

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNDE
OPTİMUM İZOLASYON**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek.Müh. Emre ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU

Haziran 2011

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNDE OPTİMUM İZOLASYON

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek.Müh. Emre ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 29/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr. Ertan Yanıkoğlu
Jüri Başkanı**

**Doç.Dr. Mehmet Bayrak
Üye**

**Y.Doç.Dr. Hasbi İsmailoğlu
Üye**

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Ertan Yanıkoğlu'na, uzun çalışma sürecimde yaşam enerjisini ve desteğini benden esirgemeyen Yönetim Kurulu Başkanımız Selim Yürekten'e ve Genel Müdürümüz Murat Yürekten'e ve her aşamasında tecrübelerin esirgemeyen Prof. Dr. M. Kemal Sarıoğlu'na ve Dr. Klaus Eckholz'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu çalışma ve üretim sürecinde emeği geçen çalışma arkadaşlarım Ersin Akdeniz, Ömer Balta, Eşref Durmuş, Hasan Ali Yıldız, Kaan Aydođar, Salih Turgut, İhsan Akdemir, Enis Ceylan, Faruk Erenler ve Yunus Sert 'e teşekkür ederim.

Ayrıca manevi desteklerini benden esirgemeyen Annelerim Hamide Öztürk, Hatice Uslu'ya; babalarım Osman Öztürk ve Hüseyin Uslu'ya; kardeşlerim Elif Öztürk ve Salih Yılmaztekin'e ve eşim İrem'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÖZET	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

YÜKSEK GERİLİM VE ÇOK YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNİN ÖNEMİ, ÇEŞİTLERİ VE ELEKTRİK ALAN HESAPLAMALARI	2
2.1. Transformatörlerin Sınıflandırılması	4
2.2. Yağ Soğutmalı Transformatörler	6
2.3. Elektrot Sistemleri Çözömlenmeleri ve Yüksek Gerilim ve Ultra Yüksek Gerilim Transformatörlerinin Kısımları	7
2.3.1. Elektrot sistemleri	8
2.3.1.1. Düzlemsel elektrot sistemleri	8
2.3.1.2. Küresel elektrot sistemleri	10
2.3.1.3. Silindirik elektrot sistemleri	12
2.3.1.4. İki tabakalı sistemin incelenmesi	16
2.3.2. Yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim transformatörlerinin kısımları	18
2.3.3. Çok yüksek gerilim transformatörlerinde katı yalıtkanın fonksiyonu	20
2.3.3.1. Katı (transformatör kartonu), sıvı (transformatör yağı), katı sıvı yalıtım sisteminin dielektrik dayanımı	21

2.3.3.2. Elektriksel delinme teoremi.....	21
2.3.3.3 Yağ kanallarının elektriksel dayanımları	23
2.3.3.4 DİL Yalıtım Tasarım seviyesinin belirlenmesi	23
BÖLÜM 3.	
SARGI ÇIKIŞ DÜZENEKLERİ VE ÖNEMİ.....	26
BÖLÜM 4.	
GEÇİT İZOLATÖRLERİ (BUŞİNGLER).....	30
4.1. Kullanma Yerlerine Göre İzolatör Çeşitleri.....	30
4.1.1. Dâhilî tip.....	30
4.1.2. Harici tip.....	31
BÖLÜM 5.	
BUŞİNG VE SARGI ÇIKIŞI ARASI ÖZEL YALITIM SİSTEMİNİN GÖREVİ VE TASARIMI.....	38
5.1. Ekran Tasarımı.....	38
5.2. Elektrot Bölgesi Tabaka Tasarımı	42
5.3. Dirsek Bölgesi Tasarımı	57
5.4. Kritik Bölgelerin İncelenmesi.....	59
5.5. Tasarımı Etkileyen Olumsuzluklar	62
5.5.1 Sivri nokta etkisi.....	62
5.5.2 Hava habbeciği etkisi	64
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

P	: Bir Hattın iletilen elektrik gücü
V	: Sistemin çalışma gerilimi
Z_l	: Bir hattın Darbe empedansı
E.M.K	: Elektro Motor Kuvveti
\emptyset_{max}	: Akı şiddeti
N_1	: Trafoda primer siper sayısı
N_2	: Trafoda sekonder siper sayısı
U_1	: Primer gerilimi
U_2	: Sekonder gerilimi
IEC	: Uluslararası elektromekanik komisyonu
E	: Elektrik alan
C	: Kapasite
ϵ	: Dielektrik sabiti
YG	: Yüksek Gerilim
B	: Manyetik İndüksiyon
H	: Manyetik alan şiddeti
DIL	: Yalıtım Tasarım seviyesi
LI	: Yıldırım darbe dayanım seviyesi
SI	: Anahtarlama darbe dayanım seviyesi
r	: Çap ölçüsü
S	: Alan ölçüsü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Düzlemsel Elektrot Sistemi Şeması.....	8
Şekil 2.2.	Küresel Elektrot Sistemi Şeması	10
Şekil 2.3.	Küresel Elektrot sisteminde Elektrik alan değişimi $E=f(r)$	12
Şekil 2.4.	Küresel Elektrot sisteminde potansiyel değişimi $V=f(r)$	12
Şekil 2.5.	Silindirik Elektrot Sistemi Şeması.....	13
Şekil 2.6.	Silindirik Elektrot Sisteminde Elektrik Alan Değişimi $E=f(r)$	14
Şekil 2.7.	Silindirik Elektrot Sisteminde Potansiyel Değişimi $V=f(r)$	14
Şekil 2.8.	Tabakalı Elektrot Sistemi Şeması.....	15
Şekil 2.9.	İki Tabakalı Sistem Şeması: $\epsilon_1/\epsilon_2=1/3$ $a_1/a_2=1/2$ $U=100kV$	16
Şekil 2.10.	İki Elektrot Sistemi Arasında Potansiyel Dağılımı	17
Şekil 2.11.	İki Elektrot Sistemi Arasında Eşpotansiyel Çizgileri Dağılımı.....	17
Şekil 2.12.	Katı Sıvı İzolasyon Sistemleri	20
Şekil 2.13.	Un > 170 kV Transformator Sargıları için değerlendirilmiş dayanım gerilimleri.....	25
Şekil 3.1.	Sargı çıkış –Geçit izolatörü arası bağlantı.....	26
Şekil 3.2.	Geçit İzolatörü Teknik Verileri	27
Şekil 4.1.	Hariçten dahile geçiş için kullanılan geçit izolatörleri	30
Şekil 4.2.	Pano tipi mesnet izolatörler	31
Şekil 4.3.	Direklerde OG İzolatörleri.....	32
Şekil 4.4.	AG İzolatörler	31
Şekil 4.5.	Siemens Firmasının 400 kV'lık bir güç trafosu ve buşingleri.....	32
Şekil 4.6.	Folyosuz geçit izolatörleri	33
Şekil 4.7.	Folyolu (Kondansatör içeren) geçit izolatörleri	34
Şekil 4.8.	a) Folyosuz (Kondansatör içermeyen) elektrik alan dağılımı b) Folyolu (Kondansatör içeren) elektrik alan dağılımı	34
Şekil 4.9.	Geçit izolatörü iç yapısı.....	35
Şekil 5.1.	Ekran tasarımı alan çalışması (küçük çap)	38

Şekil 5.2.	Ekran tasarımı alan çalışması (büyük çap).....	39
Şekil 5.3.	Ekran tasarımı alan çalışması (geniş çap)	40
Şekil 5.4.	Alan çalışması yapılacak önemli bölgeler	41
Şekil 5.5.	Temel yalıtım kaplanmış elektrodun şeması (1, 2, 3, 4, 5 nolu hatlar boyunca düşen elektrostatik alan dağılımlar hesaplanmış ve eğirler değerlendirilmiştir.)	42
Şekil 5.6.	Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (1.doğru üzerindeki)	43
Şekil 5.7.	Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (2.doğru üzerindeki)	43
Şekil 5.8.	Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (3.doğru üzerindeki)	44
Şekil 5.9.	Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (4.doğru üzerindeki)	44
Şekil 5.10.	Temel yalıtımı kaplanmış elektrodun alan dağılımı (5.doğru üzerindeki)	45
Şekil 5.11.	1.paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması	46
Şekil 5.12.	1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)	47
Şekil 5.13.	1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu eğri üzerindeki)	47
Şekil 5.14.	1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)	48
Şekil 5.15.	1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)	48
Şekil 5.16.	1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu doğru üzerindeki)	49
Şekil 5.17.	2.paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması	50
Şekil 5.18.	2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1.dogru üzerindeki)	50
Şekil 5.19.	2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)	51

Şekil 5.20. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)	51
Şekil 5.21. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)	52
Şekil 5.22. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu hat üzerindeki).....	52
Şekil 5.23. 3.paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması	53
Şekil 5.24. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)	54
Şekil 5.25. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)	54
Şekil 5.26. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)	55
Şekil 5.27. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)	55
Şekil 5.28. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu doğru üzerindeki)	56
Şekil 5.29. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun elektrik dağılımı ve Eşpotansiyel eğrileri	57
Şekil 5.30. Dirsek Bölgesi 3 boyutlu model resmi	57
Şekil 5.31. Dirsek Bölgesi Alan Dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)	58
Şekil 5.32. Dirsek Bölgesi Alan Dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)	58
Şekil 5.33. Sargı dom çıkış köşe etkisi inceleme.....	59
Şekil 5.34. Sargı Dom Çıkışı Model Resmi	60
Şekil 5.35. Sargı Dom Çıkışı Model Resmi	60
Şekil 5.36. Sargı Dom Çıkışı alan dağılımı	61
Şekil 5.37. Normal Ekran model resmi	62
Şekil 5.38. Normal Ekran etrafında doğru boyunca alan dağılımı	62
Şekil 5.39. Sivri Nokta etkisinin Ekran üzerinde model resmi.....	63
Şekil 5.40. Şekil 5.39 da doğru boyunca elektrostatik alan dağılımı	63
Şekil 5.41. Sivri Nokta etkisinin Ekran üzerinde renklendirilmiş gösterimi	64
Şekil 5.42. Yalıtkan içinde Hava Habbeciği etkisinin modellenmesi	64

Şekil 5.43. Şekil 5.42 de ki doğru boyunca elektrostatik alan dağılımı65

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yalıtım Malzemesi, Yağ Kanalı, Sargı Çıkış Düzeneği, Buşing.

Transformatörlerdeki yalıtım sistemlerinin dizaynı temel olarak yalıtım malzemesindeki selülozun transformatör yağı ile kullanımına (etkileşimine) dayanır. Yüzyıldan daha fazla süredir transformatör yalıtım dizaynları ve üretim metotları bu bilgi üzerine temellendirilmiştir. Yalıtım dizaynında yağ ile emprenye edilmiş yalıtım malzemeleri üzerindeki alan dağılımı temel kriter olarak alınmalıdır. Ayrıca yalıtım düzenleri dizayn eğrilerine göre oluşturulurlar. Bu dizayn eğrileri onlarca yıllık tecrübe denemeler testler işçilik kaliteli üretime bağlı olarak çıkarılmıştır..

Yağ soğutmalı transformatörlerin imal edilmesi için gerekli hammaddenin giderek azalması, bu materyallerin fiyatlarının pahalı ve dalgalı olması transformatör üreticilerinin maliyetleri, ağırlıkları ve boyutları düşürmek için alternatif çözümler bulmalarını gerekli kılmıştır. Bu tez sargı çıkış düzeneği aracılığıyla sargı çıkış düzeneği dizayn prosesini anlatır. Sargı çıkış düzeneği, yüksek gerilim sargılarının sonlarını geçit izolatörlerinin alt bağlantı noktalarına bağlayan yalıtım parçalarını ve bağlantı elemanlarıdır. Dom çaplarını belirlemek elbette kullanılacak çelik ve mineral yağ miktarını etkileyecektir ve bu tüm transformatörün materyal maliyetleri için önemlidir. Sargı çıkış düzenekleri bu mesafelerin düşürülmesine olanak tanıyıp transformatör üreticilerinin maliyetlerini azaltmıştır.

Sargı çıkış düzeneklerinde elektrostatik alan dağılımı çok düzensizdir. Geometriler ve yapılar alan dağılımını optimize edecekmiş gibi düzenlenmelidir. Bu en uygun form için ise geometriler kavramak karşılaştırabilmek gereklidir.

Transformatör kartonundan yapılan yalıtım paravanaları geniş yağ kanallarını dar yağ kanallarına bölmek için kullanılır. Transformatör kartonu yağın elektriksel dayanımını arttıran ve daha güvenli sınırlar sağlayan saf selüloz liflerine sahiptir. Dizayn yapılırken önemli nokta Sargı çıkış düzeneği paravanalarının alan uygun yapıda yapılması yani elektrik alan çizgilerine dik eş potansiyel eğrilere paralel yapıda olmasıdır.

OPTIMUM INSULATION IN HIGH VOLTAGE TRANSFORMERS

SUMMARY

Keywords: Insulation Material, Oil Channel, Lead Exit, Bushing

The general knowledge about transformer Insulation System Design is based on the use of cellulose in insulations which is basically used in mineral oil. For more than one hundred years, transformer design and manufacturing methods are based on this knowledge. In insulation design, field stress distribution between oil impregnated solid insulations is taken as the fundamental criteria. This stress is distributed in accordance with the permittivity of insulating materials and the geometry. Furthermore the insulation arrangement is constituted according to the design curves. They are based on decades of experience and depend upon manufacturing, process, workmanship, quality of materials and so on.

Deficiency of materials that are essential for producing oil-cooled transformers, such as Grain Oriented Silicone Steel, Copper, Mineral oil, and their increasing and fluctuating prices necessitate finding alternative solutions to reduce the cost, weight and dimensions of the transformers. This thesis aims to demonstrate optimizing process by means of 'lead exits'. The lead exit is an insulation component and connecting element between high voltage winding end and the bottom of the bushing end. High voltage winding end can be positioned at the top or in the middle of the axial height of the coil. Common practice for each lead system is the phase current through a turret to the bushing bottom end. The turret diameter depends on system voltage and design of the lead exit. Determining of the turret diameter will certainly affect the quantity of steel, mineral oil, etc., and this is important for both material cost and the weight and dimensions of the transformers. Lead exit allows reducing the clearances and the diameter of turret therefore provide saving from materials for power transformer manufacturers.

The field stress distribution of such a lead exit is highly non-uniform. The geometries of the structures should be arranged to optimize the field stress distribution. For this optimization, it is necessary to comprehend and compare the geometries.

Insulation barriers, made from Transformer board, are used for subdividing large oil gaps into smaller oil gaps. Transformer board has pure cellulose fibers that increase the oil strength and provide a higher safety margin. While designing lead exit barriers the important point is to obtain the 'field conform' structure, i.e. electrical field patterns are perpendicular to barriers and equal potential field patterns are parallel with barriers.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında güç talebindeki artış enerji üreten genaratörlerden yük merkezlerine daha fazla güç iletilmesini daha önemli hale getirmiştir. İletim kayıplarının düşüşü gerilim seviyesinin artışı ile mümkündür. Transformatörlerin gerilim seviyelerinin 1200 kV seviyesine çıkması en uygun hale getirilmiş üretim tecrübeleri ve gelişmiş teknolojiadaki malzeme üretilebilmesi ile mümkün hale gelmiştir. Bu yalıtım sistemlerinde en önemli parçalardan biri Sargı Çıkış Düzenekleridir. Sargı çıkış düzenekleri de transformatörlerde kullanılan katı sıvı yalıtım sistemleri kuramlarına göre dizayn edilirler.

Yağ soğutma sistemine sahip transformatörlerde tasarım mineral yağ içinde kullanılan selüloz temel alınarak yapılır. Yüzyıldan daha uzun süredir tasarım bunun üzerine temellendirilmiştir. Yalıtım sistemleri tasarımında temel kıstas alan dağılımına göre belirlenmektedir.

Üreticilerin devamlı şekilde dalgalanan maliyetleri daha aşağıya çekebilmeleri için optimize edilmiş bu kuramlara göre yalıtım dizaynı yapmaları gerekmektedir. Bu dizaynlar ise azalan miktarlarla yönlendirilmiş elektrik çeliği, transformatör yağı, paslanmaz çelik ve yalıtım malzemelerinin ağırlık ve hacimlerini düşürmüştür. Bu düşüş maliyetleri de düşürmüştür.

Bu tez bu en uygun hale getirilmiş kıstaslar temel alınarak yüksek gerilim transformatörlerinin önemli bir parçası olan sargı çıkış düzeneklerinin dizaynını anlatmakta ve transformatör içinde geometrik etkileri incelemektedir.

BÖLÜM 2. YÜKSEK GERİLİM VE ÇOK YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRLERİNİN ÖNEMİ, ÇEŞİTLERİ VE ELEKTRİK ALAN HESAPLAMALARI

Tek bir üretim sisteminden sınırlı sayıda kullanıcıya tedarik edilen elektrik enerjisinin ne tür yararlar sağladığı generatör veya dinamo olarak bilinen üretimin gelişiminden kısa bir süre sonra fark edilmiştir. 1882 yılında Londra’da ilk güç istasyonu hizmete girmiştir. Eski sistemler yerel bölgelerde düşük gerilimle doğru akım iletilirdi. 1890 yılından sonra bunun yerini alternatif gerilim aldı. 10kV gerilimle 28 km mesafeye enerji taşındı [3].

Daha büyük sistemler için enerji güç transferi mühendislerin yüksek gerilimleri ele almalarına neden oldu. Bir hatta iletilen elektrik gücü (P) sistemin çalışma geriliminin karesiyle doğru orantılı ya da darbe empedans yüklenmesiyle artar. Bundan dolayı Z_l darbe empedansı (=250ohm) olan bir hat için V çalışma gerilimi tanımlanırsa;[3]

$P=V^2/Z_l$ formülü aşağıdaki sonuçlara neden olur.

V(kV)=	400	800	1000	1200	1500
P(MW)	640	2000	4000	5800	9000

Son yıllarda hızla artan gerilim seviyesi bu talebin sonucu ortaya çıkmıştır. Elektrik enerjisi sadece üretildiği bölgelere yakın yerlerde ve çevresinde değil çok uzak mesafelerde bulunan tüketiciler (yerleşim bölgelerinde, sanayi kuruluşlarında, iş merkezleri vb.) tarafından da kullanılır. Elektrik enerjisinin bu üretildiği haliyle uzak mesafelere iletilmesi çeşitli ekonomik olmayan zorluklar meydana getirmektedir. Santrallerde üretilen elektriğin tüketici bölgelerine taşınması

sırasında, iletim hatlarında ısı şeklinde güç kaybı ve gerilim düşümü olur. Bunu önlemek ve en az düzeye indirmek için gücü sabit tutarak gerilimi yükseltmek gerekir. Bu akım değerinin aynı gücü taşımak için daha da düşürür. Bu da daha düşük kesitli iletken kullanarak iletim hatlarında ekonomik çözümler bulmaktır [3].

Bu gerilim seviyesinde artışı transformatörler sağlar. Transformatörün tanımını şu şekilde yapabiliriz; alternatif akımın frekansını değiştirmeden, gerilimini alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan elektro manyetik indüksiyon yoluyla çalışan makineye transformatör denir.

Transformatörler alternatif gerilimle çalıştırılırlar. Primer sargıya alternatif gerilim verildiğinde primer sargıdan bir akım geçer. Bu akım, magnetik nüve üzerinde zamana göre yönü ve şiddeti değişen bir manyetik alan meydana getirir.

Devresini sekonder sargının bulunduğu bacak üzerinden tamamlayan değişken manyetik alan kuvvet çizgileri, sekonder sargı iletkenlerini keserek e.m.k endükler. Böylece aralarında hiç bir elektriki bağ olmadığı halde, primer sargıya uygulanan alternatif gerilim, sekonder sargıda, elektromanyetik indüksiyon yolu ile aynı frekanslı bir gerilim indükler [3].

İndüklenen E.M.K değeri;

$$E_1 = 4,44.f. \Phi_{\max} .N.10^{-8} \quad \text{formülünden volt olarak bulunur.}$$

Primer ve Sekonder gerilimleri için;

$$U_1 = 4,44.f. \Phi_{\max} .N_1 . 10^{-8} \quad \text{(volt) primer gerilimi}$$

$$U_2 = 4,44.f. \Phi_{\max} .N_2 . 10^{-8} \quad \text{(volt)sekonder gerilimi}$$

IEC standardında yapılan tanıma göre 2MVA gücün üzerindeki güce sahip transformatörler güç transformatörü altındakiler ise dağıtım transformatörü olarak adlandırılmaktadır [3].

2.1. Transformatörlerin Sınıflandırılması

Transformatörler kullanım yerlerine, çalışma prensiplerine, gerilim seviyelerine, yalıtım cinslerine ve bu gibi değişkenlere göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırmalar şöyledir;

1- Manyetik nüve yapılış şekline göre

- Çekirdek tip
- Mantel tip

2- Sargı şekline göre

- Silindirik tip
- Dikdörtgen sargılı

3- Sargı durumuna göre

- Yalıtılmış sargılı transformatörler
- Oto transformatörler

4- Soğutma türüne göre

- Hava soğutmalı
- Yağ soğutmalı (mineral yağ, ester veya bitkisel yağlardan yapılan soğutma)
- Sentetik sıvı soğutmalı
- Su ile dolaylı soğutmalı
- Gaz soğutmalı transformatörler

5- Soğutma sistemine göre

- Kuru transformatörler
- Sıvı yalıtımlı transformatörler

6- Faz sayısına göre

- Primeri ve sekonderi aynı sayıda faza sahip olanlar
- Primeri ve sekonderi farklı sayıda faza sahip olanlar

7- Bulunduğu yere göre

- Kapalı mekân transformatörleri
- Açık alan transformatörleri

8- Çalışma gerilimine göre

- Sabit gerilimli
- Sabit akımlı

9- Kullanım amaçlarına göre

- Güç transformatörü
- Ölçü transformatörleri
- Dağıtım transformatörleri
- Çeşitli cihaz ve makinelerde kullanılan transformatörleri

10- Düşürülen veya yükseltilecek gerilim değerine göre

- Alçak gerilim transformatörleri 0-1kV
- Orta gerilim transformatörleri 1-3-5.....15-20....35kV
- Yüksek gerilim transformatörleri 45-....110kV
- Çok yüksek gerilim transformatörleri 150-1200...kV

Transformatörler kullanım alanlarına göre de çeşitli sınıflandırmaya girerler;

1- Üretim ve iletim sistemine göre,

- Yükseltici tip
- Düşürücü tip
- İletim transformatörleri
- Düzenleyici transformatörler
- Şönt reaktörler
- Nötr nokta reaktörleri

2- Dağıtım transformatörleri

3- Direklere monte edilen transformatörler

4- Özel endüstri transformatörleri

- Motor transformatörleri
- Kaynak transformatörleri
- Dönüştürücü transformatörler
- Elektrikli fırın transformatörleri (ark ocakları)
- Çekme işlerinde kullanılan transformatörleri (trackion transformer)
- Doğrultucu transformatörler

Kullanım alanları genişledikçe bu maddeler arttırılabilir.

2.2. Yağ Soğutmalı Transformatörler

Günümüz dünyasında yukarıda bahsedildiği gibi taleplerdeki elektrik üretim tesislerinden yük istasyonlarına daha fazla enerjinin iletilmesini gerektirmiştir. En uygun hale getirilmiş dizaynlar, daha iyi ve kaliteli uygun malzemeler ve geliştirilen üretim teknikleri ile gerilim seviyesi 1200 kV seviyesine çıkarmıştır [5].

Yalıtım cinslerine ve soğutma sistemine göre transformatörler da soğutma görevi ve ısının ortamdaki uzaklaştırılması ayrıca transformatörün yüksek gerilim parçalarının yalıtılması yağ ile yapılır [3]. Bu transformatörlerde yalıtımı sağlamak için sıvı (mineral, yağ, ester, vs) ve katı (selüloz bazlı malzemeler) malzemeler kullanılır.

Bunlar doğal ve zorlamalı olarak yağ ile soğutulan transformatörlerdir. Doğal soğutulanlarda yağ doğal yollarla konveksiyon yolu ile ısınan yağın üst kısımlara çıkması prensibi ile soğutma görevi yaparlar. 30MVA'ya kadar transformatörlerde kullanılır. Hava yağ ile soğutulur ve bir motor ile dolaşım sağlanır.

Bu tür transformatörlerde sıvının çeşitli görevleri vardır. Sıvı genelde sentetik yağ veya mineral yağ olabilir. Son yıllarda çevresel faktörler göz önüne alındığında doğaya transformatör ömrünü tamamladıktan sonra daha az zarar verdiğinden dolayı bitkisel yağlar kullanılması gündeme gelmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda yalıtım kuramları oluşturulmuş. İngiltere'deki bir üniversitede prototip bir transformatör yapılmıştır. Bu tezde işleyeceğimiz yalıtım dizaynı ve kuralları mineral yağ içine daldırılmış trafo kartonu kullanılmış transformatörler içindir. Yağın temel görevi yüksek gerilim potansiyeli ile tank duvarı veya diğer potansiyeller arasında yalıtım görevi yapmak ve bunu yaparken transformatörün içindeki serbest dolanımdan dolayı da ortamda oluşan ısıyı uzaklaştırmaktır.

2.3. Elektrot Sistemleri Çözömleneleri ve Yüksek Gerilim ve Ultra Yüksek Gerilim Transformatörlerinin Kısımları

Yağ soğutmalı transformatörlerde, yağ ve yalıtım sisteminin görevlerini ve çalışma prensibini daha iyi anlayabilmek için transformatörün çalışma prensibini, yapısını oluşturan elemanları, yüksek gerilim potansiyeline sahip parçaları ve bu parçaların geometrilerini bilmek gerekmektedir.

Alternatif akımda; güç sabit kalmak şartı ile elektrik enerjisinin gerilim ve akımı değerlerini ihtiyaca göre değiştirmeye yarayan aygıtlardır.

Transformatörün primer sargılarına bir alternatif akım uygulandığında bobinler içerisinde bulunan demir nüvede bir manyetik akı dolaşmaya başlar bu akı demir nüvenin bacağına bulunan sekonder sargıyı keserek manyetik indüksiyon yoluyla bir gerilim indüklenir.

Primer ve sekonder sargılar arasında elektriki bir bağ yoktur. Üç fazlı transformatörlerin çalışma prensibi bir fazlı transformatörler gibidir. Üç fazın sargıları arasında 120° faz farkı vardır.

Transformatörlerde gerilimler siper sargıları doğru orantılıdır, akımlar ise ters orantılıdır. Bu oran aynı zamanda transformatörlerde boşa dönüştürme oranıdır ve dizayn koşullarına göre tasarlanır.

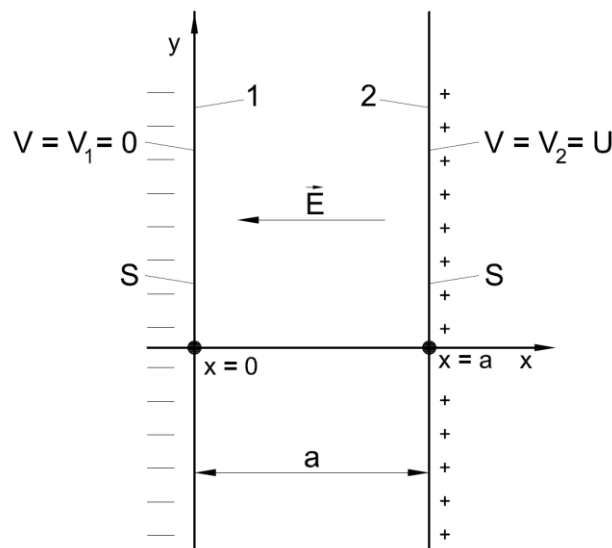
Transformatörlerin içerisinde magnetik ve elektrostatik alan teoremlerine göre birçok olay gerçekleşmektedir. Sistem güvenilirlik açısından bu teoremlere göre incelenmelidir.

2.3.1. Elektrot sistemleri

Yağ soğutmalı transformatörlerin iç yapısına baktığınızda en basit haliyle farklı geometrilerdeki elektrot sistemlerini görürsünüz Düzlemsel, küresel silindirik ayrıca eşksenli ve paralel eksenli birçok sistemi ayrı ayrı çözümleniz gerekmektedir. Bölüm 2.3.1.1 , 2.3.1.2 , 2.3.1.3 ve 2.3.1.4'te bu sistemlerde kullanılan bağıntıları ve boyut ilişkilerini göreceksiniz.

2.3.1.1. Düzlemsel elektrot sistemleri

Şekilde elektrot alanı S, elektrotlar arası açıklık a ve elektrotlara uygulanan gerilim U olan paralel bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Düzlemsel Elektrot Sistemi Şeması

$$E = \frac{d^2V}{dx^2} = 0$$

denkleminin genel çözümü;

$$V=A+Bx$$

genel çözümünde A ve B sabitleri sınır koşullarda bulunur.

$V=V_1=0$ ve dolayısıyla

$A=0$ $x=a$ için

$V=V_2=U$ bu denklemlerle beraber

Buna göre potansiyel değişim

$$V = \frac{U}{a} x$$

Elektrik alanın ifadesi de

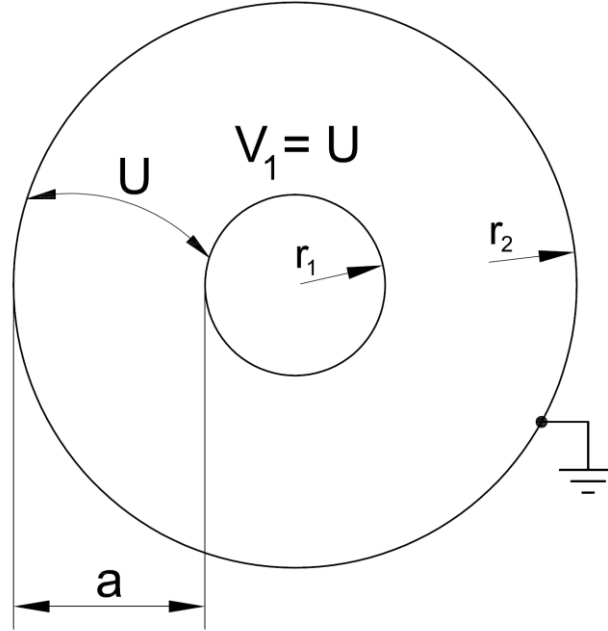
$$E = -\frac{U}{a} = \text{sabit}$$

Denklemlerden görüldüğü gibi V potansiyeli paralel levhalar arasında lineer olarak değişmektedir. Alan ise levhalar arasında her yerde aynıdır.

Eğer sistemde elektriksel zorlanma sistemin delinme dayanımına eşit veya büyük ise sistemde boşalma olayları başlar ($E > E_d$). Boşalma olaylarından sonra sistemi tam delinmeye götürür. Düzgün alanda delinme elektrik alan her noktada aynı olduğundan kısmi boşalma olayları tam gelişme bulamadan tam delinme ile sonuçlanır [4].

2.3.1.2. Küresel elektrot sistemleri

Sistemimizde yer alan elektrot düzenleri aynı merkez üzerinde yer alan elektrot sistemine örnek oluşturmaktadır. Bu bölümde de temel olarak aynı merkezde tek tabakalı elektrot sisteminde alan dağılımını incelenecektir.



Şekil 2.2. Küresel Elektrot Sistemi Şeması

Yarıçapları r_1 ve r_2 olan elektrotlara uygulanan gerilim U olan eşmerkezli küresel elektrot sistemi gösterilmiştir.

Burada V potansiyeli r ye bağlı değişir. Bu yüzden

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad \text{denklemini çözüldüğünde}$$

$$V = A + \frac{B}{r} \quad \text{gibi bir gerilim bağıntısı çıkar.$$

A ve B sınır koşullarında bu denklem çözülür ise;

$$V = U \frac{r_1}{r_2 - r_1} \left(\frac{r_2}{r} \right)$$

Alan şiddeti ise;

$$E = U \frac{r_1 r_2}{r_2} \frac{1}{r^2}$$

Denklemi elde edilir.

$$r=r_1 \text{ için} \quad E = E_{\max} = U \frac{r_2}{r_1} \frac{1}{r_2 - r_1} \text{ değeri}$$

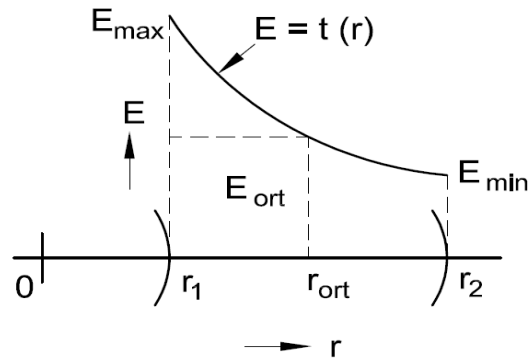
$$r=r_2 \text{ için} \quad E = E_{\min} = U \frac{r_1}{r_2} \frac{1}{r_2 - r_1} \text{ değeri çıkarılır.}$$

Ortalama elektrik alanı değeri, elektrotlara uygulanan gerilimin elektrotların açıklığına oranı olarak tanımlanır.

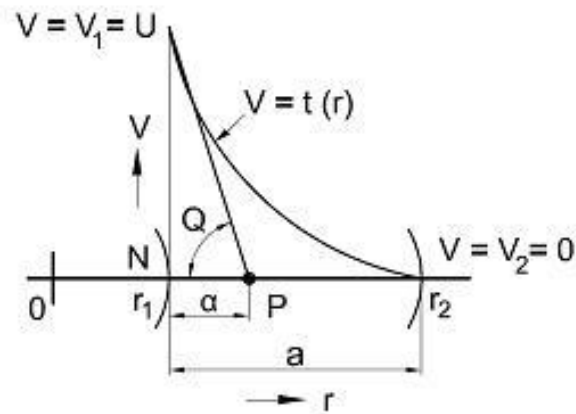
$$E_{ort} = \frac{U}{r_2 - r_1}$$

Bu denklemden R_{ort} ;

$$R_{ort} = \sqrt{r_1 r_2} \text{ olarak bulunur.}$$



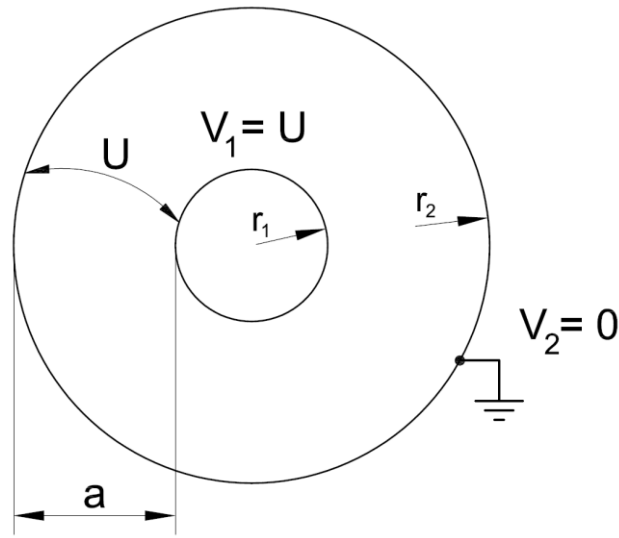
Şekil 2.3. Küresel Elektrot sisteminde Elektrik alan değişimi; $E=f(r)$



Şekil 2.4. Küresel Elektrot sisteminde potansiyel değişimi $V=f(r)$

2.3.1.3. Silindirik elektrot sistemleri

Silindirik elektrot sistemi daha çok uygulamada yer bulan ve transformatör içinde sargılar, geçit izolatorleri folyoları, yüksek gerilim sargı çıkış düzenekleri bu elektrot sistemine daha yakın geometrilerdir.



Şekil 2.5. Silindirik Elektrot Sistemi Şeması

Yarıçapları r_1 ve r_2 , uzunluğu l ve elektroda uygulanan gerilim U olan eşeksenli silindirik elektrot sistemi gösterilmiştir. V potansiyeli r 'ye bağlı değiştiğinden bu sistemin denklemini;

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} = 0$$

Silindirik sistemde V çözümlenir ise;

$$V = A + B \ln r$$

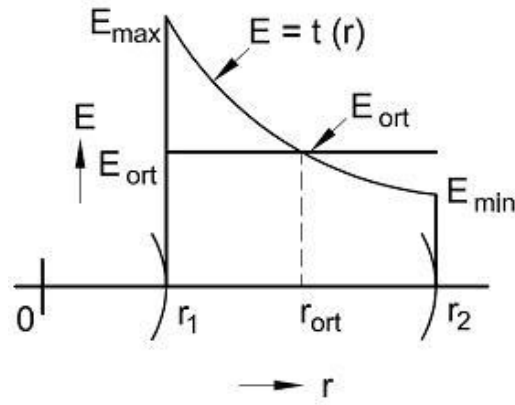
İfadesi ortaya çıkar. A ve B sınır değerlerinden çıkarılır yerine yazarsak;

$$V = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{r_2}{r} = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (\ln r_2 - \ln r)$$

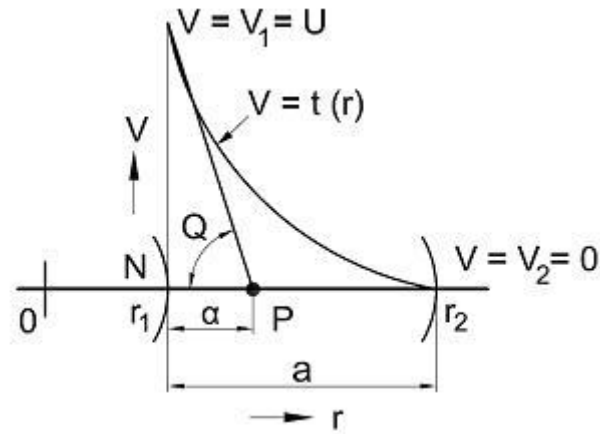
Alan şiddeti ise $E = -\frac{dV}{dr}$ bağıntısından

$$E = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Bu denklemden sınır değerlere göre r_1 ve r_2 çaplarında E_{min} , E_{max} , E_{ort} ve r_{ort} değerleri çıkarılıp eğriler aşağıdaki gibi oluşturulur.

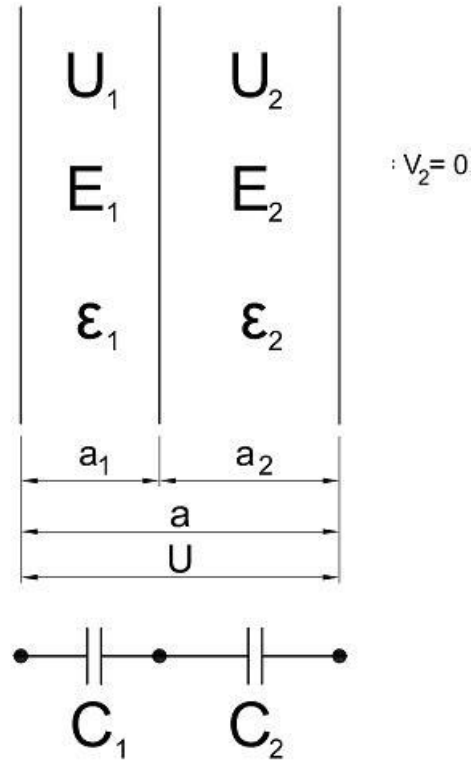


Şekil 2.6. Silindirik Elektrot Sisteminde Elektrik Alan Değişimi $E=f(r)$



Şekil 2.7. Silindirik Elektrot Sisteminde Potansiyel Değişimi $V=f(r)$

Eğer elektrotlar arasında farklı 2 veya 3 dielektrik sabitine sahip malzeme yerleştirilir ise bu tabakalı elektrot sistemlerinin çözümlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.8. Tabakalı Elektrot Sistemi Şeması

Yukarıdaki sistem çözümlenmesi için C_1 ve C_2 kapasiteleri ve eşdeğer sığa tanımlanmalıdır.

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 S}{a_1} \quad C_2 = \frac{\epsilon_2 S}{a_2}$$

Bu düzende toplam sığa $C = \frac{S}{\frac{a_1}{\epsilon_1} + \frac{a_2}{\epsilon_2}}$

$$U_1 = \frac{C}{C_1} U = \frac{a_1}{a_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} a_2} U$$

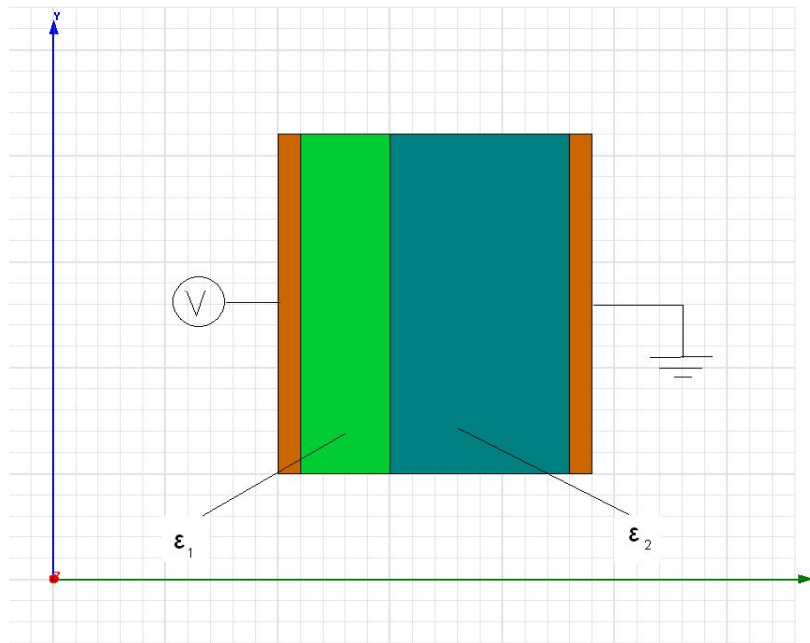
$$U_{21} = \frac{C}{C_2} U = \frac{a_2}{a_2 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} a_1} U$$

$$E_1 = \frac{U}{a_1 + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} a_2}$$

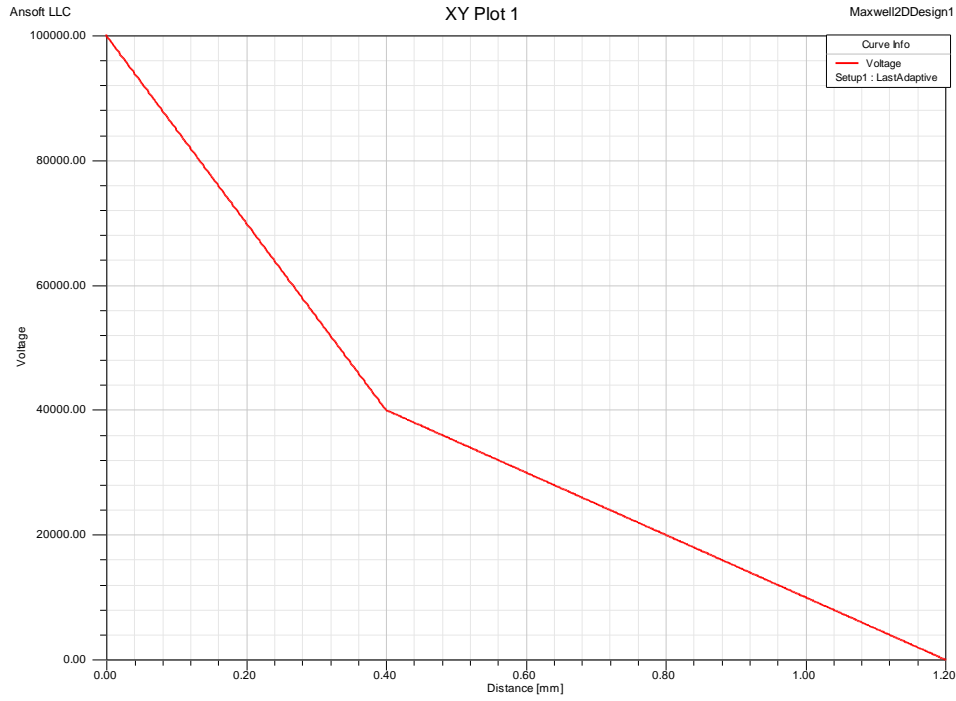
$$E_2 = \frac{U}{a_2 + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} a_1}$$

Tabakalardaki elektrik alanları dolayısıyla zorlanmalar $E_1/E_2 = \epsilon_2/\epsilon_1$ orantısına göre dağılır ve yalıtkan tabakaların dielektrik katsayıları ile ters orantılıdır. Dielektrik katsayısı küçük olan malzeme üzerindeki zorlanma daha büyük olur ve bu sistemi delinmeye götürebilir. E_1 ve E_2 denklemlerinden görüleceği üzere tabaka üzerinde zorlanmalar dielektrik sabitlerinden ve tabakanın kalınlığına bağlı olarak değişir [4].

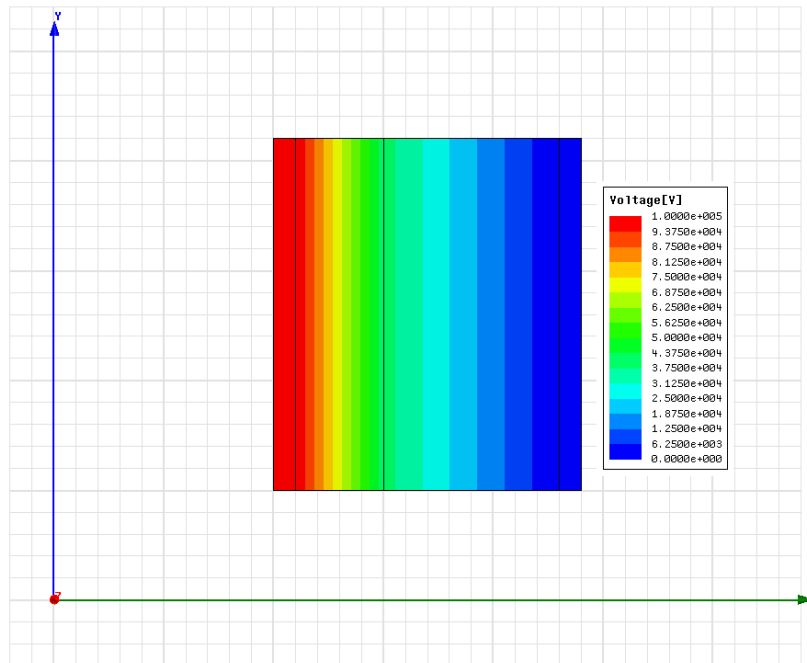
2.3.1.4. İki tabakalı sistemin incelenmesi



Şekil 2.9. İki Tabakalı Sistem Şeması: $\epsilon_1/\epsilon_2=1/3$ $a_1/a_2=1/2$ $U=100kV$



Şekil 2.10. İki Elektrot Sistemi Arasında Potansiyel Dağılımı



Şekil 2.11. İki Elektrot Sistemi Arasında Eşpotansiyel Çizgileri Dağılımı

Sistemin üzerinde eşpotansiyel çizgileri gösterilmiştir. Şekil 2.10 da potansiyelin %60'lık kısmının ϵ_1 dielektrik sabitli malzeme üzerinde kalan kısmının da ϵ_2 dielektrikli malzeme üzerinde düştüğü görülmüştür [4].

Transformatör içinde bu geometrilere benzer geometriler vardır. Fakat 3. boyuttaki çevresel etkileri hesaba katıp geometrilerdeki elektrostatik alan değişimlerini göz önüne alabilmek için daha kapsamlı çözümler yapmak gerekmektedir. Bu yüzden farklı çözümleme yöntemleriyle incelemeler yapmak gerekmektedir. Bu tür analizler SEY (Sonlu Elemanlar Yöntemi) yöntemiyle çözümleme yapan programlarla çözülmektedir.

Trafoalarda genellikle yukarıda açıklanan 2 tabakalı sistemin benzeri sistemler kullanılır. Fakat genellikle 3 ve daha çok tabaka mevcuttur. Sistemde kullanılan 2 elektrot arasında yalıtım yapısı mevcuttur ve bu yalıtım yağı yağ emdirilmiş selüloz malzeme ile yağ kanallarına bölünmüştür. Ayrıca elektrot yüzeyleri de temel yalıtım ile yalıtımı yapılmıştır. Bundan sonraki bölümde bu katı yalıtkanın fonksiyonu işlenecektir.

2.3.2. Yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim transformatörlerinin kısımları

Bir transformatör aşağıdaki parçalardan oluşur;

Demir Nüve: manyetik akı oluşmasını ve sargılar arasında bu akının iletilmesini sağlar. Genellikle YG transformatörlerinde tanecikleri yönlendirilmiş elektrik çeliği kullanılır. Bu saçların B-H karakteristikleri ve kayıp karakteristikleri vardır.

Primer Sargılar: Transformatörün giriş kısmıdır.

Sekonder Sargılar: Transformatörün çıkış kısmıdır.

İzolasyon Yağı: Sarımlar sargılar arası ve gövde tank arası izolasyonu ve soğutmayı sağlar.

İzolasyon malzemeleri: Yüksek gerilim transformatörlerde genelde selüloz bazlı malzemenin özel prosesler sonrasında trafo sargı, kabloları, tankı, vs çevresel etkilere göre şekil verilmiş malzemelerdir.

Ana tank: Sargıların, nüvenin ve yağın bulunduğu kısımdır.

Rezerve Tankı: Genleşme ve yedek yağ tankıdır.

Yağ Seviye Göstergesi: Rezerve yağ servisini görmek içindir.

Radyatör: Transformator yağının soğutulmasını sağlar.

Tekerlekler: Transformatorü taşımaya yarar.

Buşingler: Orta Gerilim, Alçak Gerilim veya Yüksek Gerilim fazlarının bağlantı terminalleridir.

Ark boynuzu: Enerji nakil hatlarında bir gerilim yükselmesinde buşingi koruyan elemanlardır.

Termometre: Transformatorün ısı derecesini gösterir.

Gerilim Kademe Komütatörü: OG gerilim seviyesini ayarlamaya yarar.

Taşıma Kancaları: Transformatorü montaj ve demontaj işleminde kaldırmaya yarar.

Konumuz bağlantılı olarak bir yüksek gerilim güç transformatoründe yalıtım tasarımı ve kuramları için yüksek gerilim ve toprak potansiyeli arasında elektrostatik alanların incelenmesi sonucunda çeşitli kuramlar ile bu elektrostatik alan dağılımı içinde sistemler dizayn edilmektedir. Bu dizaynlar onlarca yıllık tecrübe içerisinde özellikle üretim ve transformator hazırlık (kurutma yağ empenye vs) proseslerinde kolaylıklar ve optimizasyon sağlayıp bu proseslere bağlı oluşacak hataları ve kayıpları en aza indirmeyi hedeflemiştir. Bu elektrostatik alan dağılımlarını incelerken öncelikle trafo içindeki geometriler modellenmeli ve incelenmelidir.

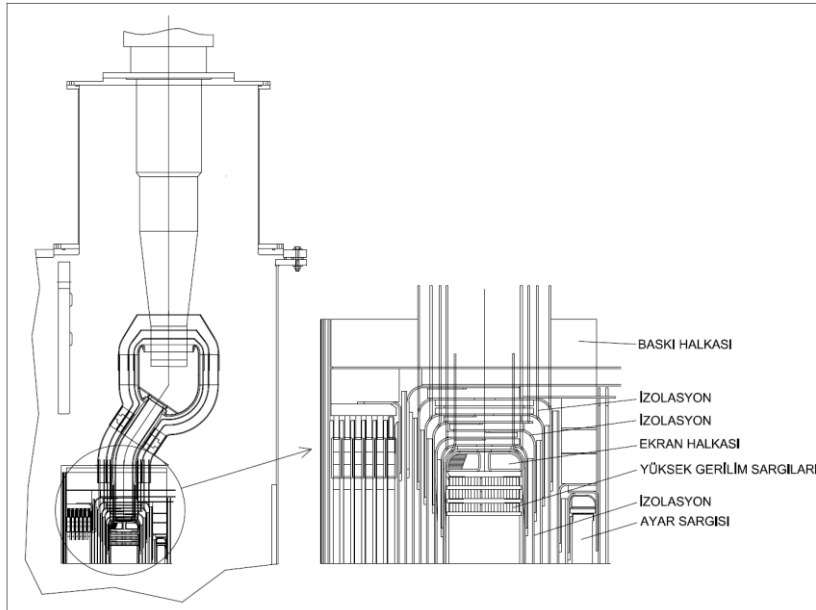
Bir transformatorün içyapısını modellemeye çalışırken çeşitli geometriler ile karşılaşılır, daha kolay ve kısa çözümler için bu geometriler en yakın uygun

geometriye indirgenir. Bölüm 2.3.1’de bu geometrilerin indirgeneceği sistemler ve elektrik alan bağıntıları anlatılmıştır.

2.3.3. Çok yüksek gerilim transformatörlerinde katı yalıtkanın fonksiyonu

Enerji iletiminin güvenliği transformatör yalıtım sisteminin işletme güvenliğine kuvvetlice bağlıdır. Uzun ömürlü kullanılabilirliği ispatlanmış dizayn kriterleri, sistem ve sistemi oluşturan komponentlerin kalitesine bağlı olarak başarılı olur. Bu açıklamaya karşın, hala elektriksel dayanımı arttırmaya yönelik dizayn optimizasyonuna öncülük eden büyük bir potansiyel vardır. Bununla bir baştan bir başa yalıtım hacmi düşürülerek transformatörler için önemli bir fayda sağlanmış olur.[1] Bundan böyle transformatör hacmindeki yalıtım;

- boyutları dolayısıyla ağırlığı ve maliyetlerin düşmesine
- kayıpların düşmesine ve iletken kesitlerinin azalmasına
- değerlendirilmiş çıkış gücünün nüve ve iletken boyutları artırılarak arttırılmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.12. Katı Sıvı İzolasyon Sistemleri

Yalıtım hacminin düşürülmesi dolayısıyla transformatör hacminin düşürülmesi sıvı ve katı yalıtım sistemlerinin fonksiyonunu anlamakla mümkündür. Sıvı yalıtım temel olarak tüm hacme doldurularak ve katı yalıtımda içine emdirilmek suretiyle elektriksel olarak dayanım sağlar. Ayrıca sıvı yalıtımın bununla birlikte en önemli işlevlerinden biri de stresli bölgelerde oluşan ısıyı bölgeden uzaklaştırıp ortamın sıcaklığını uygun seviyede tutmasıdır. Katı yalıtım sistemi çok yüksek stresli geniş yağ kanallarını dar yağ kanalları aralıklarına bölmek suretiyle inşa edilir. Bu inşa edilen yapı yağ kanallarının elektriksel dayanımını artırır. En artmış elektriksel dayanım ise bu yağ kanallarının elektrostatik alan çizgilerine dik eş potansiyel çizgilerine paralel olduğu yapıdır [1]. Bu da elektrik alan çizgilerinin dolayısıyla geometrilerin buna göre ayarlanması yapının da buna göre oluşturulması anlamına gelmektedir. Bu tür yalıtım sistemlerinde tamamıyla yağ emprenye edilen %100 selülozdan oluşan transformatör yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır.

2.3.3.1. Katı (transformatör kartonu), sıvı (transformatör yağı), katı sıvı yalıtım sisteminin dielektrik dayanımı

Bilindiği gibi transformatörlerde yalıtım malzemesi olarak kullanılan kartonun dielektrik sabiti yağın dielektrik dayanımından 2-3 kat daha büyüktür. Ayrıca transformatör kartonunun dielektrik sabitinden dolayı elektrik geriliminin yarattığı stres bu malzemesi üzerinde daha az düşecektir. Seri bağlantılı paravana bariyer sisteminde en zayıf olan yağ kanalı zincirin en zayıf halkası olacaktır.

2.3.3.2. Elektriksel delinme teoremi

Bir yalıtım sisteminde boşalma olaylarından kaçınılmalı, sistem bu olayların oluşumunu engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ne yazık ki henüz gazlarda delinme olayları ile karşılaştırılabilir bir yağ delinme teorisi yoktur. Dalga şekline ve serbest yol uzunluğu yeterli uzunlukta olmamasına bağlı olarak elektron çığının biçimi ideal yağ içinde olması mümkün değildir. Daha önce boşalma veya deşarj çok küçük habbecikler teorisine göre açıklanıyordu. Gerçekte sıvıların içeriğinde habbecik olarak adlandırılan deşarjların boşalmaların içlerinde ateşleme yaptığı daha az yoğunluklu hacimler bulunur. Bu hacimlerin dielektrik sabitleri kendi içlerinde

çok küçük oldukları için bu ateşleme olayı meydana gelir. Bu teoriyle birlikte dışarıdan uygulanan statik basında bağlı olarak gazlar ve sıvıların delinme teorisi benzerlikler göstermektedir. Söylenene göre kaynama sıcaklık derecesinin altında termal molekül hareketi yüzünden elektrik alan olmasa dahi habbecikler meydana gelebilir [1]. Bununla birlikte yeni habbecikler bölgesel akım yoğunluğu artışından, aşırı ısınmadan, negatif yük alanlarının genişlemesinden dolayı elektrik alanlar ile birlikte meydana gelebilir [1]. İyonlar yüklü sıvı hacimler ve sıvı içindeki parçacıklar elektrik alan tarafından hızlandırılırlar ve lokal hızlara bağlı oluşan habbeciklere, daha az yoğunluğa öncülük eden şiddetli elektrohüdrodinamik harekete sebep olurlar [1]. Boşalmalar bu elektrot da kayma yapan parçacıklar sebebiyle ateşlenebilir [1]. Alan oluşumu sebebiyle polariteden dolayı bu parçacıklar yapı içinde elektrot üzerinde toplanma eğilimi de gösterebilirler. Bu eğilim kutuplaşma oluşan yüzeylere birikme ve toprağa doğru bir köprü oluşturma ile başlar zaman içinde bu birikme bu mesafeyi azaltacağından boşalmaları tetiklemiş ateşlemeyi başlatmış olabilir [1].

Yeni sızma teorisi, kuantum mekaniğine bağlı olarak elektronik yüklerin transportunda yer alan şekilsiz katı bölgeyi, ‘izinli alanları’ benzer bir şekilde belirtir [1]. İzinli alanlar sıvı içinde yükü taşıyan demetlere, moleküllere, birbiriyle kombine olan veya tekrar doldurulan yüklere bağlı olarak genişler [1]. Delinmeye başlama işlemi olarak bu yük değişimi aralarında yüksek elektrik alan etkisi altında bulunan elektrotlu alanın orijini olarak dikkate alınır [1]. Bu orijinin çevresel etkilerinden dolayı kutuplaşmaya bağlı olarak boşalma ağaçlanma şeklinde meydana gelir. Bunlar böylece artan akım akışı, bölgesel ısınma ve düşük yoğunluklu kanalları karakterize ederler (birincil ark) [1].

Aşırı ısınan kanallara, gaz formasyonuna ve parlayan geri boşalmalara doğru mikroskobik alanlar daha güçlü bir akım ile ikincil arka ulaşılır ve sonucunda delinme meydana gelir [1]. Düşük yoğunluklu bölgeler başlangıç delinmesinin sebebi olmaması fakat sonucu olmasına rağmen önemli bir rol oynar. Yağ içinde boşalmaların tetiklenmesinin araştırılmasında birçok etki gözlemleriz. Özellikle su molekülleri çözünür ve buharlaşır. Sıcaklık değişimine göre suyun çözünme kabiliyetine göre değişir bu elektriksel dayanımı etkileyen birime bağlı nem oranı

denir. Nem lifleri yağ boşluklarını köprü kurarlar. Çözülmüş gazlar ve yalıtılmamış elektrotlar elektriksel dayanımı düşürürler [1].

2.3.3.3. Yağ kanallarının elektriksel dayanımları

Ne yazık ki boşalma geriliminde, boşalma mekanizmalarının istatistiksel karakteri ile ifade edilebilen güçlü bir istatistiksel dağılma gözlemlenmektedir [1]. Deşarj sıklıkları veya olasılıkları tayin edilebilmesi için büyük sayıda boşalma denemeleri yapılması gerekmektedir [1].

Yapılan çok sayıda istatistiksel çalışma ve olasılık hesapları sonucunda farklı şartlar için tasarım eğrileri oluşturulmuştur. Bu istatistik çalışma da kısmi boşalma başlamasını olasılığını olabildiğince küçük olasılığa indiren kriterler çıkarılmıştır. Bu eğriler içindeki gaz arındırılmış alınmış yağ içinde emprenye edilmiş yalıtım paravaneleri arasında aşağıdaki formülle tanımlanmıştır [1];

$$E_{oil} = 21d_1^{-0,37}kV_{rms} / mm \quad [1];$$

Eğer üzerine yalıtımla kaplanmış ekran ile ilk paravana arasında ise (sargı üzerine sarılmış kraft kâğıdı veya iletken ekran üzerinde temel izolasyon gibi) aşağıdaki formülle kurutulmuş (gazı ve içindeki nemi alınmış) transformatör yağı için tanımlanır [1].

$$E_{oil} = 17.8d_2^{-0,36}kV_{rms} / mm \quad [1];$$

d_2 mesafesi izole edilmiş ekran ile ilk izolasyon paravanası arasındaki mesafedir.

2.3.3.4. DİL Yalıtım Tasarım seviyesinin belirlenmesi

Yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim transformatörleri IEC 60076-3'te tanımlı yalıtım tip testlerine maruz kalırlar. Yıldırım darbe dayanım testi, anahtarlama darbe dayanım testi, uygulanan gerilim testi, endüklenen gerilim testi ve kısmi boşalma

testleri yapılır [7]. Bunlardan ilk 4 tanesi sırasında sistem aşırı gerilim dayanımına göre test edilir.

Transformatörlerin dizayncıları elektrostatik alan çalışmalarını ve bu çalışmalar sonucunda oluşturdukları dizaynlarını bu testlerde ve işletme şartlarında kısmi boşalmalar ve dolayısıyla zamana bağlı delinme olmayacakmış gibi yapmalıdırlar. Bu yüzden bu değerler ile direk dizayn yapmaktansa bu değerlere belirlenmiş katsayılarla karşılık gelen bir dizayn değeri çıkarılır [2]. Değeri kV rms olarak tanımlanır [2].

Bu katsayılar arasında

$$V_t = \left(\frac{1}{t} \right)^{0,055} V_1 \text{ bağıntısıyla tanımlanmıştır [2].}$$

t = testte uygulanan gerilimin uygulanma süresi

LI (Yıldırım darbe dayanım seviyesi değeri) için bu katsayı 2,3

SI (Anahtarlama darbe dayanım seviyesi değeri) için bu katsayı 1,8'dir.

Bu hesaplamalara göre örnek olarak;

LI (Yıldırım darbe dayanım seviyesi değeri) : 1550 kV

SI (anahtarlama darbe dayanım seviyesi) :1175 kV verilebilir.

Değerleri için

$$DIL = LI/2,3 = 1550/2,3 = 673 \text{ kV}$$

veya

$$DIL = SI/1,8 = 1175 /1,8 = 652 \text{ kV hesaplanır, büyük değere göre tasarım yapılır.}$$

Bu firmaların yaptığı dizaynlar da kabullerine göre değişim göstermektedir. Ayrıca bu hesaplama güvenlik katsayısı da eklenmiş durumdadır. Aşağıda bu

transformatörler için IEC 60076-3'de tanımlanan gerilim seviyeleri tablo olarak verilmiştir [8].

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s	Rated switching impulse withstand voltage phase-to-earth kV peak	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak	Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.
	550	850	325
245	850	750	360
300	750	850	395
362	850	950	460
	950	1050	510
	850	1050	460
420	950	1175	510
550	1050	1300	570
	1175	1425	630
	1300	1550	680
800	1300	1675	note 3
	1425	1800	note 3
	1550	1950	note 3
		2100	

NOTE 1 Dotted lines are not in line with IEC 60071-1 but are current practice in some countries.

NOTE 2 For uniformly insulated transformers with extremely low values of rated AC insulation levels, special measures may have to be taken to perform the short-duration AC induced test, see 12.2.

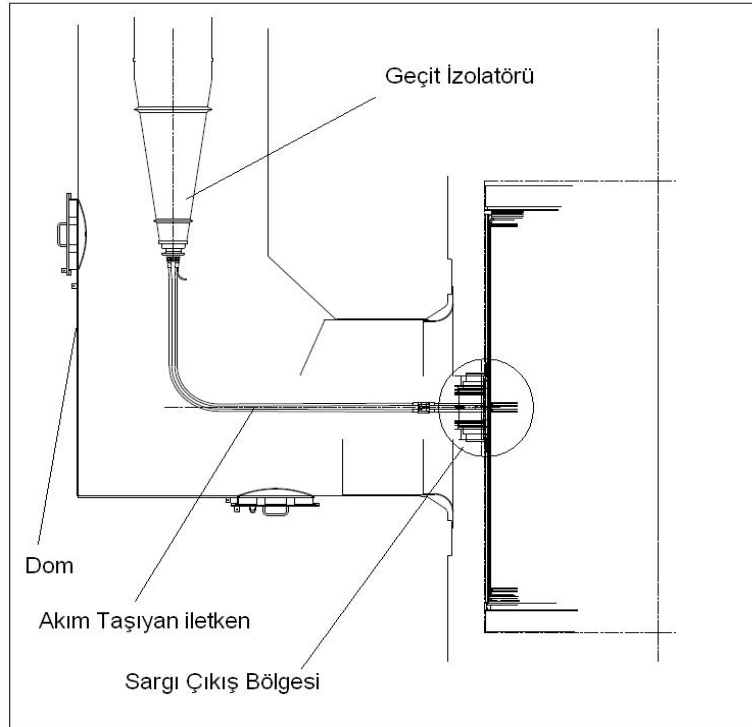
NOTE 3 Not applicable, unless otherwise agreed.

NOTE 4 For voltages given in the last column, higher test voltages may be required to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met. This is valid for the lower insulation levels assigned to the different U_m in the table.

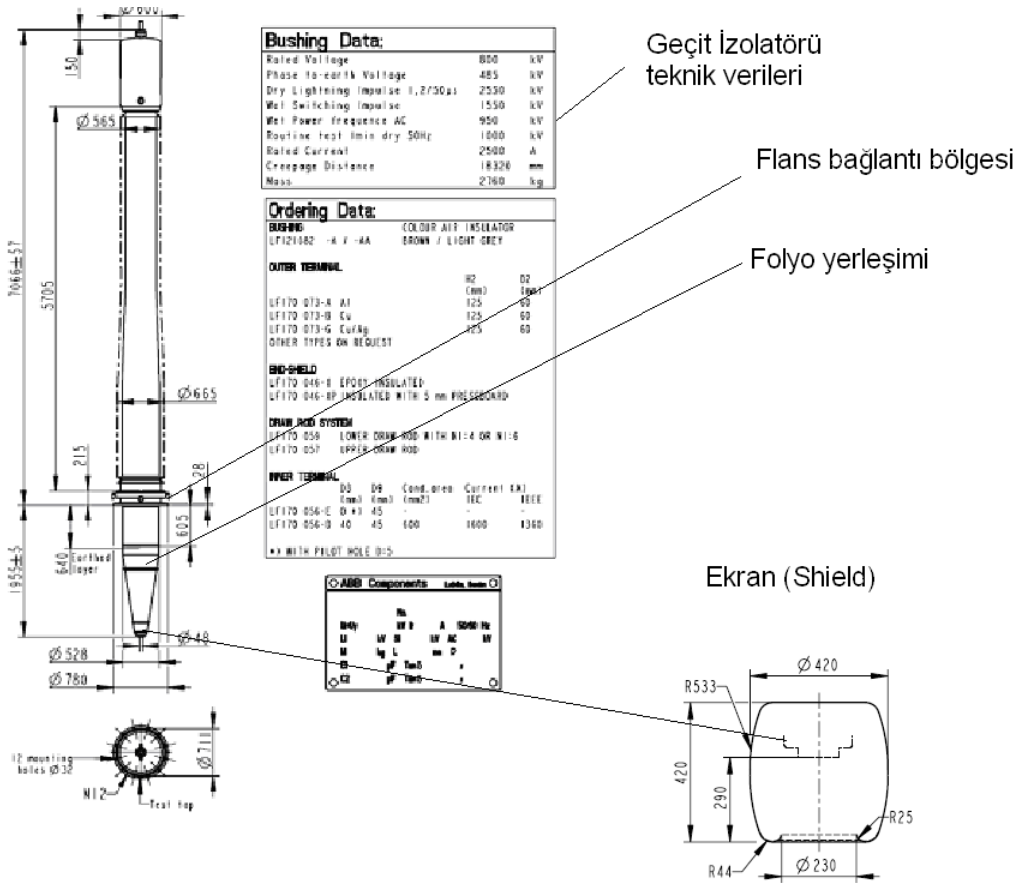
Şekil 2.13. $U_n > 170$ kV Transformatör sargıları için değerlendirilmiş dayanım gerilimleri

BÖLÜM 3. SARGI ÇIKIŞ DÜZENEKLERİ VE ÖNEMİ

Yüksek gerilim transformatörlerinde yüksek gerilim potansiyelini endükleyen sargılarda pek istenmeyen bir durumdur. Transformatörlerde özellikle enerji taşıyan iletkenler tek parça halinde üretilmeyebilir. Ayrıca tek parça halinde üretilse dahi sargılardan geçit izolatörlerine (buşinglere) elektriksel iletimi sağlamak için kullanılan iletkenlerde ek yapmak oldukça sakıncalıdır. Transformatörlerde sarılmış sargılar çeşitli izolasyon malzemeleriyle 2. bölümde anlatıldığı gibi çeşitli kuramlar ile yalıtılırlar. Fakat bu iletkenler geçit izolatörlerine geçiş bölgelerinde tank içinde veya dom içinde yüksek gerilim potansiyeli ile topraklanmış yüzey olan tank karşı karşıya kalır. Bu bölgenin resmi şekil 3.1 de ve bu bölgede kullanılan buşingin örnek resmi Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sargı çıkış –Geçit izolatörü arası bağlantı



Şekil 3.2. Geçit İzolatörü Teknik Verileri

Ayrıca yüksek gerilime sahip bir iletken bu bölgede toprak yüzeyine en yakın mesafededir. Bu noktalarda elektrik alan çok yüksek seviyelere çıkar bu artış ise daha fazla yalıtım gerektirir. Bu bölgeden geçecek iletken yüzeyi direk izole edilmeye kalkışılırsa bu yalıtımın çok kalın olmasına gerek duyulur. Bu kalın yalıtımın da yağ empenye edilmesi ve kurutulması başlı başına sorunlar içermektedir. Bunun yanında kalın yalıtım zaman içinde oluşacak ısıyı ortadan uzaklaştıran yağın ortamdaki akmasını engelleyecek ve ısının uzaklaşmasını da engelleyeceği için sıcaklık dolayısıyla gelecek hataları beraberinde getirecektir. Ayrıca yanlış uygulamalar zaman içinde kısmi boşalma seviyesinin yüksek olması sonucunda bu bölgede yalıtımın delinmesine kadar uzanan hataların oluşmasına sebep olur.

Bu gerekçelerden dolayı bu bölgedeki bağlantı elemanları özel şekilde ekran içine alınması akım taşıyan iletkenlerin bir ekran içinden geçirilmesi ve bu ekranın en iyi şekilde yalıtılması gerekmektedir. Ayrıca yapılan ekran bu bölgede oluşan statik kuvvetlere de karşı koyabilecek kadar mukavemetli olmalıdır. Bu ekranın bir diğer görevi de yağ içinde bu kabloların sabitlenmesini sağlayıp herhangi bir etki (aşırı akım gibi) sonrası transformatör tankına yaklaşmasını engelleyip elektrik alanların bozulmasını ve dolayısıyla meydana gelebilecek birçok delinmeye sebep olabilecek kısmi boşalmanın önüne geçmektir. Bu ekran üzerine düşecek elektrik gerilimi sonucu oluşacak elektrik alanı azaltacak şekilde dizayn edilmelidir. Bu ekran iletken üzerinde yapılacak bağlantıda oluşacak sivri noktaların etkilerini minimuma indirir ayrıca kısmi boşalmalar veya ark oluşumu ile transformatör yağı içinde gaz oluşumunu engeller. Bu da transformatörümüzün ömrünü uzatır.

Bu kısmın incelemesini yapabilmek ve yeni bir düzen dizayn etmek için bölgesel alan incelemesi için buşingin içyapısı ve bağlantı bölgesindeki sargı potansiyel dağılımı önem kazanmaktadır. Buşingin üzerindeki folyolardan oluşacak elektrik alanının şeklini belirleyeceği için bunların yerleşimi ve potansiyel dağılımının bilinmesi hesaplamalara da dâhil edilmesi gerekmektedir. Bölüm 4'te bu buşinglerin içyapısı anlatılacaktır.

Bu özel yalıtım sistemleri ayrıca;

- Yapılacak dizayn ile montaj kolaylığı sağlar.
- Farklı Geçit izolatörü açılara uygunluk gerçekleştirilir. Şalt tesisinin ve çevresel faktörlerin durumlarına göre buşing transformatörlerde dik açıyla değil daha küçük açılarla da giriş yapabilir. Modüler dizaynlar ile bu giriş açısı da ayarlanabilir.
- Elektrostatik olarak alanların azaltılması sağlanır.
- Dom içine monte edilebildiği için dom ile birlikte sökölüp trafonun daha kolay taşınabilmesini sağlar. Genellikle dom çıkışlarından dolayı büyük güçteki transformatörlerin taşınması sorunlar içermektedir. Bu yüzden domun ayrı bir

şekilde taşınması gerekir. Bu taşınma esnasında transformatörün içi tüm dış şartlardan korunmalıdır. Bu tür dizayn bu parsiyel taşınmaya olanak sağlar.

- Bu bölgede boyutlarda optimizasyon sağladığı için kullanıcıya ekonomik olarak yarar. Dom çapları yapılacak iyileştirmeler ile daha da küçültülmeye olanak sağlar. Bu da toplam yağ miktarı kullanılan çelik miktarının azalmasına sebebiyet verir.

Geçit izolatörlerinin yapısı ve içerisindeki folyo yerleşimi ile oluşan gerilim dağılımı yapılan dizaynı oluşmasındaki etkenlerden biridir.

3.1 nolu şekilde verilen örnek daha sonra tasarımını yapacağımız sistem gerilimi 765kV gerilim seviyesine sahip LI değeri 1950 kV ve SI değeri 1550 kV olan bir transformatörün sargı çıkışlarında geçit izolatörü bağlantısına kadar olan bölümün, dom çıkışının resmidir. Dizayn ve elektrostatik alan çalışmaları kısmında 1250 mm çapa sahip bu dom ve buşingin modellemesi yapılacak yerleştirilen ekran ile birlikte elektrik alanın yoğunlaştığı yerler incelenecektir. Bu bölgenin incelenmesi için ise buşingler ile ilgili de bilgi sahibi olmamız gerekmektedir. Bölüm 4'te buşinglerin yapısı ve tasarıma etkileri incelenecektir.

BÖLÜM 4. GEÇİT İZOLATÖRLERİ (BUŞİNGLER)

Elektrik enerjisinin bir ortamdan diğerine geçiş sınırındaki ayırıcı yüzeye monte olan ve bu ayırıcı ile elektrik iletim kablosunu izole eden en basit haliyle bir boru ve yalıtım malzemesinden oluşan sisteme geçit izolatörleri denir. Bunlar kullanım yerlerine göre çeşitlere ayrılırlar.

4.1. Kullanma Yerlerine Göre İzolatör Çeşitleri

İzolatörler kullanım yerlerine göre iki çeşittir. Bunlar, dâhilî ve harici tip izolatörlerdir.

4.1.1. Dâhilî tip

Trafo Bina İçi mesnet izolatörler, kapalı tesislerin baralarını taşımak ve yalıtım amacıyla kullanılır. Tek veya çok parçalı olarak imal edilir. Duvar veya kaide üzerine montaj yapılır.



Şekil 4.1. Hariçten dâhile geçiş için kullanılan geçit izolatörleri



Şekil 4.2. Pano tipi mesnet izolatörler

4.1.2. Harici tip

Direklerde mesnet izolatörler, havai hatlarda tek veya çok parçalı olarak kullanılır. İletkenleri taşımak ve direklerden yalıtılmak üzere travers üzerine veya ağaç direklerde doğrudan direğin üzerine montaj yapılır.



Şekil 4.3. Direklerde OG İzolatörleri



Şekil 4.4. AG İzolatörler

Zincir izolatörlerin darbe, kopma ve kırılma mukavemetleri, mesnet izolatörden fazla olduğundan yüksek ve çok yüksek gerilimlerin taşınmasında tercih edilir. İletkenleri taşımak ve direklerden yalıtılmak üzere travers üzerine montaj yapılırlar.

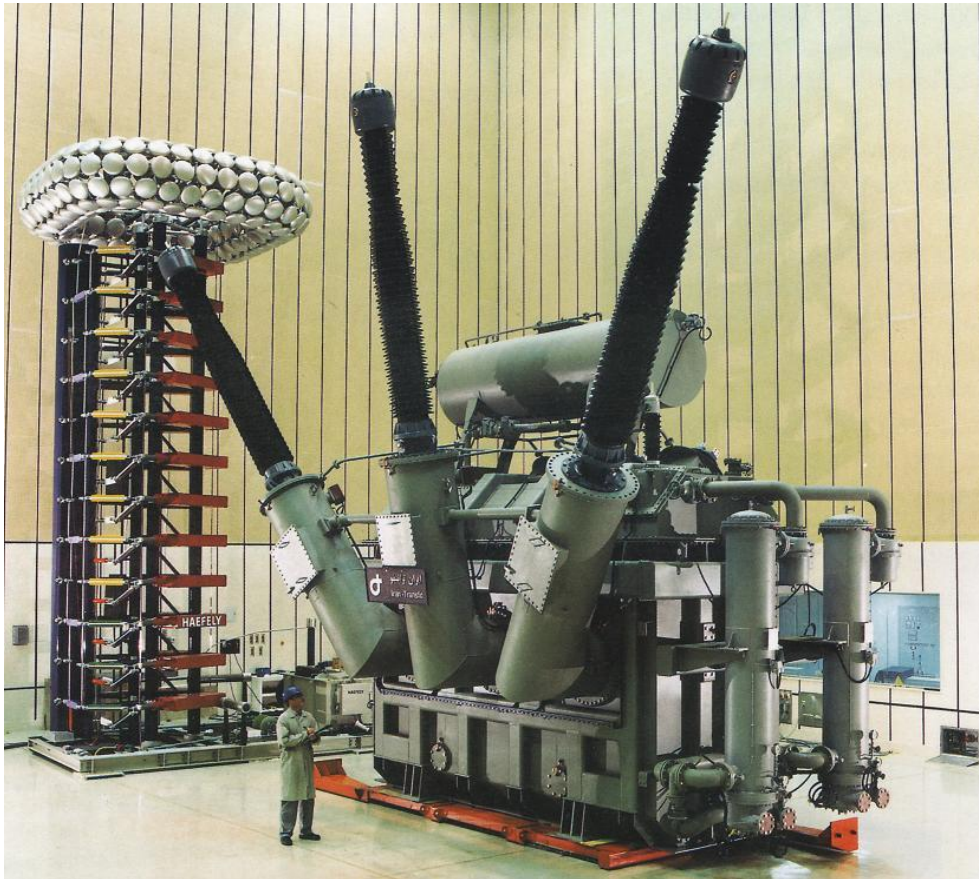
Transformatör Bina Dışında

- Mesnet izolatörler
- Zincir izolatörler
- Geçit izolatörler kullanılır.

Şalt Sahalarında

- Mesnet izolatörler
- Zincir izolatörler kullanılır.

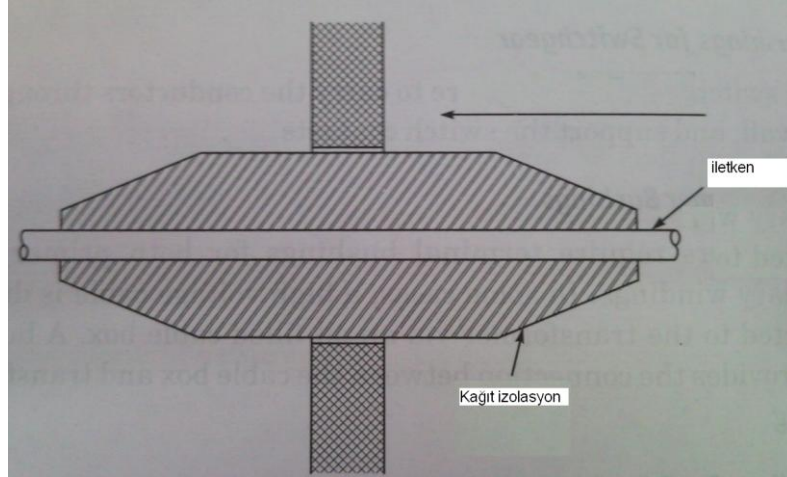
Ayrıca yüksek gerilimde şalt sahalarda enerji iletim hattından gelen iletkenin enerjiyi istenilen gerilim seviyesine çevrilmesi için veya üretilen elektrik enerjisini iletime uygun gerilim seviyesine çıkarmak için transformatöre aktarılması içinde buşingler kullanılır. Bu yapıda buşing enerjiyi transformatörün dış kısmında (hava ortamında) transformatör tankına ve çevresel etkilere karşı yalıtır. Ayrıca transformatör iç kısmında (yağ izolasyon ortamında) yine transformatör tankına ve transformatör içi çevresel etkilere karşı koruma sağlar.



Şekil 4.5. Siemens Firmasının 400 kV'lık bir güç trafosu ve buşingleri

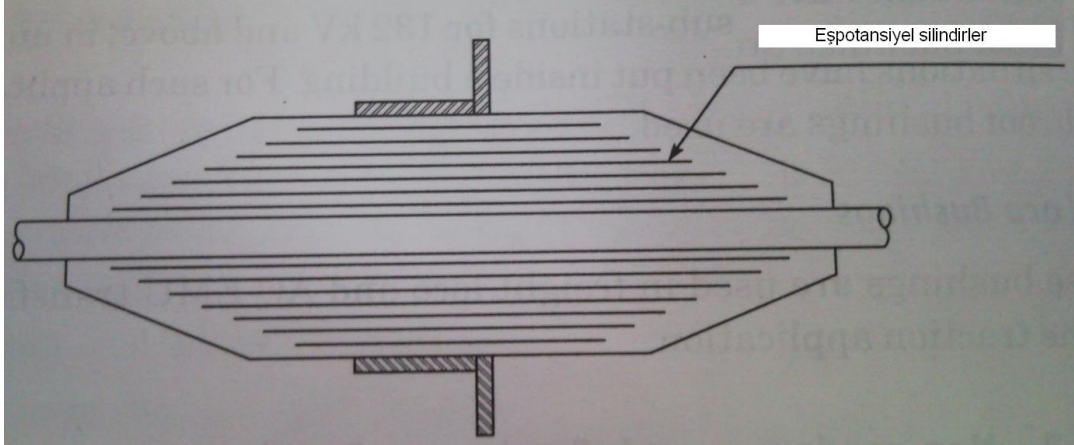
Bu tip yüksek gerilim taşıyan iletkenleri transformatör girişlerinde veya şalt sahası girişlerinde iletimi sağlayıp topraktan izole eden izolatörlere transformatör tipi ve

duvar tipi geçit izolat6rleri denir. Bunlar en basit haliyle birer eeksenli silindirik sistem gibi d6ş6n6p modelleyebiliriz. Bunların en sade şekli, silindirik bir flan ile eeksenli bir iletkenenden oluşan normal (havalı veya yağlı) geçit izolat6rleridir.



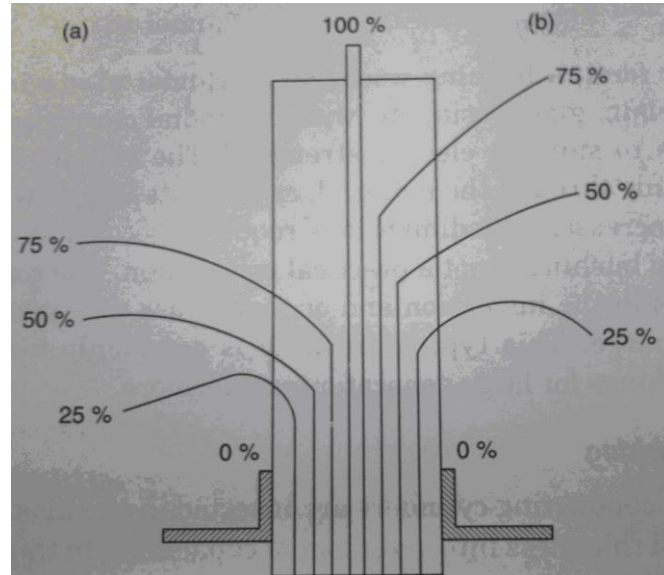
Şekil 4.6. Folyosuz geçit izolat6rleri

Radyal zorlanmaya karşı boyutlandırılan bu gibi havalı geçit izolat6rlerinin çapları y6ksek gerilimlerde istenmeyecek ve uygulamada zorluklar çıkaracak kadar b6y6k değerler alabilirler. Bu da sonuç olarak s6z konusu aygıtın boyutlarının gereksiz yere b6y6mesine ve bu bağlamda ekonomik ve teknolojik bakımdan 6nemli problemler ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle belirli bir işletme geriliminin 6zerinde 100 kV gerilimin 6zerinde radyan y6nde delinme dayanımları daha iyi olan sistemi daha iyi izole eden paravanalı, havalı, yağlı, paravanalı yağlı tiplerin ve daha y6ksek gerilim seviyelerinde kondansat6rl6 geçit izolat6rleri kullanılması yoluna gidilir [2].



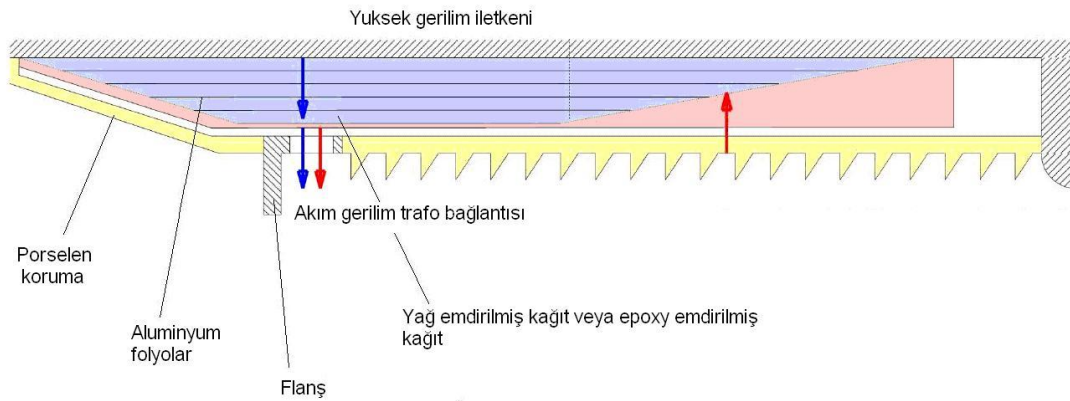
Şekil 4.7. Folyolu (Kondansatör içeren) geçit izolatörleri

Bu sayede radyal boyutların daha küçük olması sağlanır. Bu kondansatörlü geçit izolatörleri hem radyal yönde hem aksenal yönde zorlanma söz konusudur. Kondenser buşing ve kondenser olmayan buşing potansiyel dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. a) Folyosuz (Kondansatör içermeyen) elektrik alan dağılımı b) Folyolu (Kondansatör içeren) elektrik alan dağılımı

Kondansatörlü geçit izolatörlerinde ortamda aynı cins yalıtkan madde kullanıldığından radyal yönde düzgün bir zorlanma, ancak eşeksenli kısmi kondansatörlerin L uzunlukları ve r yarıçapları ile arasında bulunan $L=f(r)$ gibi bir bağlantı yardımı ile sağlanabilir. Yüksek gerilim seviyesinde 400kV ve üzeri kondansatörlü geçit izolatörleri genelde yağa emdirilmiş kâğıt nadiren de pertinaks kullanılarak izole edilir. Kısmi kondansatör foilleri (folyolar) ince alüminyum folyodan sarılmak suretiyle elde edilir.



Şekil 4.9. Geçit izolatörü içyapısı

Elektrotlara uygulanan gerilim U elektrot yarıçapları r_1 ve R; tabaka iç yarıçapları $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$; tabakaların dielektrik katsayıları $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \dots \epsilon_n$; tabaka uzunlukları $l_1, l_2, l_3 \dots l_n$ olarak verilir ise;

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Bağıntısı ile hesap edilir.

Burada;

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1 l_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad C_2 = \frac{2\pi\epsilon_2 l_2}{\ln \frac{r_3}{r_2}} \quad \dots \quad C_i = \frac{2\pi\epsilon_i l_i}{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (i=1, \dots, n)$$

Eşdeğer kapasite;

$$C = \frac{2\pi}{\sum_{i=1}^n \frac{r_i}{\epsilon_i l_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}$$

K. tabaka eksenenden r_x uzaklıktaki alan;

$$E_x = \frac{D_x}{\epsilon_x} = \frac{Q}{\epsilon_k S_x} = \frac{CU}{\epsilon_k S_x} \text{ denklemiyle hesaplanabilir.}$$

ϵ_k k. tabaka dielektriği

S_x silindirin yanal alanı

r_x silindirlerin yarıçapı

C eşdeğer sığa

U elektrotlara uygulanan gerilimi gösterir.

Bu tür geçit izolatörlerinde yukarıdaki hesaplamalarda radyal yönde zorlanmalar çıkarılabilir. Radyal yönde düzgün zorlanmalı çıkarıldığında $\ell = f(r)$ r ile ℓ arası bağıntı hiperbol çıkar ve geometrik olarak zarf eğrisi meydana getirir [4].

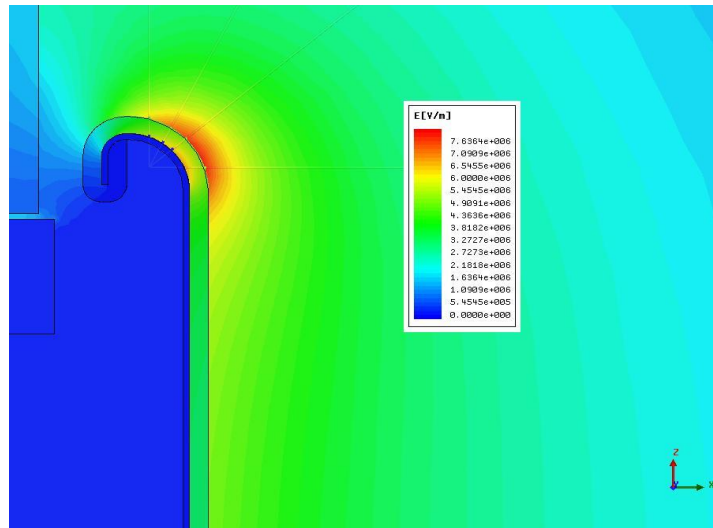
Radyal zorlanmaya göre boyutlandırılmı bir izolatörün aksenal yönde zorlanmayı azaltmak için ise L boyunu uzatmak gerekir [4]. Fakat bu da izolatörün gereğinden fazla uzun olmasına sebep olur. Bu yüzden folyoların uzunluklarının lineer şekilde potansiyel doğrusu ile karşılaştırmak aksenal yönde düzgün zorlanma elde edilmesini sağlayacaktır. Bu durumda da radyal yönde bozulma oluşacaktır [4].

Yukarıdaki denklemlerden ve açıklamalardan görüldüğü gibi tabaka zorlanmaları folyoların yerleşimleri ve uzunluklarıyla istenilen düzgünlüğe getirilebilir [4]. Folyoların bu yerleşimi elektrik alan çizgilerinin ve eş potansiyel eğrilerinin oluşumunu ve dağılımını belirleyen unsurların başında gelmektedir.

BÖLÜM 5. BUŞING VE SARGI ÇIKIŞI ARASI ÖZEL YALITIM SİSTEMİNİN GÖREVİ VE TASARIMI

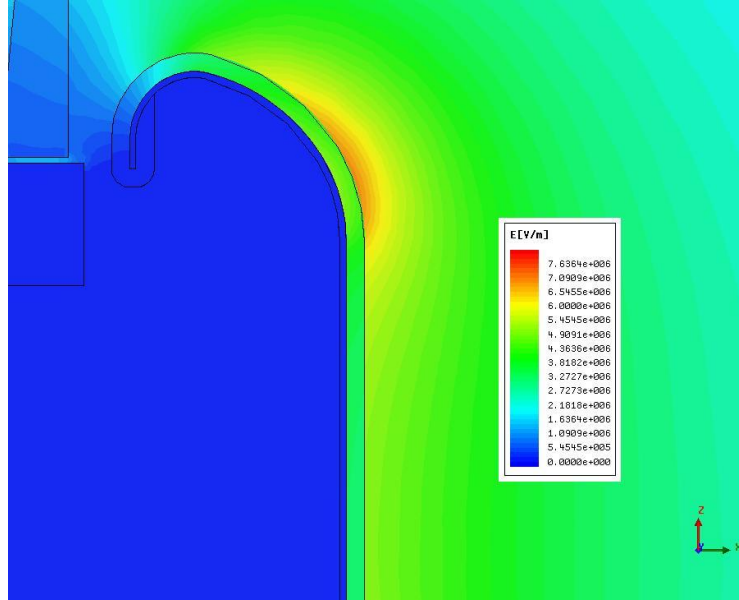
Yüksek gerilim trafolarında Yüksek gerilim çıkışı sargı çıkış bölgesinden ilgili kesitteki iletken ile yüksek gerilim geçit izolatörünün %100 potansiyeli borusuna veya bu boruya monte edilmiş alt bağlantı elemanına bağlanır. Bağlantı elemanının olduğu bölgede bu bağlantıyı ve gelen kabloyu ekranlayacak ekrana (shield)'e ihtiyacımız vardır. Mekanik olarak bu ekran YG geçit izolatörünün metal alt bağlantı terminalinin içine girebilecek geometride olmalıdır. Ayrıca yapılacak alan çalışmalarında elektrik alanı üst kısmında konumlandırılmış geçit izolatörünün alüminyum folyoları ile uyumlu olacak şekilde elektrostatik alanda bozulmaya sebep olmayacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Bu konumlandırmada daldırma mesafesi ve eksenlerin birbirini karşılmasına dikkat edilmelidir. Öncelikle geçit izolatörleri alt bağlantı elemanları boyutlarına uygun ekran geometrisi çıkarılmalıdır. Bu geometri alanları en aza indirgenecek şekilde seçilmelidir. Bu yüzden farklı elektrot geometrileri denenip uygun olanına göre çalışma yapılır.

5.1. Ekran Tasarımı



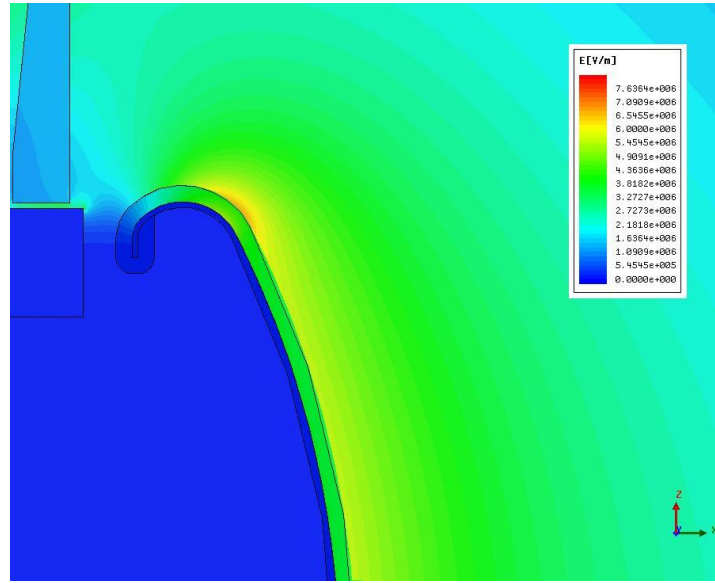
Şekil 5.1. Ekran tasarımı alan çalışması (küçük çap)

Silindirik bir ekran modelinde gerilim seviyesine göre radius kıvrımı küçük radiusla dönüş yaptığı için bu kırmızı bölgedeki alan 100 kV/cm değerlerine kadar artış göstermiştir. Bu radiusun büyütülmesi, bu bölgede sivri nokta etkisini azaltacak dolayısıyla bölgedeki alanı yumuşatacaktır.



Şekil 5.2. Ekran tasarımı alan çalışması (büyük çap)

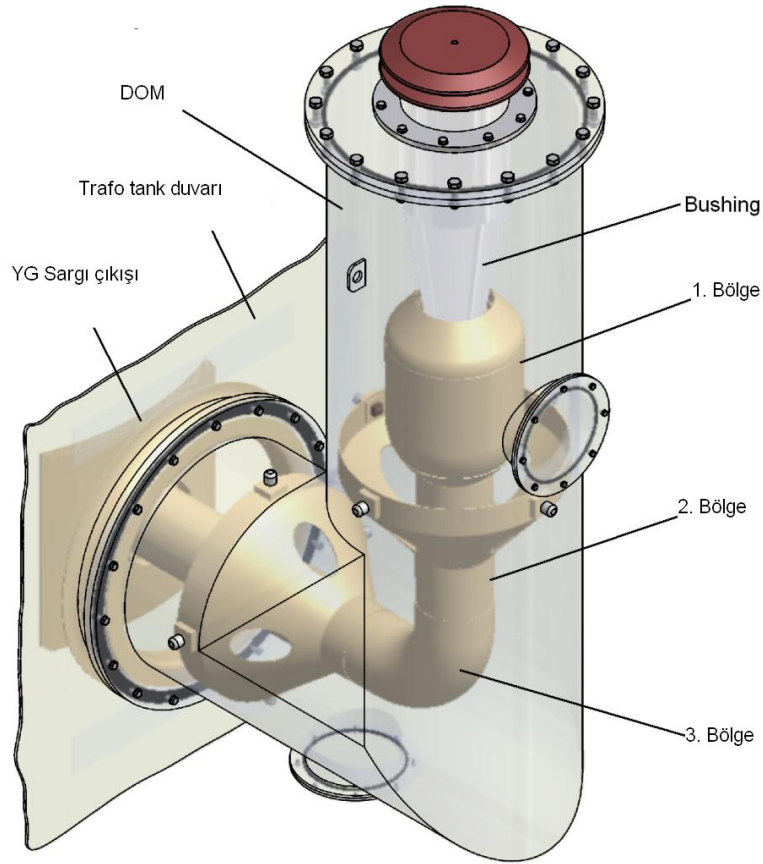
Radiusu sisteme göre ekran ağız açıklığını aynı tutacak gibi ayarladığımızda, yukarıda yapılan elektrostatik alan çalışmasında da gözüktüğü gibi tam radius bölgesinde alanda daha az bir artış gözlemlenmektedir. Gerilim seviyesine göre tüm ekran yüzeyinde elektrostatik alanların sabit olacak şekilde ayarlanması dizaynın oluşturulmasında düzgün elektrik alan dağılımını sağlayacak buda bize sistemin daha güvenli olmasını sağlayacaktır.



Şekil 5.3. Ekran tasarımı alan çalışması (geniş çap)

Bu son geometride ekranların geometrisine göre alan yüzey boyunca hemen hemen aynı gelmektedir. Bu şekilde eş potansiyel eğrileri yüzeye eşit uzaklıklardan veya eşit uzaklığa yakın uzaklıklardan geçecek. Bu alana uygun geometrideki paravanalarda bu yüzeye paralel şekilde yapılacaktır. Böylelikle alana uygun (feldkonform) yapı oluşmuş olacaktır.

Geçit izolatörü boyutlarına göre ve yukarıda yapılan elektrostatik alan çalışmalarından sonra ekran geometrisi meydana çıkarılır. Bu çıkarılan geometride alanların en düşük seviyede tutulması istenir. Çıkarılan ekran geometrisi temel yalıtkan ile kaplanır. Temel yalıtkan gerilim seviyesine göre farklılıklar gösterir. Daha düşük gerilimlerde nispeten daha ince yüksek gerilimlerde daha kalın yalıtkan kaplanması gerekmektedir. Yüksek gerilimde ince yalıtkan kaplanması bu düzende kullanılacak paravana adedinin fazla olmasına sebep olabilir.



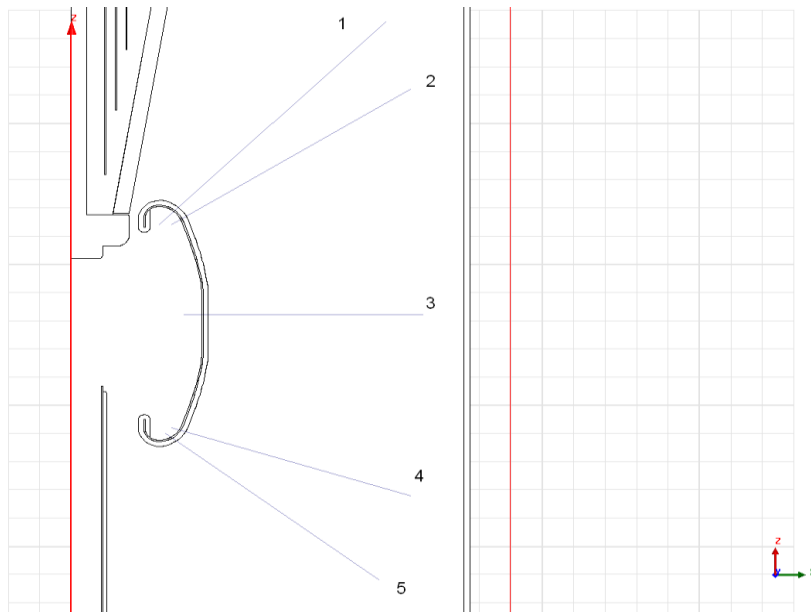
Şekil 5.4. Alan çalışması yapılacak önemli bölgeler

Sistemin incelenmesi 3 kısımda yapılır;

1. Bölge (ekranın yüzeyi): Bu bölgede daha önce elektrostatik alan çalışmalarına göre tasarımı yapılmış elektrot yüzeyi incelenir [5].
2. Bölge (alüminyum boru yüzeyi): Bu bölge de elektrostatik alan çalışmalarına göre kontrol edilir. Bu 2 çalışma 2 boyutlu olarak silindirik eksende çözümlenir [5].
3. Bölge (dirsek bölgesi); Dirsek bölgesinde elektrostatik alanlar diğer bölgeler göre biraz daha fazladır. Daha gerçek çözümler için bu bölgenin 3 boyutlu olarak modellenmesi gerekir. Bu bölgede izin verilen yağ kanalı aralığı tasarımın tüm boru yüzeyi boyunca kullanılacak yağ kanalını oluşturacaktır [5].

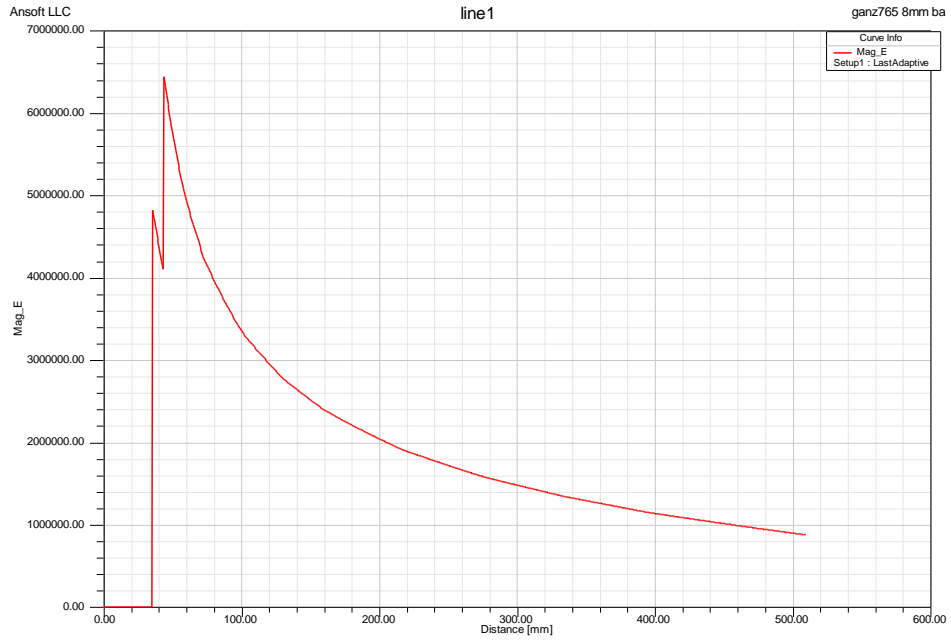
Tasarım yapılabilmesi için bu sistemde temel yalıtımlı halde tüm yüzeylerdeki alan dağılımı yeni sistemin alan dağılımını belirleyecektir. Paravana yerleşimleri için bu yüzeydeki alanlar kullanılacaktır. En kritik bölgedeki alan yoğunluğuna göre izin verilen yağ kanalı aralığı seçilecektir. 2.3.3.4 nolu bölümde verilen DIL (Tasarım Yalıtım Seviyesi) değeri hesaplanır. Tüm alan çalışmaları bu değere göre yapılmaktadır. Şimdi temel yalıtımı yapılmış ekranın yüzeyindeki alan değişimlerini inceleyelim.

5.2. Elektrot Bölgesi Tabaka Tasarımı

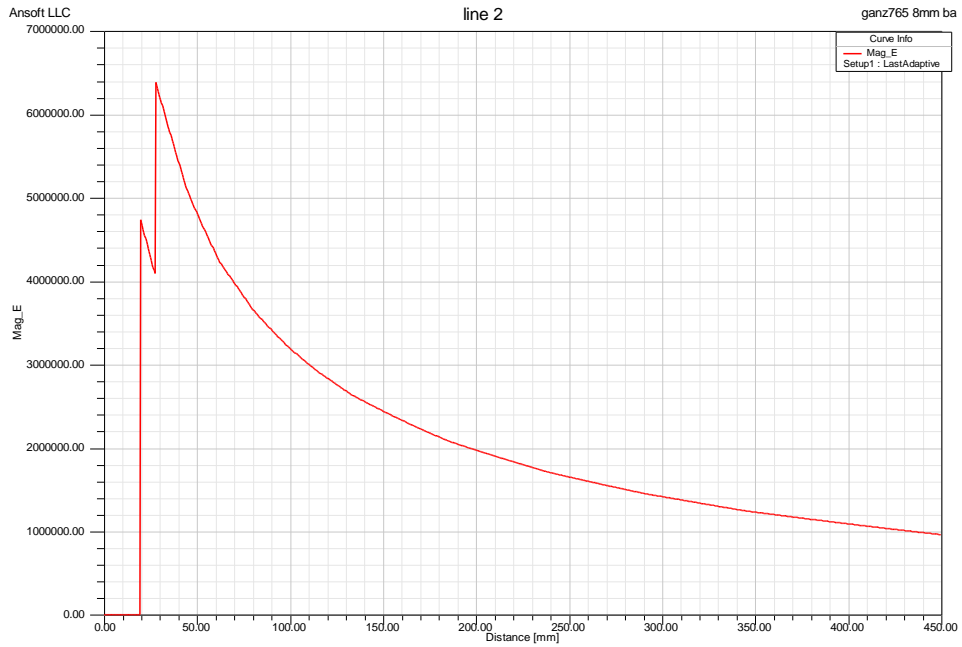


Şekil 5.5. Temel yalıtım kaplanmış elektrodun şeması (1, 2, 3, 4, 5 nolu hatlar boyunca düşen elektrostatik alan dağılımlar hesaplanmış ve eğirler değerlendirilmiştir.)

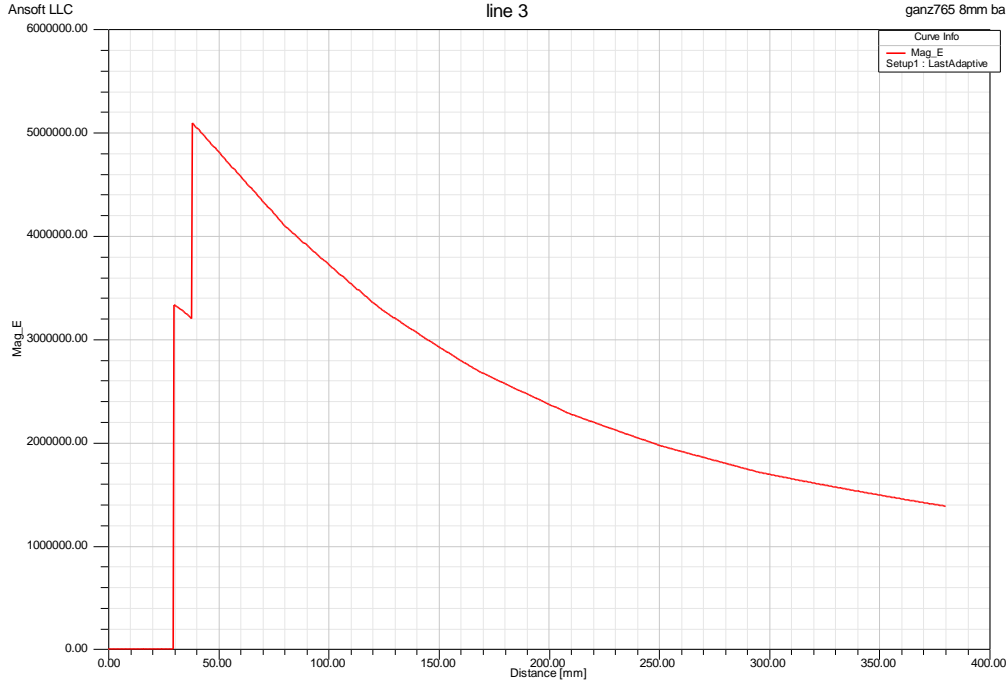
Yukarıdaki 5 doğru üzerindeki elektrostatik alanın en yüksek ve en düzgün olduğu bölgelerdir. 1, 2, 4 ve 5 nolu doğrularda elektrostatik alan en yüksek değerlerde, 3 nolu doğru da en düzgün dağılım göstermektedir. Elektrostatik alanlar incelendiğinde her bir çizgi boyunca alan dağılımı programda hesaplatılmış, sonuçlar eğriler olarak aşağıda verilmiştir.



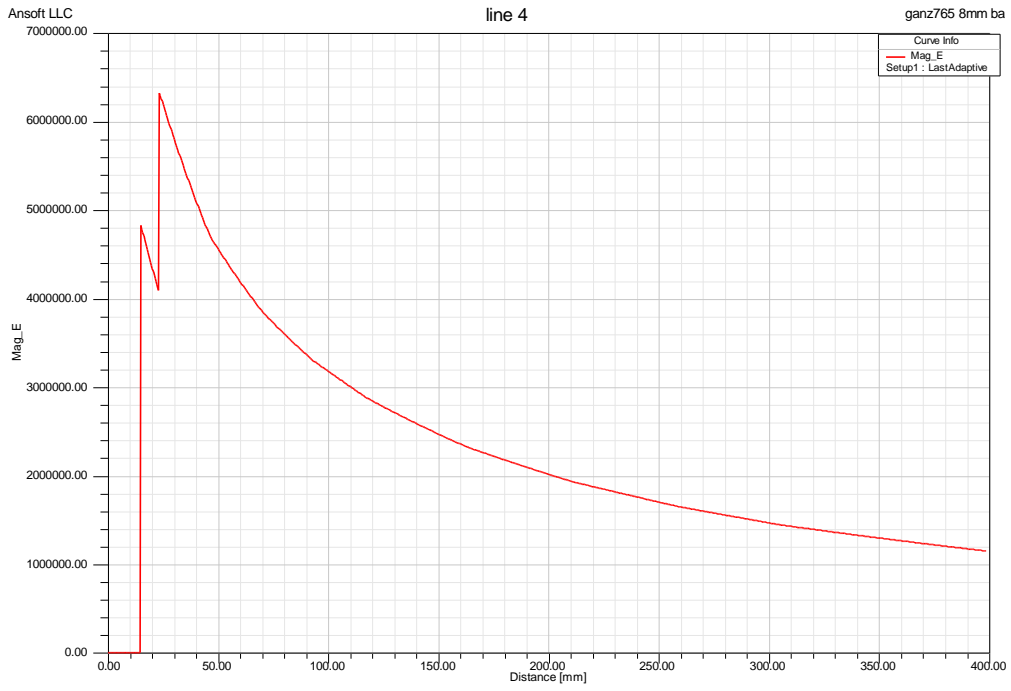
Şekil 5.6. Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (1. doğru üzerindeki)



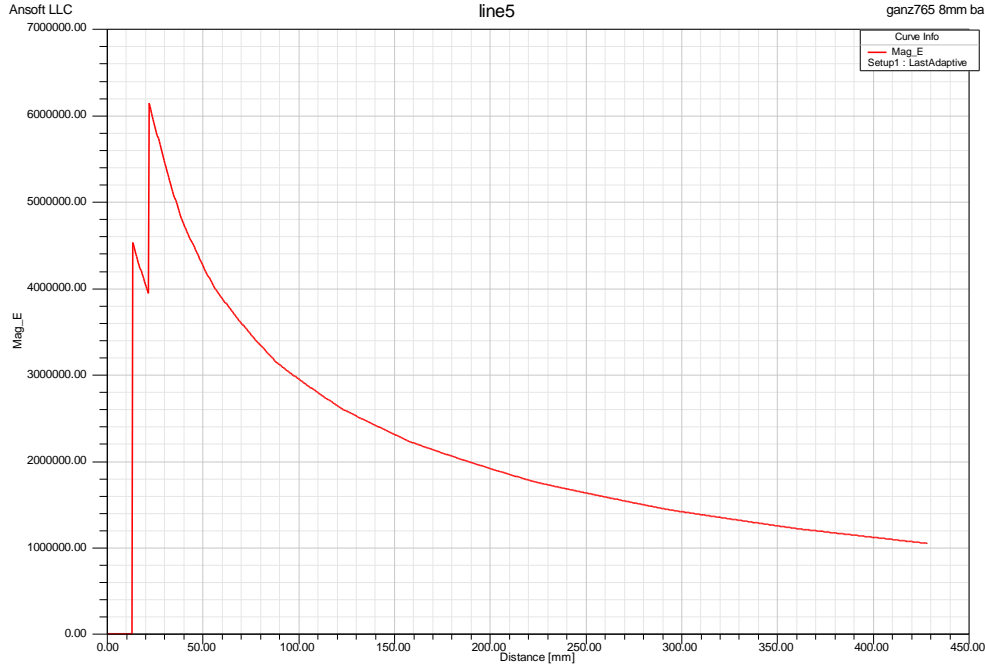
Şekil 5.7. Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (2.doğru üzerindeki)



Şekil 5.8. Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (3. doğru üzerindeki)

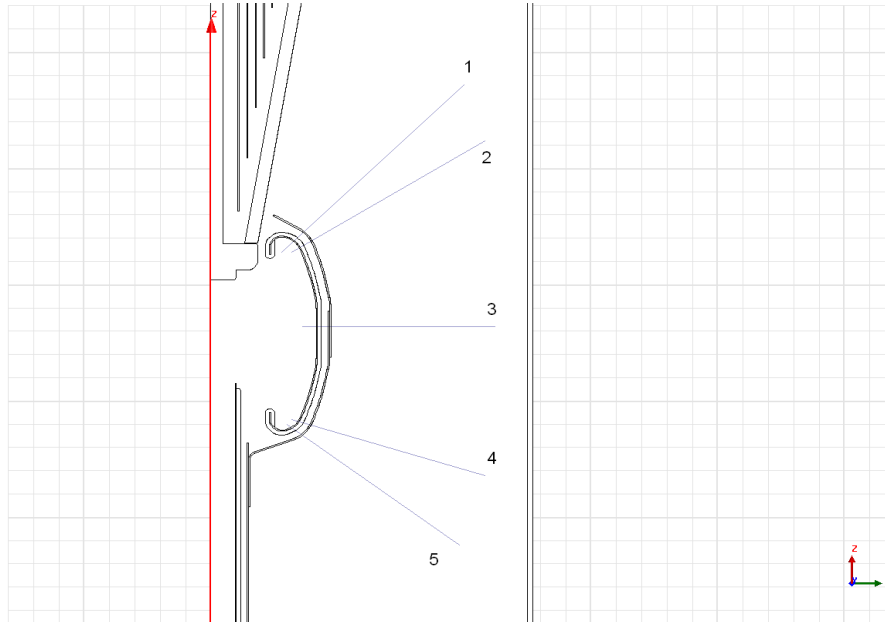


Şekil 5.9. Temel yalıtım kaplanmış elektrodun alan dağılımı (4.doğru üzerindeki)



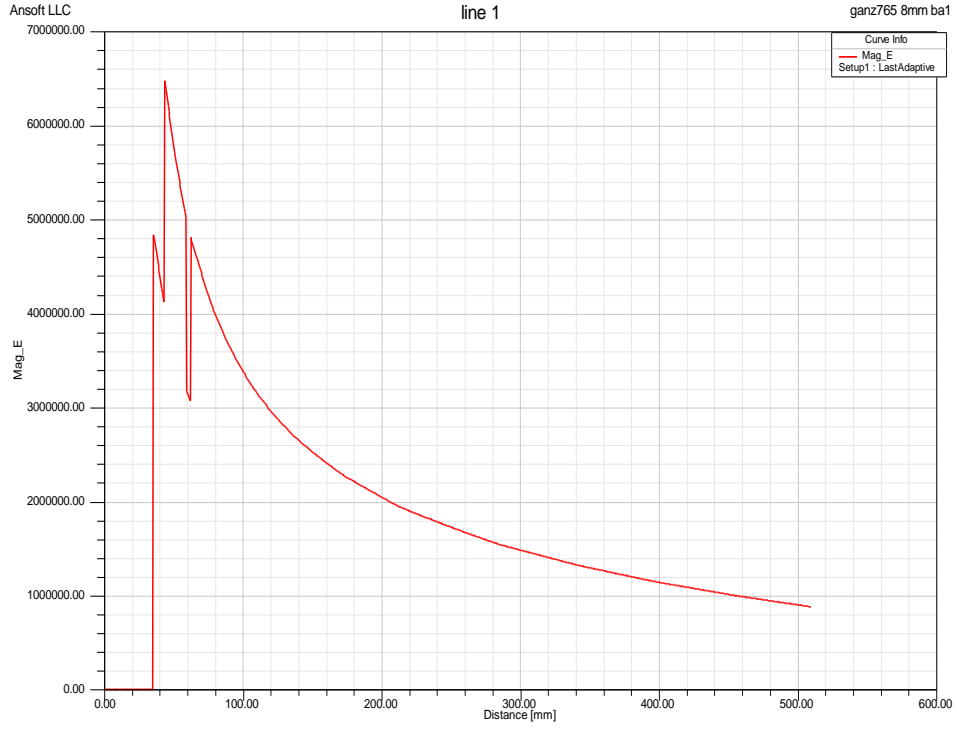
Şekil 5.10. Temel yalıtımı kaplanmış elektrodun alan dağılımı (5.doğru üzerindeki)

Bu çalışmadan sonra sistemimizin max alanı değişmiştir. Temel yalıtımın yüzeyinde meydana gelen en yüksek alan sistemin alanı olmuştur. Bundan sonraki paravana yerleşimi bu en yüksek alan baz alınarak ve izin verilen temel yalıtkan paravanalar arasında tanımlanmış izin verilen yağ kanalı mesafesi değerine göre yağ kanalı mesafesi tayin edilir. Ve yeni paravana yerleşimi eş potansiyel çizgilerine paralel olacak şekilde ve alan çizgilerine dik olacak şekilde boyutlandırılır. Boyutlandırma yapılırken üretimi kısıtlamayacak unsurlar düşünülerek formlar çıkarılır. İlk paravana yerleşmiş modeli aşağıda elektrostatik alan çalışmalarıyla gösterilmiştir.

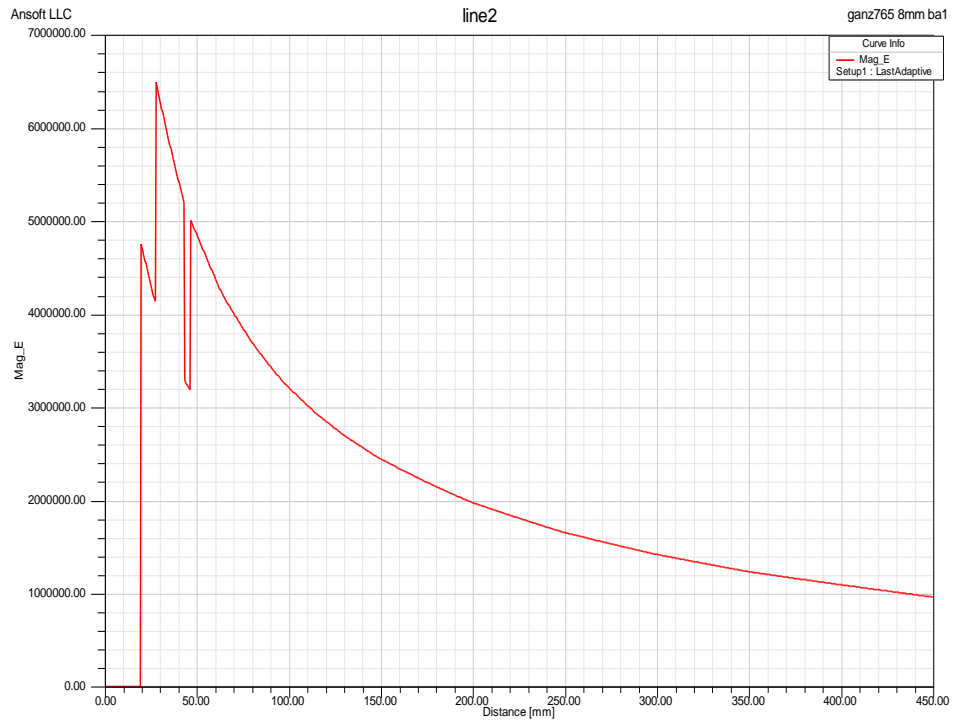


Şekil 5.11. 1.paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması

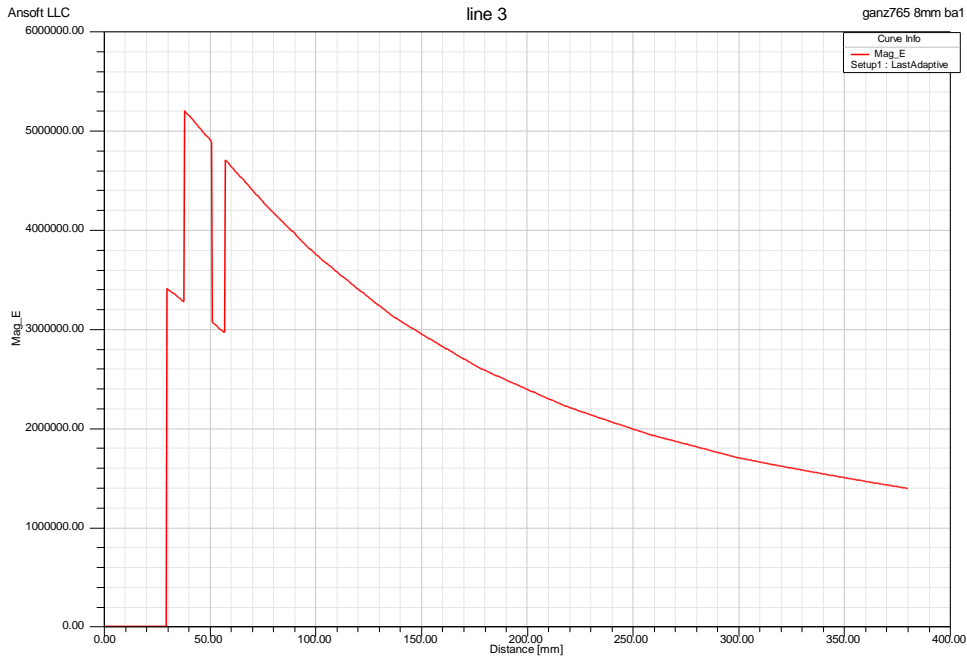
Yukarıdaki 5 doğru elektrostatik alanın en yoğun olduğu ve en düzgün olduğu bölgelerdir. 1, 2, 4 ve 5 nolu doğrularda alan en yüksek değerlerde 3 nolu doğru üzerinde de en düzgündür. Elektrik alanlar incelendiğinde her bir çizgi boyunca elektrostatik alan dağılımı programda hesaplatılmış, sonuçlar eğri olarak aşağıda verilmiştir.



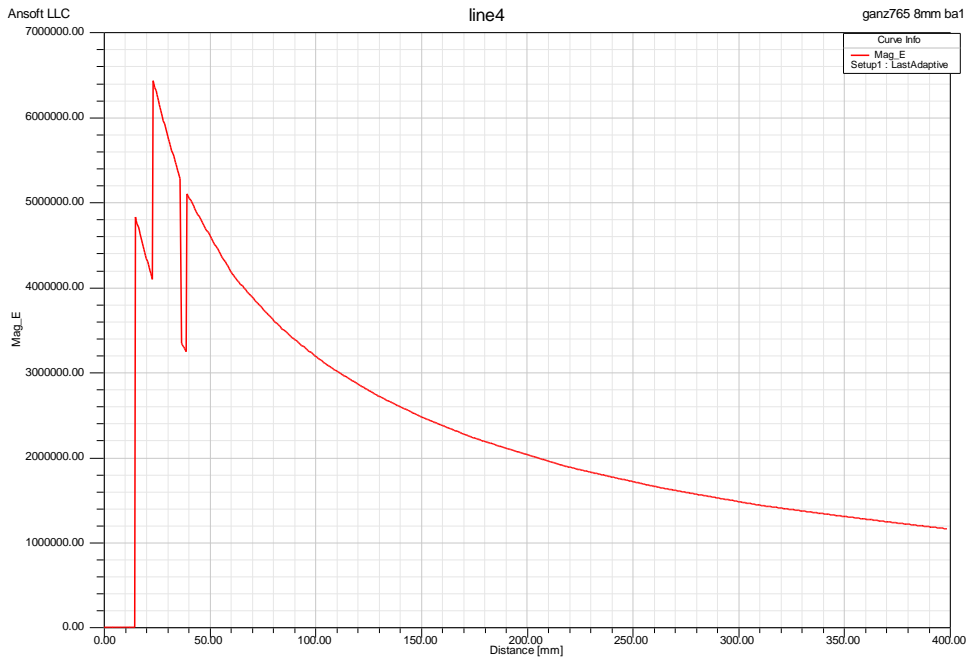
Şekil 5.12. 1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)



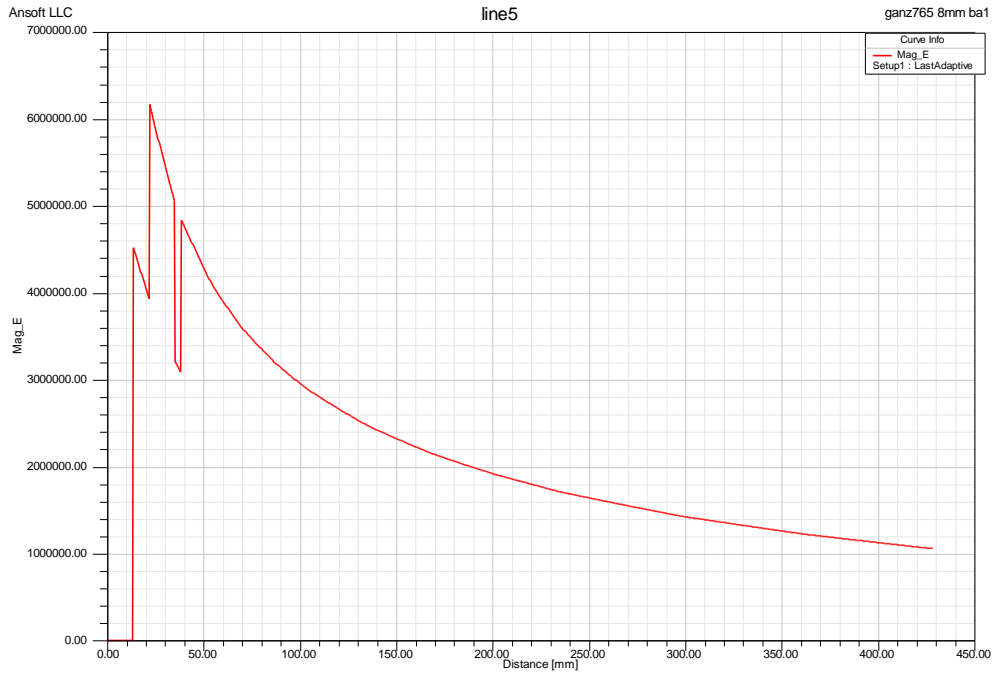
Şekil 5.13. 1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu eğri üzerindeki)



Şekil 5.14. 1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)

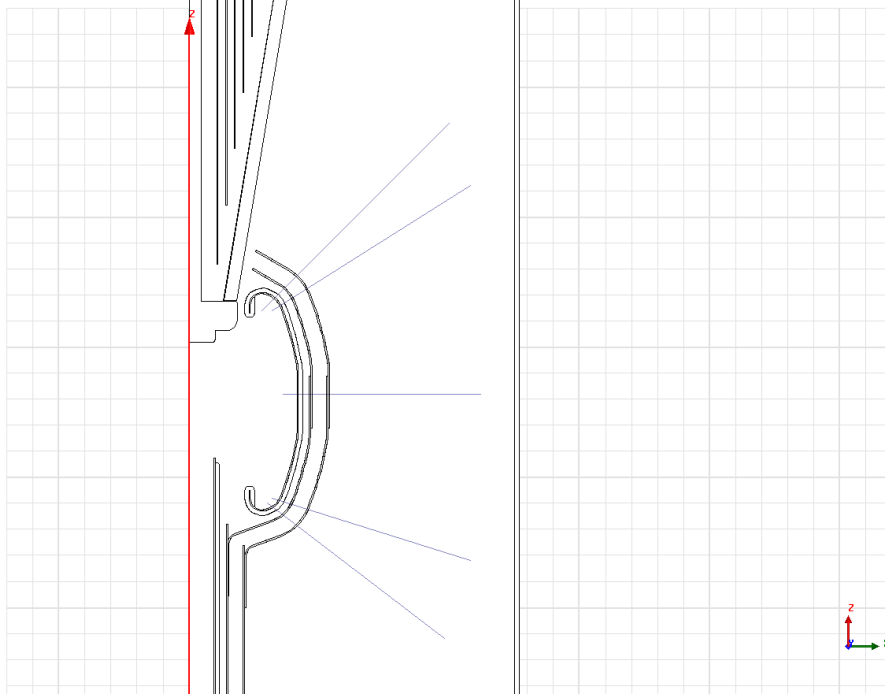


Şekil 5.15. 1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)

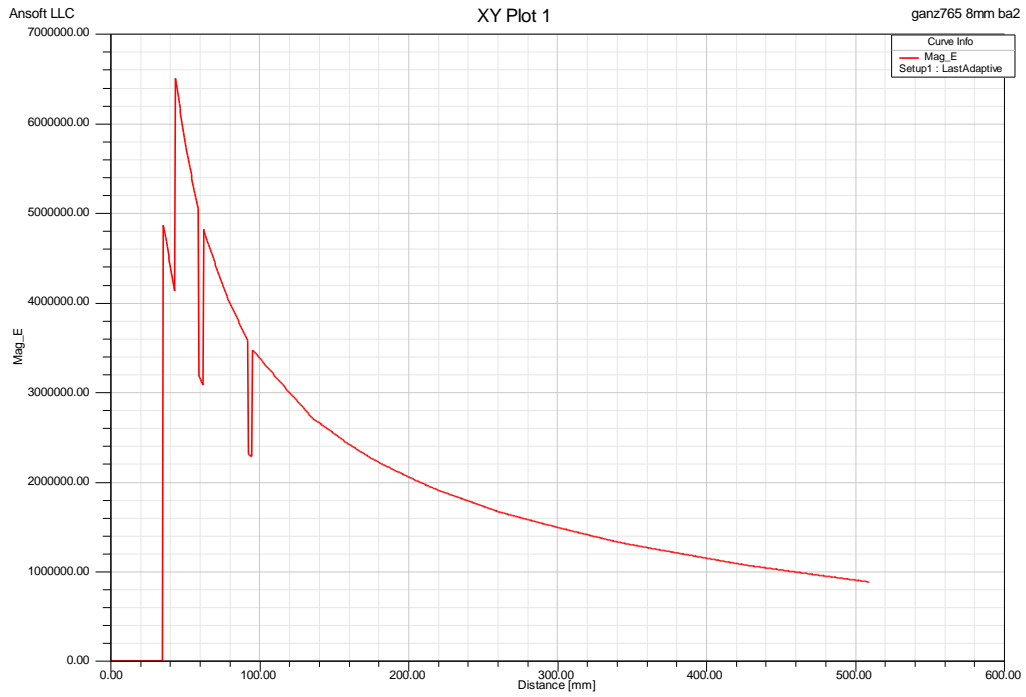


Şekil 5.16. 1. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu doğru üzerindeki)

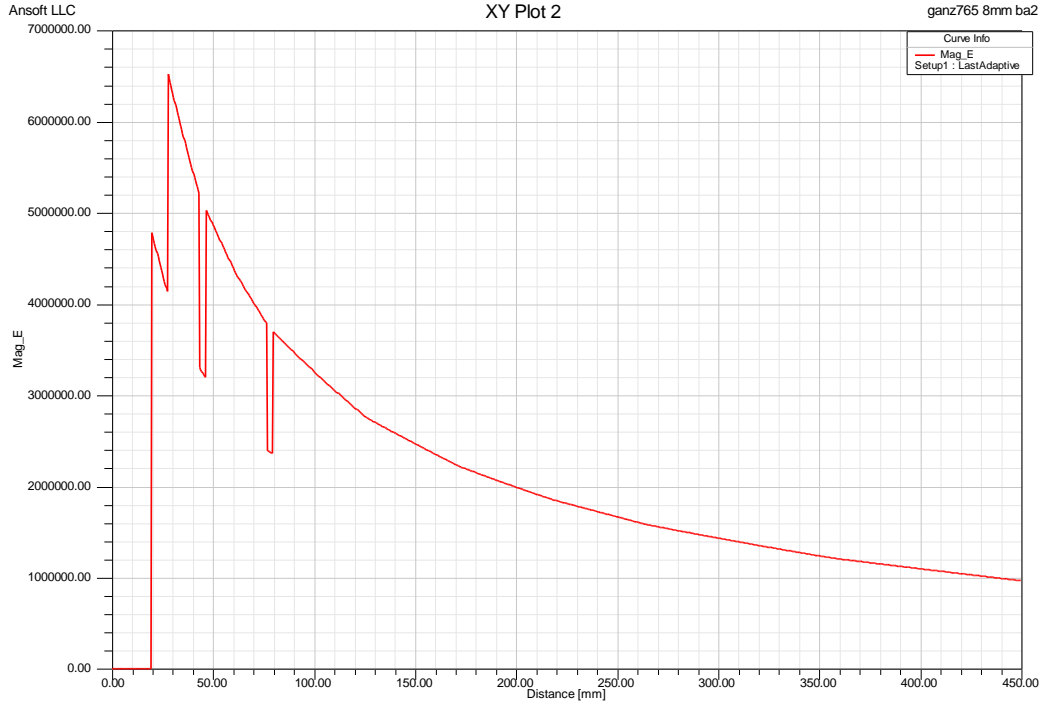
Her bir eğri incelendiğinde yeni sistemin elektrostatik alanı çıkarılıp bir sonraki paravana yerleşimi için gerekli maximum elektrik alan elde edilir. Bu elektrik alana göre bir sonraki paravana eklendikten sonra ilk yalıtıkanda en yüksek elektrik alan değerindeki artış kontrol edilir. 2. paravana yerleşimi için iki bariyer arası yağ kanalı mesafesinin belirlendiği sınır değerleri tanımlı formüller kullanılır. Bu formüllere göre iki paravana arasında elektrik alan değerine göre izin verilen yağ kanalı mesafesi belirlenir.



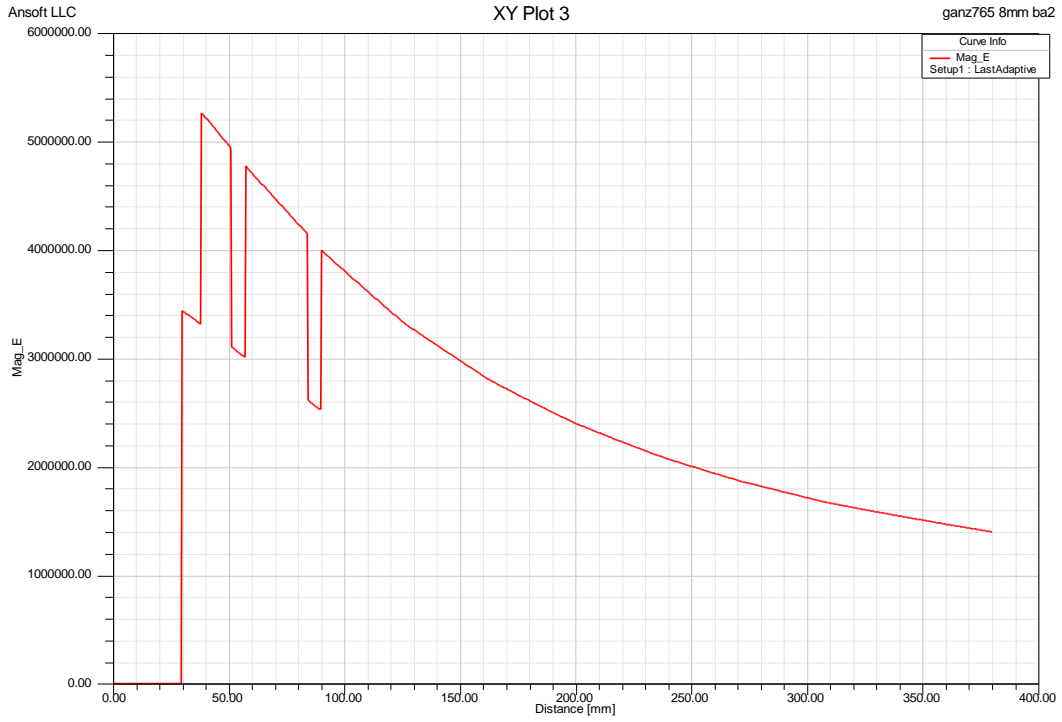
Şekil 5.17. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması



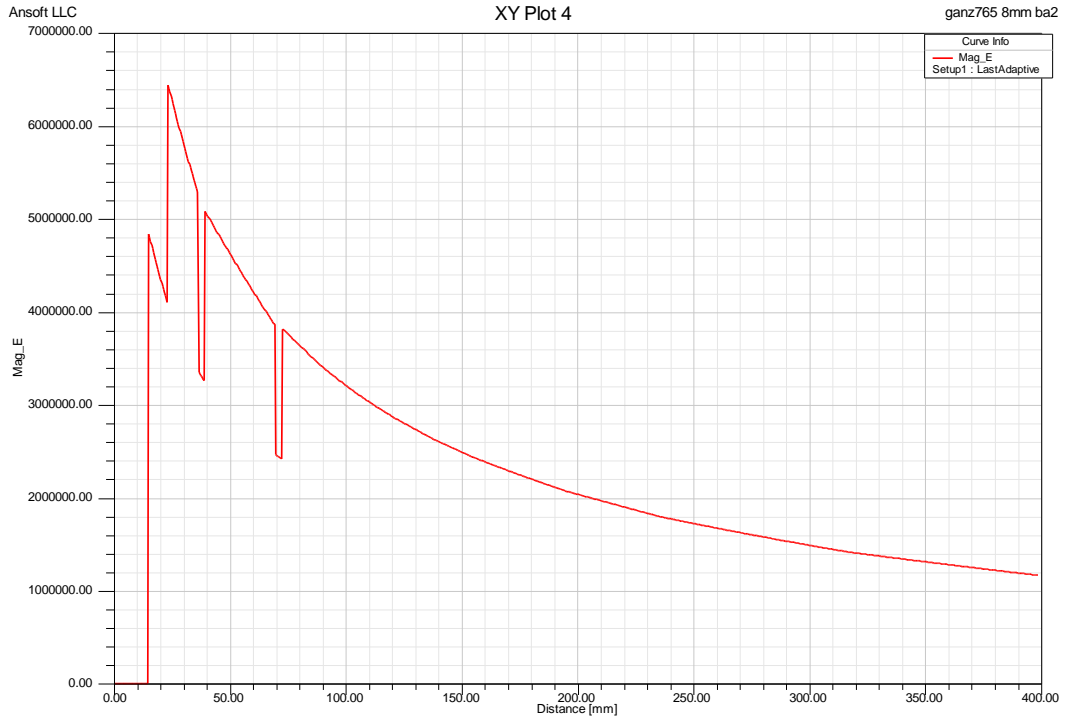
Şekil 5.18. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)



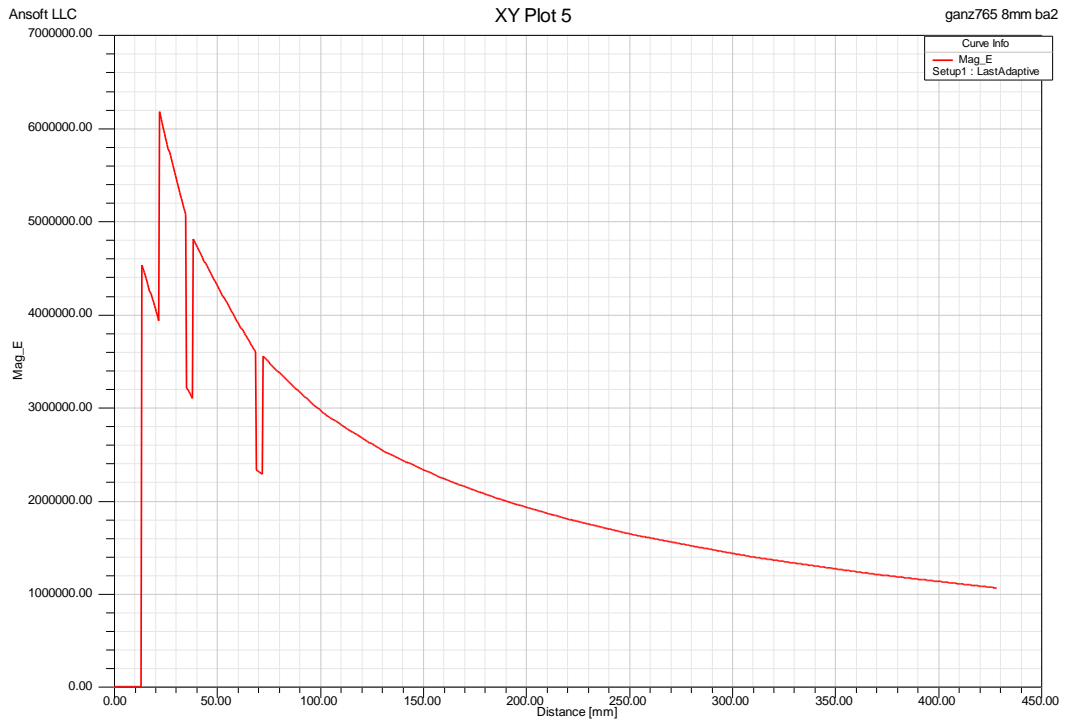
Şekil 5.19. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)



Şekil 5.20. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)

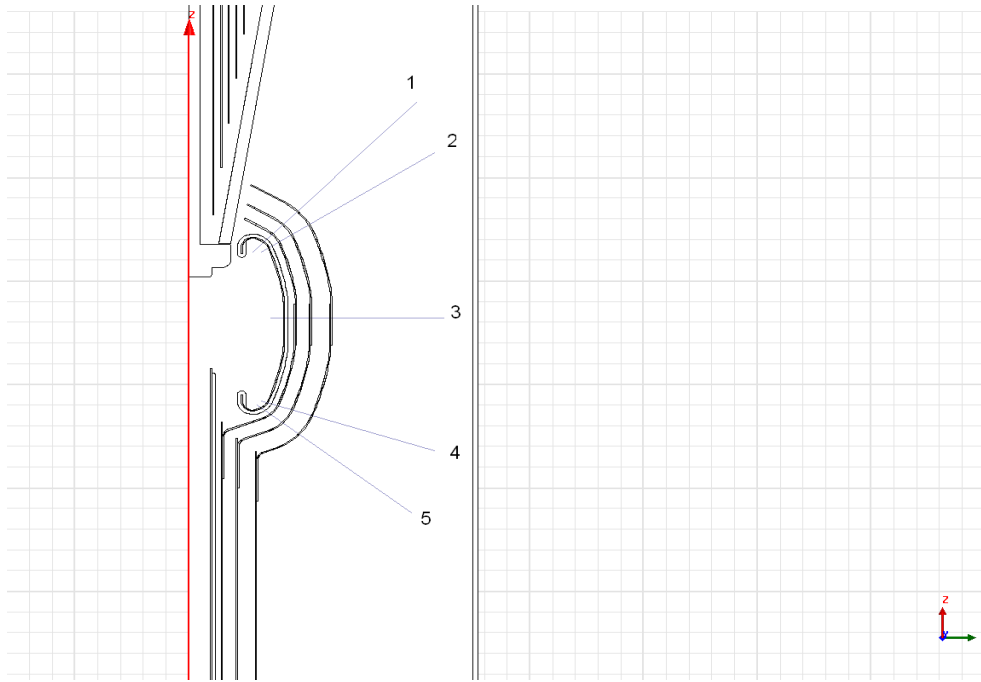


Şekil 5.21. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)

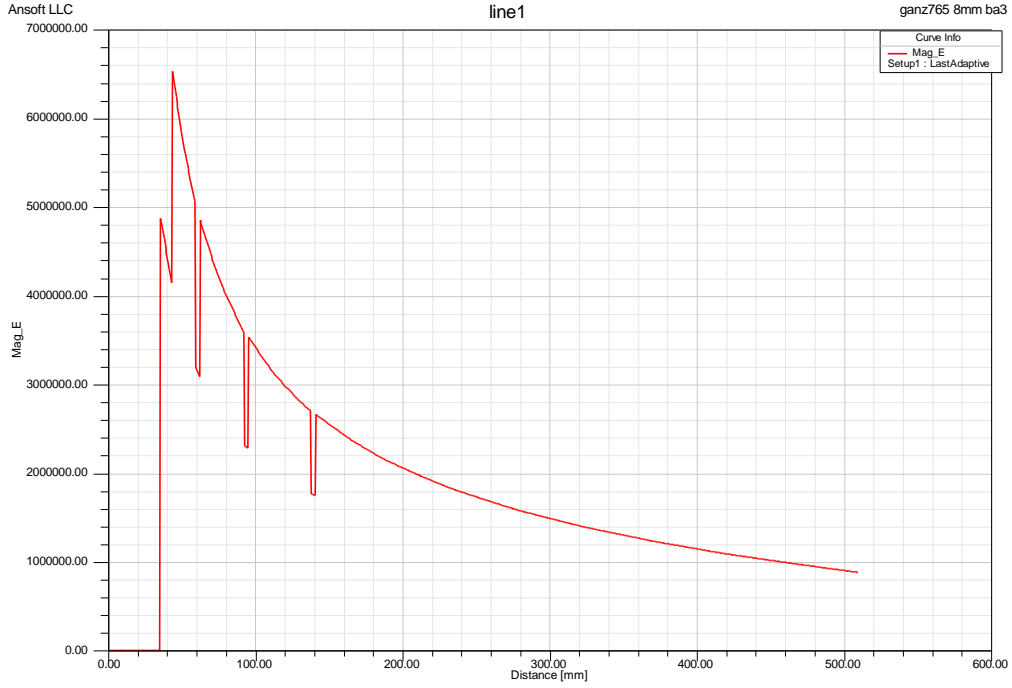


Şekil 5.22. 2. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu hat üzerindeki)

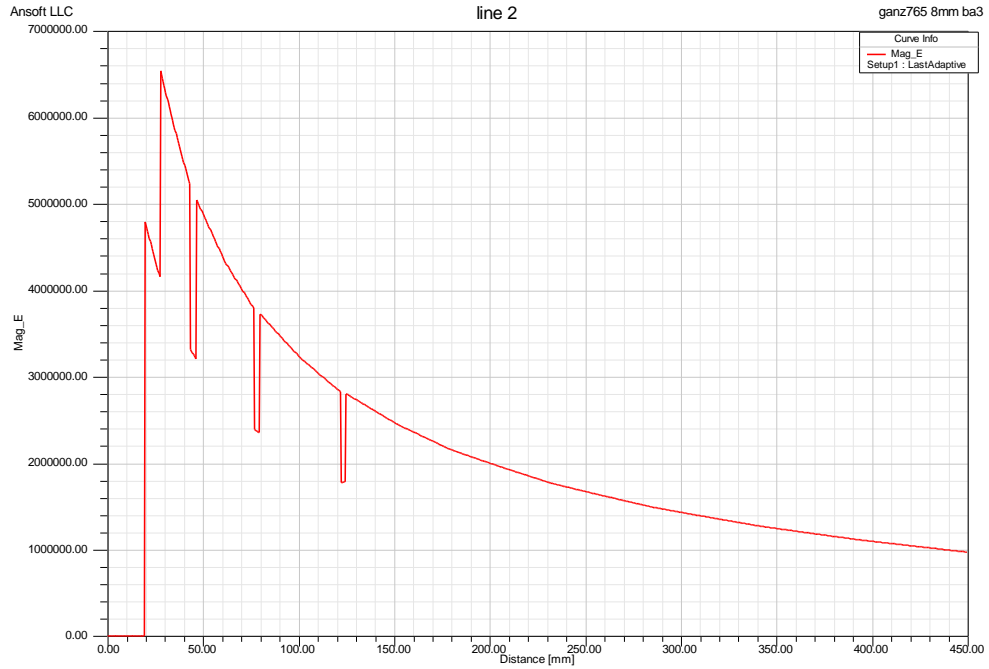
Yukarıda 2 bariyer yerleşimine göre eğriler ile alan dağılımları çıkarılmıştır. Eğriler incelendiğinde sistemin yeni en yüksek elektrik alan profili gözükmemektedir. Bir noktada eğrilerdeki sınır değeri aşıldığı için 3. paravana yerleşimi gerekmektedir. Yine en yüksek elektrik alan değerine göre paravana paravana arası izin verilen yağ kanalı mesafesi ne 3. paravana yerleştirilir. Artık sistemin yeni değerleri incelendiğinde sınır değerlerimizin altında olduğu gözükmemektedir.



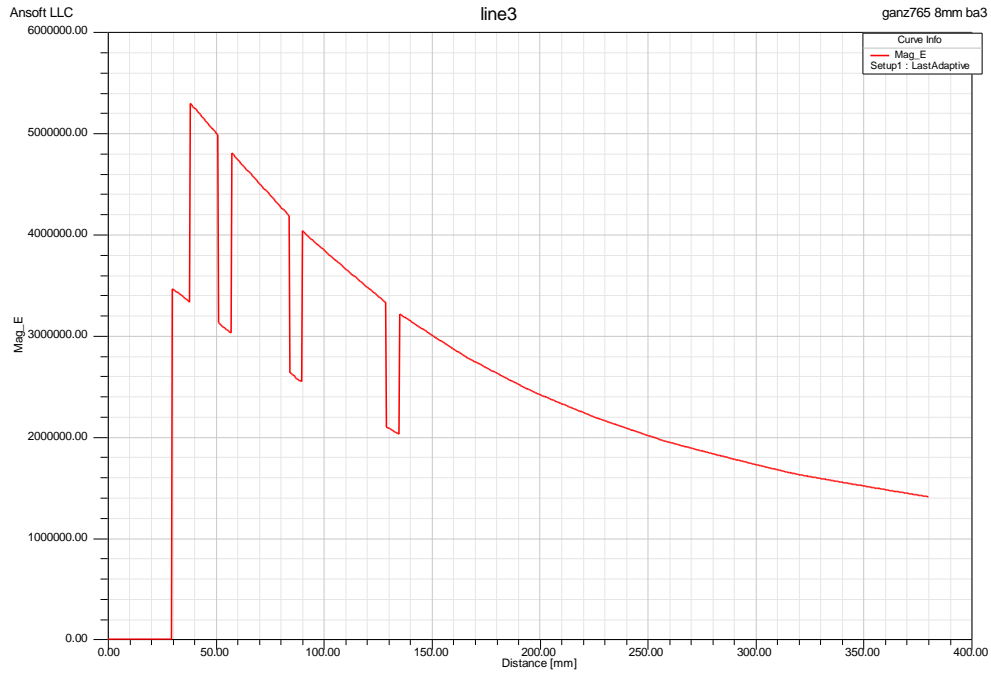
Şekil 5.23. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun şeması



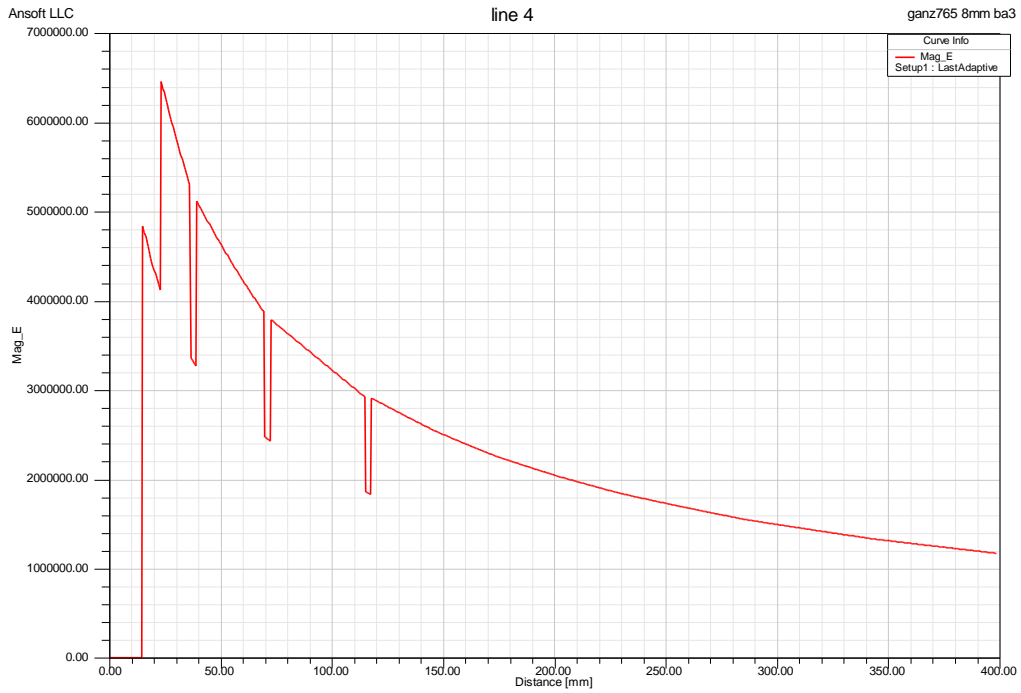
Şekil 5.24. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)



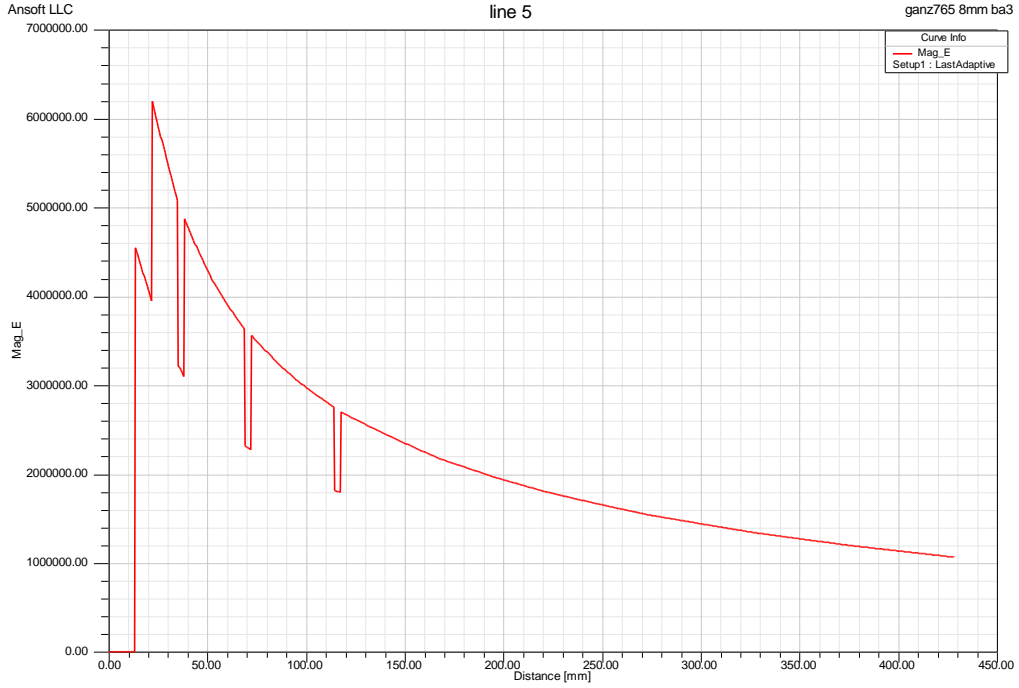
Şekil 5.25. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)



Şekil 5.26. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (3 nolu doğru üzerindeki)



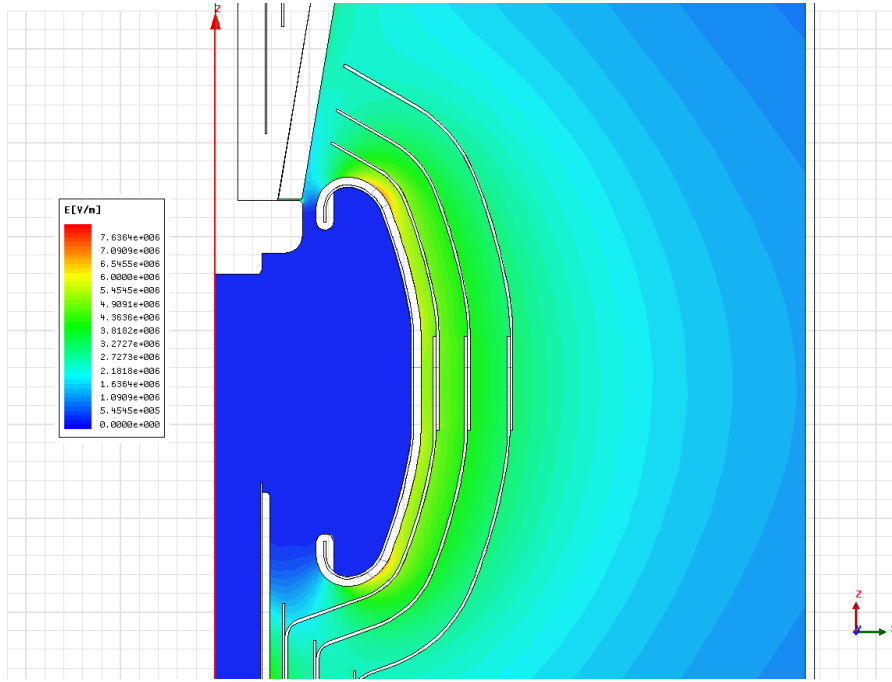
Şekil 5.27. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (4 nolu doğru üzerindeki)



Şekil 5.28. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun alan dağılımı (5 nolu doğru üzerindeki)

Sonuç olarak dizayn eğrilerine göre yerleştirilen sistemimizin en yüksek alan değeri 30 kV/cm değerinin altına düşmüştür. Bu değer de yağın standartlarda tanımlanmış delinme dayanımı 60 kV/ 2.5 mm değerinin oldukça altındadır. Böylece sistemimiz güvenli hale gelmiştir.

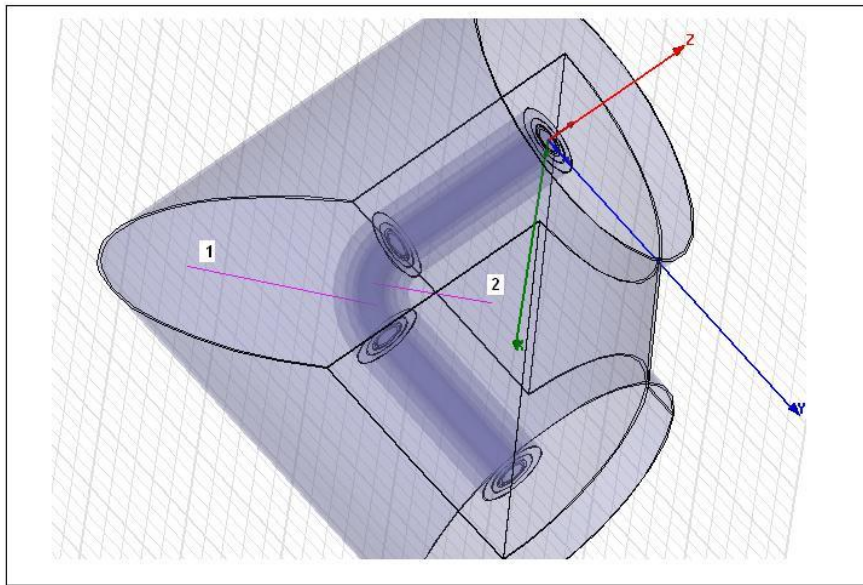
Ayrıca eş potansiyel eğrilerini görebilmemiz için potansiyel dağılımı renklendirilmiş şekilde aşağıda verilmiştir.



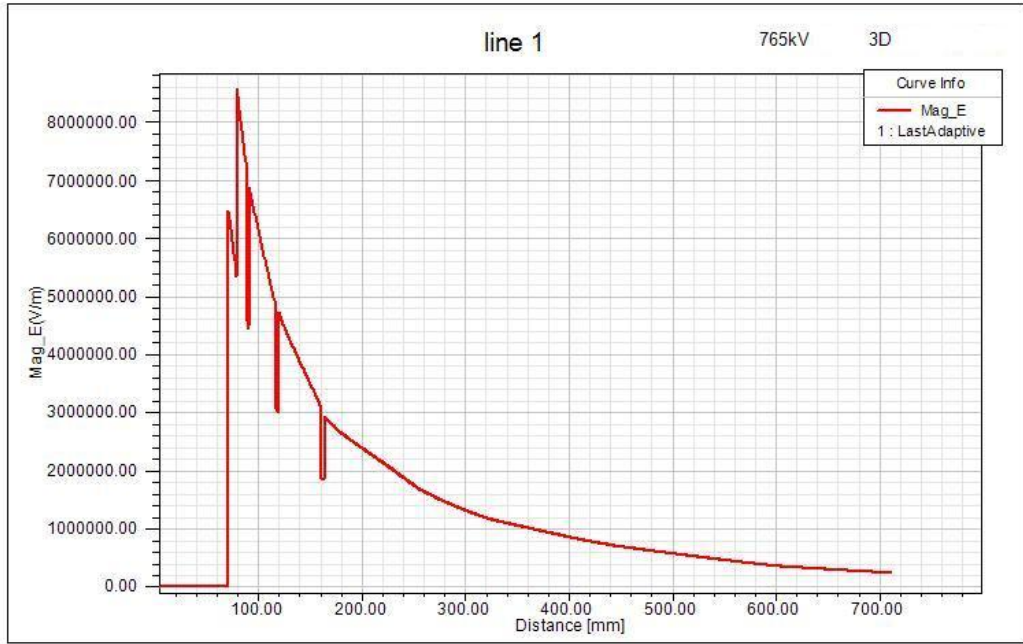
Şekil 5.29. 3. paravana yerleştirilmiş elektrotun elektrik dağılımı ve Espotansiyel eğrileri

Yukarıdaki dizayn işlemini boru dirsek kısımlarının incelenmesi için 3 boyutlu olarak dirsek kısmında yaparız.

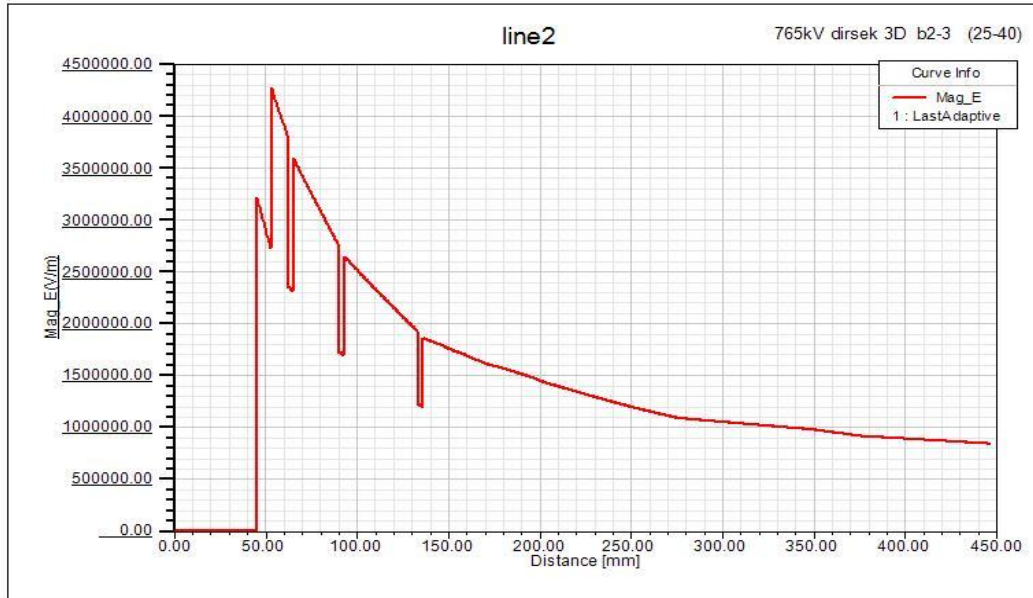
5.3.Dirsek Bölgesi Tasarımı



Şekil 5.30. Dirsek Bölgesi 3 boyutlu model resmi



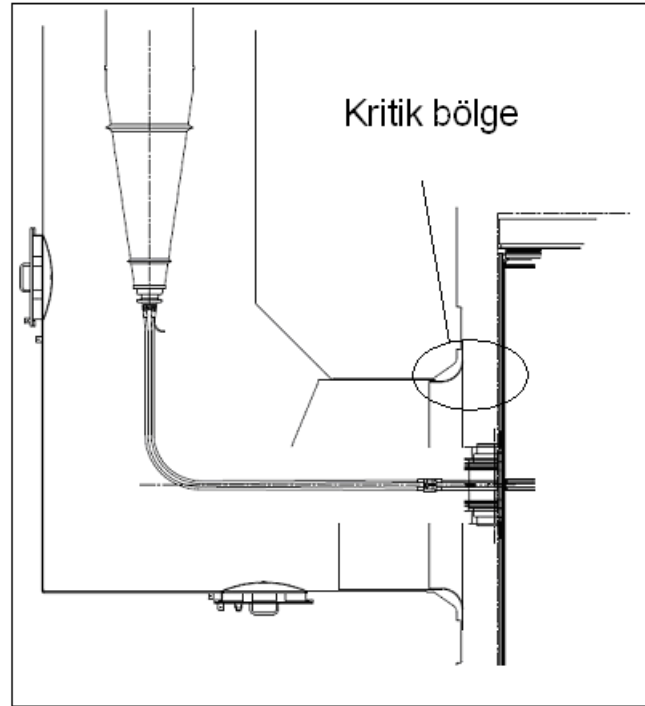
Şekil 5.31. Dirsek Bölgesi Alan Dağılımı (1 nolu doğru üzerindeki)



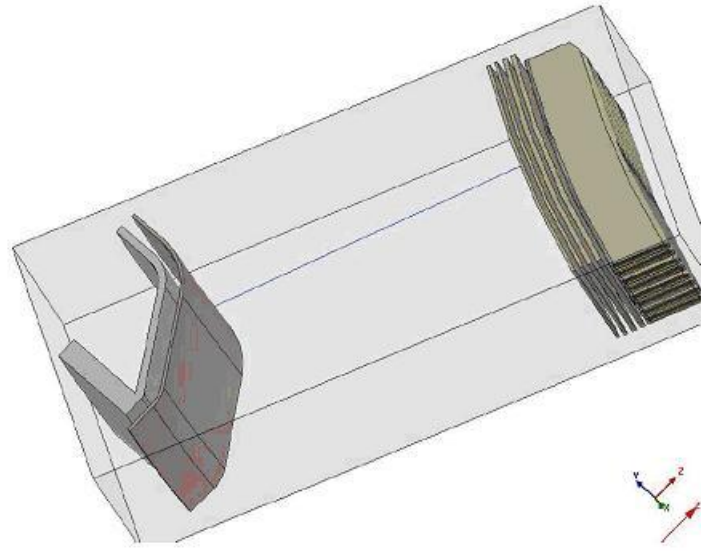
Şekil 5.32. Dirsek Bölgesi Alan Dağılımı (2 nolu doğru üzerindeki)

Görüldüğü gibi dirsek bölgesinde 1 nolu doğru boyunca alanlar elektrot gölgesine göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Bu bölgede izin verilen bariyer mesafelerini bu yüksek strese göre oluşturup boru ve ekran kısmı için tasarım sonuçlanır. Fakat sargı geçiş kısımlarındaki dom-transformatör tankı birleşimindeki alanlar kontrol edilip gerekli önlem alınmalıdır.

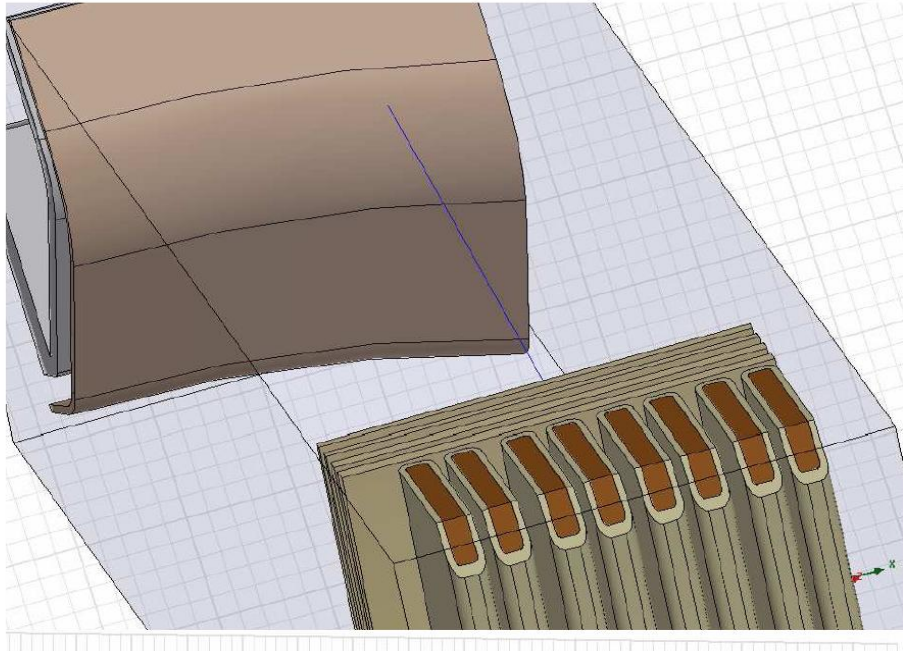
5.4. Kritik Bölgelerin İncelenmesi



Şekil 5.33. Sargı dom çıkış köşe etkisi inceleme

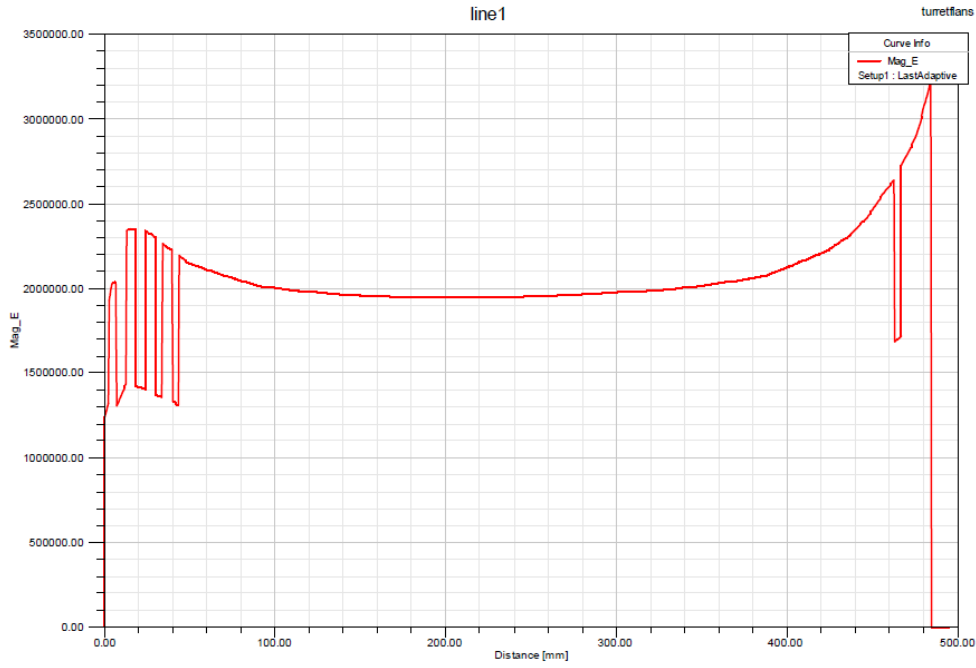


Şekil 5.34. Sargı Dom Çıkışı Model Resmi



Şekil 5.35. Sargı Dom Çıkışı Model Resmi

Şekilde görülen modellemesi yapılmış kısım disklerden dom çıkışının köşesine olan kısımdır. Bu kısımda köşe etkisinden dolayı alanların yükseleceği öngörülmektedir. Yapılan alan çalışmaları da aynı öngörüü desteklemiştir.



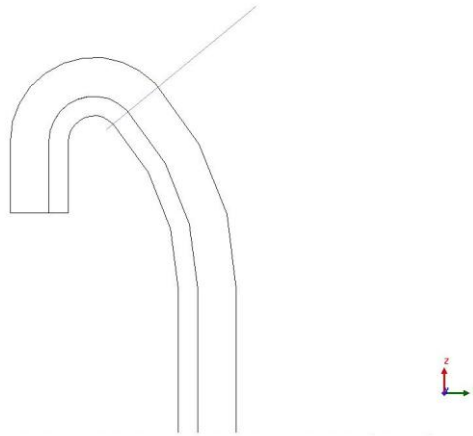
Şekil 5.36. Sargı Dom Çıkışı alan dağılımı

Bu elektrik alanın tank yüzeyinde yükselmesi sınır değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu artış boşalmalara neden olabilir. Bu boşalmaları engellemek için bölge izole edilmelidir.

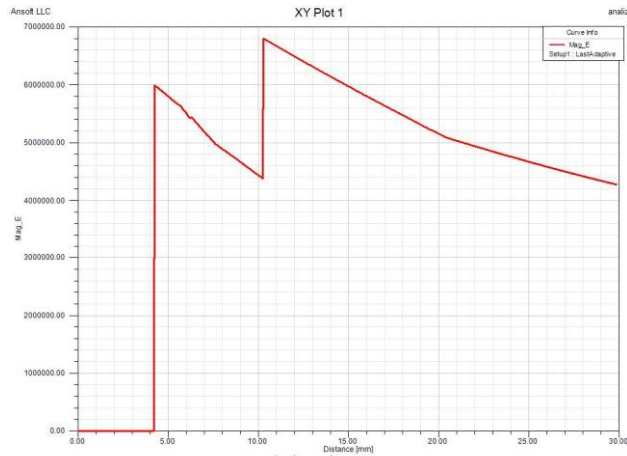
5.5. Tasarımı Etkileyen Olumsuzluklar

5.5.1. Sivri nokta etkisi

Yüksek gerilim potansiyeline sahip (ekran) yüzeylerde pürüzsüz düz bir yüzey istenir. Eğer yüzey pürüzlü veya sivri bir nokta içeriyor ise bu noktada geometrik etkiden dolayı elektrostatik alan artışı olmaktadır. Bu sistemi kısmi boşalmaya ve hatta delinmeye götürebilir. Üretim aşamasında dikkat edilmesi gereken kontrollerin başında gelmektedir.

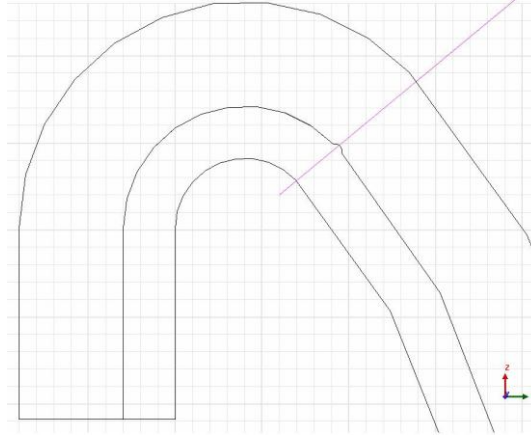


Şekil 5.37. Normal Ekran model resmi

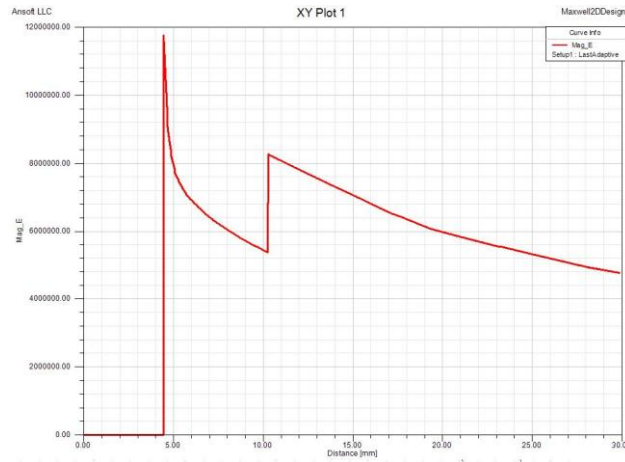


Şekil 5.38. Normal Ekran etrafında doğru boyunca alan dağılımı

Ekran yüzeyinde herhangi bir pürüz yok ise yukarıdaki şekilde alan 60 – 70 kV/cm aralığındadır. Sivri noktanın etkisi şekilde görülmektedir.

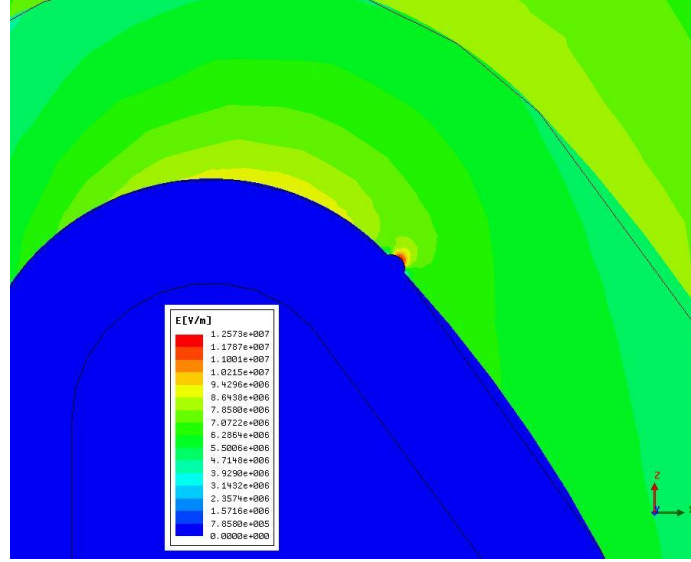


Şekil 5.39. Sivri Nokta etkisinin Ekran üzerinde model resmi



Şekil 5.40. Şekil 5.39 da doğru boyunca elektrostatik alan dağılımı

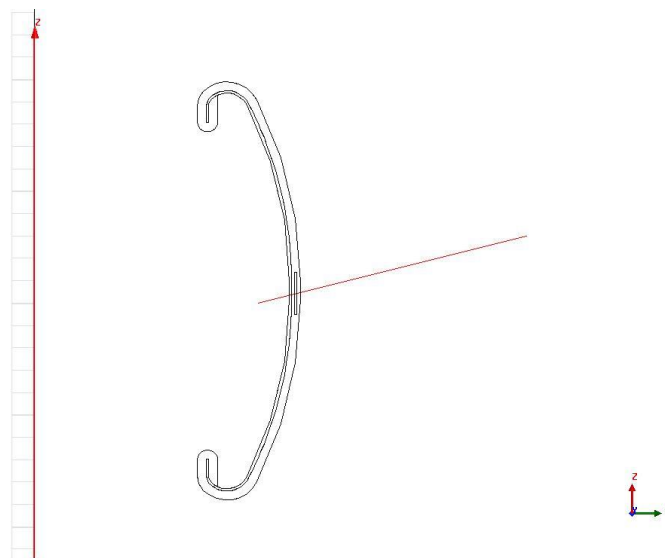
Şekil 5.40 ta görüleceği üzere sivri nokta etkisiyle alan 120kV/cm seviyelerine çıkmıştır. Bu sistem için sakıncalar içermektedir.



Şekil 5.41. Sivri Nokta etkisinin Ekran üzerinde renklendirilmiş gösterimi

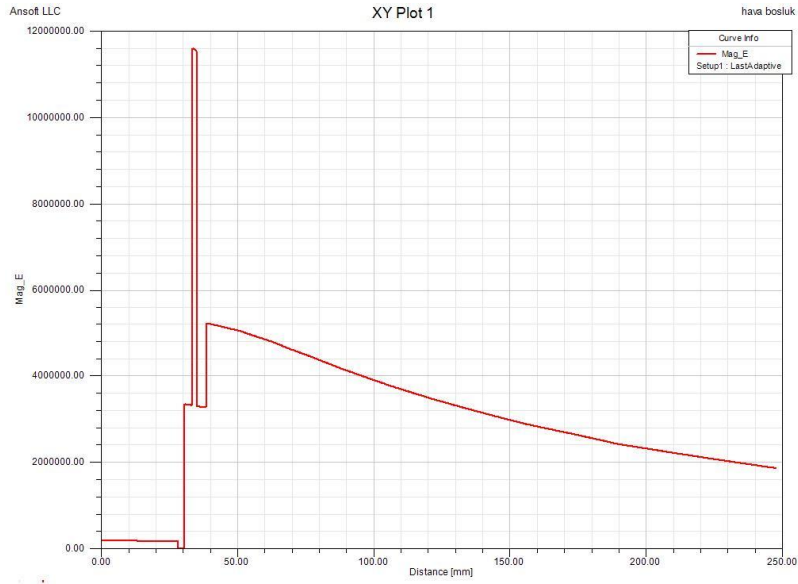
5.5.2. Hava habbeciği etkisi

Yalıtkan içinde kalan hava habbeciği üzerinde elektrik alan dielektrik sabitlerinden dolayı çok yükselmektedir. Bunun etkisi aşağıda gözükmektedir. Herhangi bir şekilde yağ içinde çözülmüş olan nemin veya yalıtım malzemesi içinde hapsolmuş hava habbeciğinin alan dağılımına etkisi gözükmektedir.



Şekil 5.42. Yalıtkan içinde Hava Habbeciği etkisinin modellenmesi

Şekil 5.42 de gözükten kısım hava habbeciğini simüle etmektedir. Şekil 5.42’de belirtilen doğru boyunca elektrostatik alan değişimi Şekil 5.43’de eğri şeklinde verilmiştir.



Şekil 5.43. Şekil 5.42’ deki doğru boyunca elektrostatik alan dağılımı

Bu alan çalışmaları bu tür yalıtım dizaynlarında dizayndan çok üretim ve malzeme teknolojisi daha çok önem taşımaktadır. Şekil 5.43’te eğride görülen hava habbeciği sebebiyle alanın 50-60 kV/cm değerlerinden 110-120kV /cm değerine alan artışı bölgede kısmi boşalmaya, ısınmaya ve sonrasında malzemenin delinmesine sebep olur.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir yüksek gerilim sargı çıkış düzeneğinin tasarımında incelenmesi gereken bölgeler anlatılmış ayrıca çevresel teçhizatların etkileri göz önüne bulundurulmuş tasarımı yapılmış ve yüksek gerilim transformatörlerinde katı sıvı yalıtım sistemleri çalışma prensibi anlatılmıştır. Tasarımı yapılan sargı çıkış düzeneği 800 kv'luk bir projede kullanılmıştır. Transformatör IEC 60076-3 standardında tanımlı ilgili testlerden başarıyla geçmiştir.

Ayrıca yapılan incelemelerde yalıtım malzemesinin asıl işlevinin direk olarak yalıtım yapmaktan çok yağ üzerinde katmanlar oluşturarak bu yağın etkinliğini arttırmak olduğu anlaşılmaktadır. Yağın etkinliği ekran üzerinden yumuşatılmış elektrostatik alanın etkisi sonucu elektronların yayılmasına karşı koymak suretiyle sistem içinde hatalara (kısmi boşalmalara, delinmeye) engel olmak ayrıca yapılan paravanalı dizayn ile uzun yağ kanallarını küçük yağ kanallarına ayırarak bu yağ kanallarından yağ akışını sağlayarak bölgenin ısınmasını engellemek sıcaklığı en uygun seviyede tutup sıcaklığa bağlı hataların (yaşlanma yanma gibi) önüne geçmektir. Ayrıca bu sistemlerin üretiminde geometrik etkinin ekran yüzeyinde veya yalıtım malzemeleri üzerinde üretim sonrası oluşacak geometrik bozuklukların olumsuz etkileri elektrik alanın artışı görülmektedir. Bunun yanında şartlandırma işlemlerinin yeterli yapılamaması veya yalıtkan üretim proseslerinde yapılacak yanlış uygulamalar sonucu hava habbeciğinin sisteme etkileri elektrik alanlarda artış olumsuz etkileri gösterilmiştir.

Yapılan bu incelemelerden sonra Sargı çıkış düzenekleri üretim dizaynında gelişmiş dizayn teknikleri, düzenlenmiş dizayn kriterleri, ileri teknoloji trafo kartonu kullanımı yanı sıra bu hammaddeleri işleme tekniklerinin de ne kadar önemli olduğu gözler önüne serilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] MOSER H.P., DAHİDEN V., TRANSFORMERBOARD I-II, H.Weidmann A.G Ch-8640 Rapperswil, 1987, Rapperswil, Switzerland
- [2] KULKARNİ, S.V., KHAPARDE S.A., Transformer Engineering: Design and Practise Publisher: Marcel Dekker (Taylor & Francis Group), New York, May 2004 ISBN: 0-8247-5653-3
- [3] MUSA S., Trafo Bakımı ve Yalıtım Yağı, 2009, Çağdaş Basımevi, Balıkesir
- [4] ÖZKAYA M., Yüksek Gerilim Tekniği 1, 2008, Birsen Yayınevi
- [5] ÖZTÜRK E., Technical Assesment of Lead Exit and Design Process, Travek International Semposium, Moskow, 2010
- [6] Abb Buşing Katalođu, www.abb.com, 25.04.2011
- [7] Best Transformatör Testleri Prosedürleri, www.besttrafo.com.tr, 15.01.2011
- [8] IEC 60076-3 Second Edition 2000-03 Part 3: Insulation Levels, Dielectric Tests and External Clearances in Air

ÖZGEÇMİŞ

Emre Öztürk, 15.07.1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmit'te tamamladı. 1998 yılında Kocaeli Anadolu Teknik Lisesi Elektrik bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2002-2004 yılları arasında Kaya Müh. Ltd. Şti'de şantiye şefi olarak çalıştı. 2005 yılında Askerlik görevini tamamladı. 2006 yılından beri ENPAY AŞ'de sırasıyla Üretim mühendisi, Kalite Kontrol Mühendisi ve Yüksek Gerilim Dizayn Şefi olarak çalışmaktadır. Bu süre içerisinde şirketin yeni ürün geliştirme projeleri yanı sıra Ar-Ge projelerinde yürütücü görevlerinde bulunmuştur. Şu anda ENPAY A.AŞ'de Yüksek Gerilim Elektrik Dizayn Şefi olarak görevine devam etmektedir.