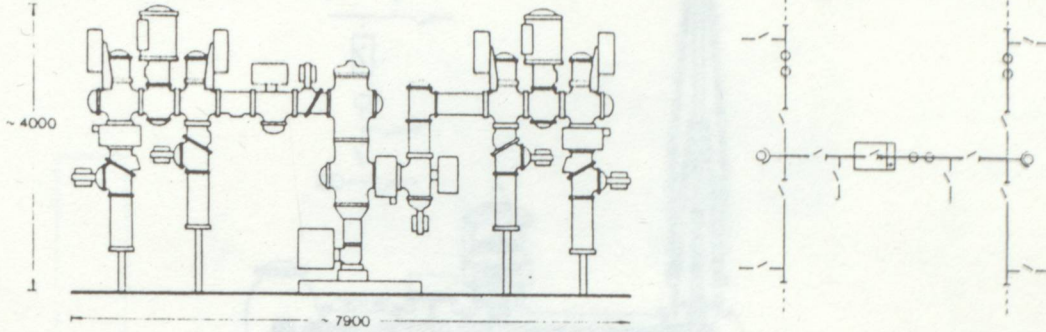
Sadece bir fazlı kısa devreler şunlardır. Topraklanma-
nın nisbeten küçük toprak değme akımları ortaya

çıkması

Şalt sahası
dibinde şalt
sahasında

Şekil:5.21

Şekil:5.20'e göre iki şalt sahasından oluşan H-bağlantı içindeki şalt tesisi ve yük ayırıcı şalterleri üzerinden uzunlamasına ayırma (145 kV).



Şekil:5.22 Dört yük ayırıcı şalter çıkışlı H-bağlantısı içindeki şalt tesisi ve güç şalteri üzerinden uzunlamasına ayırma (145 kV).

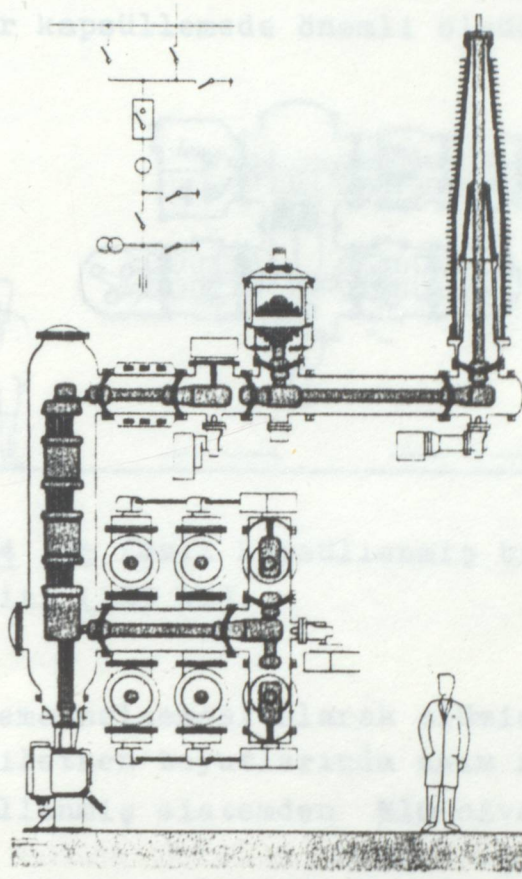
5.10. GIS Tesislerinin Bir Fazlı ve Üç Fazlı Olarak Kapsüllemesi:

300 kV'dan itibaren tesisler genellikle bir fazlı olarak kapsüllemişlerdir. Yüksek gerilimlerde de üç fazlı kapsülleme uygulamaları vardır. Üç fazlı kapsüllemelerde, üç faz bir boru tarafından çevrelenmiştir.

5.10.1. Bir Fazlı Kapsüllemenin Faydaları:

- Görülebilir dielektrik faktörler: Eş merkezli potansiyel yüzeyler,
- Sadece faz gerilimiyle dielektriğin zorlanması,
- Gaz izolasyonu sadece aşırı gerilimlerle zorlanır. Bu aşırı gerilimlerde parafudrlarla sınırlandırılabilir,
- Sadece bir fazlı kısa devreler mümkündür. Topraklanmış şebekede nisbeten küçük toprak değme akımları ortaya çıkar,
- Eğer kapsülleme ters (geri) akıma sebebiyet verirse, dinamik kuvvetlerin simetrlenmesi yani destekleyiciler az zorlanırlar,

Böylece ark tutuşmaları, bir fazlı kapsüllemeye nisbetle üç fazlı bir kapsüllemeye oranla azdır.



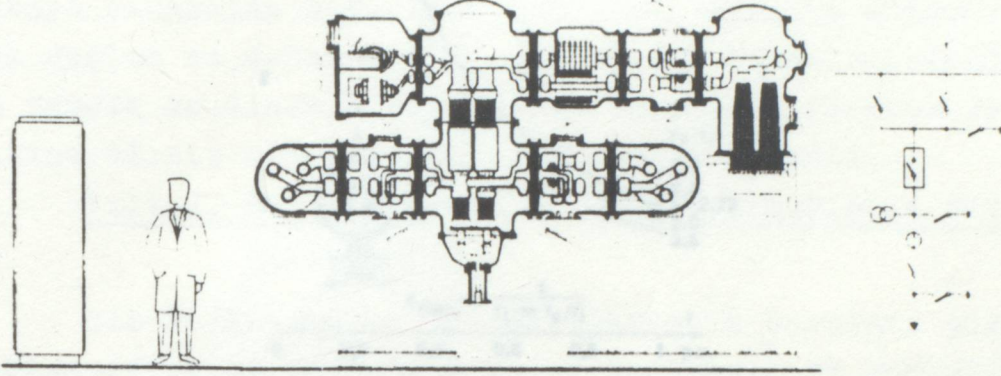
Şekil:5.23 Bir fazlı kapsüllemiş bir GIS Tesisinin şematik kesiti (550 kV).

- Bir dahili arıza esnasında, bir faz üstünde ve nisbeten küçük bir hacimde arızanın sınırlandırılması,
- Tesislerin teşkilinde yüksek fleksibilitet,
- Komponentlerin hafif olması,
- Kapsülleme malzemesi olarak alüminyum kullanımından dolayı, korozyona dayanıklılık.

5.10.2. Üç Fazlı Kapsüllemenin Faydaları:

- Kapsülleme malzemesi olarak çelik kullanılabilir,
- Çelik, elektrodların aynı geometrik tertibinde (yani iç iletken ve kapsülleme) aynı kalınlıklarda, alüminyumdan daha büyük bir ark tutuşma zamanına sahiptir.

Böylece ark tutuşmaları, bir fazlı kapsüllemeye nisbetle üç fazlı bir kapsüllemeye önemli ölçüde azaltılmıştır.



Sekil:5.24 Üç fazlı kapsüllemiş bir GIS Tesisinin şematik kesiti (145 kV).

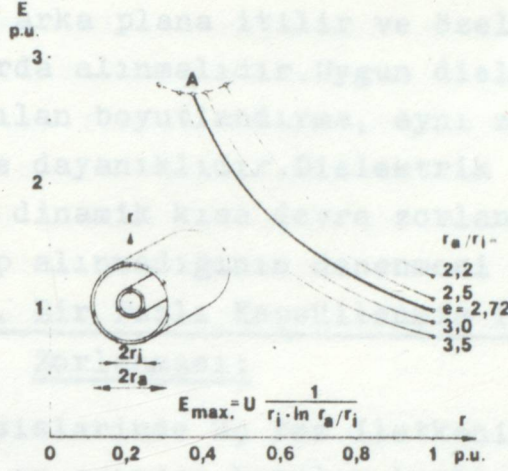
— Kapsülleme malzemesi olarak alüminyum kullanılmasıyla ve aynı iletken boyutlarında akım ısı kayıpları, bir fazlı kapsüllemiş sistemden %10 civarında daha azdır.

5.11. GIS Tesislerinde Termik ve Dinamik Kısa Devre Zorlanmaları:

5.11.1. Boyutlandırma İçin Ana Parametre:

Dielektrik zorlanma asıl boyutlandırma büyüklüklerini ifade eder. İletken ve kapsülleme arasındaki serbest gaz hatında maksimum uygun alan şiddetine ve belirli bir nominal gerilim için talep edilen darbe gerilim seviyesine uygun olarak gerilimli parçalar ve topraklanmış kapsülleme arasında asgari açıklıklar ortaya çıkmaktadır.

Koaksiyal silindir elektrodlu bir fazlı kapsüllemiş tertiblerde en yüksek alan şiddeti (en büyük dielektrik zorlanma) iç iletkenin dış yüzeyinde olur. Şekil:5.25, kapsülün iç çapı ile elektrodlar arasındaki sabit gerilim farkında çeşitli yarıçap oranları için (r_a / r_i) eş merkezli silindireler arasındaki alan şiddeti değişimini göstermektedir. İç iletkendeki en az alan şiddeti, yarıçap oranı $r_a/r_i = e = 2,718$ (A noktası) olması halinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil:5.25 Çeşitli yarıçap oranları için (r_a/r_i) , eş merkezli silindireler arasındaki $(r_a = 1 \text{ p.u.} = \text{sabit})$ alan şiddeti dağılımı.

En az gerilim zorlanması için minimum (kesikli çizgilerle belirtilen eğrinin gösterdiği gibi) fazla belirgin değildir. Bu yüzden ideal yarıçap oranından (e) belirli bir ayrılma en azından $2,5 \leq r_a/r_i \leq 3,0$ sahasında pek az bir bozulmaya sebebiyet verir. Böylece konstruksiyoncuya iletken ve kapsül çapı seçiminde belirli bir esneklik sağlar.

İstenen darbe gerilim seviyesi ve önerilen bir SF_6 gaz basıncında maksimum uygun alan şiddeti, seçilen yarıçap oranı için ve bir emniyet faktörüne dikkat edilmesiyle birlikte her iki eş merkezli boru arasındaki gerekli açıklık bulunabilir.

100 kV'dan 800 kV'a kadar ki nominal gerilim sahası için 120 mm'den 220 mm'e kadar iç iletken çapları ve 310 mm'den 630 mm'e kadar kapsülleme boru çapları mevcuttur. Dayanıklılık sebeplerinden dolayı bu boruların kalınlıkları 5 mm'i geçmez. Ayrıca zorunlu olarak $2000 \text{ mm}^2 - 10000 \text{ mm}^2$ 'lik iletken kesitleri vardır, ki bunlar benzeri havaf hat iletken kesitlerinin önemli ölçüde üzerindedir.

Bir fazlı tertiblerde aynı şekilde akım geçiren boruların (kapsülleme) kesitleri yaklaşık (e) faktörü civa-

rında bulunur. Böylece GIS-Tesislerinde ısınma problemi zorunlu olarak arka plana itilir ve özel tedbirler sadece hususi durumlarda alınmalıdır. Uygun dielektrik zorlanmadan ortaya çıkarılan boyutlandırma, aynı zamanda mekanik olarak çok sağlam ve dayanıklıdır. Dielektrik boyutlandırmadan sonra termik ve dinamik kısa devre zorlanmalarında kontrol altına alınıp alınmadığının denenmesi gerekir.

5.11.2. Bir Fazlı Kapsüllenmiş Tertiblerin Dinamik Zorlanması:

GIS-Tesislerinde üç faz iletkenin boruları birbirine bağlanmış ve en azından borular başlangıç ve sonlarında galvanik olarak birbirine temas ettikleri için, borular içinde uzunlamasına akımlar endüklenir, ki bu akımlar iletken akımları gibi pratikte aynı büyüklükte, fakat zıt olarak yönlendirilmişlerdir. Kapsül ve iletken akımlarından ortaya çıkan kuvvet tesirleri silindirik şeklindeki simetrik tertiblerden dolayı karşılıklı ortadan kalkar, bu yüzden bir fazlı kapsüllenmiş tertibler bir kısa devre esnasında dahi pratik olarak zorlanmazlar.

5.11.3. Üç Fazlı Kapsüllenmiş Tertiblerin Dinamik Zorlanması:

Eşit kenarlı üçgen içinde yerleştirilmiş iletkenler arasında zamana bağlı olarak, üç faz akımının hususi iletkenler içinde akan moment değerlerinden ileri gelen kuvvetler etki eder ve bunlar basitçe hesaplanabilir. İki iletken için:

$$F \left[\frac{N}{m} \right] = \frac{\mu_0}{2\pi} i_1 i_2 \frac{l}{a} = 0,2 i_1 i_2 \frac{l}{a}$$

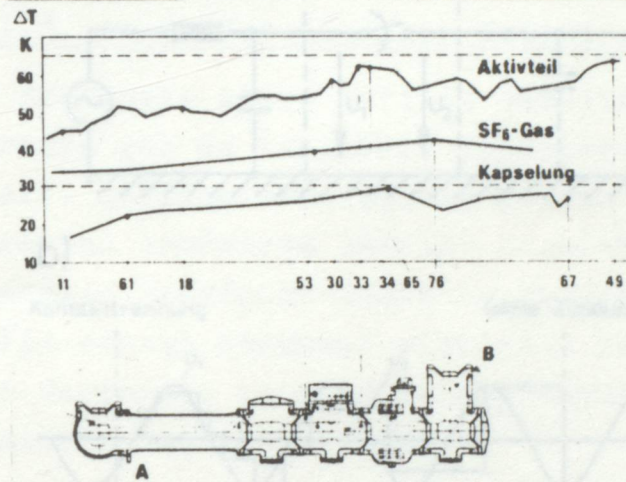
(a= iki iletken arası mesafe, l= Mesnet uzaklığı)

Üçüncü iletkenin ileri gelen kuvvetlerde uygun olarak hesaplanabilir ve bileşke kuvvet için geometrik bir toplam ile birleştirilir.

5.11.4. Termik Zorlanma:

Devamlı işletme esnasındaki nominal akımdan ileri ge-

len ısınma; SF_6 içinde iyi ısı transferinden dolayı ve büyük alüminyum kesitler sayesinde az kayıp güçten dolayı , problem değildir. Oksijen maddesinin mevcut olmaması sayesinde sıcak kontak teması mümkün değildir. Aynı miktarda ve aynı zamanda olmayan termik genişmeden dolayı hem kılıf boru için hemde iletkenler için genişleme parçaları lazımdır. Şekil:5.26 , bir GIS-Tesisinin hususi bileşenleri için 3150 A'lık nominal akımda ısınma profilini göstermektedir.



Şekil:5.26 Bir GIS-Tesisinin ısınma profili.

GIS-Tesislerinin, kapsül ve iletkenlerinin çap ve kesitleri dielektrik ve imalat sebeplerinden dolayı, termik ve dinamik kısa devre zorlanmaları umumiyetle hususi ve ilave tedbirler olmaksızın kontrol altına alınacak kadar büyük boyutlandırılırlar.

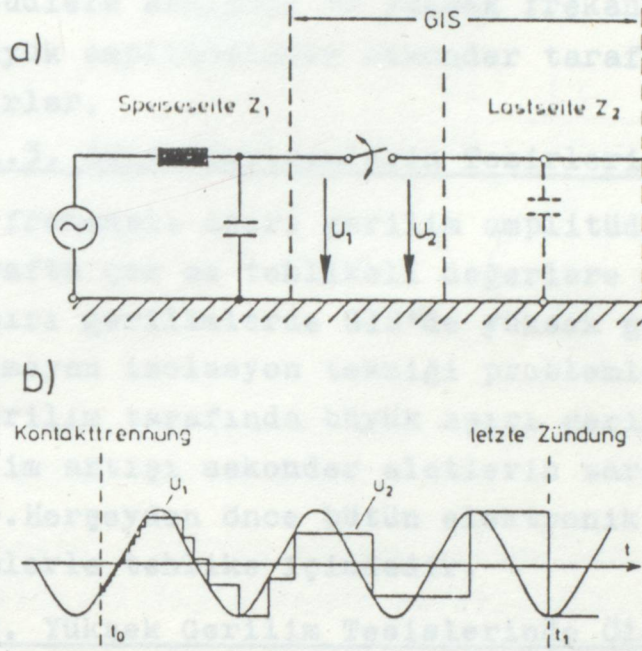
5.12. GIS-Tesislerinde Geçici Aşırı Gerilimler:

Geçici aşırı gerilimlerin değişimi tam olarak hem primer hemde sekonder tarafta, ne önceden tahmin edilir nede modeller ile belirlenebilir. Aşırı gerilimin büyüklüğü ve çeşidi için primer ve sekonder tarafta bir seri ölçümler yapmak gereklidir.

5.12.1. GIS-Tesislerinde Aşırı Gerilimlerin Ortaya Çıkması, Yayılması ve Tesirleri:

5.12.1.1. Ayırıcı Bağlantılar:

Ayırıcılar nisbeten yavaş şalterlenen aletlerdir, bu yüzden boştaki parçaların kapatılıp açılmasında (özellikle kapasitif yüklerde) ön veya geri tutuşmalar ortaya çıkar. Şekil:5.27'de açma olayının esas değişimi ifade edilmiştir.



Şekil:5.27 GIS'de boşta duran iletken bölümlerinin ayrılması sırasında dengeleme olaylarının esas değişimi.

a) Bağlantı Şeması

Z_1 , Z_2 Besleme ve Yük tarafının karakteristik empedansı ,

t_0 Kontak ayırma başlangıcı,

t_1 Son tutuşma ,

b) Besleme ve Yük tarafının gerilim değişimi.

Geri ateşleme sırasındaki ayırma, GIS'de elektronegatif izole edici gaz sebebiyle birkaç (ns) içinde yapılır. Işık arkı direncide düşük değerlere ulaşır. Bu suretle sebebiyet verilen yürüyen dalga olayları kompakt GIS içinde ns-mertebesinde dengeleme olaylarını ortaya çıkarır. Bu tür dengeleme olaylarının üst üste bindirilmesiyle ve artan salınımlarla tesis içinde pratikte ölçülen kompleks gerilim

değişimleri ortaya çıkar.

5.12.1.2. Dengeleme Olaylarının Yayılması:

Alçak frekanslı dengeleme olayları hemen hemen yalnızca trafolar üzerinden elektrik tesislerinin sekonder tarafına taşınırlar. Yüksek frekanstaki dengeleme olayları mühim amplitüdlere sahiptir ve yüksek frekanslar önemli ölçüde daha büyük amplitüdlere sekonder tarafa kapasitif olarak taşınırlar.

5.12.1.3. Aşırı Gerilimlerin Tesirleri:

Alçak frekanslı aşırı gerilim amplitüdlere, primer ve sekonder tarafta çok az tehlikeli değerlere ulaşır. Yüksek frekanslı aşırı gerilimlerde GIS'de yüksek gerilim tarafında önemli olmayan izolasyon tekniği problemleri ortaya çıkar. Alçak gerilim tarafında büyük aşırı gerilim seviyesi ve dik gerilim artışı sekonder aletlerin zarar görmesine yol açabilir. Herşeyden önce bütün elektronik tesisatlar aşırı gerilimlerle tehlike içindedir.

5.12.2. Yüksek Gerilim Tesislerinde Ölçümler:

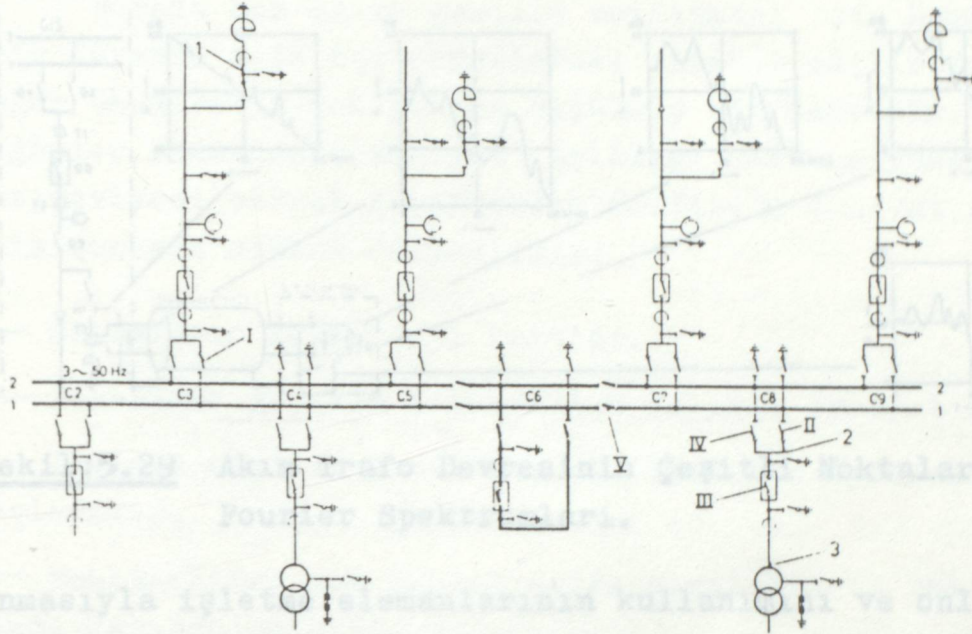
5.12.2.1. 380 kV'luk Bir GIS-Tesisinin Yüksek Gerilim Tarafında Geçici Olaylar:

Güney Viyana'daki 380 kV'luk GIS-Tesisinde; şalt hareketleri esnasında gerilim değişimini ve direkt olarak işletme elemanlarına ait Yağ-SF₆ donanımlarından önce tesbit etmek için, üç yerde kapasitif gerilim bölücü monte edilmiştir. (1) ölçme noktası bobin donanımında, (2) noktası II bara ayırıcısının yakınında, (3) noktası trafo yakınındadır.

Toplam Ölçme Serisinin Sonuçları:

(1) Yeter derecede emniyetli nominal baz gerilimi tarafından sınırlanan en yüksek gerilim zorlanmaları (1,7pu), kHz-Mer-tebesinde güç şalterleriyle trafonun devreye konması sırasında ortaya çıkmıştır.

(2) Uygun olmayan şalterlemeler için, 0,5pu'de 13ns'lik ve uygun şalterlemelerde 0,3pu'de 25ns'lik en kısa alın zamanları elde edilmiştir.



Şekil:5.28 Şalt yerleri ve ölçme noktalarıyla birlikte 380 kV'luk Güney Viyana GIS-Tesisini.

Bu neticeler, GIS'in toplam sisteminin, direkt bağlanmış işletme elemanlarıyla doğru boyutlandırıldığını göstermektedir.

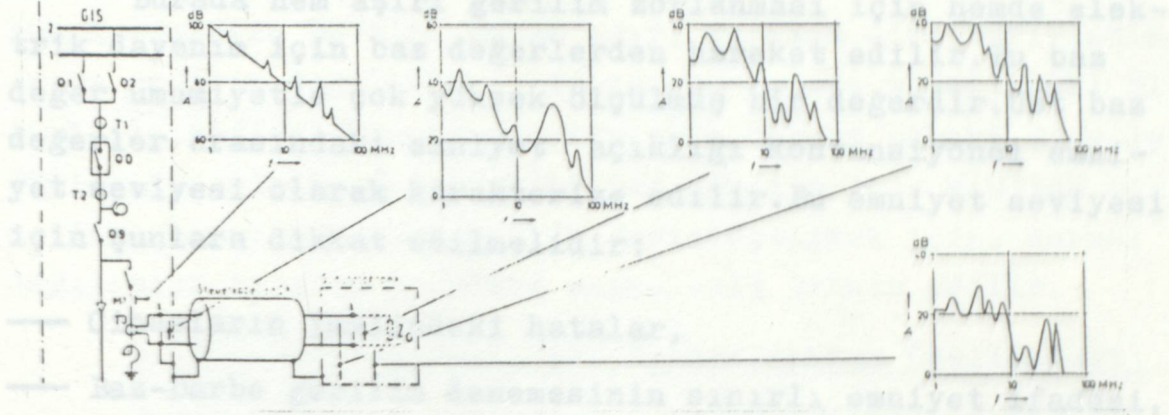
5.12.2.2. Yüksek Gerilim İletkeninden Kumanda Dolabına Kadar Bir GIS'in Geçici Gerilimleri:

Çıkış ayırıcılı bir şalterlemede yüksek gerilim iletkeninden sekonder aletler üzerine bağlantı mekanizmalarını daha yakından araştırmak için bir kablo sahasında ölçümler yapılır. Özel ölçme yerleri (kapasitif ölçme plakası, akım trafosu sekonder klemensleri, koruma dolabı gibi) ve onlara ait ölçme sonuçları Şekil:5.29'da gösterilmiştir.

Burada primer parazit (bozucu) sinyalin akım trafosundan geçerken zayıflaması yaklaşık 50 dB'dir. Akım trafosundaki sinyale nisbetle kumanda dolabındaki sinyal 10 dB civarında zayıflamaktadır.

5.13. GIS-Tesislerinin Aşırı Gerilime Karşı Korunması ve İzolasyon Koordinasyonu:

İzolasyon koordinasyonu; işletme elemanının öngörüldüğü bir şebekede ortaya çıkabilen gerilimlerin dikkate a-



Şekil:5.29 Akım Trafo Devresinin Çeşitli Noktalarında Fourier Spektrumları.

linmasıyla işletme elemanlarının kullanımını ve onların izolasyon seviyesinin seçimini kapsar. Mevcut aşırı gerilim koruma teçhizatlarının özellikleri ve ortaya çıkan aşırı gerilim zorlanmaları; bir işletme elemanındaki izolasyonun zarar ihtimalini veya işletmenin kesilmesini ekonomik ve işletmeye uygun kabul edilebilir bir miktara indirecek şekilde seçilir.

5.13.1. İzolasyon Koordinasyonu İçin Önemli Kriterler:

- İşletme elemanlarının elektrik dayanımı,
- Aşırı gerilim zorlanmaları,
- Aşırı gerilim koruma seviyesi,
- Aşırı gerilimlere karşı istenen emniyetin derecesi.

Nominal izolasyon seviyesinin tesbiti için sonuç büyüklük; geçici gerilim yükselmesidir. Gözönüne alınması gereken geçici gerilim yükselmesinin maksimum değeri konvansiyonel yapı tarzının aşırı gerilim parafudrlarının sönme gerilimi veya metal oksid parafudrların termik uygun ölçülendirilmesi tesbit eder. Nominal izolasyon seviyesi, koruma seviyesi üzerinde belirli bir emniyet marjında seçilir.

5.13.2. Konvansiyonel İzolasyon Boyutlandırılması ve Emniyet Seviyesi:

Burada hem aşırı gerilim zorlanması için hemde elektrik dayanım için baz değerlerden hareket edilir. Bu baz değer umumiyetle çok yüksek ölçülmüş bir değerdir. Üst baz değerler arasındaki emniyet açıklığı konvansiyonel emniyet seviyesi olarak karakterize edilir. Bu emniyet seviyesi için şunlara dikkat edilmelidir:

- Cihazların imalindeki hatalar,
- Baz-Darbe gerilim denemesinin sınırlı emniyet ifadesi,
- Tesisin çeşidi, paralel izole hattının aynı zamanda zorlanması,
- Beklenebilen çok yüksek aşırı gerilimlerin belirlenmesinde yapılan hatalar.

72,5 kV'dan 525 kV'a kadar olan tesislerde emniyet seviyesi şimşek darbe gerilimi için 1,4'den 1,6 kadar ki değerlerde; şalt darbe gerilimi için 1,15'den 1,25'li değerlerde bulunur.

İşletme elemanı için en yüksek gerilim U_m (Efektif) kV	Kesme Gerilimi U_1 (Efektif) kV	Koruma Seviyesi (Tepe Değerler) Şimşek		Nominal İzolasyon Seviyesi (Tepe Değerler) Şimşek		Konvansiyonel emniyet seviyesi	
		U_{s8} kV	U_{s5} kV	U_{s8} kV	U_{s5} kV	Şimşek	Şalt
72,5	72	205	-	325	-	1,58	-
123	132	350	-	550	-	1,57	-
245	264	690	-	950	-	1,37	-
	288	750	-	1050	-	1,40	-
420	360	900	850	1425	1050	1,58	1,23
	408	1020	950	1425	1175	1,39	1,24
525	432	975	950	1550	1175	1,59	1,24
	444	1020	1000	1550	1175	1,52	1,17

Sekil:5.30 $U_m=72,5$ kV- 525 kV sahasında konvansiyonel emniyet seviyesi.

5.13.3. İzolasyon Koordinasyonunun İstatistikî

Kullanımı:

Aşırı gerilim ve dielektrik dayanım olasılık dağılımı

olarak ifade edilir. İstatistikî aşırı gerilim olarak; bütün durumların %2'sini geçen aşırı gerilim diye tariflenir. Aşırı gerilim dağılımları, transient şebeke modelindeki ölçümlerle, dijital hesaplamalarla veya direkt şebeke ölçümleriyle elde edilir. İstatistikî baz gerilim için %10'luk bir delinme olasılığı farz edilir. Basitleştirmek için, normal dağılımlar bilinen standard sapmalarla tahmin edilir.

5.13.4. SF₆-Basınçlı Gaz İzolasyonunun Özellikleri:

Basınçlı gaz izolasyonunun boyutlandırılmasında çoğunlukla şimşek darbe gerilimi kesin neticeyi temin eder. İlave olarak tesir eden parametrelerin, yani dış yüzey oranları, pislenme ölçüsü ayrıca artan basınç ve daha büyük ölçülerle azalan yüzey-hacim etkisinin göz önüne alınması gerekir.

Destekleme yapı elemanları olarak tahrik kuvvetlerinin taşınması ayrıca SF₆ hacimlerinin bölmelendirilmesi için lüzumlu sert yapıllı izolatörlerin, hem kısa süreli deneme gerilimleri için hemde devamlı işletme kabiliyeti bakımından seçilmesi gerekmektedir. Kısa zamanlı nominal baz gerilimlerle devamlı işletme gerilimleri arasındaki oran daima daha küçük olduğu için; bu durum artan ölçüde daha yüksek işletme gerilimleri içinde geçerlidir.

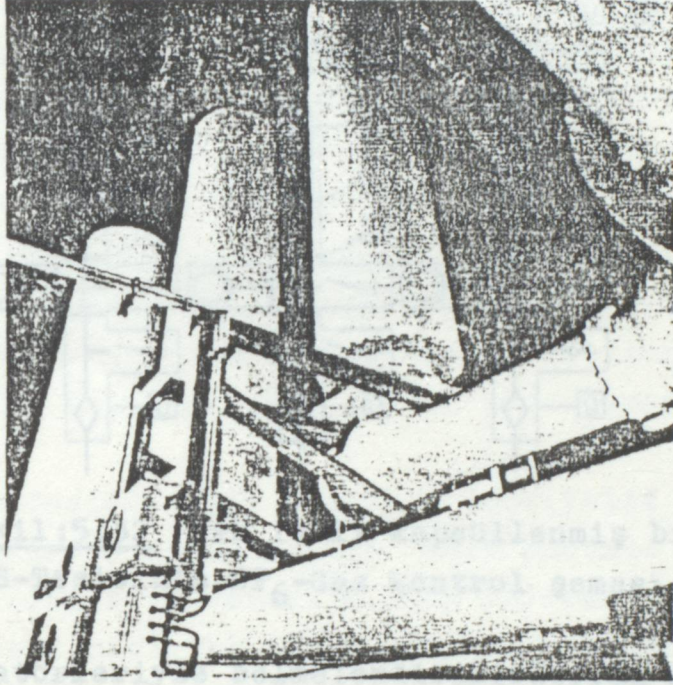
5.13.5. Aşırı Gerilim Koruması İçin Tedbirler:

GIS-Tesislerinin çok yüksek aşırı gerilimlere karşı parafudrlar ile korunması gerekir. U_m =123-245 kV için havaf hat bağlantılı daha küçük tesislerde ziyade geçiş yerlerinde havaf hat yapı tarzında parafudrlar yeterlidir. Büyük tesisler, tercihan U_m=420 kV ve daha yüksek gerilimler için, transformatörlerde veya diğer yerlerde metal kapsüllü teçhizat içinde ilave entegre edilmiş parafudrlar gereklidir.

Bunun dışında aşağıdaki parametreleri göz önünde bulundurmak gereklidir:

— Kablonun veya boru hattının uzunluğu,

- Havaî hat-Kablo veya boru hattının karakteristik empedans faktörü,
- Tesisin nominal baz şimşek darbe gerilimi,
- Aşırı gerilimin yüksekliği ve biçimi ,
- Yürüyen dalgaların yansıma noktaları.

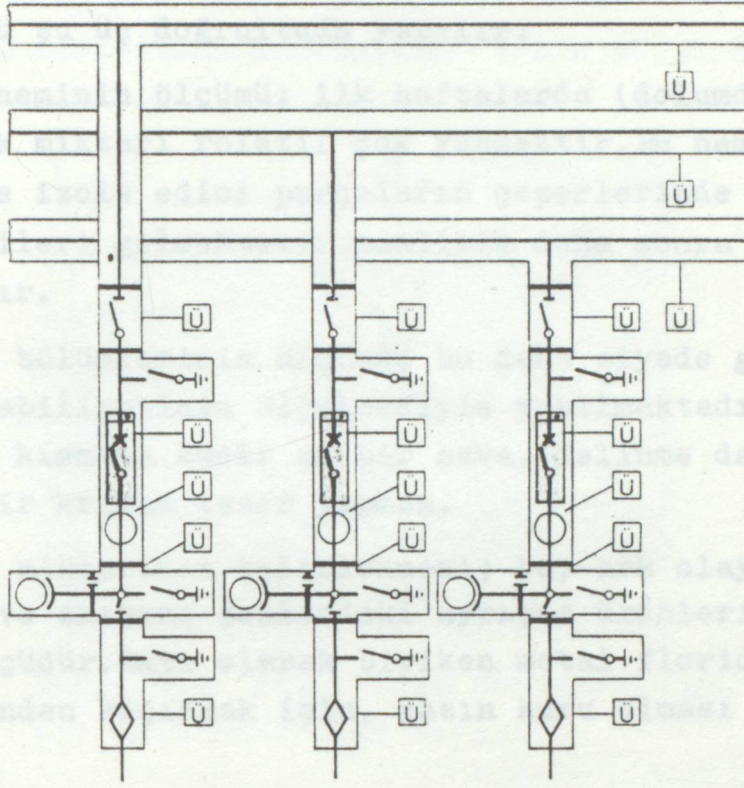


Şekil:5.31 420 kV'luk SF₆-Boru iletimli enerji taşıma sisteminde kapsüllenmiş bir aşırı gerilim parafudru.

5.14. GIS-Tesislerinde SF₆-Gaz Kontrolü:

SF₆ izoleli şalt tesislerinin gaz yoğunluğu için çeşitli tedbirlerin birleştirilmesi gerekmektedir. Meselâ, Alüminyum döküm tekniğinin iyileştirilmesi, kapsülleme yapı parçalarına şekil verme işlemi esnasında hususî imalat ve tamamlayıcı metodların kullanılması gibi. Bu yüzden, lüzumlu işletme basıncında SF₆ ile bir defalık doldurmadan sonra uzun yıllar bakıma ihtiyaç duymayan tesislerin inşası mümkündür.

Bir kutuplu kapsüllenmiş izole edici gaz hacimleri ayırıcı şalterlerin ve yük ayırıcı şalterlerin disk şeklin-



Şekil:5.32 Tek fazlı kapsüllenmiş bir GIS-Tesisinin SF₆-Gaz kontrol şeması.

deki izalatörleriyle bolmelendirilirler. Bu suretle, meselâ güç şalterindeki çalışmalar esnasında, tertib edilen barayırıcı şalterindeki izolasyon muhafaza edilebilmektedir.

Gaz hacimleri gaz yoğunluk ölçücü cihazlarla monte edilmiş birimlerle kontrol edilir. Ku manda dolaplarında ışık diodlu elektronik soket kartlar vardır. Bu diodlar ilgili kontrol biriminin cevabını optik olarak gösterirler. Kontrol birimleri iki değişik şalt fonksiyonuyla teçhiz edilirler. Meselâ izolasyon gazının azalması ve/veya basınç artışı esnasında alarm sistemleri mevcuttur. Ayrıca güç şalteri kesme hücrelerinde de bir yoğunluk kontrol cihazı vardır.

5.15. GIS-Tesislerinde Hususî Problemler:

Bir GIS-Tesisinin işletme emniyeti şüphesiz izole edici gazın kalitesiyle ve gerekli basıncın muhafaza edil-

mesiyle yakından ilişkilidir. Tesisin gaz dolumundan sonra kontrolü şu üç doğrultuda yapılır:

a) Gaz neminin ölçümü; ilk haftalarda (dolumdan sonra) nemlilik miktarı relatif çok yüksektir. Bu nemlilik, metalik ve izole edici parçaların çeperlerinde artık ıslaklıktan ileri gelmektedir. Nemlilik daha sonra yıllarca sabit kalır.

b) Hava bölümlerinin ölçümü; bu daha ziyade gazın ısı iletim kabiliyetinin ölçülmesiyle yapılmaktadır. Hacmin %10 luk bir kısmına kadar az bir hava, delinme dayanımı üzerine hiçbir kritik tesir yapmaz.

c) Asit miktarının belirlenmesi; bu, ark olaylarından sonra gaz ve akışkan şeklindeki ayrışma ürünlerinin miktarı için ölçüdür. Katı olarak biriken metal floridin elektrolitleşmesinden kaçınmak için, gazın kuru olması büyük önem taşır.

GIS-Tesislerinde pratikte umumiyetle ark arızaları ortaya çıkar. Bu arızalar SF6 dolu hacimde kuvvetli basınç artışına sebebiyet verirler. Bunu önlemek için, bu tür arızalar modern, hızlı ve 100ms altında devreye girme zamanına sahip topraklayıcılarla kısa devre edilmelidir. Eğer bu tür bir korumada bir aksaklık veya bir gecikme olursa tesis iki bakımdan kritik bir noktaya gelir:

İlk önce tehlikeli boyutlarda basınç artışı elde edilir ve ikinci olarak ark kapsüllemeye kuvvetli lokal ısınmaya sebebiyet verir. Burada kapsülleme malzemesinin birleşme yerine dikkat edilmelidir. Hafif metalli kapsüllemeler, arzu edilen basınç deşarjına müsade ederler. Çelik saçlı kapsüllemelerde deşarj diyaframları kullanmak zorunludur.

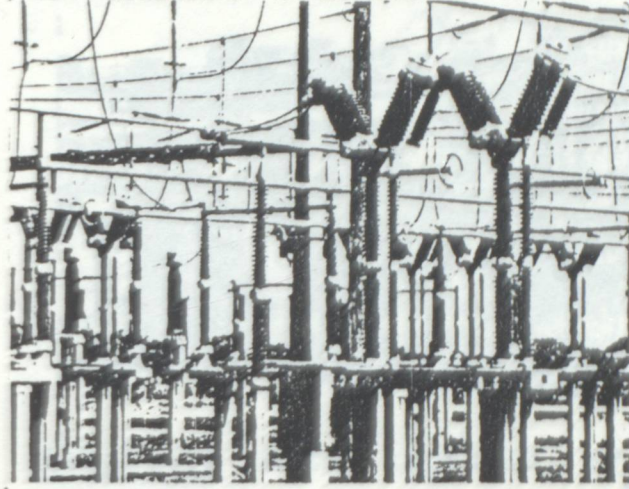
Çoğu kere belirli yerlerde uygun olarak daha zayıf boyutlandırılmış bölme izalatörleri kullanılır. Bunlar aşırı basınçta kırılırlar ve aşırı basıncı daha kolay karşılayabilen daha büyük bir gaz hacmini oluştururlar.

6. Konvansiyonel ve GIS Tesislerinin İzolasyon

Kıyaslamaları:

6.1. Konvansiyonel Tesislerin İzolasyonu:

c) Hav Bu tesislerin izolasyonu, izole edici maddelerin üç ana grubundan müteşekkildir.



Şekil:6.1 245 kV'luk konvansiyonel bir açık hava şalt tesisi.

a) En önemli izolasyon malzemesi atmosferdir. Tesislerin dış izolasyonunu teşkil eder.

b) Katı izole maddeler, gerilimli parçalar arasındaki mesafeyi açarlar ve aparatlara mekanik dayanım verirler veya iç izolasyonun kuvvetlendirilmesini sağlarlar.

c) Gaz şeklinde, akışkan veya nadir durumlarda katı izole maddeler dahi iç izolasyonu teşkil ederler.

Konvansiyonel tesislerin tipik bir özelliği, işletme içinde bulunan aletlere veya tesis parçalarına dokunulamamasıdır.

6.2. GIS Tesislerinin İzolasyonu:

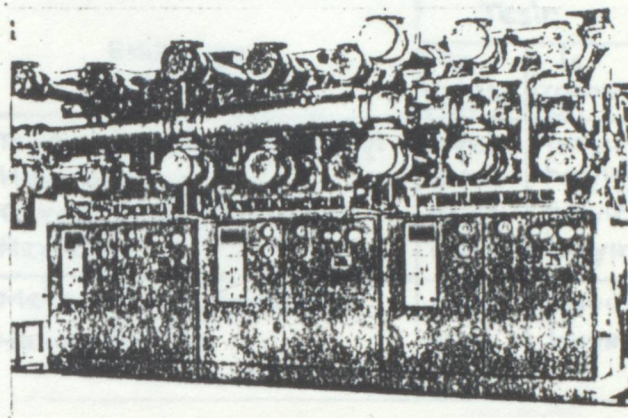
Bu tesislerde de, izole edici maddelerin üç karakteristik grubu vardır:

a) En önemli izole edici malzeme basınçlı SF₆ gazıdır. İç izolasyonun ana kısmını teşkil eder.

b) Katı izolasyon bakımından; relatif az bir kısım, gaz hacimlerinin ayrılmasına ve gerilimli parçaların mesafelen-

dirilmesine yarar.

c) Hava dış izolasyonu teşkil eder. O, ancak sadece SF₆-Hava geçişlerinde rol oynar.



Şekil:6.2 Metal kapsüllü, SF₆ izoleli 123-245 kV'luk bir şalt tesisi.

Bu tür tesislerin boyutlandırılması SF₆-Gaz izolasyonunun izole edici kabiliyetine bağlıdır. Bütün tesisin gerilimli parçaları topraklanmış gövdede inşa edildiği için tesis parçalarına dokunulabilir (SF₆-Hava geçişleri hariç).

6.3. Her İki İzolasyon Sisteminin Kıyaslanması:

Konvansiyonel ve SF₆ izoleli yüksek gerilim tesislerinin izolasyonu arasındaki esas fark; iç izolasyonun, dış izolasyona etkisi nisbetinde bulunmaktadır. Konvansiyonel tesislerde dış izolasyon kesin bir rol oynamasına karşılık, GIS tesisleri pratikte sadece iç izolasyona sahiptir.

6.3.1. İç ve Dış İzolasyon Arasında Kıyaslama:

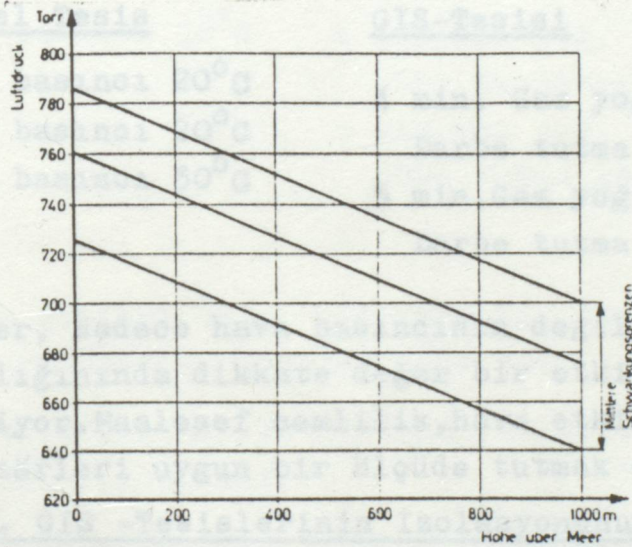
İç ve dış izolasyondaki esas farkı Şekil:6.3 göstermektedir. Dış izolasyonun çevre faktörleriyle etkilendiği, buna karşılık iç izolasyonun çevre ile hiçbir tesir altında kalmadığı görülmektedir. Dış izolasyonun tesbiti için, denemeler sırasında çevre şartlarının çok iyi taklit edilmesi gerekmektedir. İç izolasyonun dielektrik dayanımı her şeyden önce izole edici malzemeye ve elektrodların biçimine bağlıdır. Örneğin 245 kV'luk bir izolasyonla; montaj yerinin

deniz seviyesinden yüksekliğinin ,hava basıncının ve çevre sıcaklığının dış izolasyon seviyesine nasıl tesir ettiğini gösterelim.

Etkilenme Faktörü	Tesir	
	Dış izolasyon	İç izolasyon
Tesisin denizden yüksekliği	evet	hayır
Hava basıncı	evet	hayır
Çevre sıcaklığı	evet	hayır
Nemlilik	evet	hayır
Meteorolojik şartlar	evet	hayır
Hava kirliliği	evet	hayır

Şekil:6.3 İç ve Dış izolasyonun etkilenmesi.

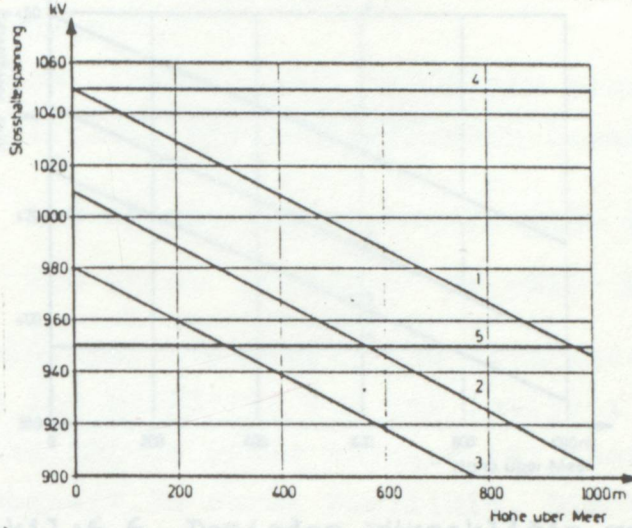
İlk önce Şekil:6.4'de denizden yüksekliğin fonksiyonu olarak hava basıncının ortalama farklılık sınırları 20°C'de ifade edilmiştir.



Şekil:6.4 Deniz seviyesinden itibaren hava basıncının farklılık sınırları.

Şekil:6.5'de darbe tutma gerilimi için gerekli durum gösterilmiştir. Eğriler ; m³ başına llgr. su ihtivalı normal hava nemliliğindeki bir atmosferde kuru, temiz bir izo-

lasyonu karakterize etmektedir.



Şekil:6.5 Denizden yüksekliğin ve çevre sıcaklığının fonksiyonu olarak; konvansiyonel ve SF₆ izoleli yüksek gerilim şalt tesislerinin darbe tutma geriliminin kıyaslanması.

Konvansiyonel Tesis

- 1 ort.hava basıncı 20°C
- 2 min.hava basıncı 20°C
- 3 min.hava basıncı 30°C

GIS-Tesisi

- 4 min. Gaz yoğ. 40°C
Darbe tutma gerilimi 1050 kV
- 5 min.Gaz yoğ. 40°C
Darbe tutma gerilimi 950 kV

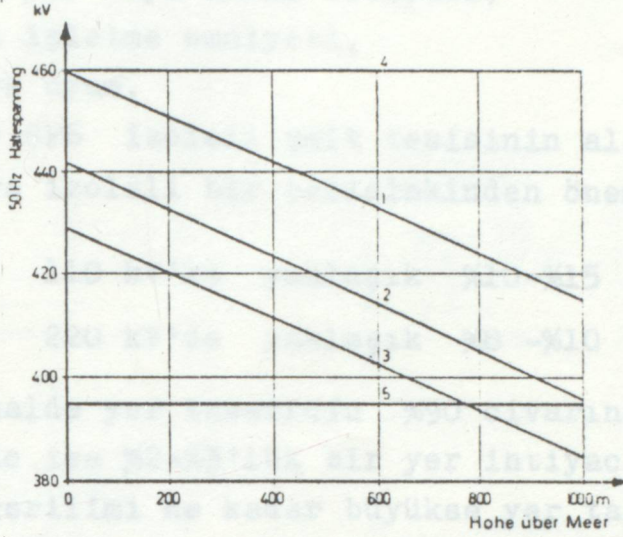
Eğriler, sadece hava basıncının değil, aynı zamanda çevre sıcaklığında dikkate değer bir etkiye sahip olduğunu gösteriyor. Maalesef nemlilik, hava etkileri ve kirlenme gibi faktörleri uygun bir ölçüde tutmak çok zordur.

6.3.2. GIS -Tesislerinin İzolasyonunun Hususi

Özellikleri:

Şu şekilde özetlenebilir:

- GIS-Tesislerinin boyutlandırılmasında mümkün mertebe iç kirlenmede gözönünde bulundurulmak zorundadır,
- SF₆ izolasyonunun elverişli eskime davranışı,



Şekil:6.6 Denizden yüksekliğin ve çevre sıcaklığının fonksiyonu olarak; konvansiyonel ve SF₆ izoleli yüksek gerilim tesislerinin 50Hz-Tutma geriliminin kıyaslanması.

Konvansiyonel Tesis

- 1 ort. hava basıncı 20°C
- 2 min. hava basıncı 20°C
- 3 min. hava basıncı 30°C

GIS Tesisi

- 4 min.Gaz yoğ. 40°C
- 50Hz Tutma gerilimi 460 kV
- 5 min.Gaz yoğ. 40°C
- 50Hz Tutma gerilimi 395 kV

— Nemlilik miktarı uygun tedbirlerle; dielektrik olarak hiçbir rol oynamayacak şekilde cüzi tutulabilmektedir,

— Gaz kontrol sistemiyle minimum izolasyon seviyesi devamlı kontrol edilmektedir,

— Üç fazlı kapsüllenmiş baralar şalt aşırı gerilimleri ile ilgili olarak bir fazlı kapsüllemeyen daha yüksek izole edilmiş olmak zorundadır.

7. SF₆-Tekniğinin Faydaları:

SF₆ Tesis tekniğinin başlıca faydaları üç başlık altında özetlenebilir:

- a) Çok az yer veya hacim ihtiyacı,
- b) Yüksek işletme emniyeti,
- c) Çevreye uyum.

Bir SF₆ izoleli şalt tesisinin alan ve hacim ihtiyacı, hava izoleli bir tesisinkinden önemli ölçüde azdır.

110 kV'da yaklaşık %10-%15 kadar

220 kV'da yaklaşık %8 -%10 kadar

Ohalde yer tasarrufu %90 civarındadır. 750 kV'luk tesislerde ise %2-%3'lük bir yer ihtiyacı hesaplanmıştır. İşletme gerilimi ne kadar büyükse yer tasarrufuda o kadar büyük olmaktadır. Bu durum özellikle, bir tesisin büyütülmeyen mevcut bir bina içinde genişletilmesi gerektiğinde veya 20kV'luk bir tesisin 110 kV'a dönüştürülmesi lüzumunda oldukça avantajlıdır.

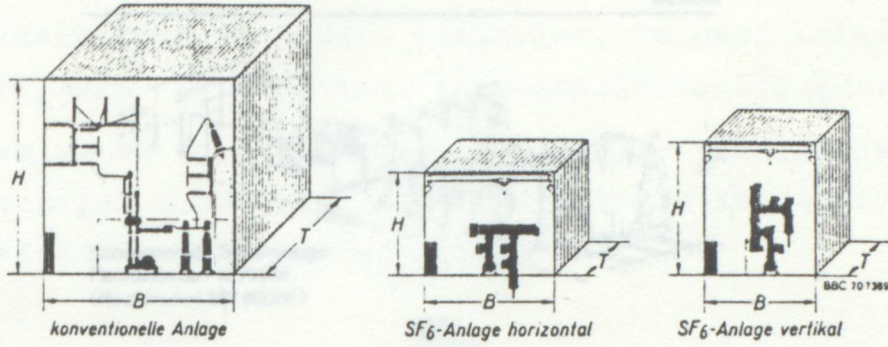
İşletme emniyeti açısından GIS Tesislerinin faydaları şu şekilde özetlenebilir:

- a) Kapsüllenmiş bir tesis kirlenmenin ve nemlenmenin her çeşidine karşı tam anlamıyla hassas değildir.
- b) Hava basıncı, şimşek darbeleri, buzlanma gibi dış atmosferik şartlardan etkilenmez.
- c) Kapsüllenmiş tesis; insan, hayvan veya yabancı cisimlerin yol açtığı dokunma tehlikesine karşı mutlak emniyetlidir.
- d) GIS tesisinin bakımı, mütat revizyon sayısı konvansiyonel tesislerden çok daha azdır.
- e) Bu özelliklerden dolayı, GIS tesislerindeki arızalar çok zor meydana gelir, ki bu suretle işletme emniyeti ve devamlılığı esas surette yüksek bir seviyeye çıkartılmış olur.

7.1. Hibrid Şalt Tesisleri:

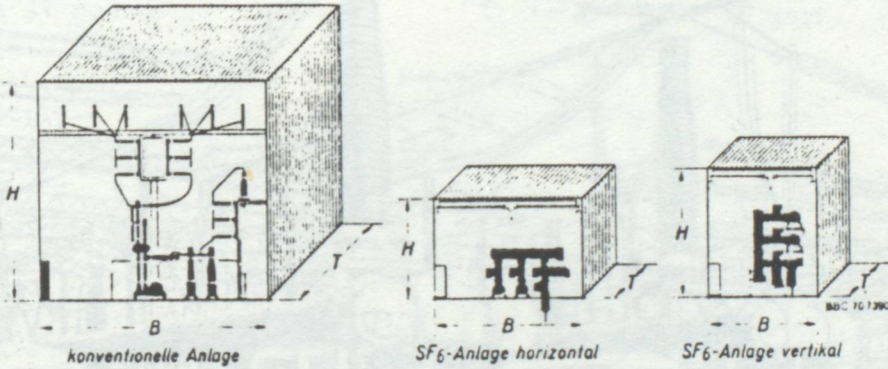
Bu tip şalt tesisleri, konvansiyonel bir şalt tesisinin parçalarından ve kapsüllenmiş SF₆ tesislerinin komponentlerinden müteşekkil kombinasyonlardan oluşmuştur.

Farklı davranışa sahip iki izolasyon malzemesine sahiptirler (Hava izolasyon ve SF₆ izolasyon).



Anlagen mit Einfach-Sammelschienen
(Werte je Abzweig)

Bauart	B m	T m	H m	Grundfläche		Rauminhalt	
				m ²	%	m ³	%
Konventionell	9,0	5,1	9,2	45,9	100	422	100
SF ₆ . horizontal	6,0	2,2	4,8	13,2	29	63,4	15
SF ₆ . vertikal	5,0	2,2	6,1	11,0	24	67,1	16



Anlagen mit Doppel-Sammelschienen
(Werte je Abzweig)

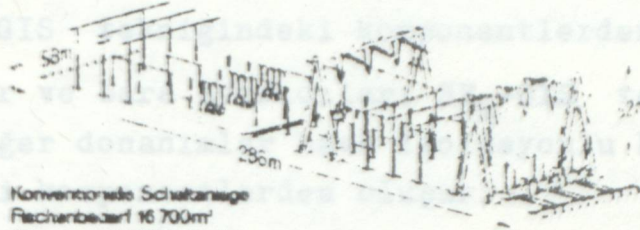
Bauart	B m	T m	H m	Grundfläche		Rauminhalt	
				m ²	%	m ³	%
Konventionell	11,0	5,1	10,5	56,1	100	589	100
SF ₆ . horizontal	7,0	2,2	4,8	15,4	27	74	12,5
SF ₆ . vertikal	5,2	2,2	6,2	11,5	20	71	12

SEKİL:7.1

Açık ve kapsüllenmiş teşkil içinde 110 kV'luk tesisler arasındaki ana saha ve hacim kıyaslaması.

a) Baralar ve bara ayırıcıları konvansiyonel teknik içinde hava izolasyonu ile teşkil edilirler, ve geri kalan donanımlar SF₆-GİS ile tasarlanarak konvansiyonel teknikten oluşur.

b) Baralar ve bara ayırıcıları konvansiyonel teknikte teşkil edilir. diğer donanımlar SF₆-GİS ile tasarlanarak konvansiyonel teknikte teşkil edilir.

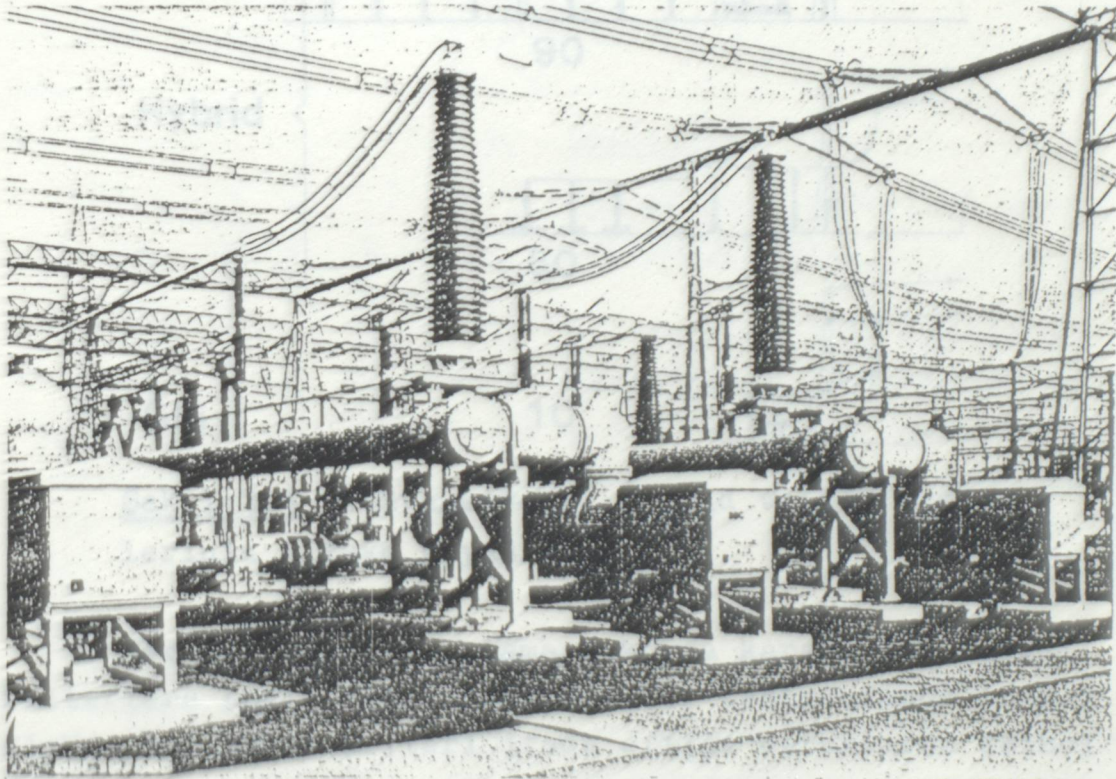


Konventionelle Schaltanlage
Flächenbedarf 16 700m²
(Raumbedarf 887 800m³)

Vollisolierte SF₆-Schaltanlage
Flächenbedarf 1500m²
(Raumbedarf 36 000m³)



Şekil:7.2 Tek baralı 1300 kV'luk şalt tesisi; Transformator beslemesi 3 GVA (USA).

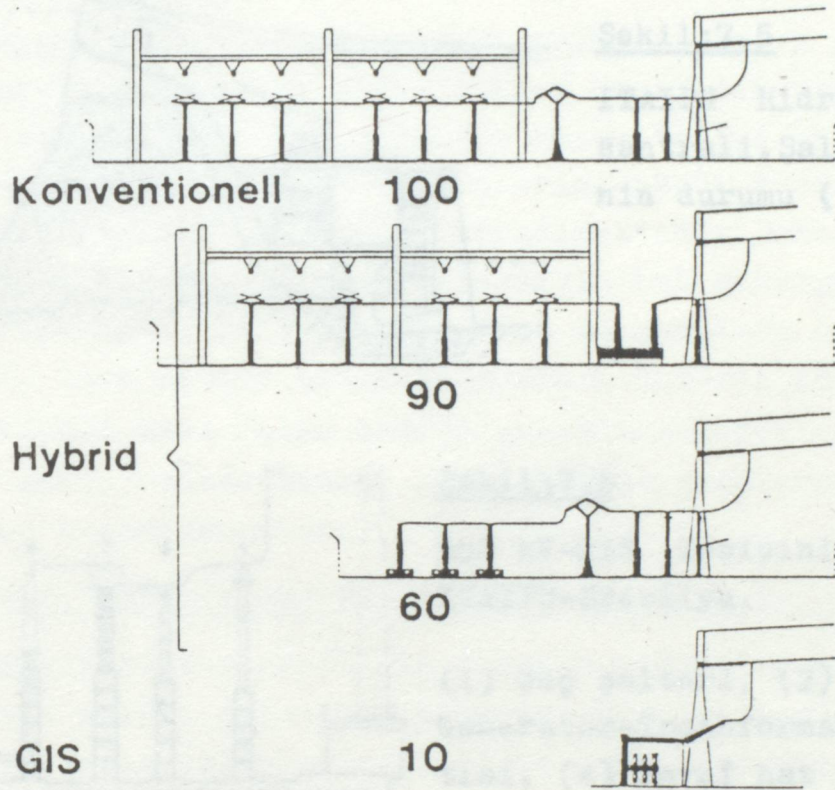


Şekil:7.3 Hava izoleli ve SF₆ izoleli baralar arasındaki kapsüllenmiş kuplaş sahası (420 kV'luk Hibrid tesisi).

Hibrid şalt tesisleri; iki ana dizaynda sınıflandırılabilirler;

a) Baralar ve bara ayırıcıları konvansiyonel teknik içinde hava izolasyonu ile teşkil edilirler, ve geri kalan donanımlar SF_6 -GIS tekniğindeki komponentlerden oluşur.

b) Baralar ve bara ayırıcıları SF_6 -GIS tekniğinde teşkil edilir. Diğer donanımlar hava izolasyonlu konvansiyonel teknikteki komponentlerden oluşur.



Şekil:7.4 Konvansiyonel, hibrid ve GIS tesislerinin dizayn kıyaslaması.

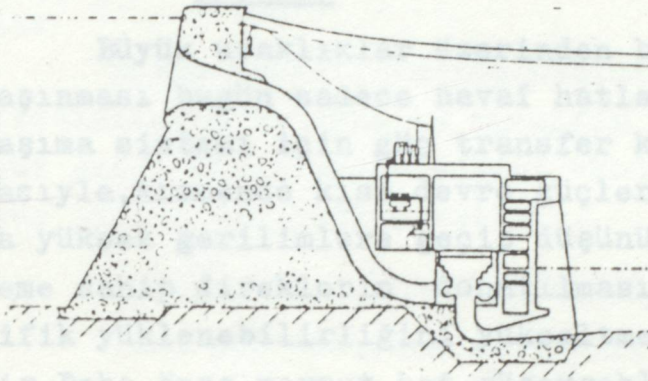
Her iki tarzı uygulamaya koyma kararı, çok farklı kriterlere bağlı olabilmektedir. Yer tasarrufunun önemli ölçüde bir seçim kriteri ifade ettiği durumlarda ikinci duruma göre dizayn tercih edilmektedir.

Hava izolasyonlu mevcut şalt tesislerinin, ilave yer olmaksızın pratik olarak genişletilmesi, sadece SF_6 -GIS tekniğindeki komponentlerin yardımıyla mümkündür. Örneğin; İsviçre'nin Lauferburg bölgesindeki 420 kV'luk bir şalt tesisinde, mevcut çift baralı sistemin üçüncü bir baraya genişletilmesi SF_6 izoleli baralar sayesinde gerçekleş-

tirilebilmiştir (Bak.Şekil:7.3).

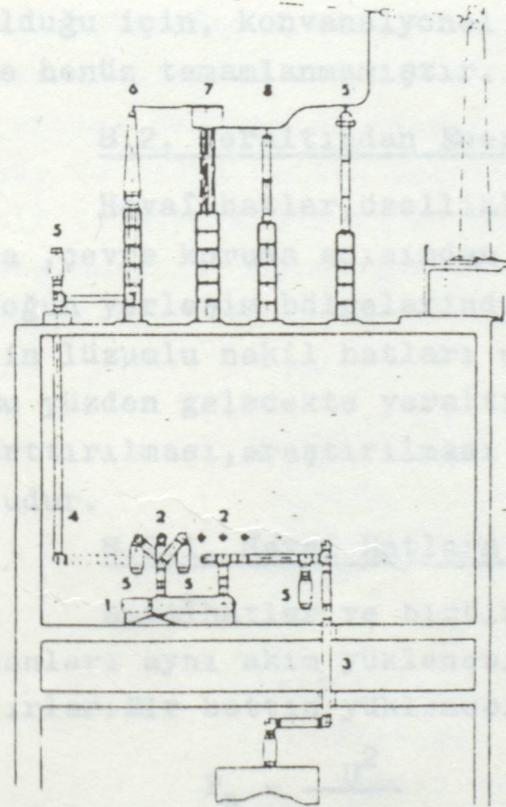
7.2. Elektrik Güç Santral Tesislerinde SF₆-Teknolojisinin Kullanımı:

Büyük hidrolik santraller gibi, termik santrallerde de SF₆-Şalt tesislerinin kullanımı toplam taslak içinde tamamen yeni imkanlar açmıştır.



Şekil:7.5

ITAIPU Hidroelektrik santrali.Şalt tesisinin durumu (Brezilya).



Şekil:7.6

550 kV-GIS Tesisinin Kesiti
ITAIPU-Brezilya.

(1) Güç şalteri, (2) Bara, (3) Generatör-Transformatör bağlantısı, (4) Hava hat çıkışı, (5) Parafudr, (6) SF₆ -Hava geçişi (7) Yüksek frekans süzücü, (8) Gerilim Trafosu.

Şalt tesisinin enerji kaynağına (Generatör-Transformatör grubu) direkt monte edilmesi mümkündür. Ve böylece Generatör-Transformatör-Şalt Tesisinden oluşan elektromekanik zincirin optimal

dizaynı hem yer tasarrufu hemde fonksiyon ve işletme bakımından yerine getirilmektedir.İlave olarak bütün koruma, kumanda ve kontrol birimleri hemen hemen ideal olarak, en

kısa bağlantı iletkenleriyle, görülebilir şekilde tertib edilir. Bu da önemli ölçüde santral işletmesinin emniyetini yükseltir.

8. İzole Edilmiş Boru Gaz Kablolariyla Enerji İletimi:

8.1. Havaf Hatlar Vasıtasıyla Konvasiyonel Enerji Taşıma:

Büyük uzaklıklar üzerinden büyük elektrik güçlerinin taşınması bugün sadece havaf hatlar üzerinden yapılmaktadır. Taşıma sistemi için güç transfer kapasitesini yükseltmek amacıyla, kismende kısa devre güçlerini küçük tutmak için daha yüksek gerilimlere geçiş düşünülmektedir. Daha fazla sisteme sahip direklerin donatılmasıyla hat güzergahının spesifik yüklenebilirliğini yükseltme çalışmaları denemektedir. Daha önce mevcut hat güzergahları üstünde gelecekte önemli ölçüde daha fazla enerji nakledilebilmesi zorunluluğu olduğu için, konvasiyonel havaf hatlar sahasında da gelişme henüz tamamlanmamıştır.

8.2. Yeraltından Enerji Taşımaya Olan Talepler:

Havaf hatlar, özellikle tüketim merkezlerinin yakınında ,çevre koruma açısından uygunsuz bir durum oluştururlar. Yoğun yerleşim bölgelerinde, ilave havaf hatların tesisi için lüzumlu nakil hatları umumiyetle mevcut olamamaktadır. Bu yüzden gelecekte yeraltından yüksek taşıma imkanlarının arttırılması, araştırılması ve devamlı geliştirilmesi zorunludur.

8.2.1. Havaf Hatlara Bağlı Yeraltı Taşıma Kablolari:

Havaf hatlar ve birbirine bağlı bu yeraltı taşıma elemanları aynı akım yüklenebilirliğine sahip olmak zorundadırlar. Bir hattın yüklenebilirliği burada ilgili

$$P_n = \frac{U^2}{Z}$$

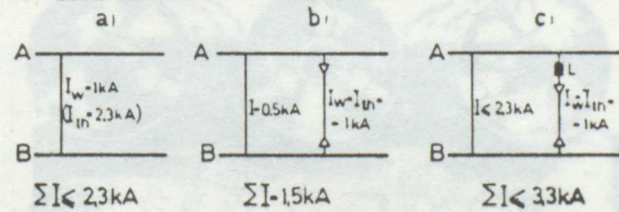
bağıntısınınca açık olarak tanımlanmadığı için, bu şart o kadar basitçe yerine getirilemez.

İletken kesitleri; talep edilen taşıma gücü, "ekonomik olarak taşınabilir güce" eşit olacak şekilde tesbit edilir. Buradan ortaya çıkan ekonomik akım yoğunluğu, Al-Çelik hatlar için yıllık faydalanma süresine göre yaklaşık $0,7 \text{ A/mm}^2 - 1 \text{ A/mm}^2$ arasında bulunmaktadır. Termik bakımdan sınır yüklenebilirlik (iletken kesitine ve çevre sıcaklığına göre) yaklaşık $1,5 \text{ A/mm}^2 - 2,5 \text{ A/mm}^2$ arasındadır.

Bütün yeraltı taşıma kablolarında daha yüksek yatırım fiatlarından ve daha az spesifik yüklenmeye bağlı daha düşük aktif kayıplardan dolayı ekonomik olarak taşınabilen güç termik sınır güce eşittir.

8.2.2. Havaf Hatlara Paralel Yeraltı Taşıma Kabloları:

Daha çok komplike şebekelerde ortaya çıkan bir durumdur. Aynı tarzda taşıma elemanı sözkonusu olduğu zaman paralel akım yolları üzerindeki akım dağılışı bir problem teşkil etmez. Havaf hatlar, sözkonusu yeraltı taşıma elemanından en azından iki kat yüksek reaktansa sahip olduğu için, paralel bağlantıda akımın en büyük kısmı kablo üzerinden akar ve havaf hattın önemli ölçüde yükü hafifler. Eğer relatif tedbirler ile kablo reaktansı büyütülmezse, bu paralel bağlantıyla taşıma gücünde azalabilir. Şekil:8.1'de bu durum basit bir örnekle açıklanmıştır.



Şekil:8.1 Konvasiyonel bir kabloyla bir havaf hattın paralel bağlantısı.

I_w ekonomik taşınabilir akım

I_{th} termik sürekli akım

$X_L =$ Havaf hat..... $0,3 \Omega/\text{km}$.

Kablo..... $0,15 \Omega/\text{km}$.

- a) 420 kv havaf hatla A ve B istasyonlarının esas bağlantısı.
- b) Bu bağlantı, ilave ve yüksek yüklenebilir bir kablo ile (1 kA) kuvvetlendirilmiştir. Buna rağmen bu taşımanın toplam yüklenebilirliği %35 civarında azalmıştır.
- c) Bir endüktif reaktansın seri bağlanmasıyla maksimum taşıma gücü yükseltilebilir.

8.2.3. Yeraltı Taşıma Elemanına Umumi Güç Talepleri:

Örneğin 10 GVA'lık büyük bir kuvvet tesisi düşünülürse, o zaman bu tesis tabiiki bir tüketici merkeziyle tek bir sistem üzerinden bağlanmaz. Ancak 5 GVA 'lık iki bağlantı sisteminde dahi; sistemlerden herbirisi aşırı yüklenebilmek zorundadır. O halde ikili sistemde %100, üçlü sistemde %50 ve dördü sistemde %33'lük bir aşırı yüklenebilirlik düşünülmesi gerekmektedir.

8.3. Yüksek Güçlerin Taşınması İçin Boru Gaz Kablosu:

Kapsüllenmiş şalt tesislerinde izole edici madde olarak SF₆ nın kullanımı ile edinilen tecrübeler, boru gaz kablolarının geliştirilmesi için temel teşkil etmiştir. İlk boru gaz kablosu ile kısa taşıma hattı (yaklaşık 200m'lik) 1971'de New York'da işletmeye girmiştir.



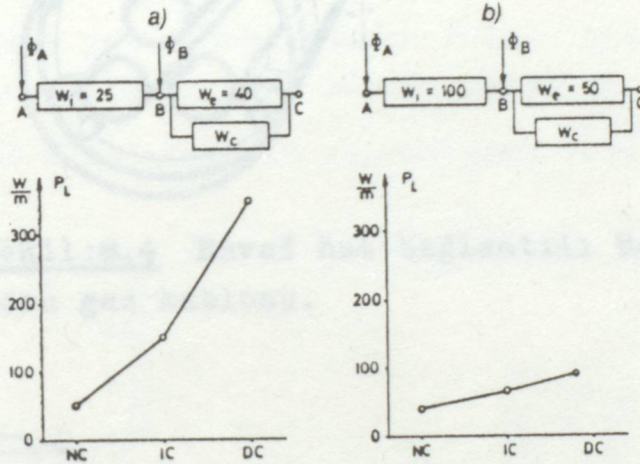
Şekil:8.2 Üç mesnetli, bir fazlı üç boru gaz kablosunun kesiti.

Boru gaz kablosu, gaz şeklindeki izole edici maddenin yapısından ($\epsilon = 1$) ve iletken ile kapsül arasındaki nisbeten büyük aralıktan dolayı konvansiyonel kablodan daha küçük bir kapasiteye sahip olduğu için, reaktif güç karakteristiği

havaf hatlarinkine benzer, bunun yanında tabif gücü yaklaşık üç-dört misli daha yüksektir.

Boru gaz kablosunun yapılışı çok basittir ve destekleyici gövde ile kapsül içinde ortalanmış boru şeklinde bir Alüminyum iletken oluşmuştur (Şekil:8.2).

İletken ve kapsül arasında elektriki izolasyon olarak SF₆-Gazı yaklaşık 3-4 bar'lık bir basınçla kullanılmıştır. Bu konstrüksiyonda çok büyük iletken kesitlerine ihtiyaç vardır. Örneğin 420 kV'da 3000-8000 mm² arasında bulunmaktadır. Konvansiyonel kabloda büyük joule ısı sadece sert madde izolasyonu üzerinden sevk edilir; boru gaz kablosunda ısı transferi ışımaya ve konveksiyon ile yapılmaktadır. Bu yüzden sıcaklık transferi konvansiyonel kablodakinden 4-6 kat daha büyüktür.



Şekil:8.3 Isı Transferi a) Boru gaz kablolarında, b) Konvansiyonel kablolarda.

Φ_A, Φ_B

A iletkeninde veya B kapsülündeki aktif kayıplar.

W_1

Dahili ısısal direnç (İzolasyon)

W_e

Dış ısısal direnç (Toprak)

W_c

Kapsülleme ve soğutma sistemi arasında ısısal direnç

NC

Tabif soğutma ($W_c = \infty$)

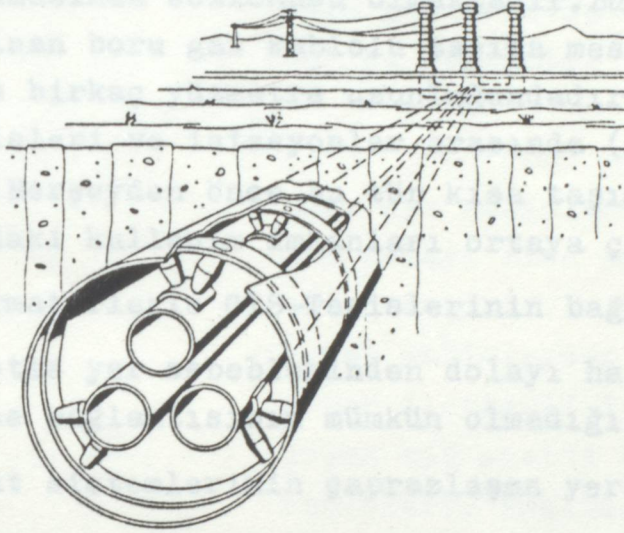
IC

İndirek soğutma ($\infty > W_c > 0$)

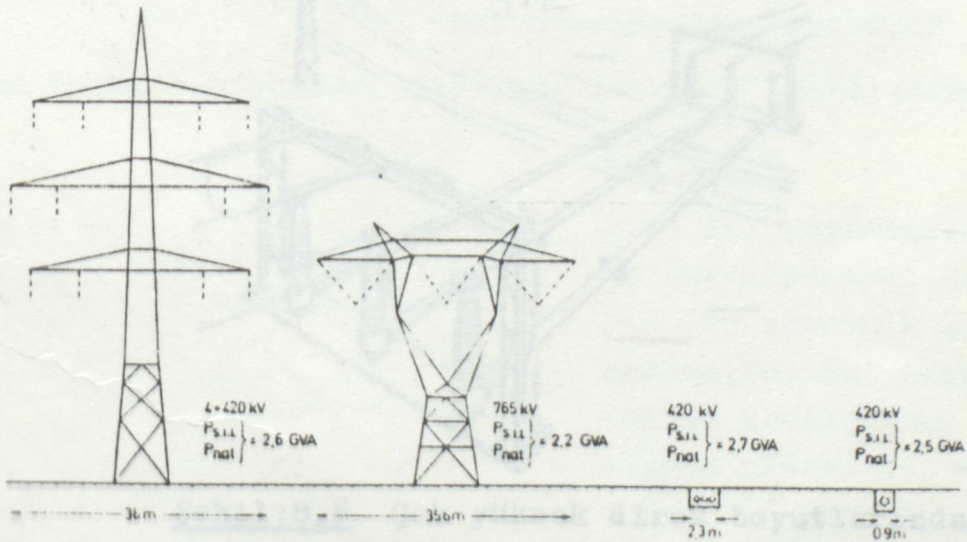
DC

Direkt soğutma ($W_c = 0$)

Konvansiyonel kablolarla kıyasla, boru gaz kablolarının daha yüksek yüklenebilirliği; tabii soğutma yanında, önemli ölçüde daha büyük iletken kesiti ile ve ayrıca uygun küçüklükte aktif dirençle karakterize edilir. Bir fazlı boru gaz kablolarına ilave olarak üç fazlı dizaynlarda geliştirilebilir, ki böyle teşkillerde üç iletken boru müşterek bir dış kapsül içinde yerleştirilmiştir (Şekil:8.4).



Şekil:8.4 Havaf hat bağlantılı üç fazlı boru gaz kablosu.



Şekil:8.5 Yaklaşık aynı tabii güçte sahip havaf hat ve boru gaz kabloları için lüzumlu hat genişlikleri.

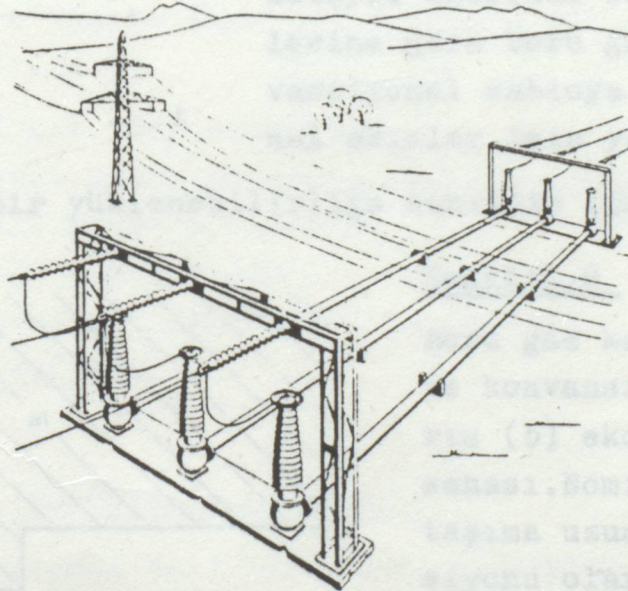
Bu tertiple daha az yer ihtiyacı ortaya çıkar.Boylelikle lüzumlu olan hat genişliği uygun biçimde azaltılmış olmaktadır (Şekil:8.5).

Boru gaz kablolarının kullanımı herşeyden önce daha büyük taşıma gerilimleri için uygun olmaktadır.

8.3.1. Boru Gaz Kablolarının Kullanım İmkanları:

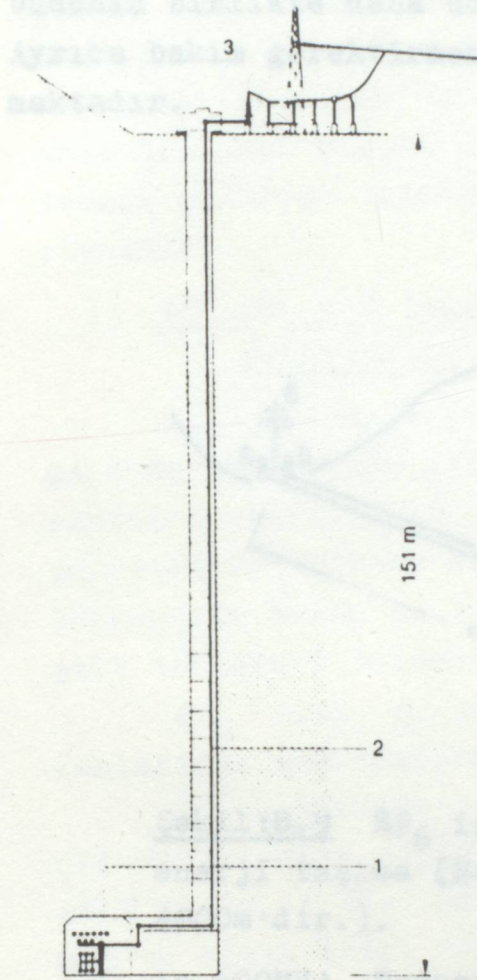
Boru gaz kablosu, çok yüksek gerilimlerde büyük güçlerin taşınmasında sözkonusu olmaktadır.Bugüne kadar işletmeye alınan boru gaz kablolu taşıma mesafeleri daha ziyade sadece birkaç yüzmetre uzunluğundadır.Ve hemen hemen kuvvet tesisleri ve istasyonlar arasında (dahilinde) yerleştirilir.Herşeyden önce bu tür kısa taşıma mesafeleri için aşağıdaki kullanım imkanları ortaya çıkar:

- a) Transformatörlerle GIS-Tesislerinin bağlanması,
- b) Ekseriyetle yer sebeplerinden dolayı havaf hattın direkt GIS Tesisine bağlantısının mümkün olmadığı durumlarda,
- c) Havaf hat sistemlerinin çaprazlaşma yerlerinde,



Şekil:8.6 Çok yüksek direk boyutlarından kaçınmak için,bir sistem boru gaz kablosu olarak teşkil edilmektedir.Şekilde iki havaf hattın oluşan çaprazlaşma yeri görülmektedir.

d) Yeraltı kuvvet tesislerinden enerji alınması amacıyla.



Şekil:8.7

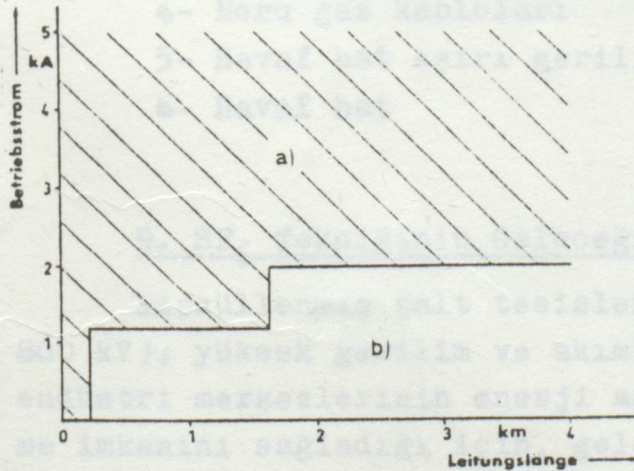
Taşınım hattına bağlantı için dikey boru gaz kablolü 420 kV'luk yeraltında bir GIS-Tesisini.

(1) Şalt tesisli hücre, (2) Dikey boru gaz kablosu, (3) Taşınım hatlarına bağlantı.

Boru gaz kabloları, basit yapısından dolayı kısa onarım zamanlarını gerektirir. Bu yüzden, konvansiyonel kablolardan ve özellikle süper iletkenli kablolardan daha düşük bir enerji kesintisi bu tür kablolarla sağlanabilir.

Detaylı amerikan ekonomik analizlerine göre boru gaz kablosu konvansiyonel kabloya nisbetle nominal akımlar için yaklaşık 1 kA

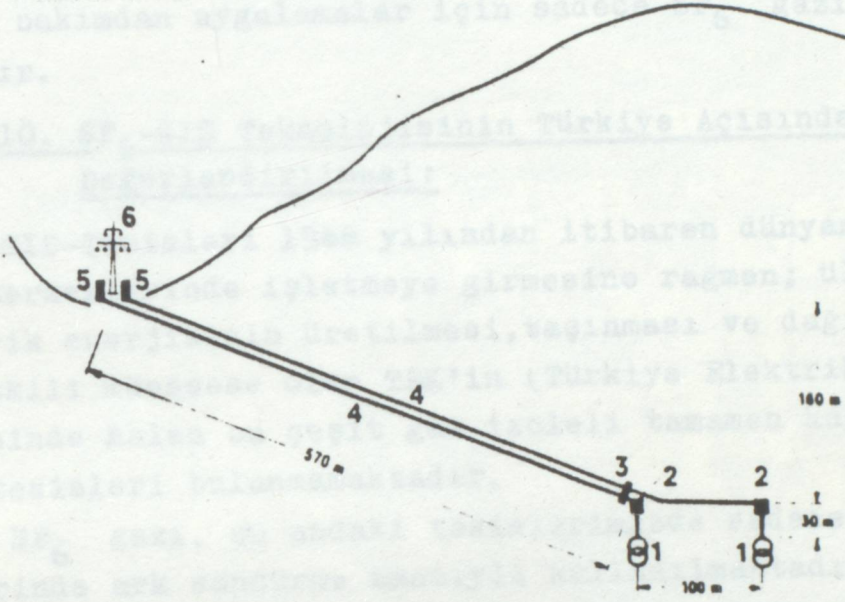
daha büyük bir yüklenebilirliğe sahiptir (Şekil:8.8).



Şekil:8.8

Boru gaz kablolarının (a) ve konvansiyonel kabloların (b) ekonomik kullanım sahası. Nominal akımın ve taşıma uzunluğunun fonksiyonu olarak ($U_n > 200$ kV).

Çok kısa taşıma mesafeleri için boru gaz kablosu; toplam akım sahasında SF₆-teknîği sayesinde daha basit ve bununla birlikte daha ucuz uygulama imkanları vermektedir. Ayrıca bakım gerektirmemesi, sistem güvenilirliğini arttırmaktadır.

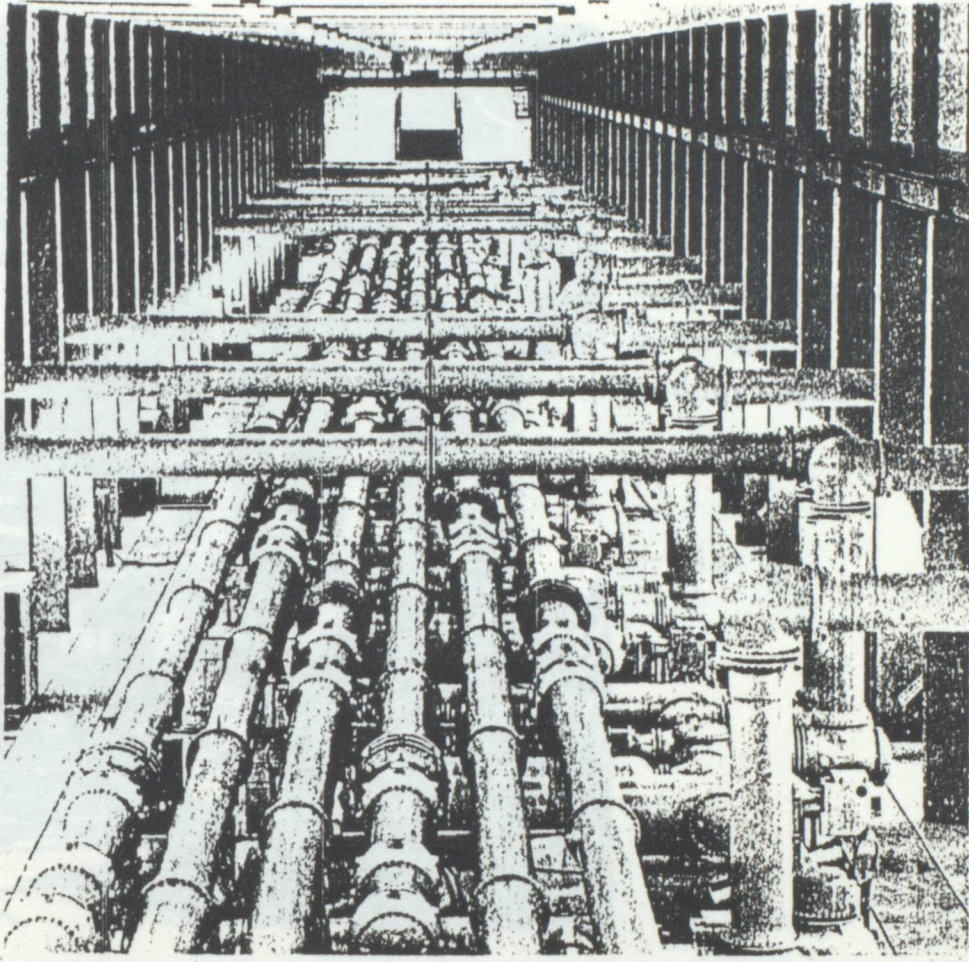


Şekil:8.9 SF₆ izoleli boru iletkenlerle 420 kV'luk enerji taşıma (Her iki sistemin bir fazlı uzunluğu 4000m'dir.).

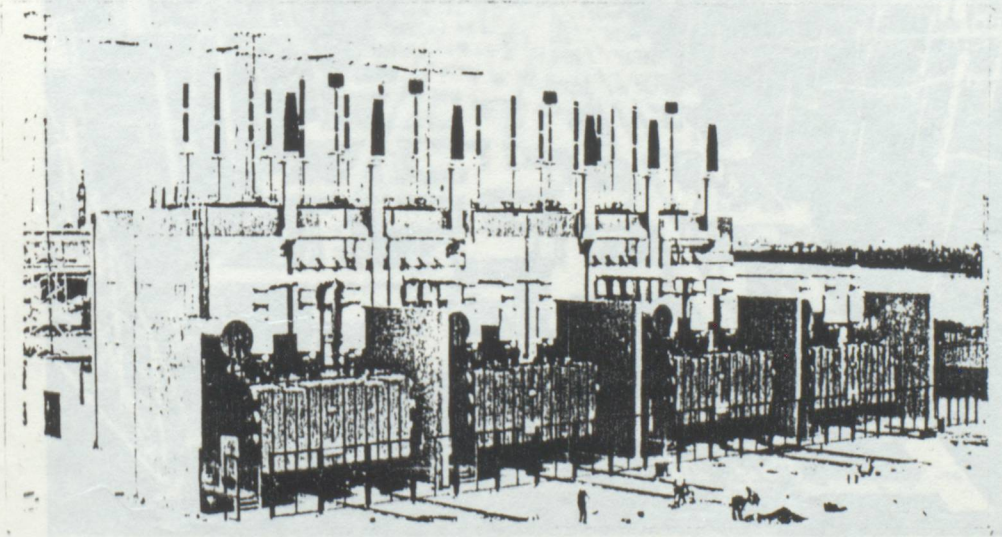
- 1- 600MVA Transformator
- 2- Metal kapsüllü aşırı gerilim parafudr
- 3- Şalt manevra donanımı
- 4- Boru gaz kabloları
- 5- Havaf hat aşırı gerilim parafudr
- 6- Havaf hat

9. SF₆ Tekniğinin Geleceği:

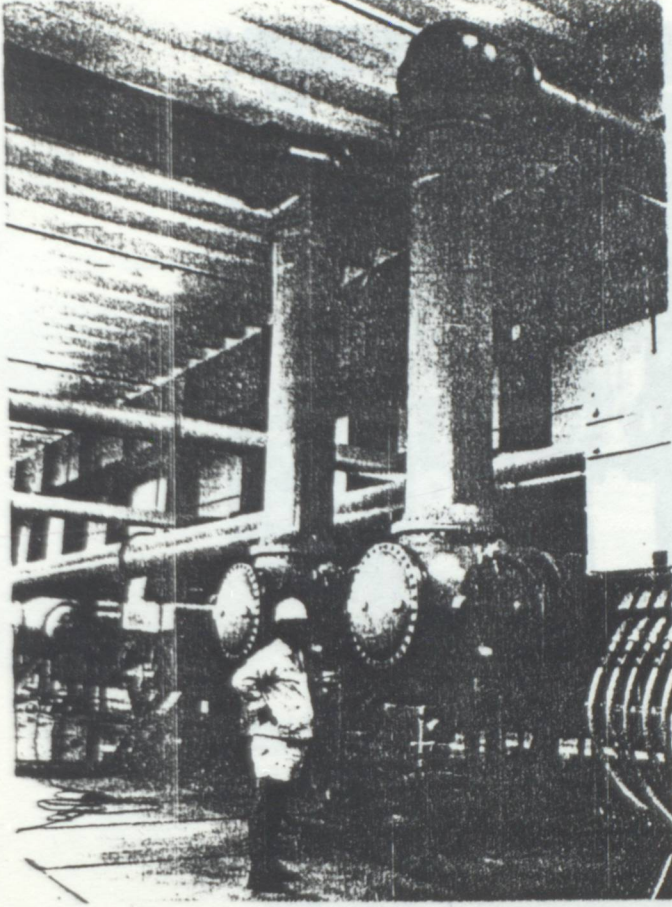
Kapsüllenmiş şalt tesisleri ve taşıma hatları (72,5 kV-800 kV); yüksek gerilim ve akımların, büyük şehirlerin ve endüstri merkezlerinin enerji **ağırlık** noktalarına sokulabilme imkanını sağladığı için, gelecekte talep edilebilecek Ultra yüksek gerilimli uygulamalar içinde tek çözüm yolu olarak görülmektedir.



Şekil:11.1 800 kV'luk ALPHA GIS Tesisi
(Güney Afrika/ ABB)

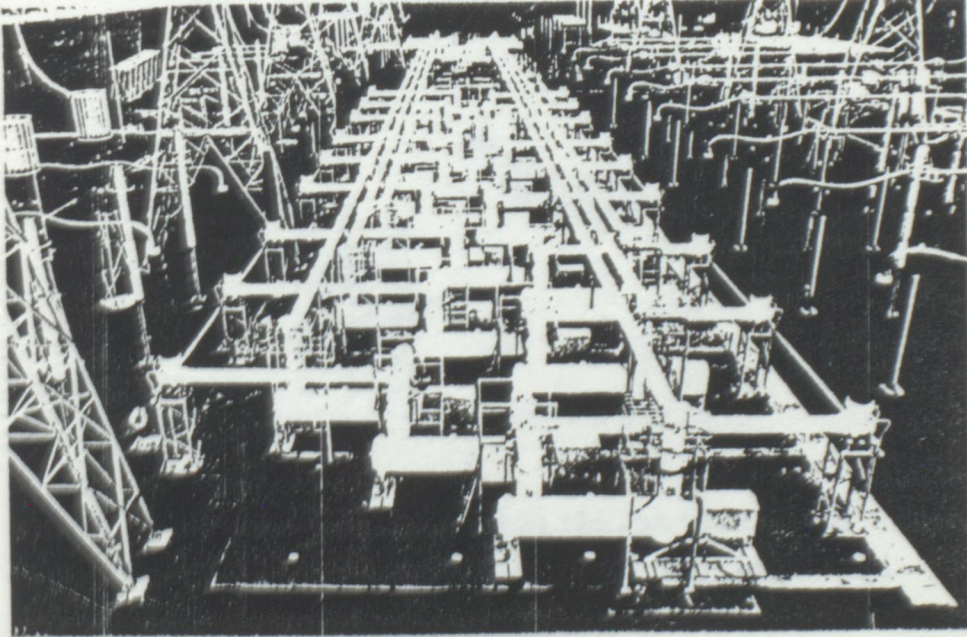


Şekil:11.2 Bir Çelik Fabrikası İçin 362 kV'luk
GIS Tesisinin Transformator ve Hat
Bağlantılarının Görünümü
(Nijerya/ ABB)

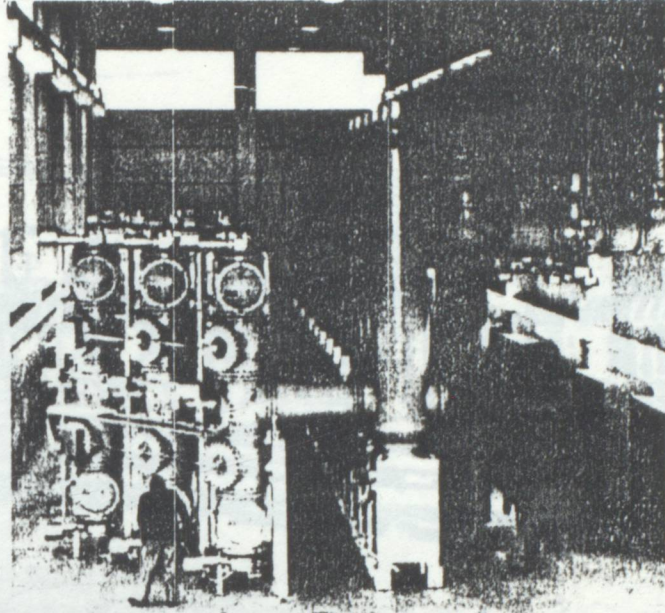


Şekil:11.3

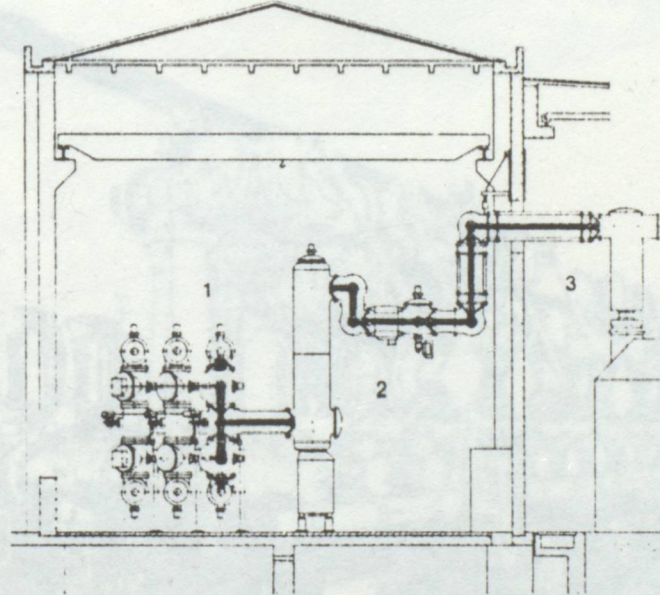
800 kV'luk ALPHA GIS Te-
sisine ait Havaf Hat do-
nanımlarına, İletken sa-
sına ve Reaktör alanına
olan geçişler
(Güney Afrika/ ABB)



Şekil:11.4 525 kV'luk Hârici GIS Tesisi
(Avustralya/ ABB)

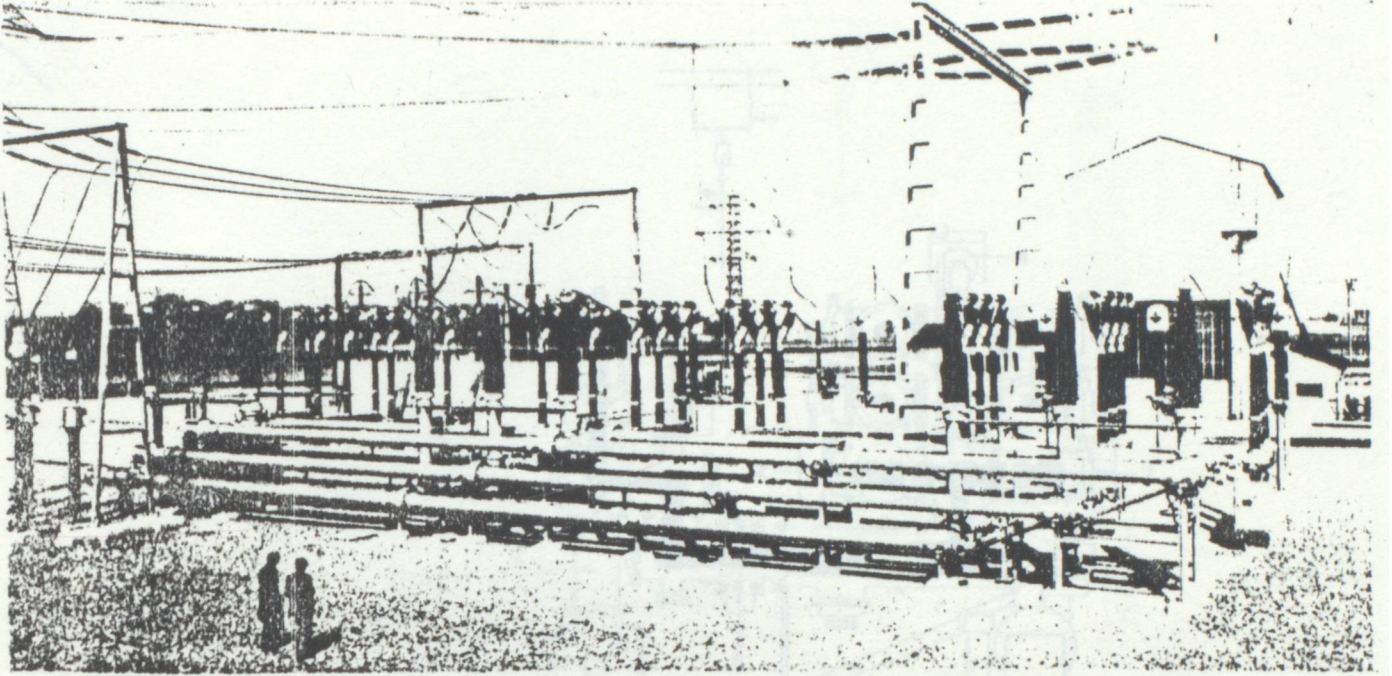


Şekil:11.5a 420 kV'luk Dahili Bir GIS Tesisi (Avusturya/ ABB)

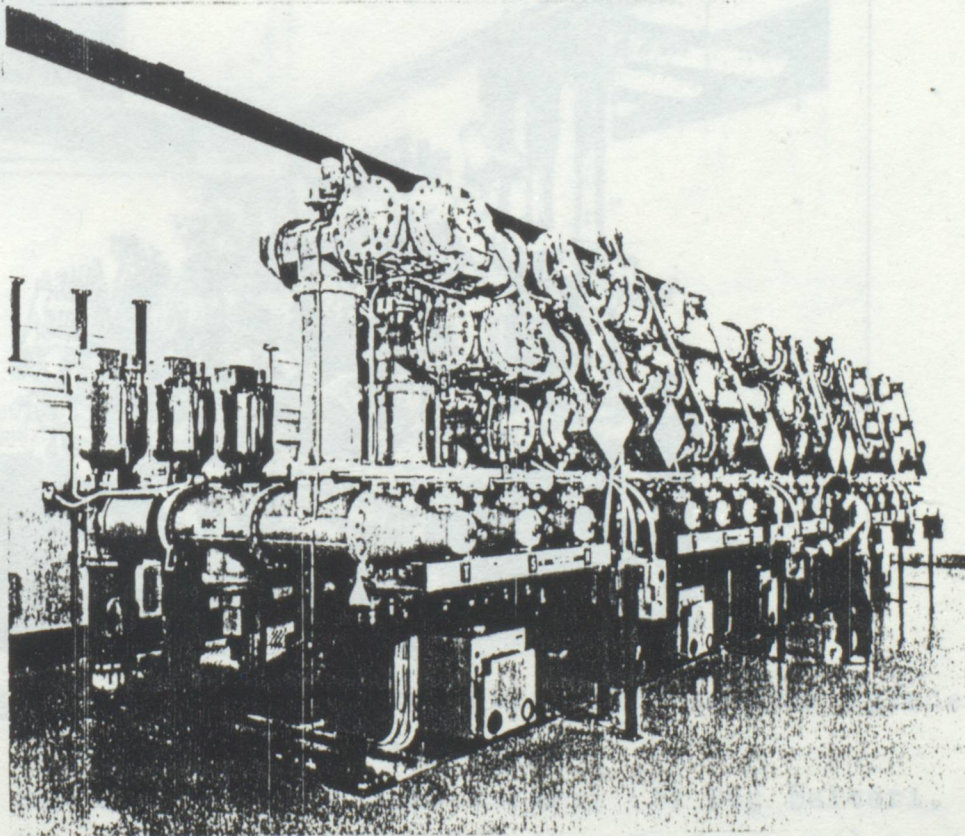


Şekil:11.5b Şekil:11.5a'daki GIS Tesisinin Transformör Bağlantı Alanının Durumu.

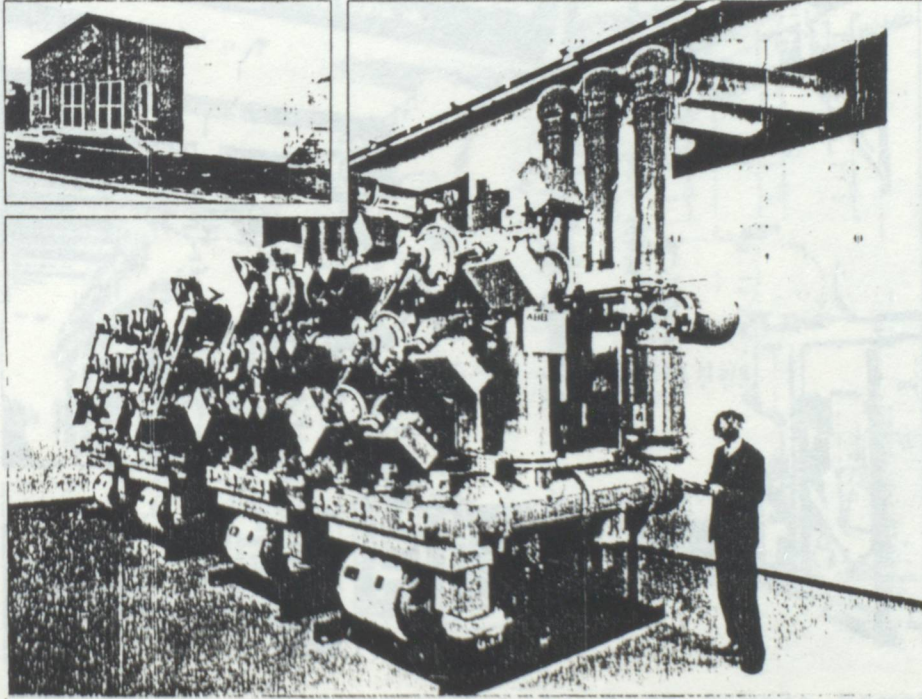
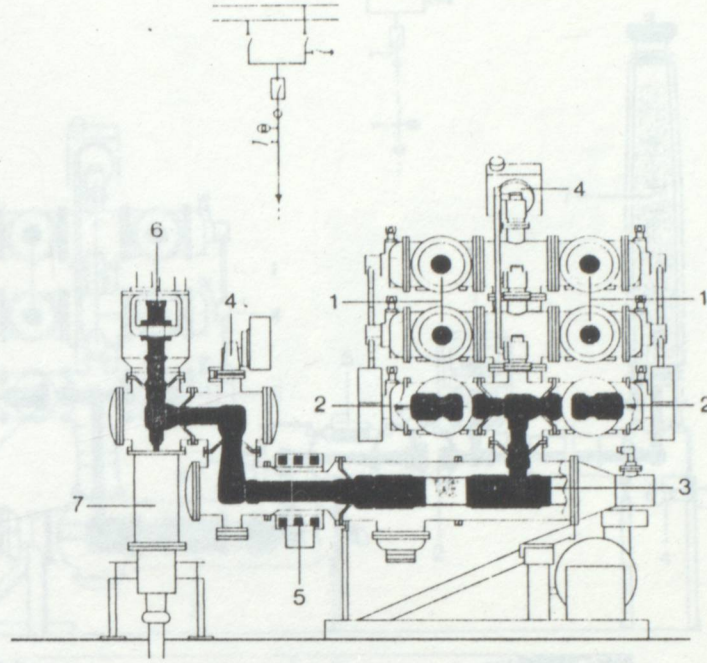
(1) Baralar, (2) Güç Şalteri, (3) Transformör Bağlantısı.



Şekil:11.6 245 kV'luk Çift Baralı Hibrid Şalt Tesisi
(İsviçre/ ABB)

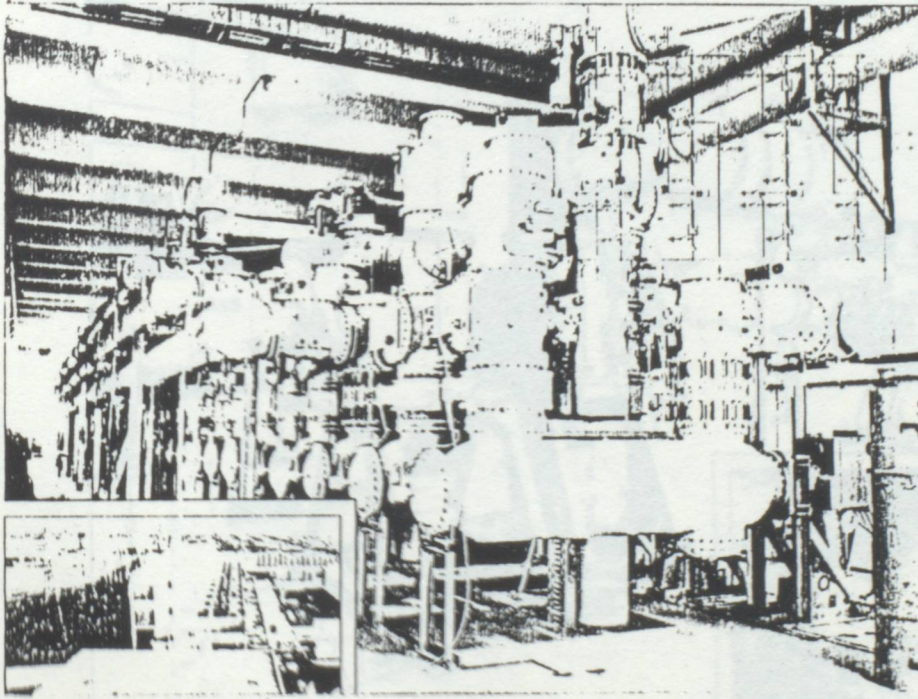
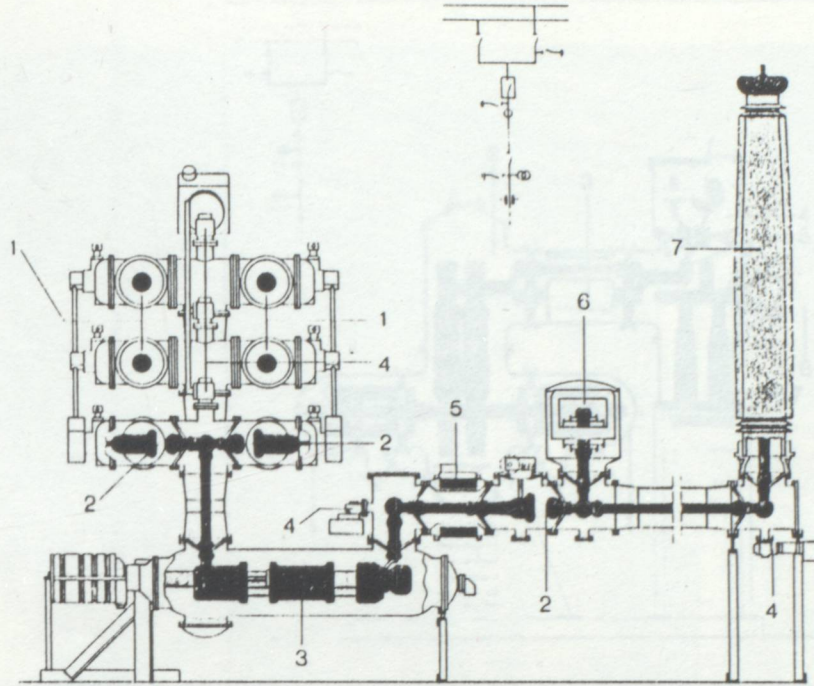


Şekil:11.7 170 kV'luk Tek Baralı Dahili GIS
Tesisi (İsviçre/ ABB).



Şekil:11.8 145 kV'luk Dahili-Çevreyle Uyum İçinde GIS Tesisi (ABB).

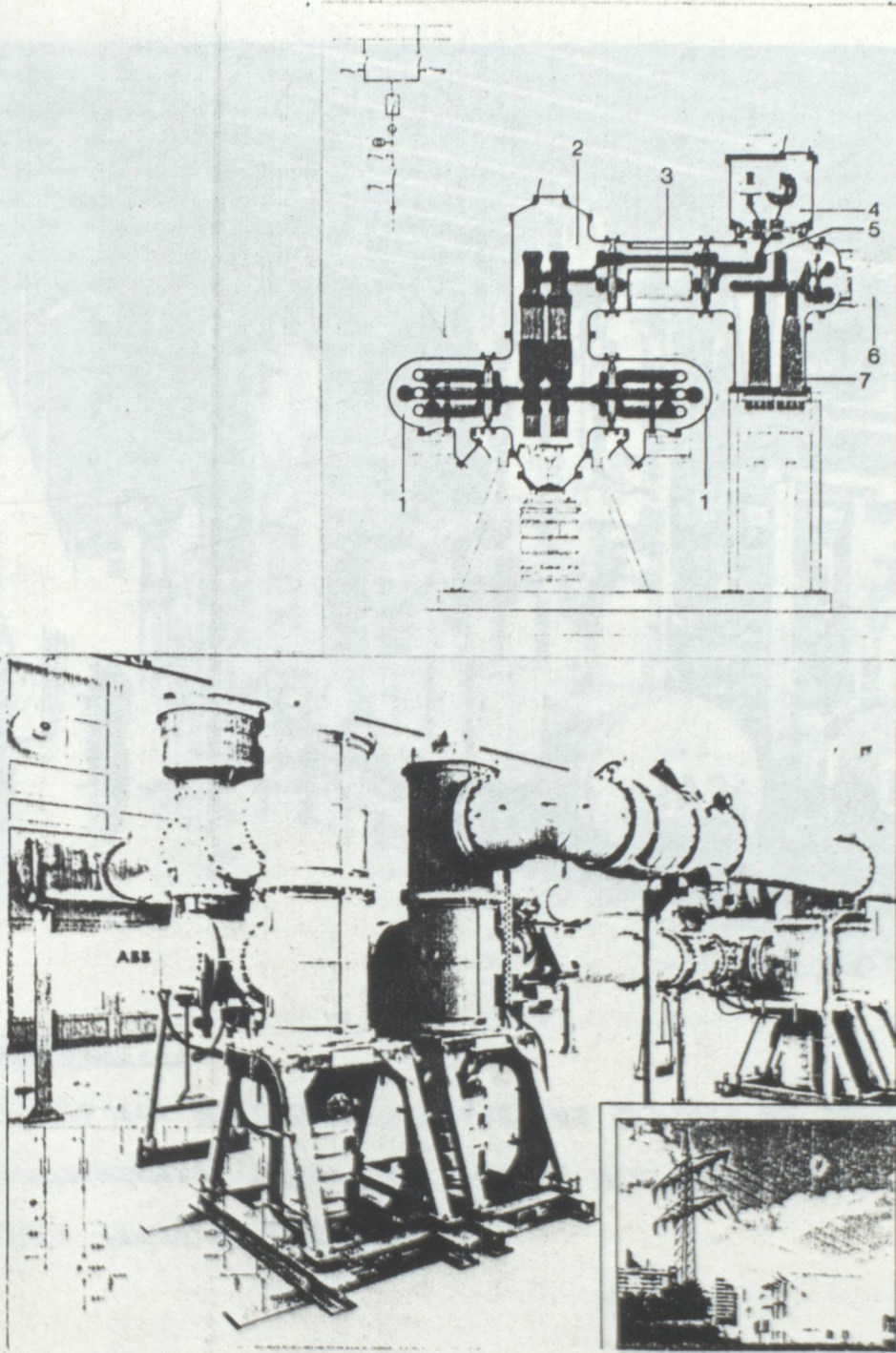
- (1) Baralar, (2) Bara Ayırıcıları, (3) Güç Şalteri, (4) Topraklama şalterleri, (5) Akım Trafosu, (6) Gerilim Trafosu, (7) Kablo Bağlantısı.



Sekil:11.9 420 kV'luk Dahili Çift Baralı, Havaf Hat Bağlantılı Bir GIS Tesisi (ABB).

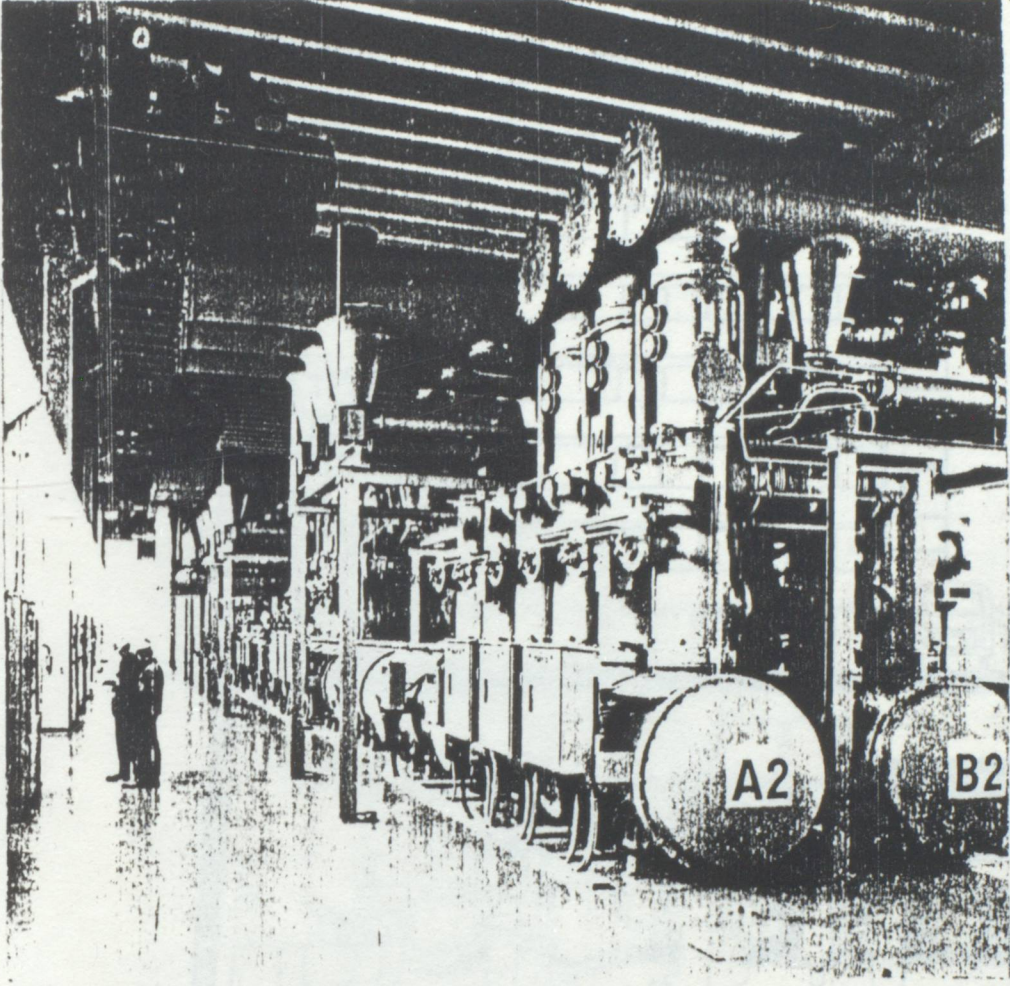
(1) Baralar, (2) Bara Ayırıcıları, (3) Güç Şalteri, (4) Topraklama Şalterleri, (5) Akım Trafosu, (6) Gerilim Trafosu, (7) Havaf Hat Bağlantısı.

(5) Topraklama Şalteri ile Akım Trafosu, (6) Gerilim Trafosu, (7) Kablo Bağlantısı.



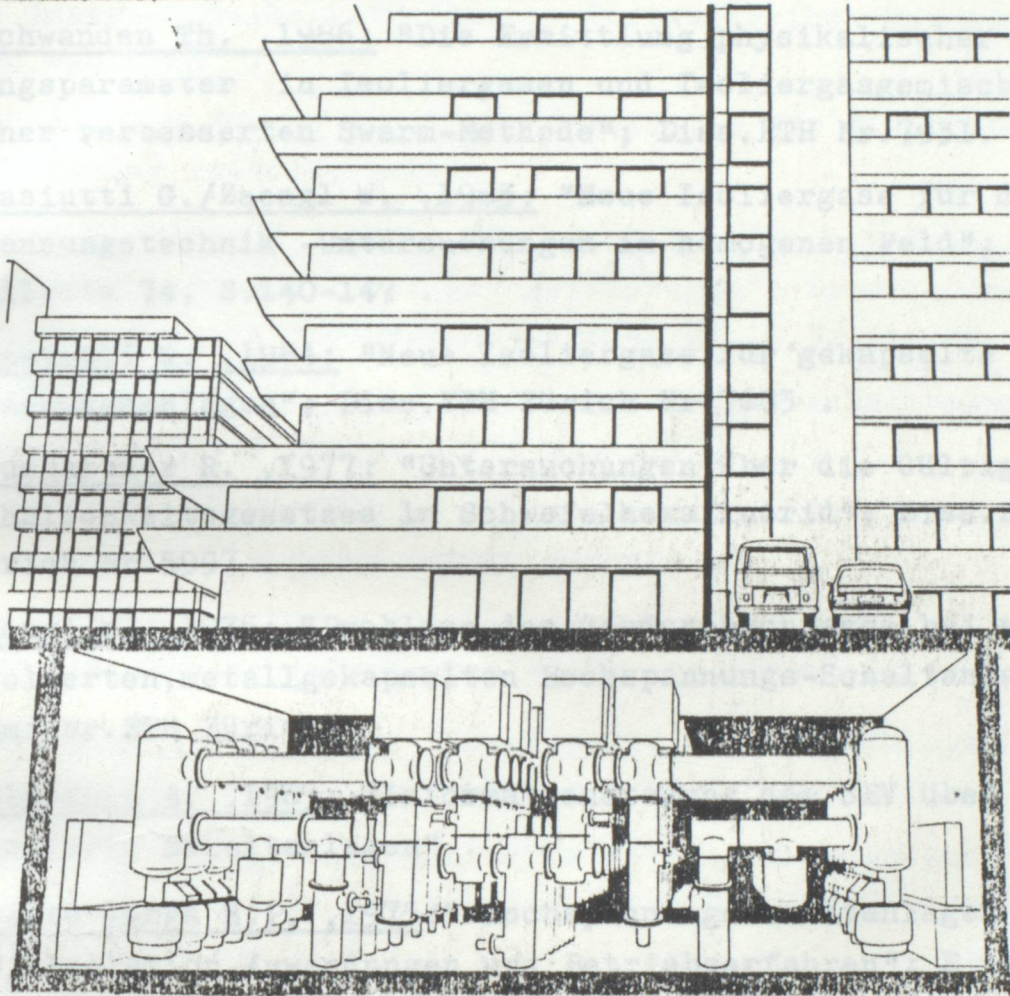
Sekil:11.10 123 kV'luk Dahili,Üç Fazlı Kapsüllemiş, Kablo Bağlantılı Bir GIS Tesisi (Suudi Arabistan/ABB).

(1) Ayırıcılar ve Topraklayıcılar ile kombine edilmiş Baralar, (2) Güç Şalteri, (3) Akım Trafosu, (4) Gerilim Trafosu, (5) Topraklayıcı ile kombine Kablo ayırıcısı, (6) Kablo topraklayıcısı, (7) Kablo Bağlantısı.



Sekil:11.11

420 kV'luk Çift Baralı, Havaî Hat Çıkışlı ve Direkt
Transformatör Bağlantılı Dahili Bir GIS Tesisi
(Batı Almanya/ SIEMENS).



Şekil:11.12

"BODRUM" 'da 123 kv'luk Bir GIS Tesisi
(Batı Almanya/SIEMENS).

Yeni mesken mahallerinin, endüstrinin büyük yapılarının, bölgelerin, umumî dairelerin ve trafik akış yerlerinin veya tüm bina komplekslerinin (Üniversiteler, hastaneler, bürolar veya depoların...vs) projelendirilmesi sırasında bu tür uygulamalara yer verilmektedir.

Bu suretle, ekonomik sebeplerden dolayı; elektrik enerjisini büyük boyutlu gerilimlerle direkt tüketici merkezlerine götürmek mümkün olmaktadır.

K A Y N A K L A R

- Aschwanden Th. ,1986: "Die Ermittlung physikalischer Entladungsparemeter in Isoliergasen und Isoliergasgemischen mit einer verbesserten Swarm-Methode"; Diss.ETH Nr.7931.
- Biasiutti G./Zaengl W. ,1983: "Neue Isoliergase für die Hochspannungstechnik -Untersuchungen im homogenen Feld"; SEV-Bulletin 74, S.140-147 .
- Biasiutti G. ,1984: "Neue Isoliergase für gekapselte Hochspannungsanlagen"; Diss.ETH Zürich Nr.7683 .
- Baumgartner R. ,1977: "Untersuchungen über die Gültigkeit des Aehnlichkeitsgesetzes in Schwefelhexafluorid"; Diss.ETH Zürich Nr.5997 .
- Zaengl W. ,1975: "Probleme des Gasdurchschlages bei voll-isolierten,metallgekapselten Hochspannungs-Schaltanlagen"; Seminar.ETH Zürich.
- Goldstein A. ,1983: "Informationstagung des SEV über Gas-isolierte Schaltanlagen" .
- Szente-Varga H.P. ,1975:" Hochspannungsschaltanlagen mit SF₆-Isolation.Anwendungen und Betriebserfahren"; E und M, 93.Jg.,H.5,S.206-213 .
- Eidinger A. ,1985: "Thermische und dynamische Kurzschlussbeanspruchung in SF₆-Anlagen";E und M,102.Jg. ,H.7/8,S.304-307 .
- Stimmer H. ,1976: "Einführung in die SF₆-Technik"; E und M, H.10,S.419-434 .
- Muhr M./Reisinger F. ,1988: "Transiente Überspannungen in gasisolierten Schaltanlagen"; E und M ,H.9,S.383 bis 395 .
- Mosch W./Hauschild W. ,1979: "Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid"; Berlin:VEB Verlag Technik.
- Hauschild W./Jahn H./Mosch W./Lemke E./Speck J. ,1983: "Auswahl von Hochspannungsprüfungen an SF₆-Isolierungen aus physikalischer und technischer Sicht";ELEKTRIE,Berlin 37, S.196 bis 198 .

1

Böhme H./Iwanow L. ,1989: "Einfluss der Elektrodotemperatur auf die Durchschlagspannung koaxialer SF₆ -Isolierungen"; 34.Intern.Wiss.Koll.TH Ilmenau Vortragsreihe 'Schaltgeraete und -anlagen' .

Hauschild W./Mosch W. ,1984: "Statistik für Elektrotechniker"; VEB Verlag Technik, Berlin.

Olsen W./Rimpp F. ,1981: "SF₆ isolierte Hochspannungsschaltanlagen:Stand und Entwicklungstendenzen"; Siemens Energietechnik, Beiheft 'Hochspannungstechnik' ,S.32 bis 38 .

Firma CALOR EMAG ,1981: "Metallgekapselte Schaltanlagen mit SF₆-Isolation"; Druckschrift Nr.1354/H.

Firma ABB ,1987: "800 kV SF₆ gasisolierte Schaltanlagen (GIS)"; Sonderdruck aus Brown Boveri Technik 10 .

Stegmüller K. ,1989: "Die neue Generation eines GIS-Systems für Mittelspannungsschaltanlagen";etz-Report.25,vde-verlag.

Zeitschrift etz, 1989: "Schwerpunkt:Mittelspannungsschalter und -schaltanlagen"; vde-verlag,H.17,S.860 bis 898 .

Firma AEG ,1989: "SF₆ isolierte Mittelspannungsschaltanlage WS- ein Schritt in die Schaltanlagenzukunft";Druckschrift Nr. A24.07.18/04.89 DE S .

Müller B. , 1973: "Schwefelhexafluorid als Lichtbogen-Löschmedium"; ETZ A Bd.94 ,H.7,S.391 bis 397 .

Baumgartner R. ,1976: "Versuche zur Ursache der Abweichungen vom Paschengesetz"; ETZ A Bd.97,H.3,S.177 bis 178 .

Pfeiffer W./Schmitz W. ,1978: "Experimentelle Untersuchung des elektrischen Durchschlages in SF₆";ETZ A Bd.99,H.11, S.681 bis 685 .

Firma EMIL HAEFELY + CIE AG ,1989: "Durchführung für gasisolierte Schaltanlagen"; Druckschrift Nr. D 3-01 .



Ö Z G E Ç M İ Ş

1967 İstanbul doğumluyum. İlk, orta ve lise tahsilimi İstanbul'da tamamladım. 1988 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Bölümünden mezun oldum. 1989'da Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Tesisleri Ana Bilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak girdim. 1988'den beri aynı Üniversitenin Yüksek Lisans Programına kayıtlı olup, halen Araştırma Görevlisi olarak çalışıyorum.



