



YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLİ GÜÇ TRAFOSU TASARIMI

Ahmad Farid MIRZAD

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2017

Ahmad Farid MİRZAD tarafından hazırlanan “YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLİ GÜÇ TRAFOSU TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Haluk GÖZDE

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Milli Savunma Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/08/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmad Farid MİRZAD

21/08/2017

YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLİ GÜÇ TRAFOSU TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmad Farid MİRZAD

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2017

ÖZET

Dünyada enerji kullanımındaki artış nedeniyle, elektrik enerjisine olan ihtiyaç da sürekli olarak artış göstermektedir. Bu durumda, kullanıcılara belirli standartlara göre sürekli elektrik enerjisi sağlamak çok önem kazanmıştır. Standart gerilim değeri ile kesintisiz elektrik enerjisi sağlanması için güç sistemleri kaliteli olmalıdır. Günümüzde transformatörler ve bileşenlerinde kullanılan elektronik sistemler, elektrik iletimi ve dağıtımı için oldukça önemli cihazlardır. Gerilim regülasyonu ve kalitesi bakımından yük altında kademe değiştiriciye sahip güç transformatörü, elektrik şebekelerinin ve endüstriyel uygulamalarının ana parçalarıdır. Transformatörler, iletim ve dağıtım sisteminin en önemli bileşenleri olmakla birlikte, yük altında kademe değiştiriciler (OLTC), yüksek gerilim altındaki güç transformatörlerinin kalbi olarak ifade edilebilir. Yük altında kademe değiştirici, sistemin enerjisini kesmeden trafo dönüşüm oranında değişiklikler yapmak için kullanılan önemli sistemlerdir. Bu sistemleri algılamak ve etkin kullanımı için her bir sistem, mevcut çalışmanın ilgili bölümlerinde incelenmiştir. Bu tez araştırmasında, yük altında kademe değiştiriciler için uygun sargı tipinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, üç fazlı bir transformatörün kademe değiştirici sargılarının teorik analizi yapılmış ve uygulaması bir transformatöre monte edilerek kontrolü gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan 7500 kVA – 33/11kV yağlı kademe değiştirmeli üç faz transformatörün sargılarının mekanik ve elektriksel hesaplamaları, öncelikli elektrik alan dağılımları teorik olarak incelenmiş ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Analizler için iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak magnetik alan, manyeto statik alan ve elektrik alan pratikleri gösterilmiştir. Yapılan çalışmada Ansoft Maxwell transformatör ve manyetik alan paket programı kullanılmıştır ve örnek uygulama yazılımında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ve pratik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen pratik analiz sonuçları ve ölçüm sonuçlar karşılaştırılmış, tasarımın analiz sonuçları ile ölçüm değerlerinin uyumlu olduğu gösterilmiştir. Uygulama da farklı güçler ve gerilim seviyeleri için de uygulanabilecek referans bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90514

Anahtar Kelimeler : Yük altında kademe değiştiricili, transformatör, Sargı tipi belirlemesi

Sayfa Adedi : 118

Danışman : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

DESIGN OF POWER TRANSFORMER UNDER LOAD TAP CHANGER

(M. Sc. Thesis)

Ahmad Farid MİRZAD

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2017

ABSTRACT

Due to the increase in energy use in the world, the need for electricity has also been increasing continuously. In this case, to provide constant electricity energy according to certain standards has become very important for users. Power systems must be in a high quality for an uninterrupted electrical energy provide with standard voltage value. Actually, at present, the electronic systems which are used in transformers and its components are very important devices for electrical transmission and distribution. Power transformer with on-load tap-changer in terms of voltage regulation and quality, are the main components of electric networks and industrial applications. Transformers are the most important components of the transmission and distribution system, but the on load tap-changers (OLTC) can be expressed as the heart of high-voltage power transformers. On-load tap-changers are important systems used to make transformations on the transformer ratio without interrupting the system's energy. In order to perceive and effectively use of these systems, each system has been examined in the relevant sections of this study. In this thesis, a study is carried out on the determination of the appropriate winding type for the on load tap changers. For this purpose, the theoretical analysis of the tap-changer windings of a three-phase transformer has been carried out and a control has been implemented by installing a transformer. Mechanical and electrical calculations of the windings and priority distributions of three phase transformers with 7500 kVA - 33/11 kV oily top change, used in this application, have theoretically been analysed, and designed. For the analysis, magneto static area and the electric field are shown by means of two-dimensional (2D) and three dimensional (3D) finite element method. Ansoft Maxwell transformer and magnetic field package program are used in the study. In addition, the sample application is implemented in the software. The obtained analysis results and practical results are compared. The obtained results of the practical analysis and the measurement results are compared, and it is shown that the analysis results of the design are compatible with the measured values. A reference study has been performed for different powers and voltage levels in practice .

Science Code : 90514

Key Words : Under load tap changer, transformer, Determination of winding type

Page Number : 118

Supervisor : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOGLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan değerli danışmanım, Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na ve ASTOR Fabrikasındaki AR-GE direktörü Sayın Dr. Fatih IŞIK ve AR-GE mühendisi Sayın Emrah ARSLAN sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi birikiminin artmasında önemli katkılar sağlayan Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımda manevi destek sağlayan Mohammad Zai ZAHEDİY ve maddi desteklerinden ve katkıların dan dolayı Afganistan İslami Cumhuriyeti'ne teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLER LİSTESİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. TRANSFÖRMATORLER	9
2.1. Transformatörün Yapısı ve Çalışma Şekli	9
2.2. Transformatörün Yapısı	10
2.3. Çalışma İlkesi	11
2.4. Boşta Çalışma	11
2.5. Yüklü Çalışma	13
2.6. Oto Transformatörler	14
2.7. Çok Sargılı Transformatörler	15
2.8. Akım Transformatörleri.....	15
2.9. Primer Anma Akımı	16
2.10. Gerilim Transformatörleri.....	16
3. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLER.....	19
3.1. Kademe Değiştiricilere Tarihsel Bakış ve Anket	19
3.1.1. Yük altında kademe değiştirici	21

	Sayfa
3.1.2. Kademe değiştirici (TC) nedir?	23
3.1.3. Gerilim kararlılığı ve kademe değişimi.....	24
3.2. Yüksüz Kademe Değiştirici (DETC).....	25
3.3. Kapalı Devre Kademe Değiştiriciler.....	27
3.4. Transformatörlerdeki Yük Altında Kademe Değiştirici.....	27
3.5.Yük Altında Kademe Değiştiricisi – Dizayn tipleri.....	29
3.5.1. Tip UCG ve VUCG	29
3.5.2. Tip UCL	30
3.5.3. Tip UBB	30
3.5.4. Tip UZ	31
3.5.5. Tip VRLTC	31
3.6. Kademe Değiştirici ve Mekanizmasına Ait Arızalar	32
3.7. Yük Altında Kademe Değiştiriciler Seçimi.....	33
3.7.1. Genel gereksinimler	33
3.8. Yük Altında Kademe Değiştiricinin Avantajı	34
3.9. Yük Altında Kademe Değiştiricinin Dezavantajı	34
3.10. Saptırıcı Anahtarlar	35
3.11. Seçici Anahtarlar	36
3.12. Kademe Seçici ve Saptırıcı Anahtar Anahtarlama Sırası	36
3.13. Geçiş Dirençleri	37
3.14. Değiştirme Seçici	37
3.15. Cenevre Dişlisi	38
3.16. Seçici Anahtar Konut.....	38
3.17. Yağ Genleşme Kabı	38

	Sayfa
3.18. Motor Sürücü Mekanizması	39
3.19. Seçici Anahtarı	40
3.20. Değiştirme Seçicisi Artı / Eksi Anahtarlama İçin	42
3.21. Değiştirme Seçicisi Kaba / İnce Anahtarlama İçin	43
3.22. Tip Tanım	44
3.23. Anma Faz Adım Gerilimi	44
3.24. Kontak Ömrü	45
3.25. Mekanik Ömrü	45
3.26. Yalıtım Seviyeleri	45
3. 27. Kısa Devre Kuvvet Akımı	46
3.28. Tie-in Dirençler	47
3.29. Nominal Akım.....	47
3.30. Geçici Aşırı Yükleme	47
3.31. Yağ Örneği Test Zamanı.....	47
3.32. Yağ Karbonlaşma Bakım Parametreleri	48
4. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLER İÇİN UYGUN SARGI TİP BELİRLEMESİ.....	49
4. 1. Yük Altında Kademe Değiştirici Uygulamaları	49
4.2. Yük Altında Kademe Değiştiricisi Tek- Faz Diyagramları	50
4.3. Kademe Sargısını Potansiyel Bağlantı Sırasında Değiştirme İşlemi	51
4.4. Direnç Tipi Yük Altında Kademe Değiştiricinin Orta Konumunu Geçerken Yön Değiştirme Anahtarının Çalışması Esnasında Kademe Sargısının / Kaba Sargının Kaçak Empedansının Etkileri.....	54
4.5. Anahtarlama Prensibi.....	55
4.6. Yaygın Olarak Kullanılan Sargı Şemalarının Örnekleri	57

	Sayfa
4.7. Yük Altında Kademe Değiştirici Prensipli-Pratikte.....	59
4.8. Yük Altında Kademe Değiştirici Prensipli	60
4.9. Yük Altında Kademe Değiştirici İçin Yüksek Gerilim Sargısı	61
4.10. Kutupluluklar	61
4.11. Yük Altında Kademe Değiştirici Çeşitleri.....	63
4.12. Yük Altında Kademe Değiştirici Montajı.....	63
4.13. Yük Altında Kademe Değiştiricinin Karşılaştırması	63
5. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLİ GÜÇ TRAFOSU TASARIMI.....	65
5.1. 7500kVA 33/11 kV'lık 3 Fazlı Yağlı Kademe Değiştirmeli Güç Transformatör Projesi	65
5.2. Çekirdek.....	66
5.3. Tek Fazlı Transformatör Çekirdekleri	67
5.4. Üç Fazlı Transformatör Çekirdekler	68
5.5. Sargıların Dizilimi ve Mesafeler.....	69
5.6. Sargıların Detaylı İncelemeleri	69
5.6.1. Alçak gerilim (AG).....	69
5.6.2. Yüksek gerilim (YG)	70
5.6.3. Ayar.....	71
5.7. Hesaplamalar.....	74
5.8. Mekanik Hesaplamalar	75
5.9. Genel Ağırlıkları	76
5.10. 3 Fazlı Yağlı Kademe Değiştirmeli Güç Transformatörü Kayıplarının Hesaplanması	76
5.10.1. Histerisiz kayıp hesabı	77

	Sayfa
5.10.2. Girdap (Fuko) akım kayıp hesabı	80
5.11. Trafolarda Ayar Sargısı Çeşitleri	83
5.11.1. Ayar sargısının YG sargısı içerisinde olduğu durum.....	83
5.11.2. Ayar sargısının ayrı bir sargı olması durumu	84
5.12. Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	87
5.12.1. Çekirdek kaybının Maxwell 3D FEM analizi	88
5.12.2. Çekirdek kaybının Maxwell 2D FEM analizi.....	92
5.13. Simülasyon Sonuçları	98
6. SONUÇ	106
KAYNAKLAR	108
EKLER.....	109
EK-1. Transformatörlerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi	110
EK-2. Maxwell programında analiz kavramı ve gerekliliği	113
EK-3. Çalışmada kullanılan transformatör ve kademe değiştirici cihazların resimleri	117
ÖZGEÇMİŞ	118

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yük altında kademe değıştirci standart farkları	20
Çizelge 3.2. Anahtarların işlem sırası	22
Çizelge 3.3. Kademe pozisyonu sırası	24
Çizelge 3.4. Devre kuvvet akımı	46
Çizelge 4.1. Yük altında kademe değıştircinin karşılaştırması	64
Çizelge 5.1. 7500 kVA transformatör tasarım bilgileri	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. (a) Çekirdek tip, (b) Mantel tip transformatör şematik görünümü	11
Şekil 2.2. Transformatörün çalışma ilkesi	11
Şekil 2.3. Transformatörün yüklü çalışması	13
Şekil 2.4. (a) İki sargılı transformatör, (b) Bir oto transformatörü bağlantısı	14
Şekil 2.5. Akım transformatörü çalışma karakteristiği	16
Şekil 3.1. Yük altında kademe değişimi	22
Şekil 3.2. Yük altında kademe -değiştiricinin işletimi.....	22
Şekil 3.3. Trafo arıza oranları (a) Uluslararası çalışma, (b) Hollanda çalışması	25
Şekil 3.4. Yük altında kademe değiştirici sağlayan transformatör	27
Şekil 3.5. Kademe değiştiricili bir güç transformatör ile sargılar arası bağlantıları	28
Şekil 3.6. UC tipi yük altındaki kademe değiştiricinin temel parçalar	28
Şekil 3.7. UCG tipi yük altında kademe değiştirici	29
Şekil 3.8. UCL tipi yük altında kademe değiştirici.....	30
Şekil 3.9. UBB tipi yük altında kademe değiştirici	30
Şekil 3.10. UZ tipi yük altında kademe değiştirici	31
Şekil 3.11. Tipi VRLTC.....	32
Şekil 3.12. VUCG ve VUC tipi saptırıcı anahtar örnekleri	35
Şekil 3.13. Hareketli ve sabit kontaklar	36
Şekil 3.14. Seçici ve saptırıcı anahtarlama kademe sırası	37
Şekil 3.15. Değişim-over seçici	37
Şekil 3.16. Yük altında kademe değiştirici sistemi.....	38
Şekil 3.17. Motorlu tahrik mekanizması (tip BUE).....	39
Şekil 3.18. Motorlu tahrik mekanizması (tip BUL)	39

Şekil	Sayfa
Şekil 3.19. Hareketli kontak H tek kontak gösterimi.....	40
Şekil 3.20. Geçiş kontaklar M1 ve M2	40
Şekil 3.21. Ana anahtarlama kontağı.....	41
Şekil 3.22. Geçiş kontak M2 sabit M1.....	41
Şekil 3.23. M2 sabit kontakla 1. geçiş kontak M1 kırık olan geçiş kontak yük akımını taşır	41
Şekil 3. 24. Ana anahtarlama kontağı H üzerinde yapmış geçiş kontak M1 açtı sabit kontak 2. Ana kontak H 2. Sabit kontak yük akımı taşıyor.....	42
Şekil 3.25. Değişim-over pozisyonunda	43
Şekil 3.26. Değişim-over pozisyonunda	43
Şekil 3.27. Kaba / ince anahtarlama.....	45
Şekil 3.28. Anahtarlama tip tanımı	45
Şekli 3.29. Anma faz adım gerilimi.....	46
Şekil 3.30. Geçiş anma.....	46
Şekli 3.31. Doğrusal anahtarlama	46
Şekli 3.32. Artı / eksi anahtarlama.....	48
Şekil 3.33. Yağ karbonlaşma bakım parametreleri	48
Şekil 4.1. Kademe sargılarının temel bağlantıları.....	49
Şekil 4.2. Farklı anahtarlama şemaları	50
Şekil 4.3. Faz kaydırıcı transformatör düzenlemesi.....	52
Şekil 4.4. (Şekil 4.3) deki devrede gösterildiği gibi faz kaydırıcı transformatörler	52
Şekil 4.5. (Şekil 4.3) deki devrede gösterildiği gibi faz kaydırıcı transformatörler; a) İki kademe sargılı tipik sargı düzenlemesi, b) Kademe sargısı 1 ve 2 için kurtarma voltajları ($U_r +$, $U_r -$), (fazör diyagramı).....	53
Şekil 4.6. Potansiyel bağlantı metotları (orta pozisyon da değiştirme seçicisinin ters çevrilmesi); a) Sabit bağlama direnci RP, b) Potansiyel anahtar SP ve bağlama direnci RP ile	53

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Faz kaydıran trafo - gelişmiş bir geciktirme anahtarı vasıtasıyla değiştirme işlemi.....	53
Şekil 4.8. Kaba sargı / kademe sargı düzenlemesinde kaçak empedansının etkisi; a) Orta pozisyon yoluyla işletim, b) Herhangi bir kademe konumu yanında orta pozisyonun yoluyla işletim	55
Şekil 4.9 . Yıldız üçgen bağlantıda düzenleyici bir transformatörün temel sargı bağlantıları.....	56
Şekil 4.10. Tek kontak anahtarı ile sistem yükü kaybı	56
Şekil 4.11. Temel anahtarlama prensibi "açmadan (2) önce kapama (1)" kullanarak geçiş empedansı.....	56
Şekil 4.12. Kademe sargı uçları nötr olan OLTC	57
Şekil 4.13. Kademe sargıları üçgen bağlantılı yük altında kademe değiştirici.....	58
Şekil 4.14. Oto transformatörlerdeki yük altında kademe değiştiriciler.....	58
Şekil 4.15. Transformatör oranları.....	60
Şekil 4.16. Transformatör oranları pratikte.....	60
Şekil 4.17. Yük altında kademe değiştirici için yüksek voltaj sargısı	61
Şekil 4.18. Eksiltici kutuplar.....	61
Şekil 4.19. Ekleyici kutupluklar.....	62
Şekil 4.20. Eksiltici ve ekleyici kutupluklar	62
Şekil 5.1. Güç Trafosu Bileşenleri.....	65
Şekil 5.2. Çekirdek tipi	66
Şekil 5.3 . Değişik ebatta kesilen saçla dizim tezgahında oluşturulan form.....	67
Şekil 5.4. Alt boyunduruk temsili şekli	67
Şekil 5.5. (a) 1 / 2 ve (b) 2 / 2 Tek fazlı transformatör çekirdekleri.....	68
Şekil 5.6. Farklı tip çekirdek tasarımları.....	68
Şekil 5.7. 2 / 0 Çekirdek formu.....	69
Şekil 5.8. 3 / 0 Çekirdek formu.....	69

Şekil	Sayfa
Şekil 5.9. Sargıların dizilimi ve mesafeler	69
Şekil 5.10. Alçak gerilim sargısı (Sargının üstten bakıldığındaki görünümü temsil edilmiştir).....	70
Şekil 5.11. Yüksek gerilim sargısı	71
Şekil 5.12. Ayar gerilim çalışma tipi	72
Şekil 5.13. 7500kVA 33/11 kV'luk 3 fazlı yağlı kademe değiştirmeli güç transformatörü bağlantı tipi.....	73
Şekil 5.14. Kazanın üstteki tipi ve bobinlerin arası mesafeler.....	75
Şekil 5.15. Kazanın yan tarafı.....	76
Şekil 5.16. Kademe sargılarına köprü tipi kullanımı	84
Şekil 5.17. Lineer tipi ayar sargısı kullanımı	85
Şekil 5.18. Reversing tipi.....	86
Şekil 5.19. Tek kaba sargılı coarse-fine uygulama şekli	87
Şekil 5.20. Transformatörün 3D geometrisi	88
Şekil 5.21. Analiz tipinin seçildiği menü.....	89
Şekil 5.22. Sargı direnç parametresi, sargı tipi, sargıdan başlangıçta akan akım ve sargıya uygulanacak uyarma gerilimi veya akımının fonksiyonunun girileceği pencere.....	90
Şekil 5.23. Terminaller ve sargıların birbirine tanıtılması	91
Şekil 5.24 Çekirdek kayıplarının hesaplanması için onaylanan pencere.....	92
Şekil 5.25. 3D geometriden 2D geometriye geçiş menüsü.....	93
Şekil 5.26. Şekil 5.22'de verilen 3D transformatör geometrisinin 2D hali	93
Şekil 5.27. 2D geometrinin derinlik değerinin girildiği pencere	94
Şekil 5.28. Sargılar için akım giriş/çıkış yönlerinin belirlenmesi ve sargı iletken sayılarının girilmesi.....	95
Şekil 5.29. Her bir sargıya ait terminallerin tanımlanması	96

Şekil	Sayfa
Şekil 5.30. Sinüzoidal anma gerilimi için tasarım 1.a.'ya ait hesap edilen çekirdek kaybı.....	96
Şekil 5.31. Sinüzoidal anma gerilimi için $t=1.99s$ 'de tasarım 1.a.'ya ait manyetik akı yoğunluğu dağılımı.	97
Şekil 5.32. Uç fazlı transformatör.....	97
Şekil 5.33. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık elektrik alan dağılımı	98
Şekil 5.34. Sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı (bir fazdaki)	98
Şekil 5.35.Sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı (bir fazdaki-ayrıntılı gösterim)	99
Şekil 5.36. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımı ..	99
Şekil 5.37. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün diğer fazdaki anlık akı yönelimlerinin gösterimi	100
Şekil 5.38. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımının 2boyutlu gösterimi.....	100
Şekil 5.39 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı yönelimlerinin 2 boyutlu gösterimi.....	101
Şekil 5.40. Transformatör enerjilendirildikten sonra sargılar ve yağdaki ısınma durumları.....	101

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Fabrikada kullanılan yük altında kademe değıştirici sargı tipi belirlenmesi.....	106
Resim 3.2. Kullanılan transformatör ve kademe değıştirici	107
Resim 3.3. Kullanılan kademe değıştiricisindeki ve transformatör	107
Resim 3.4. Kademe değıştiricisindeki kontrol kutusu	108



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
AA	Alternatif akım (Alternative current)
ANSI	American National Standards Institute
Avc	Automatic voltage control
ARS	Advance-retard switch
A	Bacak eksen
B1	Manyetik endüksiyon (Flux)
Cwg	Coarse winding
CERC	Central Electricity Regulatory Commission
D	Bacak çapı
DSO	Digital storage oscilloscope
D-STATCOM	Distribution static synchronous compensator
DETCs	De-energized tap changers
DRM	Dynamic resistance measurement
DNOs	Distribution Network Operators
DGA	Domain generation algorithms
E	İndüklenen EMK (Voltage)
Evs	Electric vehicles
F	Frekans (Frequency)
FEM	Finite Element Method
Ge_{net}	Net sac ağırlığı
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
HTS	High temperature superconductor
IGBT	Insulated-gate bipolar transistor
IEC	International Electrotechnical Commission
I	Akım

Simgeler**Açıklamalar**

Ip	Griş (primer) akımı
Is	Çıkış (Sekonder)akımı
JH	Boyunduruk yüksekliği
KH	Histerisiz kat sayısı
LTC	Load tap changer
LU	Diderter Switch insert
L	Bacak yüksekliği
Mwg	Main Winding
NLTCs	No load tap changer
N1,Ns	Primer sarım sayısı (Primery turns)
N2,Ns	Sekondar sarım sayısı (Sekondary turns)
OLTC	On load tap changer
PST	Phase-shifting transformers
Rwg	Regulating winding
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories
TC	Tap changer
TCUL	Tap changer under load
TLMS	Vacuum Reactance Load Tap-Changer
Ui	Rated step voltag
VRLTC	Vacuum Reactance Load Tap-Changer
Vs	Çıkış (sekonder) voltagı
Wdgs	Windings
W1	Sarımlı birincil sargı
W2	Sarımlı ikincil sargı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

A	İletken kesiti
AG	Alçak gerilim
KVA	Kilovoltamper
Kw	Kilo watt

Kısaltmalar**MVA****P_{st}****X****YG****Ø1****Ø2****Ø_m****MV****DG****HD****I_u****I_B****I_K****R****H****M1, M2****U_{r+}, U_{r-}****R_p****SP****U_s****I****TR****B_m****U_k****L_c****CNC****Açıklamalar**

Megavoltamper

Rated step capacity

Bakırın öziletkenliği

Yüksek Gerilim

Primer amper-sarım

Sekondar amper-sarım

Maksimum akı değeri

Medium voltage

Distributed generation

Harmonization document

Rated through-current

Operrating through -current

Circulating current

Transition resistor

Main contact

Transition contacts

Recovery voltages

Fixed tie-in resistor

Potential switch

Step voltage

Through-current

Transformatör oranı

Maksimum akı yoğunluğu

Kısa devre empedansı

Circulating current

Computer numerical control

1. GİRİŞ

Elektrik sistemi, tanımlanmış maliyet kısıtlamaları dâhilinde talep üzerine güvenilir ve yüksek kaliteli güç sağlamak için ekonomik ve kritik öneme sahiptir. Transformatörler, yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde kalite ve güvenilirlik hedeflerini karşılamada önemli bir role sahiptir. Kesintisiz enerji sağlamak için genellikle yedeklemeli şekilde kurulur ve değiştirilmesi pahalıdır. Transformatörlerin bakımı veya değiştirilmesi için müşterilere verilen servis hizmeti önemli maddi sonuçlar doğurabilir. Transformatörler güvenilirlerdir. Ancak çalışma ömürlerini tahmin etmek zordur. Özellikle yaşlanmakta olan bir sistemde yapılacak olan işlem için, trafo yaşı ile ilgili bir eğri yardımıyla daha net belirlenir.

Genellikle trafo arıza oranının %1 - %2 civarında olduğu bilinmektedir. Maliyetli müdahaleleri önlemek ve daha uzun ömürlü kullanımı sağlayabilmek için, yaşlanan bir transformatörün korunması gerekliliği önemlidir. Bu nedenle, duruma bağlı olarak, yüksek kaliteli denetleme bilgileri kullanılarak trafo ömrünü uzatmak mümkün olup son derece önemlidir [1].

Kademe değiştiriciler (TC), çıkış gerilimini dengeli hale getirmek için trafonun hayati bileşenleri olmakla birlikte, mekanik arızalar, elektriksel ve dielektrik hataların mevcudiyeti de ciddi problemlerdir. Bu durumlar transformatörlere ağır hasarlar verebilir. Yük altında kademe değiştiricileri (OLTC) olan transformatör arızalarının yaklaşık %33'ü kademe değiştirici mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, kademe değiştiricilerin izlenmesi, trafonun sağlıklı çalışmasının ve doğru işletmenin önemli bir göstergesidir. Yük altında kademe değiştiriciler (OLTC), elektrik enerji sistemleri ve endüstriyel uygulamalarda güç transformatörlerinde kullanılan vazgeçilmez elemanlardır. OLTC'ler voltaj regülasyonunu ve faz kaymasını, yük altında kesinti olmadan, transformatör oranının değiştirilmesi ile sağlar.

Kademe değiştirici teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, yük transfer işlemlerinde çift anahtarlama ilkeleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar yüksek hızlı direnç tipi OLTC ve reaktör tipi OLTC'lerdir. Zamanla bu teknoloji geniş bir aralıkta akım ve gerilim uygulamalarına izin veren, güvenilir transformatör bileşenleri dahilinde geliştirilmiştir. Bu bileşenler günümüzün şebeke ve endüstriyel işlem transformatörlerinin ihtiyaçlarını

karşılacaktır. Ayrıca optimum sistem ve süreç kontrolünüde sağlamaktadır. Direnç tipi OLTC'lerin çoğunluğu, transformatör tankının içine monte edilmiştir. Bunun aksine reaktör tipi OLTC'ler, transformatör tankına kaynaklı ayrı bir bölmede yer almaktadır. Yük altında kademe değiştirici (OLTC) sargı transformatörlerine dokunarak bağlantıyı değiştirmek işlemi, transformatör enerjili iken gerçekleştirilir. Kademe değiştiricisi tek bir birim olarak veya ortak bir nötr noktası ile üç fazlı uygulamalar halinde tasarlanmaktadır. Çoğu kez üç faz değerine bağlı olarak, kendi izole fazları olan, üç ayrı ünite gerektirir. Kademe değiştiriciler, ya transformatör ana tankının içinde ya da kendi bölmesinin dışında yer alabilir [2].

Lee S. W. ve diğerleri; 2007 yılında yaptıkları çalışmalarında, yük altında kademe değiştirici ile tek fazlı 33 MVA Yüksek Sıcaklık Süper iletken (HTS) transformatörünün tasarımını gerçekleştirmişlerdir [3]. Tasarlanan HTS transformatörünün boyutu küçük, verimi yüksek olmuştur. Konvansiyonel transformatör ile HTS sargısında AC kaybını azaltmak için sargılar konsantrik düzene sahiptir. Sürekli disk sargısı bu HTS transformatöründe benimsenmiş ve sargılar arasındaki boşluğun değişimi için elektriksel karakteristikler analiz edilmiştir. Tasarım sonucunda 33 MVA trafonun, HTS 20 MVA geleneksel transformatör yerine kullanılabileceği gözlenmiştir [3].

Chunning Wangt ve diğerleri; 2010 yılında, kontak yanmaları ile ilgili, enerji tabanlı uygulamalar yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarının sonucunda, OLTC'nin durumunu izlemek için kullandıkları enerji tabanlı yaklaşımların uygulanabilir olduğunu göstermiş ve OLTC entropisini önermişlerdir [4].

Johan Hillergren'in 2010 yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasındaki amacı yük altında kademe değiştiricilerindeki hareketli kontaklar için hızlandırılmış bir ömür testi geliştirmek, oksitlenme ve kokuşma ile ilgili 30 yıllık kullanımdaki aşınmayı analiz etmektir. Gümüş iyodür kontak noktalarının, gümüş kontakların mükemmel elektriksel özelliklerine nasıl sahip olabileceğini anlamaya yardımcı olmak için, gümüş kontak yüzey yapısı incelenmiş ve daha iyi sürtünme özellikleriyle ve etkilenen çeşitli parametrelere odaklanan bir tasarım yaklaşımını geliştirmişlerdir [5].

Julian Adity 2010 yılında yüksek lisans tez çalışmasında dinamik direnç üzerine, test parametrelerinin OLTC'ye etkisini dinamik direnç ölçümü (DRM) ölçüm sonuçlarıyla

incelemiştir. Bu çalışmada ölçüm sonuçlarının test parametrelerine bağımlı olmasını beklemişlerdir. Bu araştırmanın verilerini elde etmek için, DRM farklı zamanlarda yapılmıştır. OLTC'lerde yükseltilmiş bir test kurulumunu kullanmışlardır. İki seçilmiş test parametresi, test akımı ve devre direnci olan ölçümler sırasında farklılık göstermiştir. Farklı test parametreleri seviyelerinden ölçüm sonuçları tartışılan bir yöntemle nicelleştirilmiştir. DRM grafiğindeki akım saptamaları hesaplanmıştır. Ardından, bu analitik aracı kullanarak ölçüm sonuçlarının davranışından test parametrelerinin etkisi araştırılmıştır [6].

Reinhart Fourie, 2010 yılında tamamladığı yüksek lisans tez çalışmasında yalıtılmış çift kutuplu transistör (IGBT) tabanlı bir katı hal kademe değiştiricisinin, izlenme oranları için tasarımını ve uygulamasını yapmıştır. IGBT tabanlı kademe değiştirici uygulaması için en iyi topoloji, ticari olarak temin edilebilen bir ototransformatör üzerine seçilmiştir. Gerekli donanım, yazılım ve denetleyiciler tasarlanmıştır. Simplorer'da tüm sistem simüle edilmiş ve MV uygulamaları için IGBT tabanlı tap değiştirici kavramı oluşturulmuştur[7].

David, SaezRomero 2010 yılında yaptığı tez çalışmasında spesifik gerilim gereksinimlerini araştırmıştır. Gerilimin bir elektrik sisteminde etkisini görmek ve sistem performansının diğer yönleri ile olan ilişkilerini analiz etmek için, transformatörler ve kademe değiştiricileri kullanıp, kademe değiştirici cihazları araştırmalarında kullanmıştır. Lunds Energy'den alınan verilere dayanarak, PowerWorld simülasyon yazılımı ile üç sistem kurmuşlardır. Öncelikle, gerçek sistemlerdeki gerilim problemlerinde yararlı olabilecek sonuçları elde edebilmek için simüle bir sistem oluşturmuşlardır . Sonra, şehir şebekesi ve ülke çapındaki enerji hatları ve transformatörleriyle, üretim birimlerini ve yüklerini kontrol etmişlerdir. Son olarak, rüzgar enerjisi üretimini ülke çapındaki sisteme eklemişlerdir. Simülasyon için kullanılan yük profilleri bir günde 24 değerden (saatlik bazda) oluşturmuşlardır [8].

Juriaan Jonathan Erbrink 2011 yılında yaptığı doktora tez çalışmasındaki spesifik araştırma hedefi, kademe değiştiricisinin bozulma mekanizmalarının kusurlarının önceliklendirilmesinin değerlendirilmesi, böylece dahili kademe değiştiricilerine mevcut kontak direnci modellerinin uygulamasıdır. Dinamik direnç eğrilerini yorumlamak için sistematik bir yöntem önermiştir [9].

Keerthana Raveechandiren 2012 yılında yaptığı tez çalışmasında kılavuz temaslarını etkileyen ve bir kontak tasarlarken çeşitli parametrelere dayanan bir tasarımı ele almıştır. Sahadaki tüm çalışma süresi boyunca operasyonu değerlendirmek için, bir kademe değiştiricisinde Hopkinson testi adı verilen hızlandırılmış yaşlandırma testi yapmıştır. Testteki kontakların aşınması kaydedilmiş ve dirençlerden bir DC akım geçirilerek ölçülmüştür. Kontakları etkileyebilecek olası parametrelerin bir listesi oluşturulmuş ve bunlar arasındaki karşılıklı bağlantılar bulunmuştur. Bir seferde üç parametre olarak görsel yardımcılar oluşturulmuştur. Kontaklarda mevcut dağılımı bulmak için CONSOL simülasyonları da yapılmıştır. Simülasyonlar, farklı anma akımlarında ve çeşitli kontak direnci değerleri ile gerçekleştirilmiş ve ilgili sıcaklık ve akım yoğunluğu çizimleri raporda gösterilmiştir. Parametreler arasında ilişki kurmak için, bağıntı tek boyutlu bir tabloda gösterilmiştir [10].

Nelli Sichwart 2012 yılında yüksek lisans tez çalışmasında Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61850 standardı ile laboratuvar ortamında yük kademe değiştirici (LTC) kontrolünü uygulamıştır. Özellikle, iletişimin kolaylaştırılması için genel nesneye yönelik trafo istasyonundan (GOOSE) çıkan bir dizi durum kayıtlarını, görsellik sağlaması için Schweitzer mühendislik laboratuvarındaki (SEL) cihazlarda kullanmışlardır. Bakır ile kablolanmanın yaygınlığının ortadan kaldırılması nedeniyle, önerilen yöntem çok esnektir ve çeşitli farklı cihazlar için kullanılarak uygulanmıştır [11].

Dieter Dohnal; 2013 yılında yaptıkları çalışmada direnç tipi kesme ve reaktör tipi OLTC'lerin teknolojik gelişmelerini açıklamışlardır. Ayrıca OLTC'ler genel anahtarlama ilkeleri için tartışılmış ve OLTC uygulamaları anlatılmıştır [12].

Daniel J. Rogers ve Tim C. Green; 2013 yılında yaptıkları çalışmalarında yük altında kademe değiştiricileri için yeni bir hibrid saptırıcı tasarlamışlardır. Tasarım, "aktif-şönt" akım iletim ilkelerini kullanmaktadır. Çekirdeğinde, akımın mekanik kontakların dışına aktarılması ve bir çift anti-paralel tristörlere dönüştürülmesi için düşük gerilimli yüksek akım anahtar modlu bir yükseltici kullanmışlardır. Transformatör kademeleri arasındaki komütasyonu daha sonra tristörler tarafından gerçekleştirmişlerdir. Amplifikatör ve tristörler normal yük akımı yolunun dışına yerleştirilmiş ve yalnızca bir kademe değiştirme ile kontrol edilmiştir. Verim ve tasarruf sağlamakta olduğu ve daha önceki hibrit yük kademe değiştiricisi uygulamalarına kıyasla sağlamlıklarının arttırmakta olduğu

görülmüştür. Özerk olarak sıfır akım koşulları üreten bir amplifikatörün, kontrol döngüsü anahtarı açıldığında ve anahtarı kapatıldığında, sıfır gerilimdeki çalışma davranışlarını göstermişlerdir. Yeni hibrid yön değiştirici altında çalışan kontakların aşınma özelliklerini araştıran deneysel sonuçlar, pasif tipte bir anahtarlama şemasındaki karşılaştırma sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur. 25 milyondan fazla operasyonun kontakt ömrü üzerine etkisi şema ile göstermişlerdir [13].

B. Bakhshideh ve diğerleri; 2013 yılında yaptıkları çalışmalarında, dağıtılmış üretim (DG) birimlerinin bulunduğu bir radyal orta gerilim (MV) dağıtım şebekesinin gerilim regülasyonu için yeni bir teknik sunmuşlardır. Önerilen teknik, yük altındaki kademe koordine eylemlerinden oluşmaktadır. Bu teknik, OLTC ve D-STATCOM ile reaktif güç kompanzasyonu ile ilgilidir. OLTC'nin etkisiyle sistem voltajının yönetimi ve MV sistemlerinin gerilim regülasyonu için en yaygın yöntemlerden biridir. Ancak, uzun radyal dağıtım besleyicilerinin gerilim regülasyonu için OLTC kullanılamaz. Çünkü besleyicinin gönderim noktası gerilimi değişir. Simülasyon sonuçları, önerilen kontrol yönteminin sistem voltajlarını izin verilen aralıkta tutabildiğini ortaya koymuştur [14].

Chao Gao Beng 2013 yılında yaptığı doktora tez çalışmasında, dağıtım ağlarında gerilim kontrolü için OLTC kullanmıştır. Geleneksel OLTC gerilim kontrol şemaları ve dağıtım üretimi (DG) teknolojilerine genel bir bakış ve güç çıkışına dayalı çalışma karakteristikleri sunulmuştur. DG'nin dağıtım şebekelerindeki OLTC gerilim kontrol şemaları üzerinde olan etkisi simüle edilmiş ve tartışılmıştır. Ayrıca, pasif ağlardan aktif dağıtım ağlarına geçişi açısından, akıllı şebeke ve akıllı şebeke cihazlarının yeni konseptlerini de tanıtmıştır. Havai hattın ve yeraltı kablosunun farklı X / R oranının etkileri de göz önüne alınmıştır. Bu etkiler, herhangi bir yeni yöntem uygulanmadan eleştirel olarak değerlendirilmiştir [15].

Deakin A. G. ve diğerleri 2014 yılında yaptıkları çalışmalarda transformatörlerin ve kademe değiştiricilerinin sürekli ve olay odaklı çevrimiçi kromatik akustik izlenmesi için temel bir mantık ortaya koymuşlardır. Trafo merkezi operatörlerinin bilgisine uyarlanabilen bir yaklaşım temsil edilmiştir. Bu da genel ve bireysel dokunma-değiştirme kalitesini izleme gereksinimlerinden ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımın eğilim örneklemesi ve sürekli izleme rejimleri için uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır ve ayrıca genel

transformatör akustik davranış kalıplarının ve bireysel iç kademe değiştirme unsurlarının değerlendirilmesini içermektedir [16].

Gautham Ram ve diğerleri 2014 yılında yaptıkları çalışmalarda bir güç elektroniği kademe değiştiricisi tasarımı için farklı OLTC topolojilerinin analizlerini karşılaştırmıştır. Transformatör sargılarının ve kademe anahtarlarının gerilim ve akım derecelendirmesi temel alınarak, farklı topolojiler p.u. değerler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Topolojiler, akıllı gerilimin hem pozitif hem de negatif kompanzasyonunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şebekenin gerilim ve güç seviyelerine dayanan doğru topolojiyi uygun şekilde seçerek, katı hal tipi kullanılan anahtara ve gerilim düzenlemeye uygulamışlardır [17].

Xue HAN ve diğerleri 2015 yılında yapılan çalışmalarında OLTC gerilim regülasyonu için esneklik yönetim sisteminden nasıl yararlanılabileceğini gösterip, ızgara işlemi için her iki kontrol kaynağını da bir araya getiren, koordine edilmiş bir kontrol şeması önermişlerdir. Kontrol sistemi OLTC değerlerini karşılaştırarak esnekliğini etkinleştirir ve böylece piyasa bağlamında optimum kararı verebilir. Mevcut tüm kaynaklar dijital depolama osiloskopu (DSO) için verilmiştir. Sistemin çalışması için önerilen kontrol şeması olmaksızın simüle edilerek, iki gerilim seviyesinde şebeke kullanmışlardır. Ayrıca, eşgüdümlü kontrol şemasının, sistemin bir bütün olarak potansiyel maliyetini azaltabileceğini gösteren simülasyon sonuçlarını sunmuşlardır [18].

E.-M. Baerthlein ve diğerleri 2016 yılında hesaplama yöntemlerine odaklanan üç farklı yaklaşım ele alınmıştır. Basitleştirilmiş denklemlere dayanan ilk yaklaşım, konseptin ardındaki mantığı daha da sağlamlaştırmak için uygun bir metodolojidir. Bununla birlikte, sınırlamaları yüzünden daha karmaşık ızgaralar söz konusu olduğunda, pratik olarak daha az önem taşımaktadır. Ayrıca, kalan iki yöntemden biri güç sistemi simülasyonlarına, diğeri optimizasyona dayanmaktadır. Bununla birlikte, ikinci yöntem çok sayıda bara ile başa çıkma kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle, optimizasyon metodu, pratikte uygulanması için çok uygundur. Bu yöntem kullanılarak OLTC'lerin performans ve yetenekleri, yenilenebilir enerjilerin ve elektrikli araçların sorunsuz ızgara entegrasyonu için önemini sağlamlaştırmak genişletilebilir olduğunu gözlemlemişlerdir [19].

Arya Vishnu Ram T ve diğerkleri; 2016 yılında yaptıkları çalışmalarda IEEE 14 baralı sistemin gerilim kararlılığı analizi, baraların L-endeksini hesaplayarak yapmışlardır. Yük akışı çalışmalarından optimize edilmiş gerilim seçilmiş ve bu gerilim değerlerini kullanarak L-indeksi hesaplanmıştır. Hesaplanan L-endeksi değerlerinden, en zayıf baralar bulunabilmektedir. Transformatör kademelerinin nasıl bir değişim gösterdiği ve gerilim kararlılığı da bu çalışmada hesaplanmıştır [20].





2. TRANSFORMATÖRLER

Transformatör, ilk defa bir kimyager olan Lucien Gaulard tarafından 1884'de literatüre kazandırıldı. O zamanlar sekonder generatör denilen bu cihaz sonradan transformatör olarak adlandırıldı [21].

Hareketli parçası olmayan taransformatör, bir enerji dönüşüm makinası olmamasına rağmen birçok enerji dönüşüm sisteminin vazgeçilmez bir parçasıdır. AA güç sistemlerinin bu önemli parçası, güç sistemlerinin en uygun gerilimi üreterek, en ekonomik ve en uygun güç ile transferini mümkün kılar. Transformatör aynı zamanda düşük güçlerde, elektronik ve sadece uygun empedanslı maksimum güç transferi kontrol devrelerinde, devreleri birbirinden izole etmek veya doğru akımla AA akımın izole edilmesinde de kullanılır. Transformatör, ortak manyetik akı ile birleştirilmiş iki veya daha çok sargıdan oluşmaktadır [22].

2.1. Transformatörün Yapısı ve Çalışma Şekli

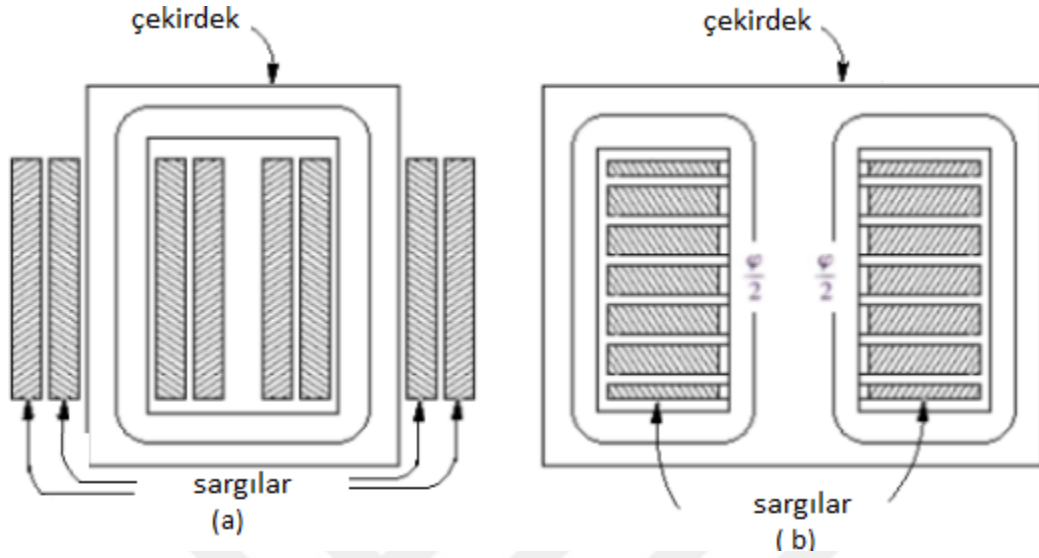
Transformatörler elektrik enerjisini bir elektrik devresinden başka bir elektrik devresine frekansı değiştirmeden, elektromanyetik indüksiyon yoluyla aktaran statik cihazlardır. Bir ferromanyetik çekirdek etrafına sarılan iki veya daha fazla tel sargı vardır. Bu sargılar elektriksel olarak bağlı değildir, ama manyetik olarak bağlanmışlardır. Sargılar arasındaki tek bağlantı, çekirdeğin içinde bulunan manyetik akıdır. Birincil transformatör sargılarından biri, alternatif bir akım olan elektrik güç kaynağına bağlıdır. İkinci transformatör sargısı olan sekonder sargılar, yüklere elektrik enerjisi sağlar. Birincil sargı tarafından alınan elektrik enerjisi önce manyetik enerjiye dönüştürülür. Bu, ikincil sargıda (ve mevcutsa üçüncül sargıda) yararlı bir elektrik enerjisine geri dönüştürülür. Eğer sekonder sargı gerilimi birincil sargı geriliminden daha yüksekse, bu yükseltici transformatördür. Yükseltici transformatörde, birincil sargıya düşük gerilim sargısı denir. Sekonder sargıya ise yüksek gerilim sargısı denir. Transformatörün sekonder sargı gerilimi birincil sargı gerilimden düşük olan transformatörlere ise alçaltıcı transformatör denir. Alçaltıcı transformatörde, ikincil sargıya düşük gerilim sargısı denir. Birincil sargıya ise yüksek gerilim sargısı denir [24].

2.2. Transformatörün Yapısı

Transformatörler ince saclardan yapılmış, demir gövde adı verilen kapaklı bir manyetik devre ile yalıtılmış iletkenler ile sarılıp demir gövde üzerine yerleştirilmiş bobinlerden meydana gelmiştir. Temel olarak nüve, sargılar, izolasyon malzemeleri ve bunları kaplayan bir tanktan oluşur. Yağlı tip transformatörlerde kazanın içine bobinleri soğutmaya yarayan yalıtkan bir yağ konulur. Soğutma yağı, radyatörlerde dolaştırılarak soğutulur.

Esasen bir transformatör ortak akıllı iki veya daha fazla sargıdan oluşur. Eğer bu sargılardan birisi olan primer alternatif akım kaynağına bağlanırsa sarım sayısına, primere uygulanan gerilime ve bu gerilimin frekansına bağlı olan bir alternatif akı üretilir. Ortak akı diğer sargı olan sekonderi çevreleyerek, akının genliği ve frekansına bağlı olarak gerilim üretecektir. Primer ve sekonder sargıların sarımlarını uygun şekilde oranlı seçerek istenen gerilim oranı veya dönüştürme oranı büyük bir doğrulukta elde edilebilir. Transformatör dönüşümün asıl kaynağı iki sargıyı çevreleyen ortak akının zamana göre değişken olmasıdır. Böyle bir olayda iki sargı arasındaki kaçak olabilir, iki sargı arasında etkileşimin yüksek olabilmesi için demir çekirdek veya başka bir ferromanyetik malzeme kullanılmalıdır. Çünkü akının çoğu yüksek manyetik iletkenli kısımda yolunu tamamlayacaktır. Böyle bir transformatör demir çekirdekli transformatör olarak isimlendirilir. Transformatörlerin çoğu bu tiptedir. Tez çalışmasında tümüyle demir çekirdekli transformatörler incelenecektir. Demir çekirdekte eddy akımları tarafında meydana getirilen kayıpları azaltmak için manyetik devre genellikle ince sac levhaların istiflenmesi yolu ile yapılır. İki yaygın tip imalat şekli, Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Çekirdek tipinde (şekil 2.1a) sargılar dikdörtgen şeklindeki manyetik çekirdeğin iki bacağı etrafına sarılır, mantel tipte (şekil 2.1b) sargılar üç bacaklı çekirdeğin orta bacağına sarılır. Genellikle 0.35mm kalınlığındaki silisli – çelik saclar, çalışma frekansı birkaç yüz hertz’in altındaki transformatörlerde kullanılır. Silisli çelik, arzu edildiği gibi yüksek akı yoğunluğuna (1.0-1.5 Tesla kadar) , düşük çekirdek kaybı ve yüksek manyetik iletkenliğe sahiptir. Yüksek frekanslı düşük enerji seviyeli haberleşme devrelerinde kullanılan küçük transformatörlerde ferrit olarak bilinen toz haldeki ferromanyetik malzeme karışımlarının sıkıştırılması ile elde edilen çekirdek kullanılır. Bu yapıların her birinde akının çoğu kısmı çekirdekte akar ve böylelikle sargıların her ikisi de akı ile çevrilir. Sargılar aynı zamanda kaçak akı olarak isimlendirilen akı da üretirler. Bu akı diğer sargıyı çevrelemez. Kaçak akı

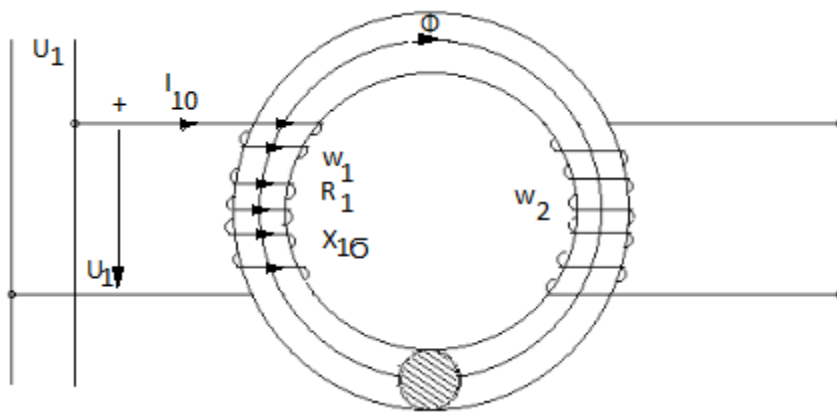
toplam akıya göre çok küçük olmasına rağmen transformatörün davranışını inceleme üzerinde önemli bir rol oynar [22], [25], [26].



Şekil 2.1. (a) Çekirdek tip, (b) Mantel tip transformatör şematik görünümü [22]

2.3. Çalışma İlkesi

Şekil 2.3'teki gibi bir çekirdek üzerine aynı yönde sarılmış sarım sayıları W_1 ve W_2 olan iki sargı seçilsin. W_1 sarımlı birincil sargıyı U_1 gerilimli bir alternatif akım şebekesinden beslenirse;



Şekil 2.2. Transformatörün çalışma ilkesi [27]

2.4. Boşta Çalışma

Birincil sargıdan bir I_{10} akımı geçer. Geçen bu akım boştaki akım olarak adlandırılır.

$$\Phi_1 = W_1 \cdot \Phi \quad (2.1)$$

ve akısı oluşturur. Bu akı birincil sargıda; Faraday yasasına göre;

$$E_1 = -\frac{d\Phi}{dt} = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

e.m.k. endükler.

$$I_{10} = I_{10\max} \cdot \cos \omega t \quad (2.3)$$

Şeklinde olduğun dan $\Phi = \Phi_{\max} \cdot \cos \omega t$. Biçiminde ifade edilebilir. Dolayısıyla;

$$E_1 = -W_1 \frac{d(\Phi_{\max} \cdot \cos \omega t)}{dt} \quad (2.4)$$

$$E_1 = +W_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t \quad (2.5)$$

olur. Burada $\omega = 2\pi f$ olup , $f=50$ Hz dir

$$E_1 = E_{1\max} \cdot \sin \omega t = E_{1\max} \cdot \cos (\omega t - 90^\circ) \quad (2.6)$$

Şeklinde yazılır. Endüklenen E_1 e.m.k'ti Φ akısından 90° geri fazdadır.

$$E_{1\text{eff}} = \frac{E_{1\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

olduğundan,

$$E_{1\text{eff}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} W_1 \cdot \Phi_{\max} \quad (2.8)$$

olur. Bu bağıntıyı

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot \Phi \quad (2.9)$$

Şeklinde sadeleştirerek verilir.

Bu bağıntıda Φ (wb) olarak yerine konursa E_1 (V) olarak hesap edilir.

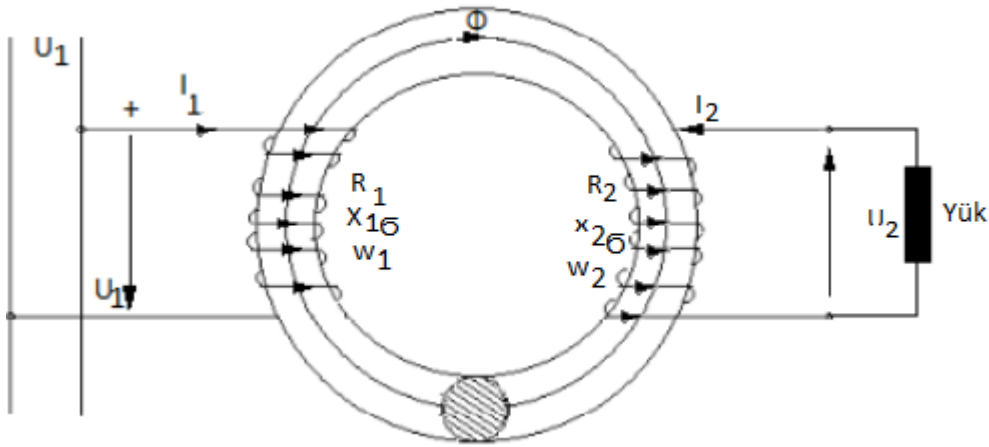
Aynı Φ akısı ikincil sargıyı da kavradığından ikincil sargıda da ,

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi \quad (2.10)$$

Gerilim endüklenir. Eş. 2.10 ve Eş. 2.11 bağıntıları oranlanırsa

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (2.11)$$

bağıntısı bulunur.



Şekil 2.3. Transformatörün yüklü çalışması [27]

2.5. Yüklü Çalışma

Transformatörün ikincil sargısına bir yük bağlanırsa, Sekonderden I_2 akımı çekilir.

Sekonder amper-sarım :

$$\overrightarrow{\Theta}_2 = W_2 \cdot I_2 \quad (2.12)$$

Primer amper-sarım:

$$\overrightarrow{\Theta}_1 = W_1 \cdot I_1 \quad (2.13)$$

Olacaktır. Manyetik devredeki mıknatıslanma akısını oluşturan amper-sarım

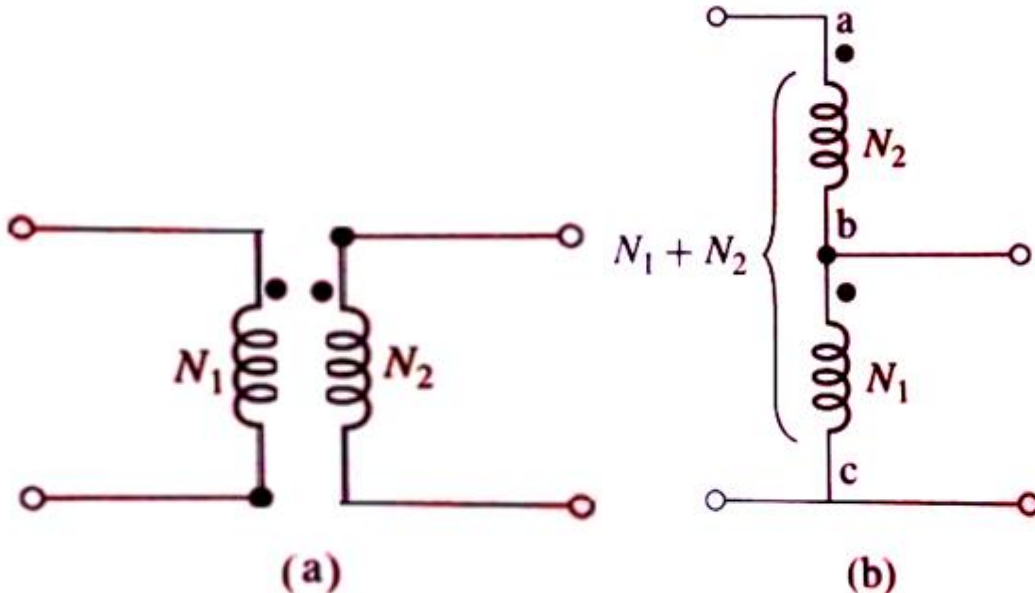
$$\overrightarrow{\Theta}_m = \overrightarrow{\Theta}_1 + \overrightarrow{\Theta}_2 \quad (2.14)$$

olacaktır. I_{10} boştaki akımı yani $I_2 = 0$ olduğu durumdaki akımdır.

$$\overrightarrow{\Theta_m} = W_1 \cdot I_{10} \quad \overrightarrow{\Theta_m} = W_1 I_1 + W_2 I_2 = W_1 I_{10} = \text{sabittir} \text{ olur.} \quad (2.15)$$

2.6. Oto Transformatörler

Şekil 2.4'te, iki sargılı bir transformatörün N_1 ve N_2 olan primer ve sekonder sargıları görünmektedir. Bir bakıma aynı akım, gerilim ve empedans dönüşüm etkisi bu sargıların Şekil 2.4'te görüldüğü gibi bağlanmasıyla da elde edilebilir. Ancak, Şekil 2.4'te sargılar primer ve sekonderde ortaktır. Bu tip transformatörler ototransformatör olarak isimlendirilir. Bu normal bir transformatörün özel bir bağlantısından biraz daha farklı bir yapıdır. İki sargılı transformatör ile ototransformatör arasındaki bir önemli fark iki sargılı transformatörlerin sargılarının elektriksel olarak birbirlerinden yalıtılmış olmasıdır. Halbuki ototransformatörlerin sargıları birbirine elektirksel olarak doğrudan bağlıdır. Buna ilave olarak, ototransformatör bağlantısında, ab sargısının ototransformatörün anma gerilimine karşı ayrı bir yalıtım sağlamalıdır. Ototransformatörler daha az kaçak reaktansa, kayıplara ve uyarma akımına sahiptir. Ayrıca dönüştürme oranı 1:1 den çok farklı değilse iki sargılı transformatöre göre maliyet fiyatı da daha azdır.



Şekil. 2.4. (a) İki sargılı transformatör, (b) Bir oto transformatörü bağlantısı [22]

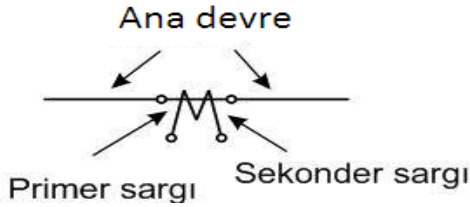
2.7. Çok Sargılı Transformatörler

Üç veya daha fazla sargıya sahip transformatörleri çok sargılı veya çok devreli transformatörler olarak bilinir ve çoğunlukla farklı gerilimlerde üç veya daha fazla devreyi beslemek için kullanılırlar. Bundan dolayı, çok sargılı transformatör fiyatları düşük ve eşdeğer iki sargılı transformatörden daha hesaplıdır. Elektrik uygulamalarda tek primer ve çok sayıda sekonder sargısına sahip transformatörler, çoğunlukla çoklu çıkış DA güç sağlamak için kullanılırlar. Amerika'da ev kullanımı amacıyla güç sağlayan dağıtım transformatörleri genellikle iki adet 120V'luk seri bağlı sekonder sargılıdır. Aydınlatma ve düşük güçteki uygulamalar içi devreler 120V'luk sargının her birine bağlıdır. Sıcak su ısıtıcıları, kurutma makinaları ve diğer yüksek güçlü yükler ise seri bağlı 240V'luk sekonder güç çıkışından beslenir. Benzer olarak, büyük bir dağıtım sistemi çok sargılı transformatörlerle üç fazlı baradan beslenebilir. Bu sistem farklı gerilimli iki veya daha çok sayıdaki iletim hattından oluşabilir. Buna ek olarak, farklı gerilimli iki iletim sistemini birleştirmede kullanılan üç fazlı transformatör baraları, yerel dağıtım ihtiyaçlarını sağlamak veya transformatör merkezindeki iç ihtiyaçlarına gerilim sağlamak için üçüncü ya da üçüncül sargılara sahiptir. Gerilim düzenleme veya güç faktörü düzeltme için statik kapasitörler veya senkron kondansatörler üçüncül sargılara bağlanabilir. Bazen, üç fazlı sistemde nötr geriliminin 3. harmonik bileşenlerine azaltmak için uyarma akımının 3. harmonik bileşenlerine düşük empedanslı yol sağlayan Δ bağlı üçüncül sargılar kullanılır. Çok sargılı transformatörlerin kullanımında ortaya çıkan bazı sorunlar, gerilim regülasyonu, kısa devre akımları, kaçak empedansların etkileri ve yükün fazlara dağılımları ile ilişkilidir. Bu problemler iki devreli transformatörlerde kullanılabenzer eşdeğer devre tekniğiyle çözülebilir. Çok sargılı transformatörlerin eşdeğer devreleri, iki sargılı durumdakinden daha karmaşıktır. Çünkü her sargı çifti ile ilişkili kaçak empedanslar dikkate alınmalıdır. Genellikle bu eşdeğer devrelerde tüm büyüklükler ortak bir büyüklük cinsinden, sarım oranları kullanarak bir tarafa indirgenerek veya birim değer (per unit) cinsinden tanımlanır. Uyarma akımı genellikle ihmal edilir [22].

2.8. Akım Transformatörleri

Ana devreden geçen akımı belli bir miktarda azaltıp sekonder devre elemanlarına aktaran cihazlardır. Akım transformatörleri bir taraftan akımın genliğini azaltırken diğer taraftan sekonder elemanların (röler ve ölçü aletleri vb.) yüksek gerilim sisteminden yalıtımını da

sağlarlar. Akım transformatörlerinin ana devreye seri şekilde bağlanan sargılarına primer, röle ve ölçü aletlerini besleyen sargılarına sekonder sargı denir.



Şekil 2.5. Akım transformatörü çalışma karakteristiği

2.9. Primer Anma Akımı

Akım transformatörünün oluşturulmasında temel alınan ve transformatörün olağan çalışma şartlarını saptayan primer akımıdır. Bir akım transformatörünü seçerken anma akımı, akım transformatörünün bağlanacağı fiderden geçecek en yüksek yük akımının altında olmayacak şekilde belirlenmelidir. İleriki dönemlerde olabilecek gelişmeler düşünülerek primer sargı sayısı çok seçilebilir. Bölümler kendi aralarında seri ya da paralel bağlanarak farklı primer anma akımları elde edilebilir.

Normal primer anma akımı değerleri:

5	10	12.5	15	20	25	30	40	50	60	75
(X10)	100	125	150	200	250	300	400	500	600	750
(X100)	1000	1250	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	7500

Transformatörün oluşturulmasında esas alınan ve transformatörün çalışma şartlarını belirleyen sekonder akımıdır. Normalde üreticilerin uyguladıkları genel değer 5 Amperdir.

2.10. Gerilim Transformatörleri

Primer şebeke gerilimini küçülterek sekonder devre elemanlarına aktaran cihazlardır. Primer anma gerilimi: Gerilim transformatörünün yapımında esas alınan ve transformatörün çalışma koşullarını belirleyen primer gerilimidir. Faz ile toprak arasına bağlanan gerilim transformatörlerinde, primer anma gerilimi, devrenin faz-nötr anma

işletme gerilimine eşit seçilir. Faz-faz arasına bağlanan (V) gerilim transformatörlerinde primer anma gerilim, devrenin faz-faz anma işletme geilimine eşit seçilir.

Sekonder anma gerilimi: Gerilim transformatörünün yapımında esas alınan ve transformatörün alışm koşullarını belirleyen sekonder gerilimidir. Faz-toprak arasına bağlanan gerilim transformatörlerinde $\frac{100}{\sqrt{3}} V$, faz arası bağlanan gerilim transformatörlerinde 100V standart değerlerdir. Çift sekonder sargılı gerilim transformatörlerinde artık gerilim rölesini beslemede kullanılan sekonder sargı genellikle $\frac{100}{3} V$ olarak imal edilir[29].





3. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLER

3.1. Kademe Değiştiricilere Tarihsel Bakış ve Anket

Elektrik güç iletimi için belirli sınırlar dâhilinde değiştirilebilir bir dönüş oranına sahip transformatörler kullanılmaktadır. Sargı üzerindeki kademeler vasıtasıyla transformatör oranını değiştirmek için kullanılan bu yöntem trafo kadar eskidir. Bu, elektrik şebekeleri gerilim seviyesinin yanı sıra, reaktif ve aktif gücü kontrol etmek içinde kullanılan basit yöntemdir. Yük değişikliklerini ve şebekedeki özellikle gerilim düşüşlerini kontrol etmek mümkün değildir. Bu aşamada bu parametreler sadece üreten tesiste kontrol edilebilir. Bu sorunu çözmek için, yük koşullarında transformatörlerin dönüş oranının değiştirilmesine izin veren anahtarlama cihazlarına ihtiyaç duyulur. Yük akımını kesintiye uğratmadan, günümüzde yük altında kademe değiştiricileri (OLTC) olarak adlandırılan bu tür anahtarlama cihazları 70 yıl önce kullanılmaya başlandı. OLTCler için talep 1920'lerde acil bir zorunluluk haline geldi, güç tüketimi keskin bir yükseliş trendi izlediğinde, elektrik şebekelerinin ara bağlantı ve genişlemesini gerektiriyordu. Birkaç yıl içinde işletme güvenliği, etkinliği ve verimliliği bakımından oldukça tatmin edici olan çözümler, OLTC'lerin gelişimini, iletim geriliminin ve gücünün istikrarlı bir şekilde artması nedeniyle yıllar içinde hızlandırılmıştır. Yük altında kademe değiştiricilerin tanıtımı, elektrik sistemlerinin çalışma verimliliğini önemli ölçüde geliştirmiş ve bu teknik dünya çapında kabul görmüştür. Günümüzde özellikle Almanya'da neredeyse tüm jeneratör ve güç transformatörleri OLTC'lerle donatılmıştır. Diğer sanayileşmiş ülkeler de benzer durumdadır. Genel olarak, yük altında kademe değiştiricilere sahip transformatörlerin yüzdesi, yük yoğunluğunun artması ile artmaktadır. Kimyasal ve metalurjik endüstrideki elektrikli ünitelerin birbirine bağlanması, bir başka önemli uygulama alanıdır. Çizelge 3.1, çeşitli uygulamalar için tipik operasyon sayısına ilişkin bir anketi göstermektedir. Bu aralık yaklaşık 50 ile 3000 Amper arasında oluşturulur. Günümüzün en gelişmiş OLTC teknolojisi, oldukça yüksek bir güvenilirliğe ulaşmıştır ki, mekanik ömür beklentisi transformatörün çalışma ömrüne eşittir. Ulaşım ağırlığı, taşıma boyutu ve profili ile genel ekonomik hususlar OLTC direnç prensibi ile karşılaştırılmıştır. Farklı üreticilerin OLTC'leri ve pek çok çeşidi vardır. Yıllar içinde tank içi kompartıman tipi OLTC ile ilgili çok tartışma yapılmıştır. İngiltere' deki geleneksel ve güncel uygulama, transformatör için ayrı bölmeler kullanmaktadır. Kademe seçici ve değiştirici anahtar yağları bir bakış açısı, bu tasarımın DGA' nın başlangıçtaki herhangi bir arızanın yerini tespitinde kullanıldığı

veya kademe değiştiricisinde başlatılan arızalar nedeniyle transformatörlerin değiştirilmesi gerektiği durumlarda avantajlı olmasıdır. Diğer bir bakış açısı ise, üstün kalite nedeniyle transformatörün ana depodaki yağ seçimi ile bu değişim gerekli değildir. Bu, transformatörün maliyetini ve hacmini artıracaktır. Yük altında kademe değiştiricilerin artan önemi ile, standardizasyon talepleri büyümüş ve yük altında kademe değiştiriciler için IEC standardı oluşturulmuştur. Bu standart 1966'da yayınlanmış ve 1976 ve 1989'da iki kez revize edilmiştir 1966'da yayınlanmıştır. (IEC Yayını 214). 1989'dan IEC yayını 214'ün 3. Baskısı hala geçerlidir. Bugün IEC yayını 60214 olarak bilinir. Sadece OLTC'leri değil ayrıca devre dışı kademe değiştiricilerini de kapsar. Yeni standart (dördüncü baskı) 60214-1 numarasını alarak IEC yayınının ikinci basımı 214 ile birlikte yük kademe değiştiricileri için bir uygulama kılavuzu hazırlanmış ve bu kılavuz 1988'de yayınlanmıştır. Bu standart 60542 olarak yeniden adlandırılmıştır. IEC yayınının en son revizyonu olan 60214-2 ile birlikte IEC60214 CENELEC tarafından kabul edilmiştir. Daha sonra 1992'de birkaç değişiklikle HD 367 S2:1992 olarak yeniden yayınlanmıştır. Bu standart Avrupa topluluğu ülkelerinde geçerlidir. Bu uyum belgesi (HD), 1998'de bir Avrupa standardı EN 60214'e dönüştürülmüştür. 1995 yılında ABD'de IEEE standardı C57.131.1995 yayımlandı. Bu standartta IEC' deki değişiklikler esas olarak Reaktör tipi OLTC' lerin dahil edilmesi gerekliliği açıklanmıştır. IEC 60214 yayınından bazı önemli sapmalar ulusal standartları göstermektedir [33].

Çizelge 3.1. Yük altında kademe değiştirici standart farkları

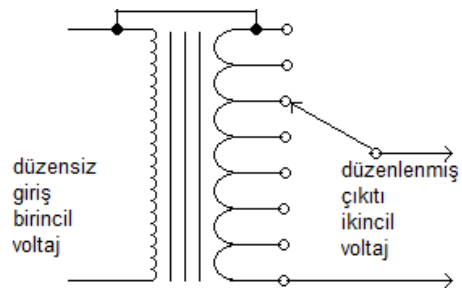
	Operasyon sayısı	
	IEC yayın 60214/1989	JEC 2220/ 1988
Servis görev testi C1 8.21 of IEC 60214	50 000	200 000
Kırılma kapasitesi testi C1 8.2.2 of IEC 60214	40 at 2.1	10 at 1.5.1 3 Aralıksız
Mekanik dayanıklılık testi C1 8.5 J of IEC 60214	500 000	800 000

3.1.1. Yük altında kademe değiştirici

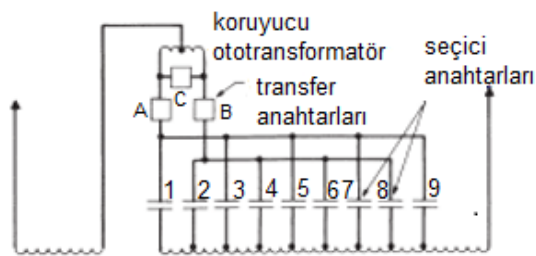
Yük altında kademe değiştiren transformatörler, genellikle trafo merkezlerinde bulunur ve büyük güçlerde kullanılır. Devredeki bu tip regülatörlerin bağlantıları, indüksiyon voltaj regülatörü ile aynıdır [31].

Voltajın değiştirilmesi; Şekil 3.1’de gösterilen kademeler aracılığıyla primerdeki sargı sayılarının değiştirilerek, transformatör oranlarının değiştirilmesi sonucu gerçekleşir. Küçük ototransformatör uygulamalarında, yük altında kademe değiştirme işlemleri başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu ototransformatörlerin fonksiyonu; transformatör sargısının bir kademeden başka bir kademeye geçişi sırasında, transformatörün hattan ayrılmasını engellemeye yardımcı olmaktadır. Şekil 3.2’de yük altında kademe değiştirici elemanların nasıl çalıştığı şematik olarak gösterilmektedir. 1’den 9’a kadar olan seçici anahtarlar, devreyi oluşturmak ya da devreyi kesmek için kullanılmaz. Genellikle transformatör anahtarları gibi aynı kapalı alanda yer alırlar. A, B ve C ile gösterilen transfer anahtarları, yağ altında devreyi oluşturmak ve kesmek için kullanılır ve bu anahtarlar ayrı bir bölümde yer alırlar. Bu sayede hem çeşitli olumsuz etkilerden korunmuş olurlar hem de anahtarlama arklarından dolayı kirlenen yağın değiştirilebilir olması sağlanmış olur. Koruyucu ototransformatör Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bağlıdır ve onun orta noktası primer sargısının ana parçasına bağlıdır. İşlem sırası şu şekildedir: seçici anahtar 1, transfer anahtar A ve C aracılığıyla, pozisyon 1’deki sargı sonundaki gerilimle, koruyucu ototransformatörün ortasındaki gerilim aynı olduğu zaman, ototransformatörün ortasındaki gerilimi kapatır. Bir sonraki kademe için, anahtarlar şu şekilde işletilmelidir: C anahtarı açılır; anahtar 2 kapatılır; B anahtarı kapatılır; A anahtarı açılır; C anahtarı kapatılır; anahtar 1 açılır. Artık ototransformatörün orta noktası ve kademe 2 aynı gerilimdedir. Kademe değişikliği için anahtarların sırası Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Seçici anahtarlar, transfer anahtarlarının yerini almadan önce daima kapalıdır. Transfer anahtarları açıldıktan sonra daima açıktırlar. Şekil 3.2’de 3 transfer anahtarı ve her bir kademe için bir seçici vardır.



Şekil 3.1.Yük altında kademe değişimi



Şekil 3.2. Yük altında kademe -değiştiricinin işletimi [32]

Çizelge 3.2. Anahtarların işlem sırası

[illegible]

C transfer anahtarı kapatıldığı zaman, hem koruyucu ototransformatörün uçları aynı gerilimde olur hem de tek bir koldan akan akım diğer kollardan akar. Bu akımlar çekirdek etrafında ters yönlü aktığı için, devrenin reaktansından kaynaklı küçük bir gerilim düşümü meydana gelir. C transfer anahtarı açıkken ve aynı zamanda transfer anahtarları A ve B'den biri açık, diğeri kısa devre yapıldığı zaman, bütün akım koruyucu ototransformatör sargı kolundan akar. Bu süreçte ortaya çıkan istenilmeyen gerilim düşümlerini engellemek için, koruyucu ototransformatör nüvesinde hava boşluğu ile üretilir. Bu durum nüvede çok fazla manyetik alanının tutulmasını engeller ve bu da sargılarda çok fazla gerilim düşümüne neden olabilir. Kademe değiştiricinin işletilmesi, elle veya otomatik olarak kontrol edilebilir. Büyük kademe değiştiriciler için kontrol mekanizması transformatörün dışında yer alır. Rölelerle çalıştırılan bir motor mekanizması, hem transformatör tankı içinde yer alan seçici anahtarlarla, hem de ayrı bir bölmede yer alan transfer anahtarlarıyla açılır ve kapanır. Bu mekanizma, anahtarlar uygun sırayla çalışacak şekilde düzenlenmiştir. Kontrol rölesiyle bağlantılı kullanılan bir zaman gecikme cihazı, onun, kısa sürelerdeki gerilim düşümleri boyunca çalışmasını engeller. Yük altında kademe değiştiren (TCUL) gibi transformatörler % 10 yüksek gerilimde ve % 10 düşük gerilimde, gerilimi dengelemek için kullanılabilirler. Bu transformatörlerin kademe değiştirme mekanizmalarında 36 yada daha fazla birleştirilmiş adıma sahiptir.

3.1.2. Kademe değıştici (TC) nedir?

Trafo değerlendirme: 2 MVA, Gerilim Oranı: 33 /0.433 kV Yük altında kademe değışimi ile +10% - 10 % @ % 2.5 adımlar CERC ve CEA normlarına göre, 33 kV sistem için en yüksek voltaj seviyesi 36 kV'tur. Bu nedenle, maksimum kademe seviyesi 36 kV veya daha yüksek olmalı ayrıca en düşük gerilim seviyesi 30 kV'dur. Hesaplamalar incelendiğinde; 33 kV'lık gerilim seviyesi nın % 1, $33000 / 100 = 330$ Volt.

Her % 2.5 kademe değeri $2.5 \times 330 \text{ Volt} = 825 \text{ Volt}$.

+% 10 seviye; $10 \times 330 \text{ Volt} = 3300 \text{ Volt}$.

Şimdi 33000 Volt' la 3300 Volt topladığımızda;

Maksimum kademe Seviyesi = $33000 + 3300 = 36.3 \text{ KV}$

Minimum kademe Seviyesi = $33000 - 3300 = 29.70$ KV olur. Kademe seviyesi örneği Çizelge 3.3'te verilmiştir.

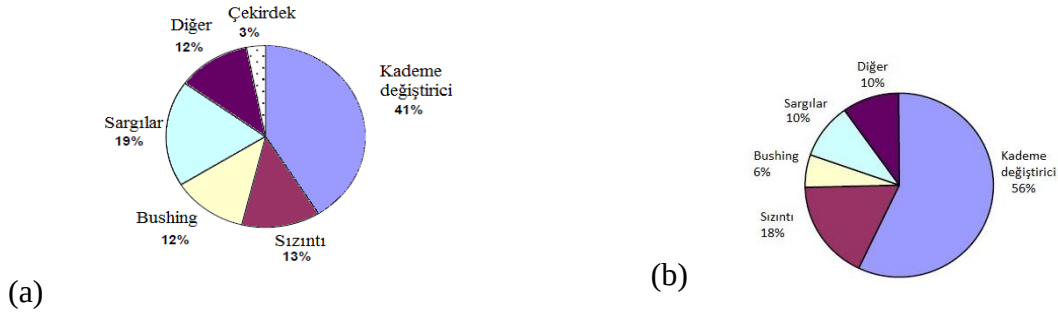
Çizelge 3.3 . Kademe pozisyonu sırası

Kademe pozisyonu	YG gerilim değerleri
1	36300
2	35475
3	34650
4	33825
5	33000
6	32175
7	31350
8	30525
9	29700

3.1.3. Gerilim kararlılığı ve kademe değişimi

Gerilim kararlılığı, tüm güç sistemi kalitesinin bir ölçüsüdür. Gerilim kararlılığının sağlanması güç sisteminde önemli bir problemdir. Yanlış yük tahmini, jeneratör kesintisi, hat arızası ve reaktif güç kaynağı eksikliği gibi birçok faktöre bağlı olarak gelişebilir. Güvenli ve ekonomik bir güç sistemi çalışması için gerilim kararlılığı izin verilen sınırlar dahilinde tutulmalıdır. Gerilim istikrarı için trafo üzerindeki kademe değiştiriciler kullanılır [6, 15].

Şekil 3.3, bu tür çalışmaların iki örneğini göstermektedir. Trafo arızalarını %41'i uluslararası bir araştırmaya göre yük kademe değiştiricisiyle ilişkilidir. Hollandalı bir çalışmaya göre bu değer % 56'dır.



Şekil 3.3. Trafo arıza oranları (a) Uluslararası çalışma, (b) Hollanda çalışması[30,34]

3.2. Yüksüz Kademe Değiştirici (DETC)

Transformatörlerin çoğu enerjisiz kademe değiştiricilere sahiptir (DETCs) ve bunlar bazen yüksüz kademe değiştiriciler (NLTCs) olarak adlandırılır. Amaçları, gelen primer gerilimin, sahip olunan cihazların gereksinimine uymasını sağlamaktır. Gelen gerilim artar veya azalır, ve uzun bir süre (haftalık veya aylık) bu seviyede kalırsa, DETC' nin kademe ayarının değişimi dikkate alınmalıdır. (Transformatörün DETC' sini kullanarak kısa dönem voltaj dalgalanmaları telafi edilmemelidir.)

En basit anlamıyla, bir DETC, transformatör sargılarının sayısını ekleyerek veya çıkararak çalışır. Genellikle, cihaz transformatörün primer tarafındaki sargı sayısını etkiler. Çoğu DETC tasarımları beş adımlı bir düğmenin etrafında merkezlidir. En yaygın uygulama nominal sistem gerilimini orta adım olarak yerleştirmektir. Geriye kalan dört adımda kademeler 2 gruba ayrılır, her bir adım gerilimi genellikle % 2.5 oranında yukarı veya aşağı doğru çekecektir. Birçok transformatörde anahtar pozisyonları A, B, C, D, E veya 1, 2, 3, 4, 5 olarak gösterilmektedir. Aşağıdaki grafik, nominal voltajın üstünde ve altında iki adet % 2.5 kademe bulunan bir 13.200 / 7620V, 480 / 277V yıldız transformatörüne örnektir:

Kademe A veya 1 — 13.860 V — (+5%)

Kademe B veya 2 — 13.530 V — (+2.5%)

Kademe C veya 3 — 13.200 V

Kademe D veya 4 — 12.870 V — (-2.5%)

Kademe E veya 5 — 12.540 V — (-5%)

ANSI (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) nominal sistem geriliminden, % 5'ten daha fazla değişmeyecek bir gerilim seviyesi etmesini önermektedir.

Bir Tesise gelen gerilim, beklenen nominal gerilimde farklı bir değerde olduğu varsayıldığında;

- İlk olarak, transformatörün birincil geriliminin değeri belirlenir.
- Değer nominal gerilimden büyükse, kademe ayarı bir sonrakine en yakın yüksek ayar kademesine getirilir
- Değer nominal gerilimden küçükse, kademe ayarı bir sonrakine en yakın düşük ayar kademesine getirilir.

Tesis şebeke besleme istasyonuna yakınsa, DETC'yi en yüksek ayarında ayarlamak gerekebilir. Aynı şebeke istasyonuna uzakta olması halinde, en düşük ayarda ayarlamak gerekebilir. Yine de kademe ayar değerleri için daima trafonun plakasına bakılmalıdır. Transformatörün primer tarafında kurulu bir DETC, sekonder taraftaki gerilimde beklenilenin tam tersi şekilde çalışır. Gelen gerilim sistem nominal değerinin üstünde ise, transformatör orta kademede ayarlanır ise sekonder taraf gerilimi nominal değerden daha büyük olacaktır. Gelen voltaj değerine bağlı olarak gelen gerilimi eşleştirmek için transformatörde bir adım atma gerekebilir. Bu, sekonder taraftaki çıkış geriliminin nominal gerilimine yaklaşmasına sebep olur. Eğer gelen gerilim nominalin altında ise, ters çalışır. Kademe, sekonder gerilim değerinin nominal değerine yaklaşması için, gelen gerilime mümkün olduğunca yakın olmalıdır.

Bir DETC' nin çalışması için, yalnızca enerjilenmemiş şartta olması gerekir. Bu, transformatör üzerindeki yükün azaltılması anlamına gelmez. Sistem enerjili iken DETC çalıştırılırsa, bir iç ark meydana gelebilir. Bu durum trafonun dahili bileşenlerini etkileyebilir ve personel için güvenlik tehlikesi oluşturabilir. Transformatörde bir DETC' e varsa, bakım gerektirir. DETC' nin işletimini kontrol etmek için en iyi zaman, planlanmış bir kapanma zamanıdır. Kullanılmayan bir DETC mevcut konumda sıkışabilir ve taşınması imkansız olabilir. Yeniden konumlandırma, işlemi kontrol etmenin en kolay yoludur. Bu cihazların enerjilenmemiş bir durumda çalıştırılması durumunda,

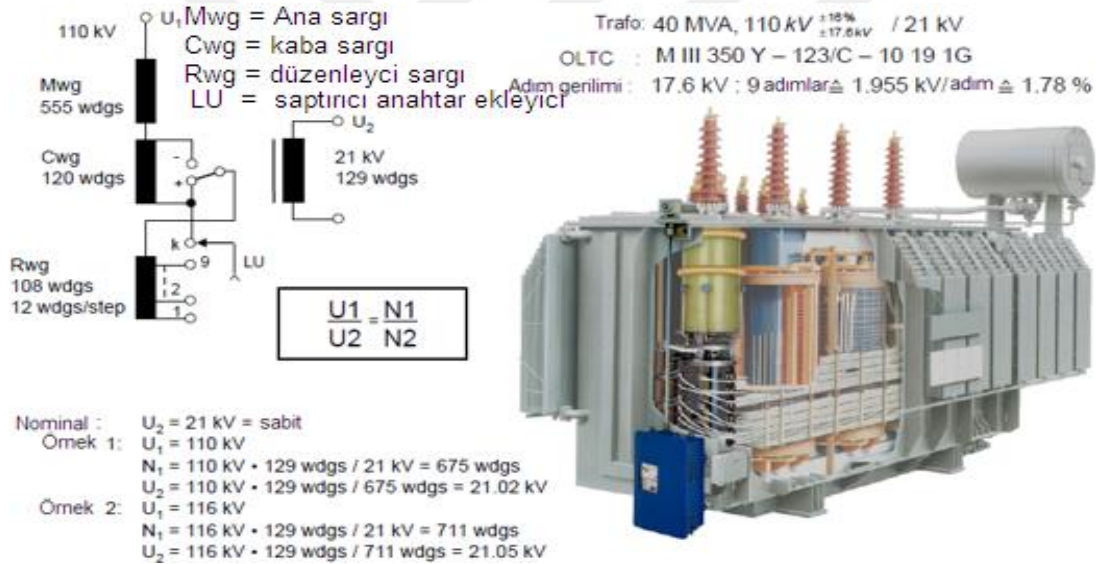
transformatörde akım veya gerilim yoktur. Çalıştırmadan önce primer ve sekonder tarafındaki kaynaklardan ayrılır [35].

3.3. Kapalı Devre Kademe Değiştiriciler

Kapalı devre kademe değiştiriciler: Bunlar yalnızca transformatör enerjilendirilmediğinde çalışır ve dolayısıyla bakım gereksinimleri çok azdır. Bir kol-tutamak veya tekerlek yardımıyla insan gücü kullanılarak ayarlanır, çıkış geriliminin düzenlenmemesini sağlar.

3.4. Transformatörlerdeki Yük altında Kademe Değiştirici

Yük altında kademe değiştiricileri (OLTC) yük iletim oranını değiştirmek için kullanılır. Şekil 3.4.' de yük altında kademe değiştirici şekli verilmiştir.



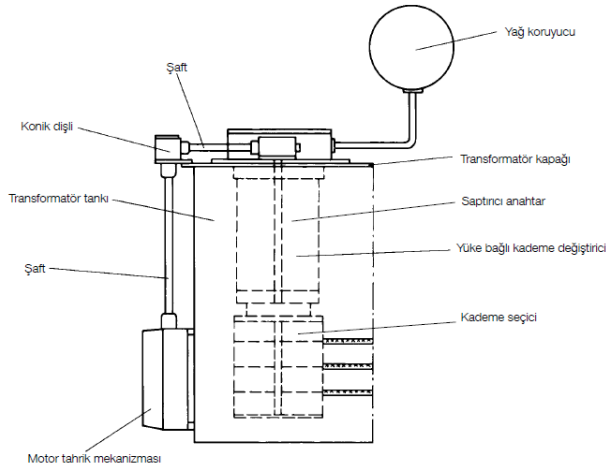
Şekil 3.4. Yük altında kademe değiştirici sağlayan transformatör [36]

Yük altında kademe değiştirici çalışırken, kademe değiştiricisinde ark oluşur. Transformatör kirlenmesini önlemek için var olan yağ, kademe değiştirici içinde yer alır ve bölmesi trafo yağından ayrılmıştır. Tüm bileşenleri yapmak veya akımı kırmak kademe değiştiricisinin çalışması sırasında kademe değiştirici bölmesinde yer almaktadır. Yük kademe değiştiricileri seçici anahtara göre çalışır, prensip olarak seçici ve yük değiştirme fonksiyonları birinde birleştirilir. Yük kademe değiştiricisi transformatör tankının içine monte edilir. Her iki kapak montajı ve boyunduruk-montajı belirtilebilir. Transformatör tankının içinde montaj için kademe değiştirici hazırlanır yani kurulum prosedürleri basitleştirilir. Şekil 3.5'te örnek bir yük altında kademe değiştirici verilmiştir.



Şekil 3.5. Kademe değiştiricili bir güç transformatör ile sargılar arası bağlantıları [46]

Yük altında kademe değiştirici çalıştığı süre içerisinde, izolasyon yağı kirlenir. Transformatör yağının kirlenmesinin önüne geçmek için, kademe değiştirici iki farklı bölümden yapılır. Bunlar; saptırıcı anahtar ve kademe seçicilerdir. Bu parçalar Şekil 3. 6.’da gösterilmiştir. Saptırıcı anahtar; kendi bölgesini, transformatörün geri kalanından ve kademe seçicilerden ayırır. Kademe seçiciler; saptırıcı anahtar bölgesinin alt kısmına yerleştirilmiştir. Genel olarak hassas kademe seçicilerinden oluşur. Şekil 3.6’da UC tipi yük altında kademe değiştiricinin ana parçaları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. UC tipi yük altındaki kademe değiştiricinin temel parçalar [37]

3.5. Yük Altında Kademe Değiştiricisi - Dizayn tipleri

Temel olarak iki tip kademe değiştiricisi vardır; yük değiştirme anahtarı olan kademe seçici tipi (UC ailesi) ve bir seçici anahtar tipi (UB, UZ). Burada yeni bir kademe çıkarılması ve seçilmesi aynı sırada yapılır. Kademe değiştiricisinin çalışması sırasında; kademe değiştiricisi doğrudan trafo yağı içine yerleştirilirse ark sönmeye meydana gelir ve bu durum da trafo yağını kirletir. Bu yüzden yük değiştirici anahtar, seçicinin altına yerleştirilen ayrı bir muhafazaya yerleştirilir. Ark sönmeye yağ yerine vakumda yapılırsa, bu daha temiz bir işlemdir. Bu durum bugünün popüler teknolojisi arasında yer almaktadır. Kademe değiştiricisini çalıştırma gücü bir motor sürücü mekanizması tarafından sağlanır ve transformatörün dışına yerleştirilmiş bir konumda bulunur [39].

3.5.1. Tip UCG ve VUCG

UC türden kademe değiştiriciler hemen hemen her türlü uygulama için kullanılabilen çeşitli modellerdir. Şekil 3.7’de örnek bir UCG tipi kademe değiştirici verilmiştir. UCG, yağ içinde ark söndürme ile çalışır. VCUG, vakumda aynı şekilde çalışır. Vakum teknolojisi temiz çalışma ve bakım kolaylığı nedeniyle son zamanlarda popüler hale gelmiştir.



Şekil 3.7. UCG tipi yük altında kademe değiştirici [40]

400kV ve 500 MVA' ya kadar seviyeleri kapsarlar.

3.5.2. Tip UCL

UC tiplerinden bir diğeridir. Bu ayrıca tank içi bir tiptir ve daha önce belirtildiği gibi monte edilmiştir. UCL, UC tip orta boy olarak kabul edilir. Şekil 3.8’de UCL tipi Yük altında kademe değiştirici gösterilmiştir.

525 kV'a kadar değişir ve 1000 MVA’dır [40].



Şekil 3.8. UCL tipi yük altında kademe değiştirici [40]

En yeni güncelleme UCL kademe değiştiricilerinin vakum türü olan VUCL'dir.

3.5.3. Tip UBB

Bu, tank içi ve tank tipi kombinasyonlu orta boyutlu transformatör için önemli bir model tasarımıdır. Tankta benzer bir şekilde monte edilir. Yani tank tipi olarak adlandırılır ve tank tipi özelliklere sahiptir. Kompakt ve maliyetlidir ancak verimli bir modeldir. 76kV' a kadar değişebilir ve gücü 90 MVA’dır. Örnek Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. UBB tipi yük altında kademe değiştirici [40]

Son zamanlardaki sürüm, vakum teknolojisine sahip UBB olan VUBB'dir. Enlimi 145kV'a kadar değişebilir.

3.5.4. Tip UZ

Bu, tankın üstünde bir modeldir. Seçici anahtar ana bölmede bulunur ve motor tahrik mekanizması dış taraftadır. Şekil 3.10.' da örnek bir UZ tipi kademe değiştirici verilmiştir. Dış tarafa kaynak yapılmıştır ve transformatör tankının dışına monte edilmeye hazır olarak tedarik edilir. 145 kV ve 110 MVA aralığını kapsar. Ayrıca, UZ türü altında UZE ve UZF türleri de vardır.



Şekil 3.10. UZ tipi Yük altında kademe değiştirici [40]

3.5.5. Tip VRLTC

Vakum reaktans yük kademe değiştiricisi (VRLTC), tank üstünde tipi bir kademe değiştiricisidir. Şekil 3.11.' de örnek bir VRLTC tipi kademe değiştirici verilmiştir. Yük Kademe değiştiricisini (LTC) oluşturan üç başlıca bileşen vardır. Bunlar:

- i) Kademe değiştiren bileşenler,
- ii) Sürüş
- iii) karar verme bileşenleridir.

Kademe değiştiren bileşenler, yağ dolu bir çelik tankta bulunurlar.



Şekil 3.11. Tipi VRLTC [4, 42]

Sürüş ve karar verme parçaları, yağ haznesinin altına yerleştirilen ayrı bir hava bölümünde bulunmaktadır. Mantıksal İzleme Sistemine dokunan (TLMS) adı verilen ve bu sistemin dünyanın ilk akıllı şebeke hazır kademe değiştiricisi olmasını sağlayan bir sistem eklenmiştir ve bu, 72.5 kV ve 2500 A aralığını kapsamaktadır [4,42].

3.6. Kademe Değiştirici ve Mekanizmasına Ait Arızalar

154/ 34,5 kv yük altında kademe değiştirici trafolarında, seçici anahtar ve saptırıcı anahtar olmak üzere iki adet anahtar bulunmaktadır. Seçici anahtar; kademe değiştiricilerdeki farklı gerilim kademe sargılarının bağlandığı anahtardır. Saptırıcı anahtar; sistemde herhangi bir kesinti olmaksızın farklı gerilim kademelerine geçişi sağlayan anahtardır. Bu anahtarın seçici anahtar ile mekanik ve elektriksel bağlantısı vardır. Saptırıcı anahtar ayrı bir bölmede ve ana yağdan ayrı bir yağ içerisinde yer almaktadır. Bu neden ile, trafo hem ana bir bucholz rölesine, hem de anahtarın bulunduğu bölmeye bağlı bir kademe bucholz rölesine sahiptir. Bu anahtar yıldız bağlı trafolarında 6 yılda, üçgen bağlı trafolarında 3 yılda bir kontrol edilmelidir. Ayrıca bu anahtar, yağının içerisinde çıkartıldıktan sonra maksimum 10 saat dışarda bırakılabilir. Kontrol işlemleri yapılırken; şalter yağı değiştirilir, konik dişli ve motor kumanda mekanizmasının da gerekli bakımları yapılır. Bu anahtarın bulunduğu bölme, meydana gelen arklar neticesinde ısınır ve soğutulması oldukça önemlidir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse, 154/34.5 kV ve 100 MVA'lık bir trafonun 154 kV kademesi ve 80 MVA yükte çalışması esnasında 300 A akım çekilmektedir. Kontakların geçiş direnci 0.002 mohm olduğu varsayılırsa oluşacak güç $P=I^2 \cdot R$ formülüyle hesaplanır ve 180 W olarak bulunur. Kısa devre anında akan akımın değerinin daha büyük olduğu düşünüldüğünde, yağın daha kısa bir zamanda bozulacağı kesindir [43, 44].

3.7. Yük Altında Kademe Değiştiriciler Seçimi

3.7.1. Genel gereksinimler

Transformatör sargılarının, işletim ve test durumları için gerekli gereksinimleri karşılandığı takdirde, belirli yük altında kademe değiştirici seçimi en uygun teknik ve ekonomik verimi sağlayacaktır. Genel olarak, bu yük altında kademe değiştiriciler, IEEE ve IEC standartlarına [4], [5], [15] uygun olarak tasarlanmış, test edilmiş ve seçilmiş olduğundan, güvenlik aralıklarının gözlenmesine gerek yoktur. Uygun yük altında kademe değiştiriciyi seçmek için, aşağıdaki ilgili transformatör sargılarının anahtar verileri bilinmelidir:

- Transformatör anma gücü
- Kademe sargısının bağlantısı (yıldız, üçgen veya tek faz bağlantı için)
- Anma gerilimi ve düzenleyici aralığı
- Kademe pozisyonlarının Sayısı
- Yalıtım seviyesi
- Yıldırım darbesi

Bu bilgilerden aşağıdaki OLTC işletme verileri elde edilebilir:

- Anma akan- akım: I_u
- Anma adım gerilimi: U_i
- Anma adım kapasitesi: $P_{st} = U_i \cdot I_u$

ile uygun kademe değiştiricisi tespit edilebilir:

Ayrıca;

- Yük altında kademe değiştirici tipi
- Kutup sayıları
- Yük altında kademe değiştirici' nin nominal gerilim seviyesi
- Kademe seçici boyutu/ yalıtım seviyesi
- Temel bağlantı şeması

gerekli olduğunda, aşağıdaki kademe değiştirici karakteristikleri kontrol edilmelidir.

Bu karakteristikler:

- Kesme kapasitesi
- Aşırı yük kapasitesi
- Kısa devre akımı (faz-kaydırma uygulamaları durumunda kontrol edilmelidir)
- Kontak ömrü.

3.8. Yük Altında Kademe Değiştiricinin Avantajı

Yük altında kademe değiştirici trafo dağıtım sistemlerinin kararlı durum gerilim regülasyonunda kullanılan en popüler yöntemdir, çünkü uygulanması ve tasarımı kolaydır. Bu yöntemde, transformatör sarımının tüm oranı, sistemin gerilim belirtilen aralığı aştığında bir kademe değiştirici mekanizması ile değiştirilir. Kademe değiştiricisi hareketi normal olarak, sistem gerilimini sürekli izleyen ve kademe değiştiricisinin etkisini kontrol eden otomatik voltaj kontrol (AVC) rölesi ile ayarlanır. AVC rölesi iki kontrol parametresine dayanarak çalışır, bunlar referans gerilimi ve tanımlanmış ölü bölgedir. Bu ölü bölge, kademe değiştiricisinin gereksiz hareketlerini sınırlamak için tasarlanmıştır.

3.9. Yük Altında Kademe Değiştiricinin Dezavantajı

Yük altında kademe değiştiricinin dezavantajı, uzun radyal dağıtım sistemlerinin gerilim regülasyonunda kullanılamaması, en büyük gerilim ihlali hattın sonunda (besleyicinin bitiş noktası) meydana gelirken, besleyicinin gönderme noktası gerilimini değiştirdiğidir. Bu durumda bitiş noktası gerilimini izin verilen aralıkta geri getirmek için OLTC, gönderim noktası gerilimini belirgin bir şekilde değiştirmelidir ve besleyicinin gönderim noktasında gerilim ihlaline neden olabilir. Ayrıca, kademe değiştirme işlemi, OLTC mekanizmasının yavaş dinamik tepkisi nedeniyle zaman gecikmesiyle yapılır. OLTC'nin bakım maliyetleri kademe değiştirme işlemlerinin sayısına bağlı olduğundan, OLTC'nin harekete geçmeye başladığı sırada uzun süre gecikme eğiliminden dolayı voltaj ihlalleri ile sonuçlanabilir [15].

3.10. Saptırıcı Anahtarlar

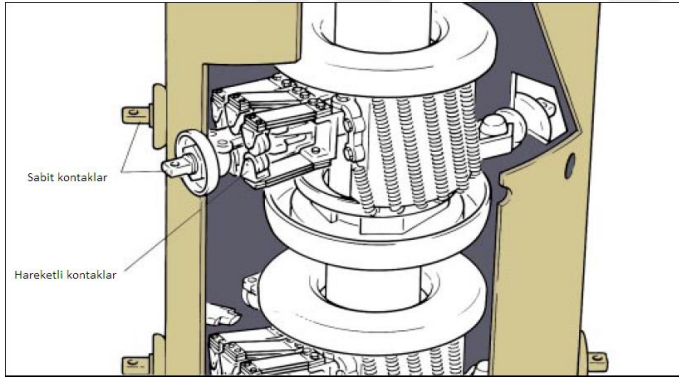
Yağ içindeki ark söndürücü saptırıcı anahtarlar, yüksek hızlıdır. Bunlar, saptırıcı anahtar içinde yer alan ve anahtar gövdesindeki anahtarlara otomatik olarak bağlanan kontaklar ile donatılmıştır. Bu anahtarlar, bir hareketli kontak sistemi ve hareketli kontaklardan oluşan bir sistemden tasarlanmıştır. Üzerinde akım taşınan kontaklar bakırdan ya da bakır-gümüş karışımından yapılmaktadır. Kesici kontaklar ise bakır-tungsten karışımından yapılmaktadır. Şekil 3.12.' de VUCG ve VUC tipi saptırıcı anahtar örnekleri verilmiştir. Saptırıcı anahtarların bakımları zamanında yapıldığı takdirde, yüksek oranda güvenli ve uzun ömürlü olur. Bu anahtarlar, üçgen flama çevrimine göre çalışır. Bu prensibe göre her iki yönde de doğrultucu tam güç akışını sağlamaktadır. Herhangi bir mekanik doğrultucu, arttır veya azalt komutundan bağımsız olarak, yalnızca en düşük kesme gerilimleri ve kontak aşınması veren doğrultuda çalışmayı yetkin kılar. Yükün doğrultusu, bir baştan diğerine vakum kesicilerle ve yardımcı kontaklar aracılığıyla değiştirilir. Yardımcı kontakların bu özelliğine ilave olarak, sistemde meydana gelebilecek olumsuz bir durumda, vakum kesicisi arızası tarafından ortaya çıkabilecek yük akımını kesmeye uygundur.



Şekil 3. 12. VUCG ve VUC tipi saptırıcı anahtar örnekleri [38]

3.11. Seçici Anahtarlar

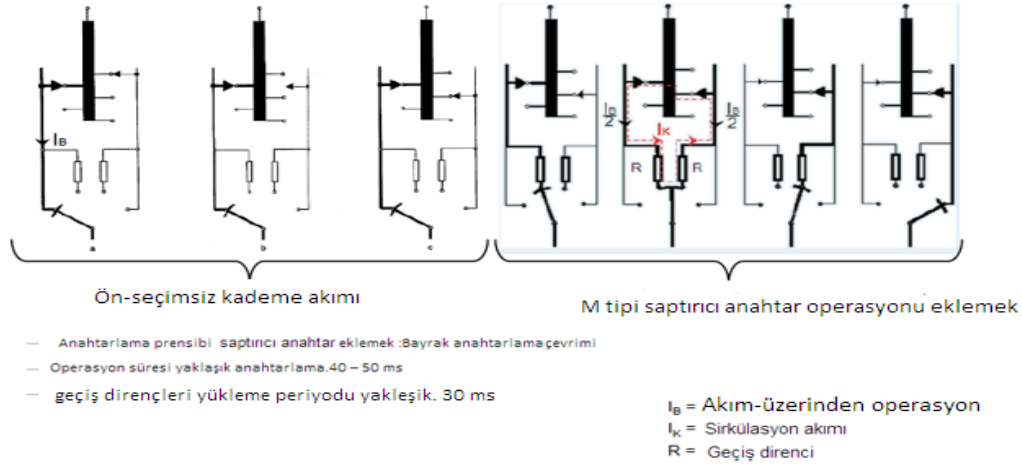
Seçici anahtar sabit kontaklar ve hareketli bir kontak sisteminden oluşur. Sabit kontaklar bushing üzerinde yer almaktadır. Her sabit kontak iki kontak yoluna sahiptir. Bunlardan biri ana kontağın hareketi için, bir diğeri ise anahtarlama kontaklarının hareketi içindir. Tek faz için hareketli kontak sistemi; ana kontak, ana anahtarlama kontağı ve iki geçiş kontağını içerir. Sert bir birim olarak üretilmiş olan bu sistem, ortak yalıtılmış bir tahrik mili tarafından döndürülmektedir. Anahtarlama kontakları ve geçiş kontaklarının hareketi, makara gibi (silindirik) yapılmıştır. Şekil 3.13'te sabit ve hareketli anahtar kontakları gösterilmiştir. Anahtarlama kontakları genellikle bakır/tungsten den yapılır. Ancak kademe değiştiriciler düşük akımda iseler, kontaklar bakırdan yapılır. Servis pozisyonunda akım, temiz yüzeyler boyunca taşındığından, herhangi bir arka maruz kalmaz.



Şekil 3.13. Hareketli ve sabit kontaklar [38]

3.12. Kademe Seçici ve Saptırıcı Anahtar Anahtarlama Sırası

Kademe seçici ve saptırıcı anahtarlama sırası Şekil 3.14'te verildiği şekilde yapılmaktadır [36] .



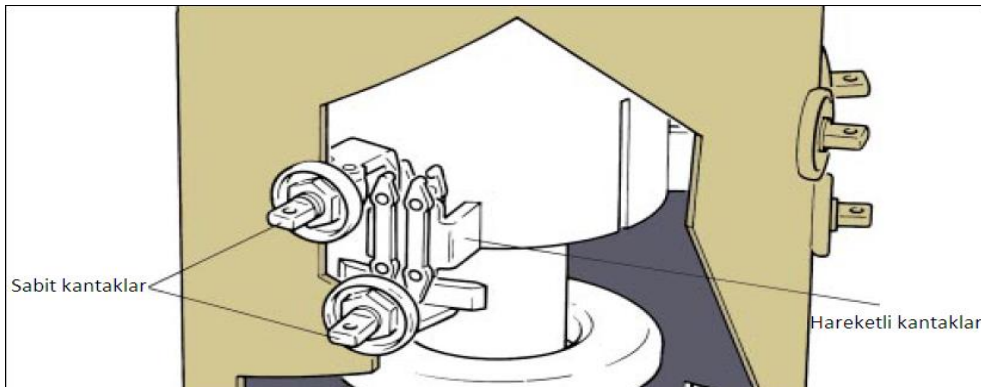
Şekil 3.14. Seçici ve saptırıcı anahtarlama kademe sırası [36]

3.13.Geçiş Dirençleri

Bu dirençler, yalıtılmış bobinlere monte edilmiş spiral sargılı tellerden oluşur. Bunlar hareketli ana kontak ve geçiş kontakları arasında bağlanır.

3.14. Değişirme Seçici

Değiştirici seçici saklanan düzenleyici için alışılmış sargı veya değişen bağlantıda kaba / ince bağlantıyı değiştirmek için kullanılır. Bir faz hareketli kontak ve üç faz sabit kontakların seçicilerinden oluşur. Hareketli kontak yalıtımlı bir silindirdir ve şaft üzerinde kendi eksenini etrafında döner. Şekil 3.15'te değişim-over seçicide akım tarafından hareketli kontakın 4 kontak parmağı tarafından taşınır. Kontak yüzeyleri gümüş ve bakırdan oluşur.



Şekil 3.15. Değişim-over seçici [38]

3.15. Cenevre Dişlisi

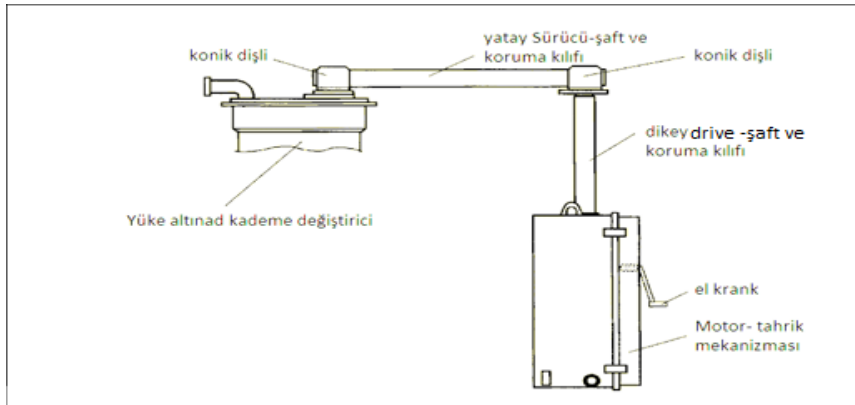
Cenevre dişli prensibi dönüş hareketini değiştirmek için kullanılır. Sürücü, şaft sistemi ve motor sürücüsündeki konik dişliler vasıtasıyla aktarılır. Cenevre dişlisi seçici anahtarları ve yön değiştirici seçicileri çalıştırır. Ayrıca Cenevre dişlileri, hareketli kontak sistemini kilitlemek içinde kullanılır. Dişlinin mekanizması bakım onarım gerektirmez.

3.16. Seçici Anahtar Yağ Bölmesi

Kademe değiştirici yağ bölmesi, bir vakum silindir aracılığıyla transformatör yağından ayrılmıştır. Bu silindir tam vakuma ya da 100 kPa basınca dayanıklı olarak tasarlanmıştır ve cam elyafla güçlendirilmiş plastikten yapılmaktadır. Silindir ve contalar yağ sızdırmaz olmalıdır. Gerekli olan sızdırmazlık testleri vakum/helyum metodu ile belirli sürelerle test edilmektedir. Bu testlerle kirlenmiş kademe değiştirici yağı, transformatör yağından ayrı tutulmuş olur. Alt flans üst kapak ve kapak üzerine monte edilen aksesuarlar döküm alüminyumdan yapılmıştır. Silindir ve contalar sıkıştırılmış yağdan yapılır ve sıkılık rutin olarak vakum/helyum metoduyla test edilir. Bu güvenlik garantileri kirlenmiş kademe değiştirici yağı transfer yağından ayrılmaya devam eder. Üst kapak bağlantısı basınç rölesi ve yağ koruması için borulara sağlanır.

3.17. Yağ Genleşme Kabı

Kademe değiştirici, ayrı bir yağ koruyucusuyla bağlantılı olabilir, tercihen aynı yükseklikte veya transformatör için koruyucunun hemen altına yerleştirilir. Şekil 3.16.' da yük altında kademe değiştirici sistemi verilmiştir.



Şekil 3.16. Yük altında kademe değiştirici sistemi [38]

3.18. Motor Sürücü Mekanizması

Motor sürücü mekanizması, kademe değıştircinin işletim esnasında çalışmasına olanak sağlar. Adından da anlaşılacağı gibi, sürüş bir dizi dişli aracılığıyla motordan sağlanır ve dışa doğru bir sürücü şaftı aracılığıyla sağlanır. Kullanılan motor sürücü mekanizmalarının 2 farklı boyutu vardır. Adından da anlaşılacağı gibi, tahrik bir mil vasıtasıyla dişli üzerinden dışarıdaki bir motor tarafından temin edilir. Birçok özellik servis aralıkları ve güvenilirlik, uzun teşvik etmek mekanizma içinde dahil edilmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’ de BUE ve BUL tipi motorlu tahrik mekanizması örnekleri verilmiştir.



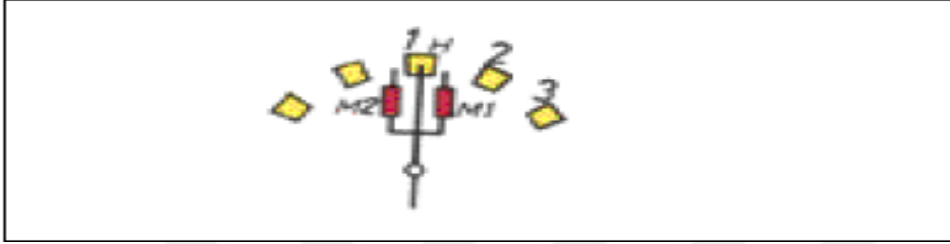
Şekli 3.17. Motorlu tahrik mekanizması (tip BUE)



Şekli 3.18. Motorlu tahrik mekanizması (tip BUL) [10]

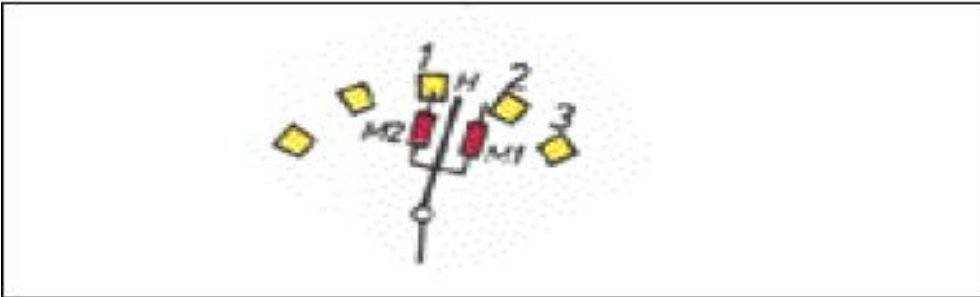
3.19. Seçici Anahtarı

Anahtarlama sekansı anahtarlama pozisyon 1 den 2 pozisyonuna geçişi Şekil3.19.’da görünmektedir. Hareketli kontak “H” tek kontak olarak gösterilen ama iki ana teması ile ana anahtarlama temas şeklinde oluşmaktadır. Ana kontak önce açılıp ana anahtara temas ettikten sonra kapanıyor.



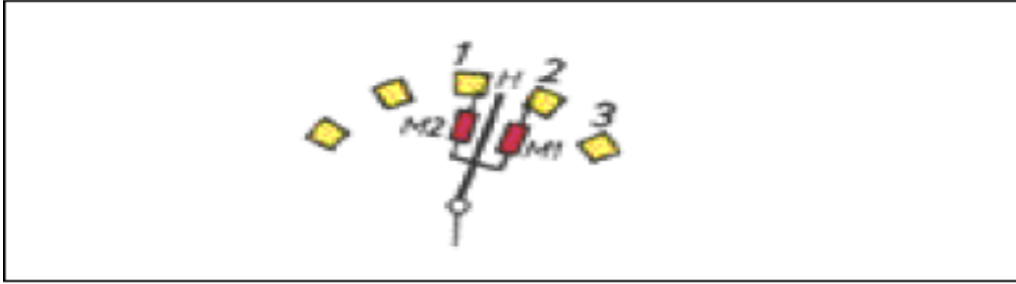
Şekil 3.19. Hareketli kontak H tek kontak gösterimi [37]

Ana kontak H 1. pozisyon yük akımı taşıyor. Geçiş kontaklar M1 ve M2, açık sabit kontaklar arasındaki boşluklarda dinlenmektedir. Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



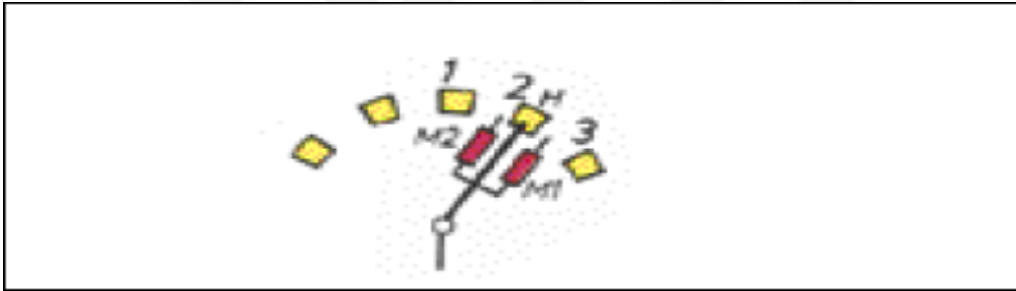
Şekil 3.20. Geçiş kontaklar M1 ve M2 [37]

1 ve ana anahtarlama geçiş kontak ta M2 sabit temas yaparken kontağı H kırılmaktadır. Geçiş direnç ve geçiş temas M2 yük akımını taşır. Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



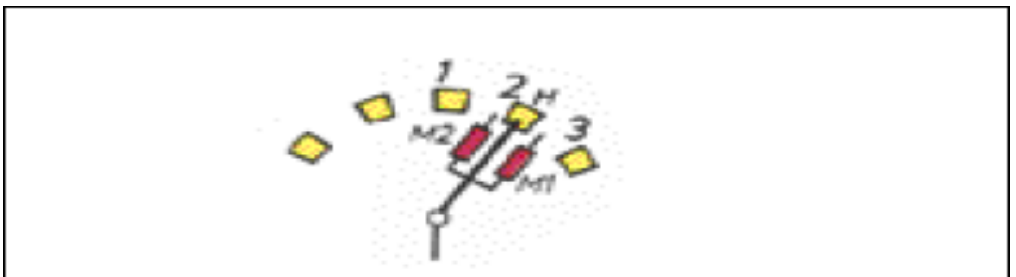
Şekil 3.21. Ana anahtarlama kontağı [37]

Geçiş kontak M1 sabit temas yaparken 2. Yük akımı geçiş kontaklar arasında bölünüp M1 ve M2. akımın direnç ile sınırlanmaktadır. Geçiş kontak M2 sabit kontak kırılırken 1. Geçiş direnç ve geçiş temas M1 yük akımını taşımaktadır (Şekil 3.22).



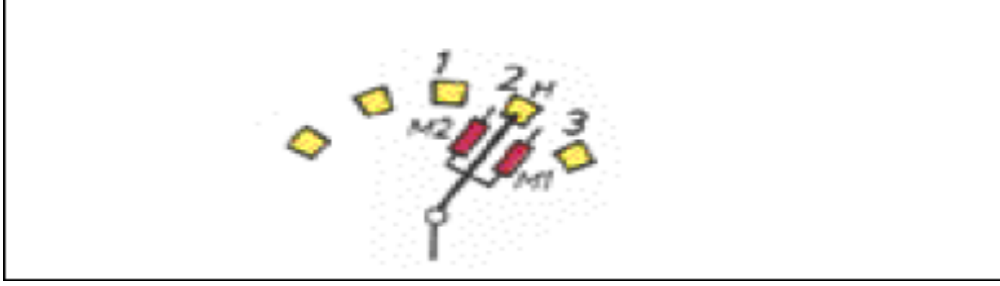
Şekil 3.22. Geçiş kontak M2 sabit M1 [37]

M2 sabit kontakla 1. geçiş direnci ve geçiş temas M1 kırık olan geçiş kontak yük akımını taşıyor . Geçiş kontak M2 sabit kontak ta kırılırken 1. geçiş direnci ve geçiş kontak M1 yük akımını taşıyor (Şekil 3.23) .



Şekli 3.23. M2 sabit kontakla 1. geçiş kontak M1 kırık olan geçiş kontak yük akımını taşır [37]

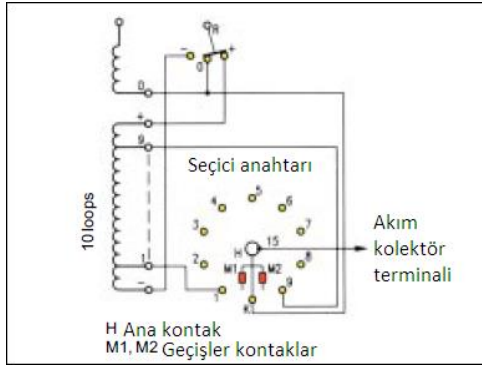
Pozisyon 2. Ana anahtarlama kontağı H üzerinde yapmış geçiş kontak M1 açmış, sabit kontak 2. Ana kontak H 2. sabit kontak yük akımı taşıyor. Artı / eksi ve kaba / ince anahtarlama, değiştirme seçici kullanılır (Şekil 3.24) .



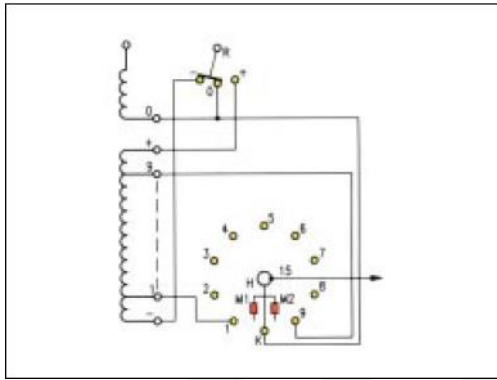
Şekil 3. 24. Ana anahtarlama kontağı H üzerinde yapmış geçiş kontak M1 açtı sabit kontak 2. Ana kontak H 2. Sabit kontak yük akımı taşıyor [37]

3.20. Değiştirme Seçicisi Artı / Eksi Anahtarlama İçin

Değiştirme seçici R artı / eksi geçiş için geçer zaman anahtarlama sırası, Şekil 3.25'a ve Şekil 3.25'b diyagramlarında gösterilmiştir. Seçici anahtar kontak kolu sabit kontak 9 geçtikten sonra sabit kontak K ($k=10$) ulaşmıştır. Ana sargının sonun bağlıdır. Yük akımı, doğrudan ana sargıdan K kontağına gider ve seçici şalter şaftındaki akım kollektörü üzerinden dışarıya akar. Düzenleyici sargının üst ucu hala ana sargı bağlıdır. Bu değiştirme pozisyonudur. Değiştirilen seçici R'deki kontak kolu kontak (+) ile ayar sargısının alt ucunun ana sargıya bağlandığı kontağı (-) gider. Yük akımı, direkt olarak ana sargıdan kontak K' ya doğru gider. Değiştirme seçici işlemi tamamlandıktan sonra, seçme anahtarının kontak kolu 1 numaralı kontağı doğru hareket etmeye başlar. Her ikisi de bu hareketler üzerindeki motor-sürücü ile aynı operasyonda yer alır, bu nedenle pozisyon boyunca hiçbir problem yoktur.



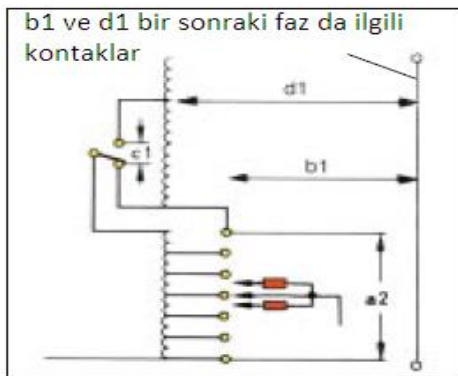
Şekil 3.25. Değişim-over pozisyonunda [37]



Şekil 3.26. Değişim-over pozisyonunda [37]

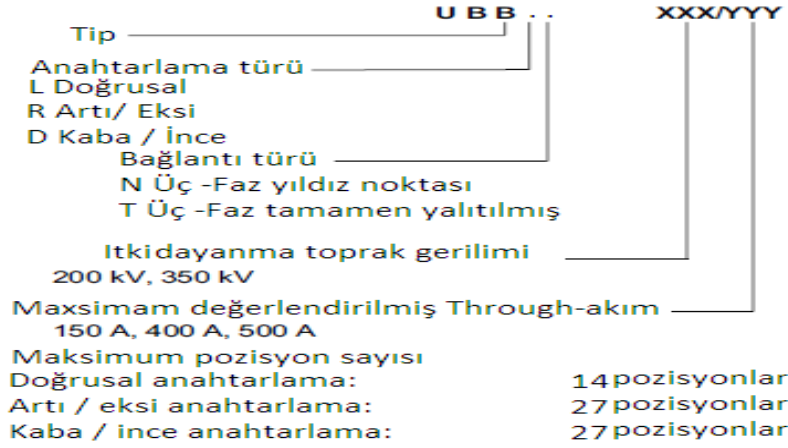
3.21. Değişirme Seçicisi Kaba / İnce Anahtarlama İçin

Mekanik olarak, kaba / ince anahtarlama artı / eksi için tam olarak aynı anda gerçekleştirilir. Elektrik anahtarlama farklıdır ve değişirme seçiciye ve bağlanır.



Şekil 3.27. Kaba / ince anahtarlama [37]

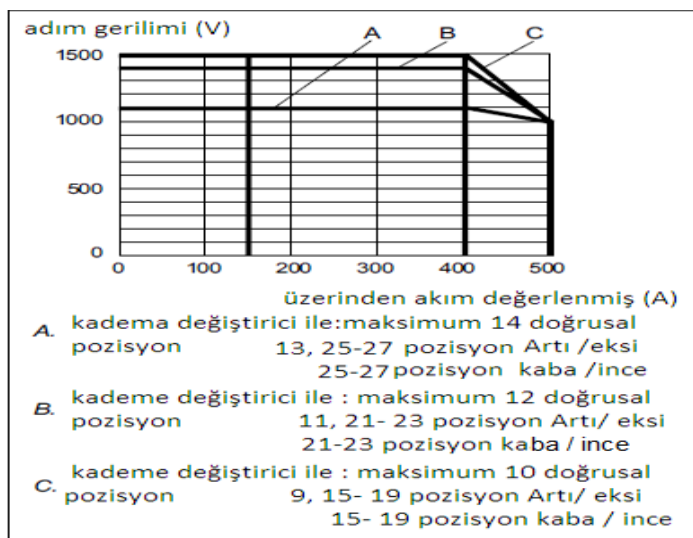
3.22. Tip Tanım



Şekil 3.28. Anahtarlama tip tanımı [37]

3.23. Anma Faz Adım Gerilimi

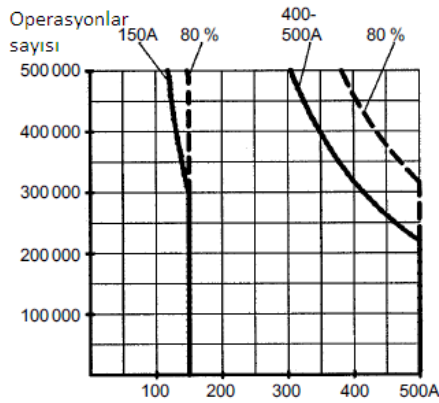
Maksimum izin verilen adım gerilimi elektriksel dayanım ve anahtarlama kapasitesi seçici anahtarı ile sınırlıdır. Bu nedenle Şekil 3.27 'de gösterildiği gibi nominal geçiş akımının bir fonksiyonudur.



Şekli 3.29. Anma faz adım gerilimi [37]

3.24. Kontak Ömrü

Seçici anahtarı sabit ve hareketli kontaklarının tahmin edilen kontak ömrü, Şekil 3.28 'de verilen anma akımının bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Değerleri servis görev testi sonuçlarına göre hesaplanır. Adım gerilimleri için 50 Hz' de 40 V' a eşit veya daha düşük ve 60 Hz' de 50 V değerine veya daha düşük bir seviyeye düştüğünde, öngörülen temas ömrü her zaman 500 000 operasyon olur [37].



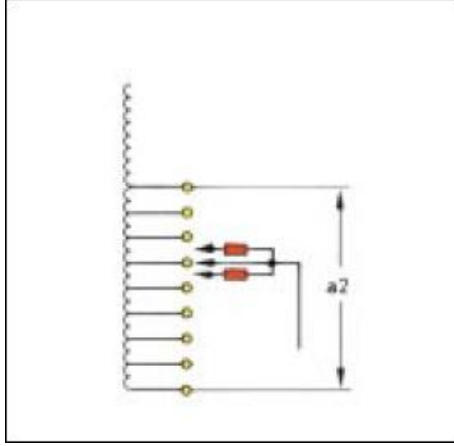
Şekil 3.30. Geçiş anma [37]

3.25. Mekanik Ömrü

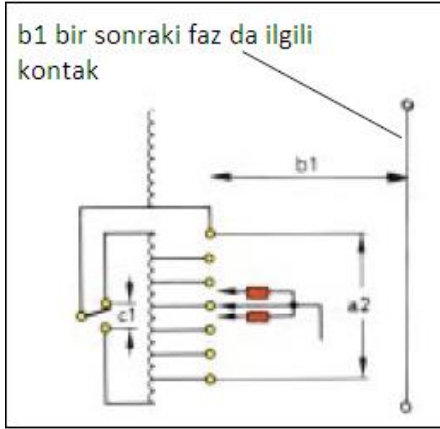
Kademe değiştiricisinin mekanik ömrü bir dayanıklılık testine dayanmaktadır. Test mekanik aşınma ihmal olduğunu göstermiş ve kademe değiştiricisi hala 500'000 den fazla operasyonlardan sonra mekanik olarak sağlam olduğunu göstermektedir.

3.26. Yalıtım Seviyeleri

Yalıtım düzeyi 1.2 / 50 μ s olarak belirtilmiştir. Dayanım gerilimi - şebeke frekanslı dayanım gerilimidir.



Şekil 3.31. Doğrusal anahtarlama



Şekli 3.32. Artı / eksi anahtarlama [37]

3 27. Kısa Devre Kuvvet Akımı

Kısa devre akımı gücü üç uygulama arasında kontak hareket ettirmeden, 2 saniye süre ile doğrulanır. Her uygulama 2,5 kat rms değerli bir başlangıç değeri vardır.

Çizelge 3.4. Kısa devre kuvvet akımı

Max anma Akan – akım A rms	Üç Uygulamalar 2 Saniye Süre A rms
150, 400,500	8000

3.28. Tie-in Dirençler

Eğer servis gerilim ve sargı kapasiteleri gerilim değişimin toparlanma gerilimi seçici 25 kV aşarsa, bu değer ile sınırlı ya da altı, bir tie- in direnç vasıtasıyla olmalıdır. Tie-in dirençleri yıldız noktası tipleri için alt kısma ve tamamen izole edilmiş tipler için silindirin dışındaki bağlantılara yerleştirilir. Tie-in dirençleri için hesaplama kuralları ve yük altında kademe değiştirici Şalteri tie-in dirençler, IEEE 5492 0030E-28 standart ile sağlanmaktadır.

3.29. Nominal Akım

Kademe değiştiricisinin nominal geçiş akımı kademe değiştiricisinin transfer edebileceği akım ilgili atama kademesinde bir kılavuzdan diğerine gerilim altında ve sürekli olarak taşınabilir. Anma akımı, basamak gerilimi ile sınırlanır. Anma akımı, boyutlandırmayı, geçiş dirençlerini ve kontak ömrünün kontrol edilmesini belirler. Anma akımı nominal plakada (etiketinde) belirtilmiştir.

3.30. Geçici Aşırı Yükleme

Kademe değiştiricisinin nominal akan akımı yüksek ise kademe akımının en yüksek değerinden daha yüksek olan transformatörün kademeli sargısının, kademe değiştiricisi trafonun arada bir aşırı yüklenmesini kısıtlamayacak, UC modelleri, kademe değiştiricisinin maksimum anma akımı değerinin 1.2 katına kadar bir akım ile yüklendiğinde çevredeki yağ üzerindeki kontak sıcaklığının 20 K'yi geçmeyen şekilde tasarlanmıştır. Plakasında belirtilen kontak ömrü, kademe değiştiricisi işlemleri en fazla %3 seviyesinde meydana yoluyla akımın maksimum nominal değerinden 1.5 katı aşırı akımları dikkate alınarak verilir. Bu değerlerin ötesinde fazla yükleme, artan iletişim aşınma ve daha kısa temas ömrü sonuçlanır. [37]

3.31. Yağ Örneği Test Zamanı

-Bu izolasyon yağının kontrol etmek için, transformatörden yağ örneği alındığında deney aynı anda yapılmalıdır.

- IEC 60214-1 uyarınca Sınıf 1: Her 5 yıl sonra (nötr noktası kullanımı)
- IEC 60214-1 uyarınca Sınıf 2: Her 2 yıl sonra (otomatik transformatör kullanımı, ...)
- Nem absorbe şüphesi olduğu zaman hiç vakit geçirmeden (kurutma ajanı etkisiz ise .) Yağ örneği alınmalı testler uygulanmalıdır.

3.32. Yağ Karbonlaşma Bakım Parametreleri



Saptırıcı anahtar tipi eklemek T
temizlik ten önce

Kriter :

Geçiş dirençler isi kaldırma petrol karbonizasyon ile sınırlı olmamalıdır.

Karbonlaşma derecesi için belirleyici faktörler:

Savısı operasyonlar

Ark enerjisi

Yağ türü: naftrent-baz veya parafin-baz yağ arasında çok az fark

İslenmiş kademe değiştirici kurumsı , yüzeylerdeki karbon tortularının ısınmasına ve dielektrik göçünün azalmasına neden dur.

Temizlik içsn sadece trafo yağ kullanın . Elektrikli temizlevici yalıtım malzemesinin yüzesi üzerinde buharlaşır ve nem yol açar.



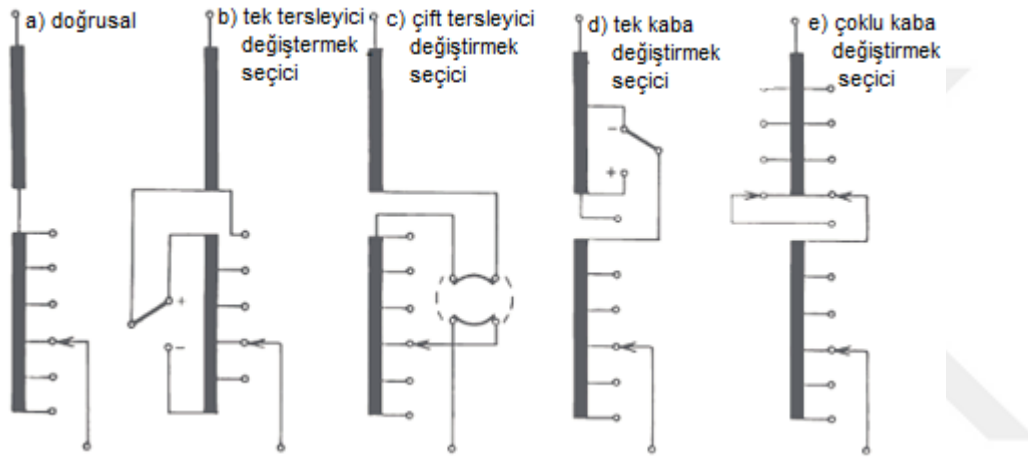
Saptırıcı anahtar tipi eklemek T
temizlendikten sonra

Şekil 3.33.Yağkarbonlaşmabakım parametreleri [36]

4. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLER İÇİN UYGUN SARGI TİP BELİRLEMESİ

4. 1. Yük Altında Kademe Değiştirici Uygulamaları

Kademe sargılarının temel tasarımında Şekil 4.1'deki düzenlemeler kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Kademe sargılarının temel bağlantıları

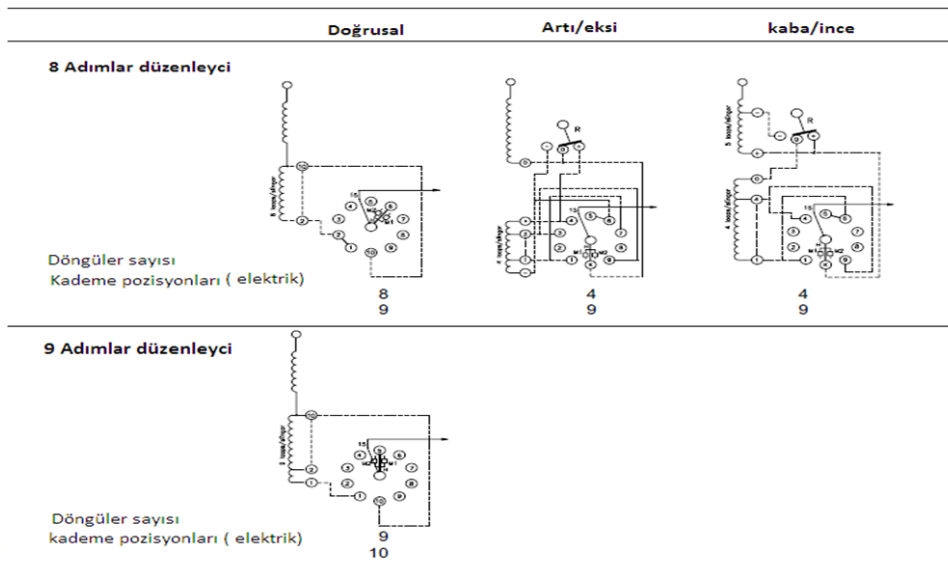
Doğrusal düzenleme Şekil.4.1(a) ortalama ayar aralığının maksimum % 20'si ile güç transformatörlerinde kullanılır. Kademeli sargılar, ana sargı ve transformatör oranı değişikliği ile seri olarak ilave edilir. Nominal konum, kademe konumlarının herhangi birinde olabilir. Bir ters değiştirici kol Şekil 4.1(b) ile kademe sargısı ana sargıya ilave edilebilir veya ana sargıdan çıkartılabilir. Böylece düzenleme aralığı çiftlenebilir veya kademelerin sayısı azaltılabilir. Bu işlem sırasında, kademe sargısı ana sargıdan kesilir. Ancak minimum sayıda etkili sarımlar pozisyonunda en büyük bakır kayıpları oluşur. Bu tersleyici işlem, kademe seçicinin ya da seçici anahtarın bir parçası olan değiştirici seçici kullanılarak gerçekleştirilir. Anma pozisyonu genellikle orta pozisyon veya nötr pozisyonudur. Çift tersleyici değiştirici seçici Şekil 4.1c değiştirme işlemi sırasında kademe sargısının bağlantısının kesilmesini önler. Faz kaydırıcı transformatörlerinde (PST), bu cihaza ilerlemeyi geciktiren anahtar (ARS) denir.

Bir kaba değiştirici seçici şekil 4.1(d) kullanılarak kademe sargısı, kaba sargının artısına ya da eksisine dokunarak bağlanır. Kaba seçici işlemi sırasında kademe sargısı ana sargıya bağlı değildir (özel sargı düzenlemeleri yukarıda bahsedildiği gibi aynı temassızlık problemlerine neden olabilir). Bu durumda, en az etkili sarımlar pozisyonunda bakır kayıpları en azdır. Bu avantajdır ancak, yalıtım malzemelerine talep daha fazladır ve daha çok sayıda sargı gerektirir.

Çoklu kaba değiştirici seçici şekil 4.1(e) düzenleyici aralığının çoğalmasına olanak sağlar. Genelde endüstriyel işlem transformatörlerinde kullanılır. Kaba değiştirme seçici de aynı zamanda OLTC'nin bir parçasıdır. Bu temel sargı düzenlemeleri, sistem ve işletim gereksinimlerine bağlı olarak, her bir özgün durumda kullanılır. Bu düzenlemeler, faz kaydırıcı transformatörler (PST) ve ototransformatörlerin yanısıra iki sargılı transformatörler için de uygulanabilir.

4.2. Yük altında Kademe Değiştiricisi Tek- Faz Diyagramları

Temel bağlantı şemaları farklı olan anahtarlama türleri ve uygun trafo bağlantılarının sargıları şekil 4.2'de gösterilmektedir. Bağlantıların maksimum sayıda rotasyon transformatörün sargısı ile 1. pozisyonun kademe değiştirici şemalarında gösterilmektedir. Ayrıca kademe değiştirici bu şekilde bir konumda bağlanabilir. 1 pozisyonundaki kademe değiştiricili sargı transformatör ile 1 pozisyonundaki sarım asgari etki sayısını verir.

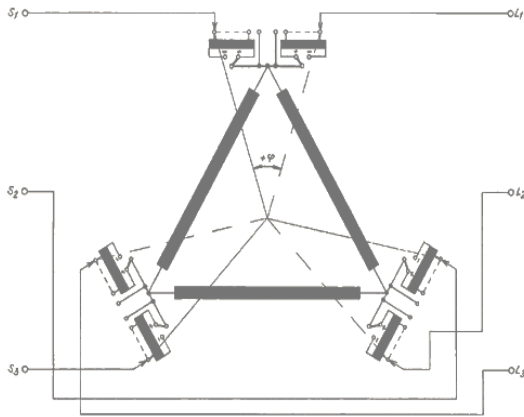


şekil.4.2. Farklı anahtarlama şemaları [37]

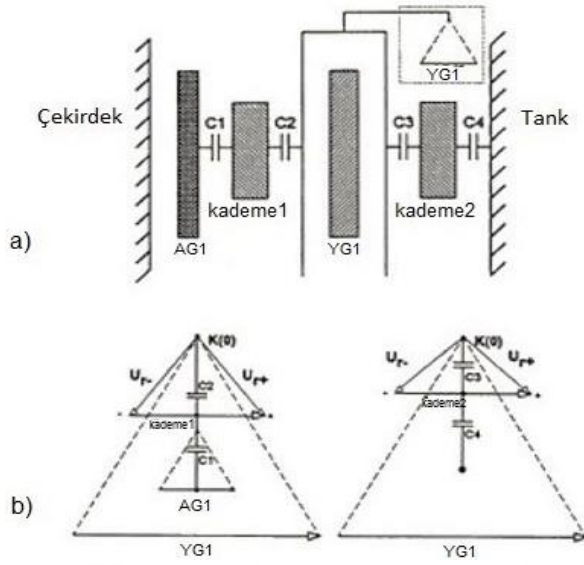
4.3. Kademe Sargısını Potansiyel Bağlantı Sırasında Değiştirme İşlemi

Ters operasyon sırasında kaba değiştirme seçici kademe sargısı anlık olarak ana sargıdan kesilir. Bu noktada, potansiyel bir gerilim, bitişik sargıların ve bu sargıları ile topraklı parçaların kuplaj kapasiteleri ile varsayılır. Genel olarak bu potansiyel, değiştirme seçici işlemi öncesi kademe sargısının potansiyelinden farklıdır. Diferansiyel gerilimler, değiştirme seçicisinin açma kontaklarındaki geri kazanım gerilimleridir ve kritik bir seviyeye ulaştığında, değiştirme seçişinde kabul edilemez deşarjlara neden olurlar. Bu gerilimler belirli bir sınır değerini aşarsa (özel ürün serileri için söz konusu limit gerilimler 15 kV ila 35 kV aralığında olur), kademe sargısının potansiyel kontrolü ile ilgili önlemler alınmalıdır. Özellikle faz kaydırmalı transformatörler durumunda hat sonundaki düzenlemeyle (Şekil 4.3), sargı düzeni nedeniyle yüksek gerilimler oluşabilir. Şekil 4.4(a), Şekil 4.3'a göre PST'nin tipik bir sargı düzenini göstermektedir.

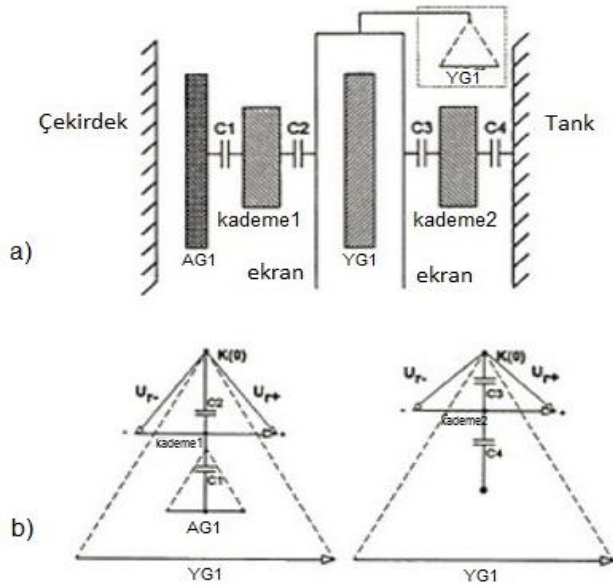
Şekil 4.4(b) bu düzenlemenin sınırlayıcı önlemleri olmaksızın, diyagramı göstermektedir. Görüldüğü üzere, değiştirme seçici kontaklarında görünen geri kazanım gerilimleri, kaynak ve yük tarafındaki sistem gerilimleri aralığındadır. Bir OLTC kesinlikle böyle koşullar altında çalıştırılmaz.



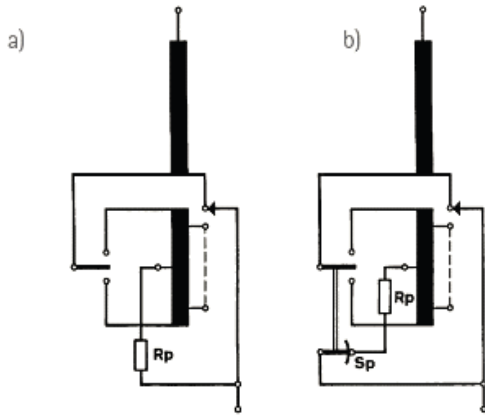
Şekil 4.3. Faz kaydırıcı transformatör düzenlemesi [12]



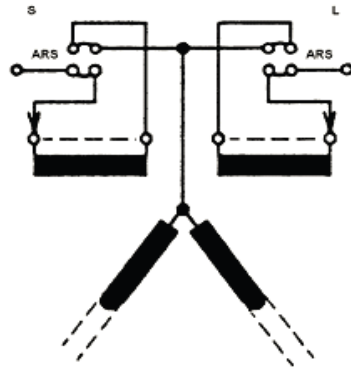
Şekil 4.4.(Şekil 4.3) deki devrede gösterildiği gibi faz kaydırıcı transformatörler; a) İki kademe sargılı tipik sargı düzenlemesi, b) Kademe sargısı 1 ve 2 için kurtarma voltajları (U_{r+} , U_{r-}), (fazör diyagramı)[12]



Şekil 4.5. Şekil (4.3)deki devrede gösterildiği gibi faz kaydırıcı transformatörler; a) İki kademe sargısı ile tipik sargı düzenlemesi, b) Kademe sargısı 1 ve 2 için kurtarma voltajları (U_{r+} , U_{r-}) (fazör diyagram) [12]



Şekil 4.6. Potansiyel bağlantı metotları (orta pozisyon da değiştirme seçicisinin ters çevrilmesi); a) Sabit bağlama direnci RP, b) Potansiyel anahtar SP ve bağlama direnci RP ile [12]



Şekil 4.7. Faz kaydırıcı trafo - gelişmiş bir geciktirme anahtarı vasıtasıyla değiştirme işlemi[12]

Yukarıda bahsedilen çözümün üç yöntemi vardır:

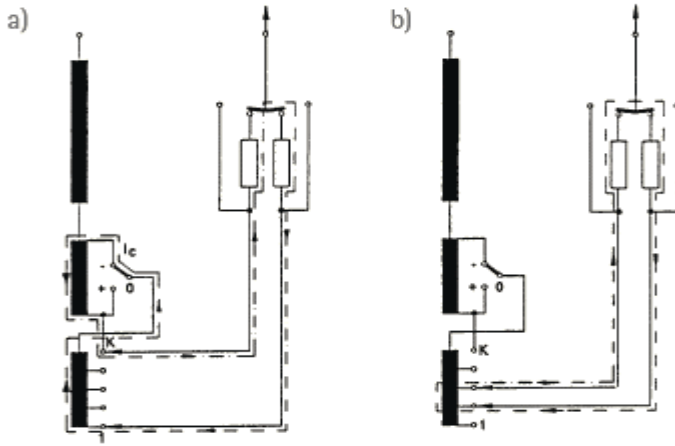
- Toparlama gerilimlerini düşürmenin bir yolu, sargılar arasına ekranlar yerleştirmektir. Bu ekranların, seçici kontak 0 üzerinden hareketli değiştirme potansiyeli olmalıdır (Şekil 4.3), Şekil (4.5a ve 4.5b)
- İkinci yol, kademe sargısını sabit bir potansiyele sabit bir dirençle (bağlama direnci) veya yalnızca bir geçiş anahtarı vasıtasıyla değiştirme seçici işlemi sırasında takılan bir dirençle bağlamaktır. Bu direnç genellikle kademe sargısının ortasına ve yük altında kademe değiştiricinin akım çıkışı terminaline bağlanır (Şekil 4.6)
- Üçüncü olasılık ilerlemeyi geciktiren anahtar (ARS), bir değiştirme seçici olarak kullanılır (Şekil 4.7). Bu ilave ünite, değiştirme işleminin iki adımda kesintisiz yürütülmesine izin verir. Bu düzenleme ile, kademe sargısı, tüm değiştirme işlemi

sırasında istenen potansiyele bağlanır. Bu yöntem nispeten karmaşık olduğu için, yalnızca yüksek güçlü PST'ler için kullanılır.

- Kademe sargılarının potansiyel bağlantısı için ortak yöntem, bağlama direnci kullanılmaktadır.
- Transformatörün tüm karakteristik verileri:
Güç, regülasyon aralığında yüksek ve alçak gerilimler, sargı bağlantısı, yalıtım seviyeleri vb.
- Sargı tasarımı; örneğin; kademe sargısının komşu sargılarla ilişkili olarak yeri veya sargı parçaları (Sargı tabakaları halinde),
- Sargılardaki gerilimler ve sargının elektriksel konumu; kademe sargısına bitişik olan transformatörün kademe düzenlemesinde,
- Kademe sargı ve bitişik sargılar arasındaki kapasite veya sargı parçaları,
- Kademe sargısı ve toprak arasındaki kapasite veya mevcut topraklanmış bitişik sargılar,
- Kademe sargısının yarısında dalgalanma gerilmesi,
- Kademe sargının yarısında servis ve test güç frekans gerilimleri,

4. 4. Direnç Tipi Yük Altında Kademe Değiştiricinin Orta Konumunu Geçerken Yön Değiştirme Anahtarının Çalışması Esnasında Kademe Sargısının / Kaba Sargının Kaçak Empedansının Etkileri

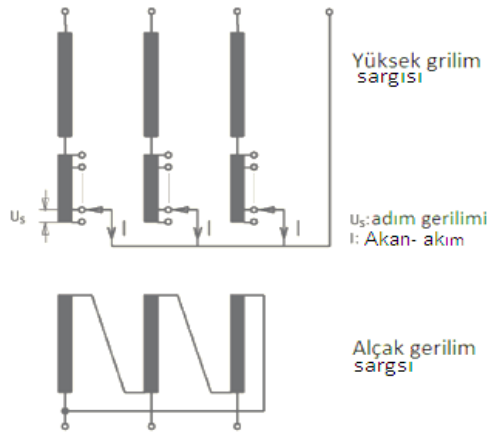
Kademe sargısının ucundan kaba sargının sonuna ve tam tersine (orta konumdan geçme) yön değiştirici anahtarın (ark anahtarı) (çalışması sırasında Şekil 4.8(a)'da gösterilmektedir) tüm kademe sargısı ve kaba sarımın dönüşleri devreye eklenir. Bu, sızıntı empedansı değerine neden olur ki bu sızıntı empedansı değeri, kademe sarımında çalışma esnasındaki değerinden çok daha yüksektir. Burada ihmal edilebilir kaçak empedans Şekil 4.8(b)'de gösterilmiştir. Geçiş dirençleri ile seri olarak daha yüksek olan empedans değerine, dönen akım üzerinde ters yönde ve kaba sargı ile akan bir etkiye sahiptir. Sonuç olarak, yük değiştirme işlemi esnasında kademe sargısı, anahtarlanmış akım ve kurtarma voltajı, yük değiştirme anahtarının geçiş kontaklarında gerçekleşir. Kontak anahtarının temas noktalarına uzatılmış ark süresi kurtarma voltajının akışı esnasında gerçekleşir. Yük altında kademe değiştiricinin bu çalışma koşullarına en uygun seçimini ve adaptasyonunu sağlamak için, kaba kaçak empedansının belirlenmesi gereklidir. Sargı ve kademe sargısı seri bağlanmıştır.



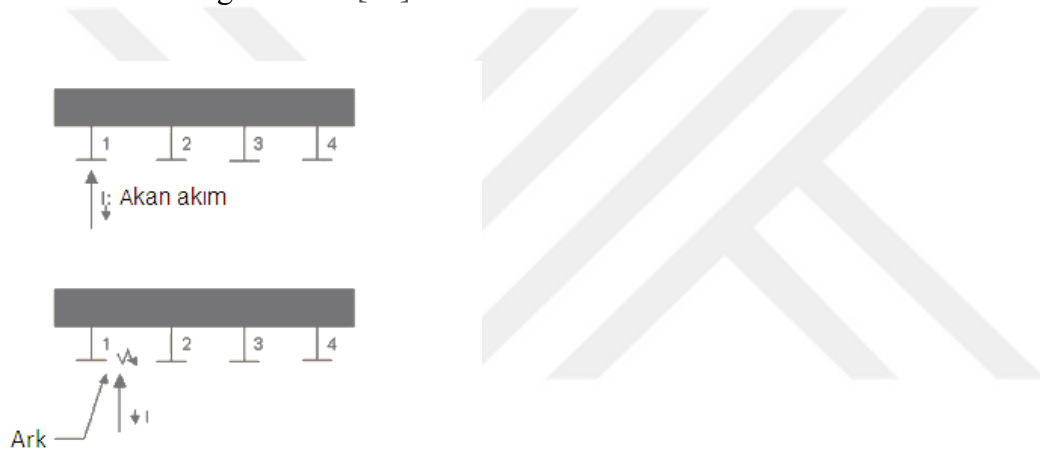
Şekil 4.8. Kaba sargı / kademe sargı düzenlemesinde kaçak empedansının etkisi; a) Orta pozisyon yoluyla işletim, b) Herhangi bir kademe konumu yanında orta pozisyonun yoluyla işletim [12]

4.5. Anahtarlama Prensibi

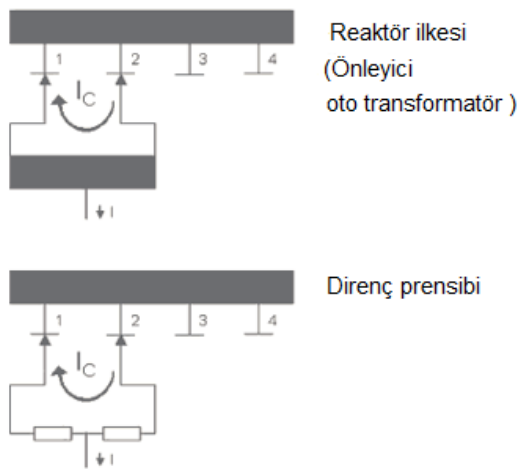
Yük altında kademe değiştirici, bir transformatör oranını, ekleme ya da çıkarma ve primer ya da sekonder sargılardan dönüşüm vasıtasıyla değiştirir. Bundan dolayı transformatörler yük altında kademe değiştiriciye bağlı bir düzenleme ya da kademe sargısı ile donatılmıştır. Şekil4.9, bir düzenleme sargı prensibi bulunan yük altında kademe değiştirici ile düzenlenen bir 3-faz yüksek gerilim sargı transformatörün yıldız -üçgen-bağlantısını göstermektedir. Anahtarlama boyunca sistem yükünün moment kaybından dolayı enerjili durumdaki kademelerin basit değişiklikleri kabul edilemez. “İşlem yapılmadan önce bağlantının kesilmesi kavramı” Şekil 4’te gösterilmiştir. Reaktör ya da rezistör formunda geçiş empedansı, bir veya daha fazla birimden meydana gelir. Köprü yakınındaki kademelerin birinden diğerine yük transferi, kesintisiz ya da yük akımındaki kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması amacıyla yapılır. Aynı zamanda her iki kademe kullanıldığında dolaşan akımı (I_c) sınırlar. Normal olarak, reaktör tipi yük altında kademe değiştiriciler, köprüleme pozisyonunu servis pozisyonu olarak kullanır. Bu yüzden reaktörler sürekli yükleme için tasarlanır. Yukarıda bahsedilen kademeler arasındaki gerilim, transformatör anma geriliminin yaklaşık % 0.8 ile % 2.5 arasındadır. Yük altında kademe değiştiricinin temel bileşenleri, akımları kesen ve sürdüren kontak sistemi olmasının yanı sıra, akımları, geçiş empedanslarını, dişlileri, yay enerji toplayıcı ve sürücü mekanizmasını taşır. Değişen sargı ayarlamalarına ve yük altında kademe değiştirici tasarımlarına bağlı olarak ayrı seçici anahtarlar kullanılmaktadır [12].



Şekil 4.9. Yıldız üçgen bağlantıda düzenleyici bir transformatörün temel sargı bağlantıları [12]



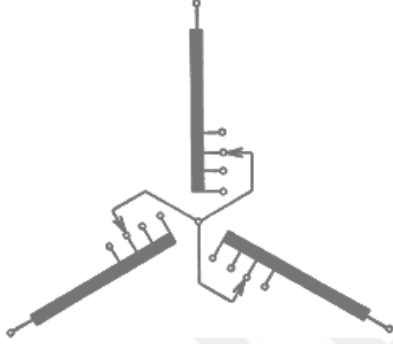
Şekil 4.10. Tek kontak anahtarı ile sistem yükü kaybı [12]



Şekil 4.11. Temel anahtarlama prensibi "açmadan (2) önce kapama (1)" kullanarak geçiş empedansı [12]

4.6. Yaygın Olarak Kullanılan Sargı Şemalarının Örnekleri

Yıldız bağlantılı sargıları olan iki sargı transformatörün nötr ucuna uygulanan regülasyon Şekil 4.12'da gösterilmektedir. Bu, OLTC'ler ve kademe sargıları için, nispeten basit ve kompakt çözümler sağlar.



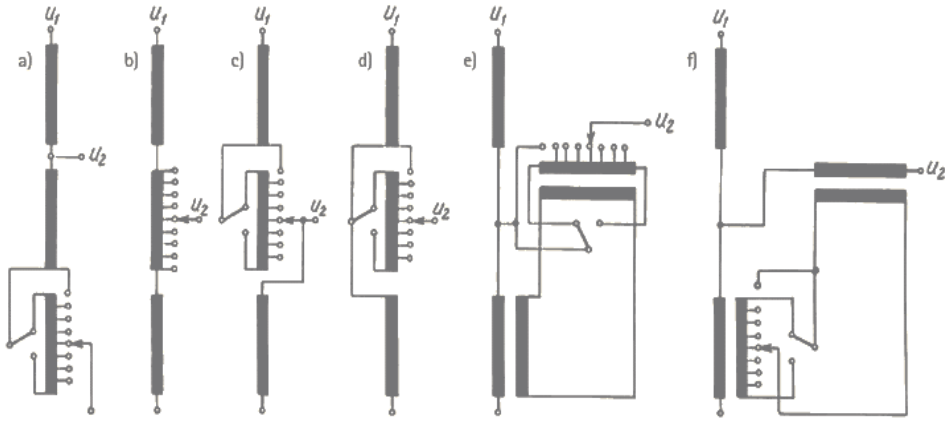
Şekil 4.12. Kademe sargı uçları nötr olan OLTC [12]

Üçgen bağlı sargıların düzenlenmesi (Şekil 4.13), uygulanan en yüksek sistem voltajına göre, izole edilmiş üç fazlı bir OLTC'yi (ya 3 tek faz OLTC ya da 1 tek fazlı ve 1 iki fazlı OLTC (Şekil 4.13(b)) gerektirir (Şekil 4.13a). Günümüzde, faz-faz izolasyonlu üç fazlı OLTC'lerin tasarım sınırı, 145 kV (BIL 650 kV) ve donanım için en yüksek gerilimdir. Üçgen bağlı OLTC üzerindeki faz-faz gerilimlerini azaltmak için, üç kutuplu orta sargı düzenlemesi (Şekil 4.13(c)) kullanılabilir. Düzenlenmiş ototransformatörler için, Şekil 4.14 de çeşitli devreler gösterilmektedir. En uygun şema, düzenleyici aralık ile uyum, sistem koşulları ve/veya gereksinimleri, ağırlık ve boyut kısıtlamalarına dikkate alınarak seçilmelidir.

Oto transformatörler her zaman yıldız-bağlıdır.



Şekil 4.13. Kademe sargıları üçgen bağlantılı yük altında kademe değiştirici [12]



Şekil 4.14. Oto transformatörlerdeki yük altında kademe değiştiriciler

- Son nötr düzenlemesi (Şekil 4.14a), 1:2'nin üstünde bir oranda ve %15'e kadar orta düzeyde bir düzenleme aralığı ile uygulanabilir. Bu, değişken akı ile çalışır.
- Şekil 4.14c'de U_1 yüksek gerilimini ayarlamak için kullanılan bir düzenek görülmektedir.
- U_2 düşük gerilim regülasyonu için, Şekil 4.14b, 4.14d, 4.14e ve 4.14f devreleri uygulanabilir. Şekil 4.14e ve 4.14f'deki düzenlemeler iki temel çözümdür. Şekil 4.14f devresi, seri transformatörde değişken akı ile çalışır, ama nötr uçlu OLTC'nin kullanılabileceği avantajına sahiptir. Şekil 4.14'e göre düzenleme durumunda, taşıma ağırlığını azaltmak için ana ve düzenleyici transformatörler genellikle ayrı tanklara yerleştirilir. Aynı zamanda bu çözüm, ara devredeki uyarı bağlantılarını değiştirerek bir dereceye kadar faz kaymasına izin verir.

4.7.Yük Altında Kademe Değiştirici Prensipi

Transformatör oranı

$$TR = V_p / V_s = N_p / N_s \quad (4.1)$$

$$\text{öyleyse } V_s = V_p \div TR \quad (4.2)$$

Uygulamada amaç, mevcut V_p veya gelen voltajı kullanan sabit bir sekonder voltajı V_s sağlamaktır. Bu amaçla, ikincil N_s 'lerde dönüşler sayısını her zaman sabit tutulur ve değişken sayısı dönüşlerini birincil N_p 'de birincil N_p 'deki dönüş sayısını gelen voltajlara V_p uygun hale getirmek için düzenlemeler yapılır. Bu yüzden dönüşüm oranı (TR) değişti ve V_s 'imiz sabit kalmaktadır.

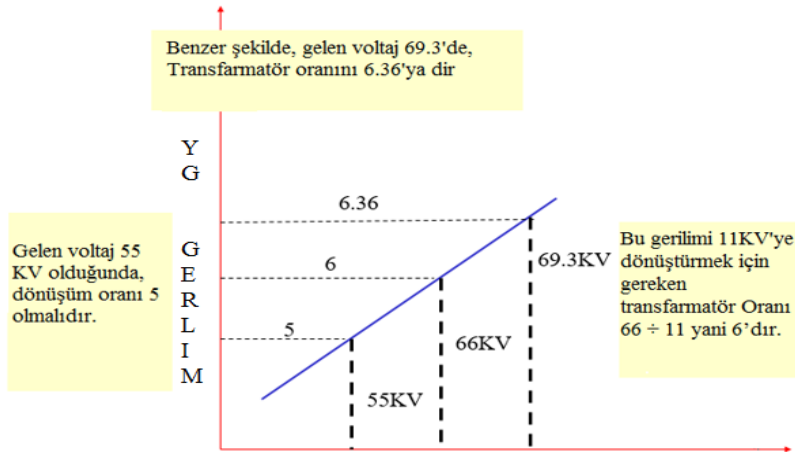
Diğer bir deyişle;

$$V_p \div TR = V_s$$

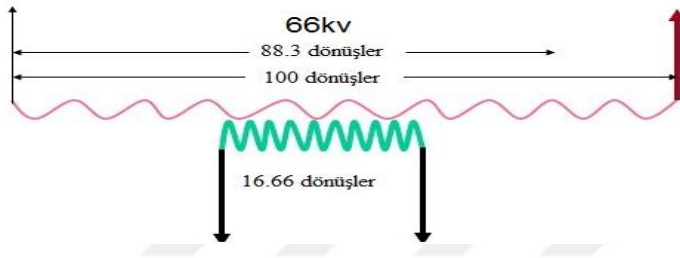
Transformatör oranında bir değişiklik için HV dönüşlerini artırmak ve azaltmak yük altında kademe değiştirici tarafından yapılır. OLTC, yük altında kademe değiştirici ve yüksüz kademe değiştirici her ikisi için kullanılan bir kısaltmadır. Yük altında kademe değiştiricisi sadece tüm elektrik tesisatlarında kısaltma formunda kullanılır.

4.8. Yük Altında Kademe Değiştirici Prensibi

Transformatör oranlarının (66 / 11 kV trafo) gösterim aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 4.15. Transformatör oranları [36]



Şekil 4.16 Transformatör oranları pratikte [36]

Burada transformatör oranı (TR) = $N_p \div N_s$

$N_p \div N_s$ yani $100 \div 16.66 = 6$.

Yani Yüksek gerilim 66 kV' ken

$$AG = 66 \div TR \quad (4.3)$$

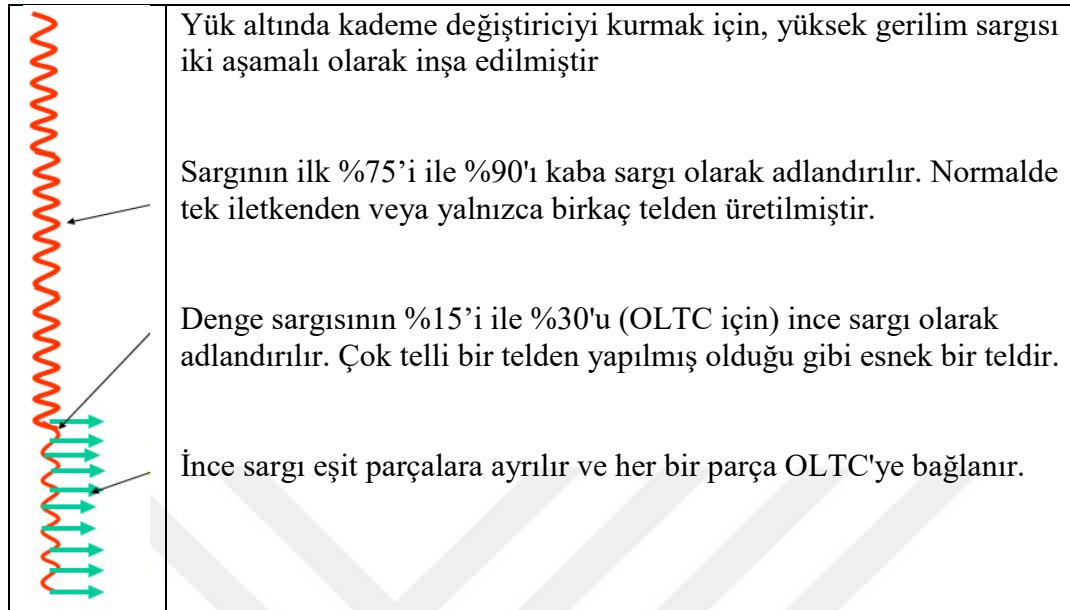
$$66 \div 6 = 11KV$$

OLTC, N_p 'yi 83.33 tura düşürmek için taşınır.

Daha sonra transformatör oranı = $83.30 \div 16.66 = 5$ olur.

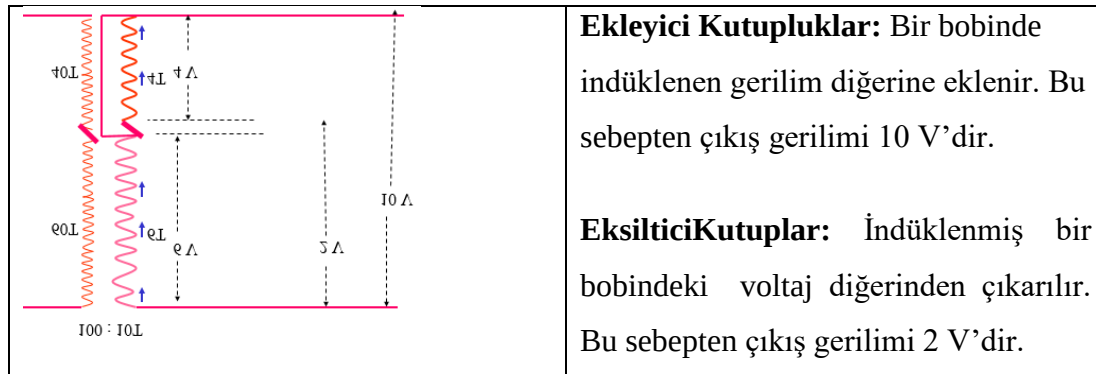
$$\text{Sonra } AG = 55 \div 5 = 11K$$

4.9.Yük Altında Kademe Değiştirici İçin Yüksek Gerilim Sargısı



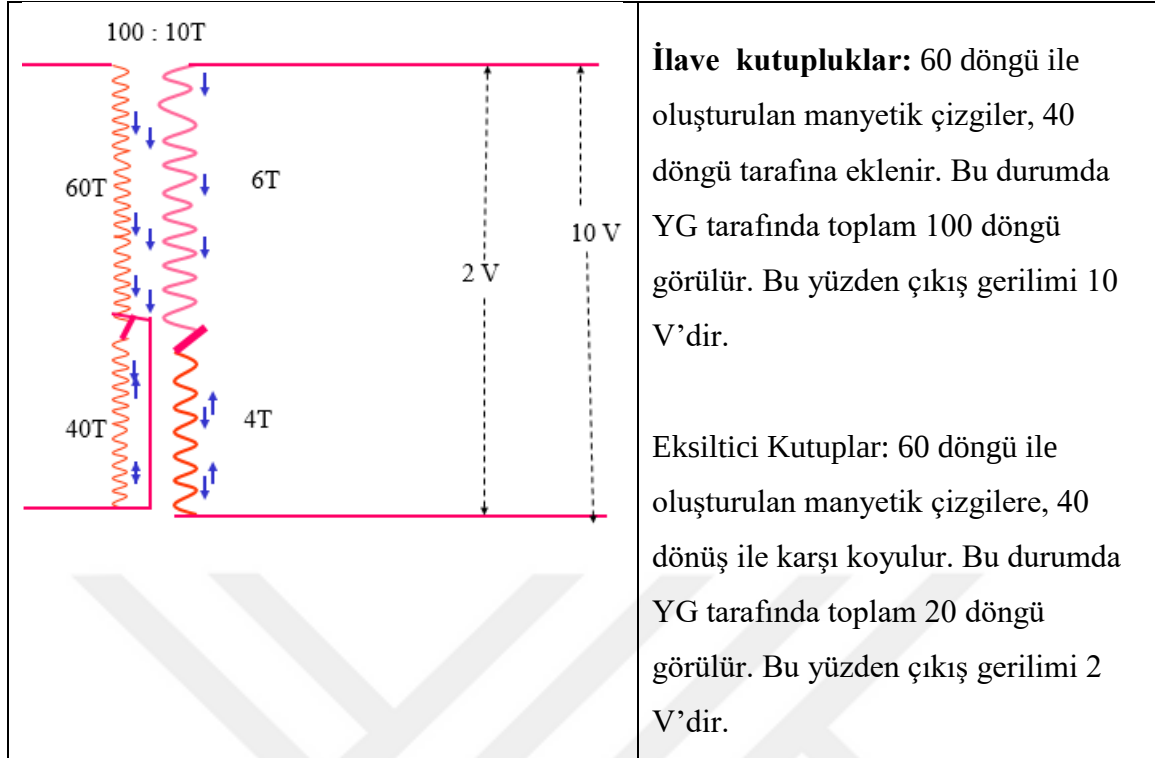
Şekil 4.17. Yük altında kademe değiştirici için yüksek voltaj sargısı [36]

4.10. Kutupluluklar

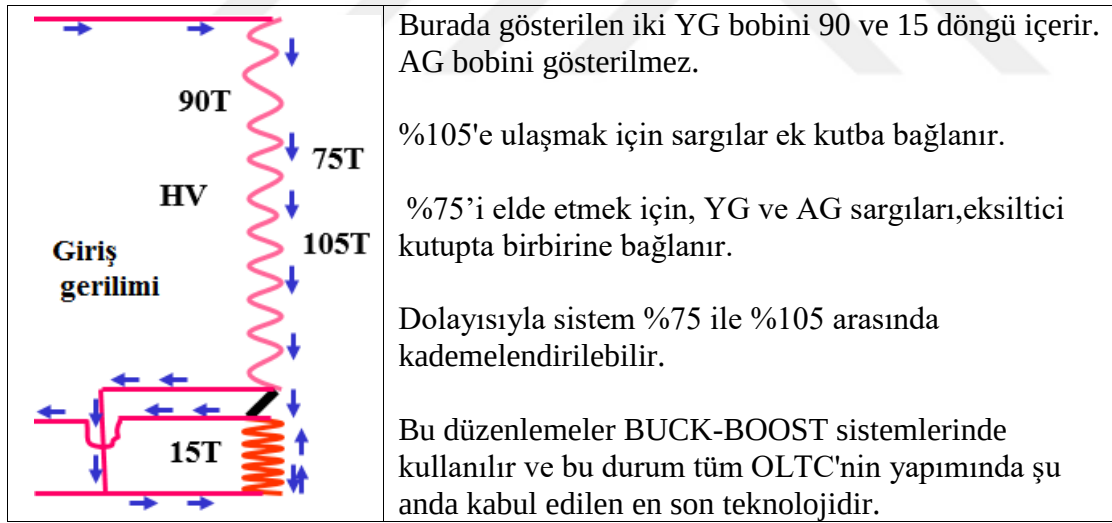


Şekil 4.18. Eksiltici kutuplar [36]

Çıkış voltajları, YG sargısında dönüş sayısını değiştirerek de etkilenebilir.



Şekil 4.19. Ekleyici kutupluklar [36]



Şekil 4.20.Eksiltici ve ekleyici kutupluklar [36]

4.11. Yük altında kademe değiştirici çeşitleri

İki tipi mevcut olup, bunlar;

- 1.Fuller Tipi \ İngiliz tasarımı \ tek bölmeli
- 2.Jenson tipi \ Alman tipi \ MR Tipi \ İki bölmelidir.

4.12.Yük altında kademe değıştircilerin montajı

Jenson durumunda yük altında kademe değıştirciyi tipin, HV sargısının yıldız bağı veya delta bağı olup olmadığına bağıdır. Yıldız bağılantı durumunda, bir üç fazlı OLTC, üst plakaya monte edilmiş bir değıştirci anahtarla donatılmıştır. HV sargısı üçgen bağılandığında farklıdır. Daha önceki tasarımlarda faz başına bir OLTC üretilir ve her üçü de ortak bir şaftla birleştirilirdi. Sonra, üst plakada ortak bir şaft vasıtasıyla, birbirine bağı üç benzeri yön değıştirci görülmektedir. OLTC işlemi zamanında, biri üç anahtarın her birinde hareket eden yüksek hızlı bağılantıların farklı sesleri duyabiliyordu. Ancak daha sonra, iki adet tek fazlı ünite birleştirilmiş ve ortak bir yön değıştirci ile sağıanmıştır. Bu üçgen devrenin ortak bir V-noktası ile iki fazın halledilmiştir sağıadı. Bir diğerk tek fazlı saptırıcı bu V-noktasının tersinde faz sağılamaktadır. Saptırıcılar birbirine benzemezler, ancak aynı anda çalışmak için aynı mil üzerine monte edilmiştir. Fakat günümüzde ayrıca tek bir saptırıcı bölmeye sahip OLTC geliştirilmiştir [36].

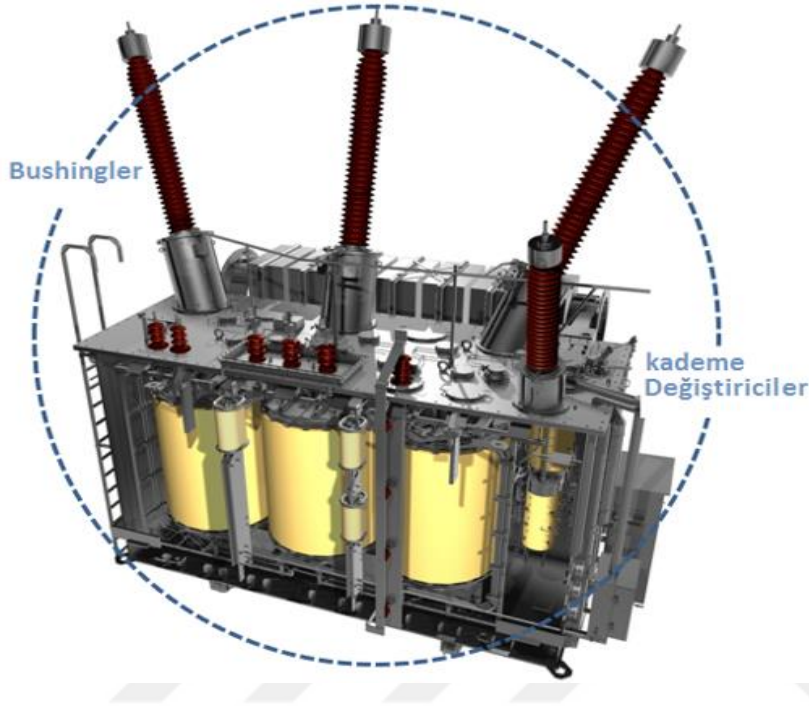
4.13. Yük altında kademe değıştircinin Karşılaştırması

Fuller tipi ile Jenson tipi yük altında kademe değıştircilerin karşılaştırılması çizelge biçiminde Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1.Yük altında kademe değıştiricinin karşılaştırması

<u>Fuller Tipi</u>	<u>Jenson tipi</u>
1.İngiliz tasarımı	1.Alman tasarımı.
2.Tek bölmeli*	2. Çift bölmeli.
3. Hareketli kontak aksiyonu, Aynı odada ark ve söndürme	3. Hareketli kontak aksiyonu bir odacıkta. Başka bir odadaki ark ve söndürme
4. OLTC ana tanktan ayrıdır.	4.OLTC ayrı değil, aktif parçanın bir parçasıdır.
5.Aksiyon yavaş hızdadır. 200 ila 500 milisaniye.	5. Aksiyon yüksek hızdadır 30 ila 60 milisaniyedir.
6. Yağ 300 lt 1000 litre arasındadır.	6. Yağ 100 litreye kadardır
7. Kısa ömürlüdür.	7. Uzun ömürlü dür
8. Yalnızca üç set hareketli kontak montajı vardır	8. Altı adet yavaş hareket eden kontak ve üç adet yüksek hızlı hareket eden kontaklardır.
9. Fiyat-yöntemce daha ucuzdur, Jenson tipi% 50'den azdır.	9. Fiyat-yöntemce maliyetlidir.

5. YÜK ALTINDA KADEME DEĞİŞTİRİCİLİ GÜÇ TRAFOSU TASARIMI



Şekil 5.1. Güç Trafosu Bileşenleri [23]

5.1. 7500kVA 33/11 kV'lık 3 Fazlı Yağlı Kademe Değiştirmeli Güç Transformatörü Projesi (f = 50 HZ)

Yüksek gerilim (YG) 7500 KVA 29700 33000.....36300kv Y
 “ 33kv ($\pm 8 \times 1,25$) ayarlı “ yıldız,

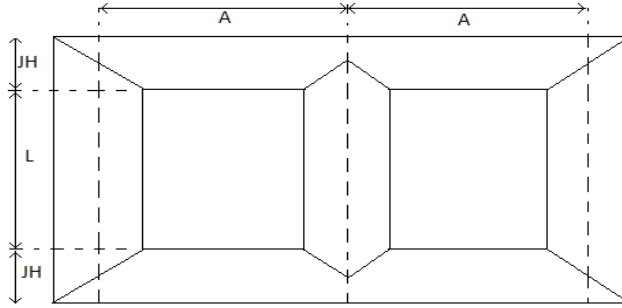
Alçak gerilim (AG) 7500 KVA 11000 V D (yük altında kademe değiştirici)
 üçgen,

Soğutma sistemi = ONAN Bağlantı grubu = YNd II

ONAN: Kendi kendine yağ sirkülasyonu ile soğuyan transformatör. Bu transformatörde kazan dışına konmuş radyatörlerden yağ geçer ve bu yağ, radyatörler hava ile temasta olduğundan soğur.

5.2. Çekirdek

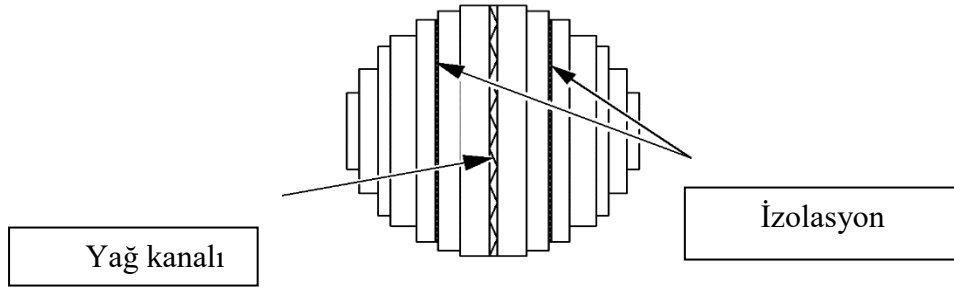
D : Bacak çapı =	380 mm
A : Bacak eksenleri =	715mm
L : Bacak yüksekliği =	800 mm
JH :Boyunduruk yüksekliği =	360mm
Genet : Net Sac ağırlığı =	4767 kg
B: manyetik endüksiyon =	1,743 Tesla
Saç tipi =	- M4- 0,27mm



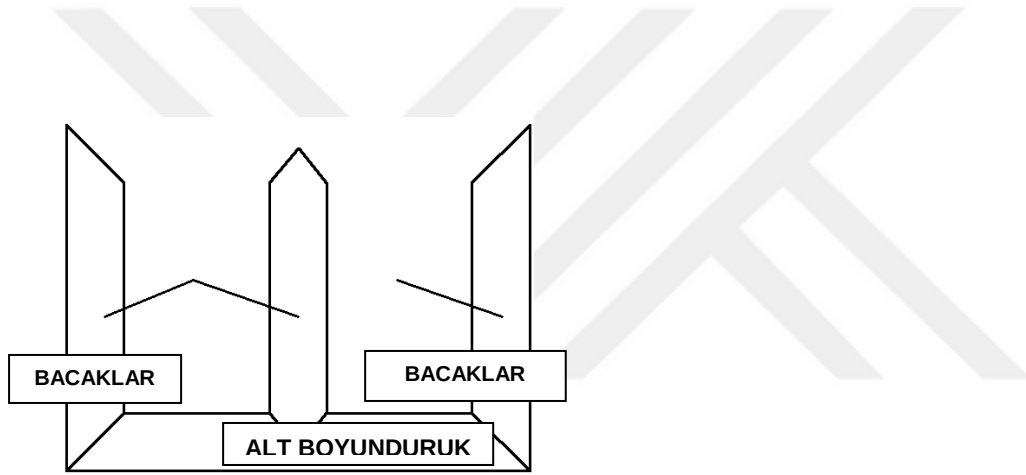
Şekil 5.2. Çekirdek tipi

Transformatörün manyetik devresini oluşturan çekirdek, kristalleri yönlendirilmiş, soğuk haddelenmiş, kalınlıkları genellikle 0,3mm olan M5 silisli saçlardan oluşmaktadır. Kalınlıkları 0,23 - 0,27mm kalınlıkta olan HI – BI ve Lazer’li saçlar boşta kayıpları düşük olan transformatörlerde kullanılır. Çekirdek sacı seçiminde transformatörün boşta kayıpları, akımı ve gürültü seviyeleri dikkate alınır. Rulolar halinde temin edilen çekirdek saçları, özel CNC makinelerinde dilimlendikten sonra, üretilecek transformatörün bacak ve boyunduruk ölçülerine göre ikinci bir makinede otomatik olarak kesilir. Çekirdeğin formu teorik olarak daireseldir. Çap genişliğine bağlı olarak değişik genişlikte kesilen saçlar, belirli tabaka kalınlıklarında dizilerek Şekil 5.2’de görülen form oluşturulur. Çekirdekte aşırı ısınmalara mani olmak için tabakalar arasına çıtalarla yağ kanalı teşkil edilir. Ayrıca, Fuko akımlarının etkilerini, düşürmek için izolasyon kağıdı da kullanılmaktadır. Mekanik kuvvetlere dayanım açısından çekirdekler, alt ve üst boyundurukları pres demirleri ile desteklenir, çelik veya fiberglas bandajlarla sabitlenir. Değişik ebatlarda kesilen saçlar, dizim tezgahları ,üzerinde Şekil 5.2 de görülen form oluşturulur ve çelik veya fiberglas bandajlarla sabitlenerek III formunda ayağa kaldırılır (Şekil 5.3) Bu şekilde üretime

verilen çekirdeğe Bobin montajları yapıldıktan sonra açık olan üst kısma üst boyunduruk saçları dizilerek manyetik devre tamamlanmış olur.



Şekil 5. 3. Değişik ebatta kesilen saçla dizim tezgahında oluşturulan form

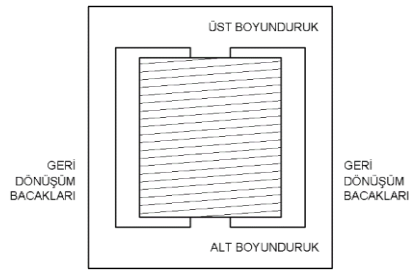


Şekil 5.4. Alt boyunduruk temsili şekli

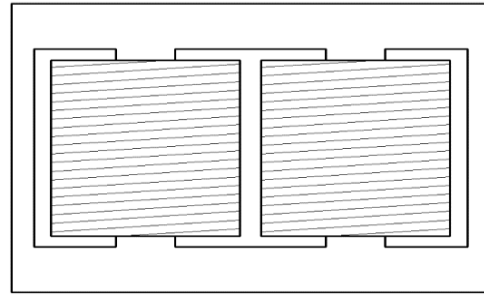
Tek ve üç fazlı transformatörlerde değişik tipte çekirdek formları bulunmaktadır.

5.3. Tek fazlı Transformatör Çekirdekleri

1/2, 2/2, tek fazlı ve 3/2 üç fazlı transformatörlerde geri dönüş bacaklı çekirdeklerin ana kullanım amacı, nakil esnasında yüksekliğin uygun ölçülerde tutulabilmesi içindir. Bu tiplerde alt ve üst boyunduruklarda geri dönüş bacaklarında saç genişlikleri sargılı bacaklardakilerin yaklaşık yarısı kadar olduğundan çekirdeğin yüksekliği diğer formlara göre daha düşük olmaktadır.



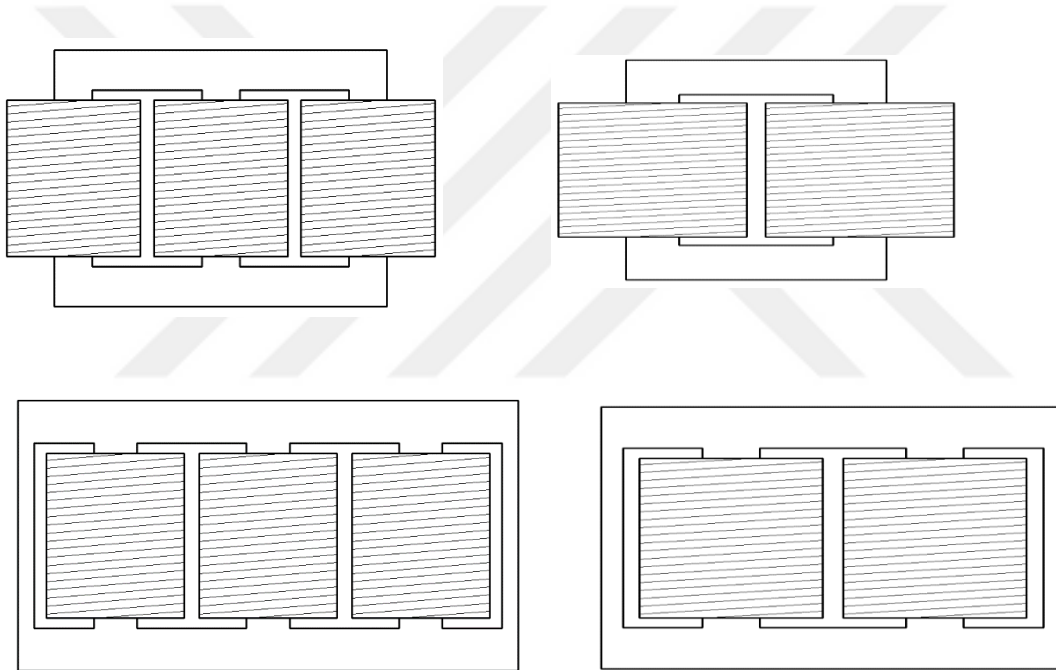
(a)



(b)

Şekil 5.5. (a)1 / 2, (b) 2 / 2 Çekirdekli nüve görünümü

5.4.Üç fazlı Transformatör Çekirdekleri



Şekil 5. 6. Farklı tip çekirdek tasarımları



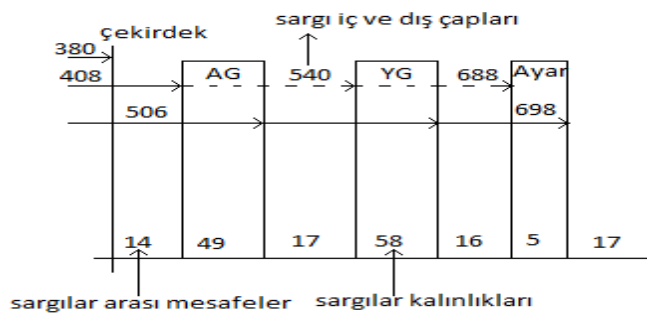
Şekil 5. 7. 2-0 Çekirdek formu [47]



Şekil 5.8. 3-0 Çekirdek formu [47]

5.5.Sargıların Dizilimi ve Mesafeler

Sargı dizilimi ve mesafelerinin tasarımının şekilsel gösterimi aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.9 . Sargıların dizilimi ve mesafeler

5.6. Sargıların Detaylı İncelemeleri

5.6.1. Alçak gerilim (AG)

7500 KVA 11000V Δ 393,7A izolasyon sınıfı = L1 75 AC 28
Üçgen

Sarım sayısı = 275

Kat sayısı = 6

Kattaki sarım sayısı = 46

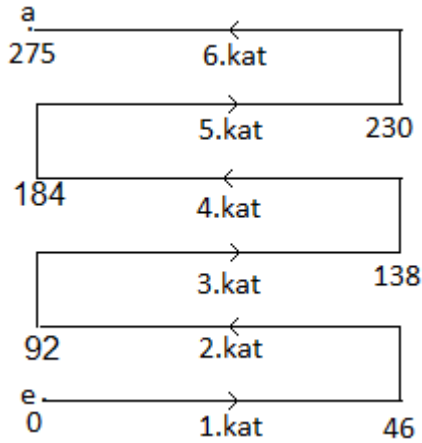
Tel yüksekliği x genişliği = 3,9 x 14,2 mm + 0,6mm

Tel kesiti = 54,52 mm²

Tel uzunluğu = 1185m

Tel ağırlığı = 575 kg

Sargı ısınması = 13, 7 C



Şekil 5.10. Alçak gerilim sargısı (Sargının üstten bakıldığındaki görünümü temsil edilmiştir)

5.6.2.Yüksek gerilim (YG)

7500 KVA 33000y, y 145, 8 A 131,2 A 119,3 A
izolasyon sınıfı L1 170AC 70 Yıldız min kademe norm kademe max kademe;

Sarım sayısı = 476

Kat sayısı = 8

Kattaki sarım sayısı = 60

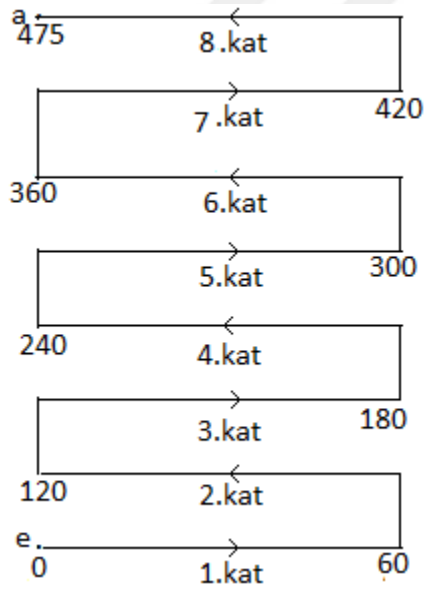
Tel yüksekliği x genişliği = $3,4 \times 10,4 \text{ mm} + 0,8 \text{ mm}$

Tel kesiti = $34,81 \text{ mm}^2$

Tel uzunluğu = 2685m

Tel ağırlığı = 832 kg

Sargı ısınması = 15, 2 C



Şekil 5.11. Yüksek gerilim sargısı

5.6.3.Ayar

Kat sargı;

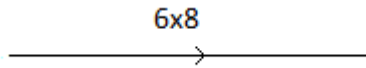
Katsayısı = 1

Sarım sayısı = 48,

(Sarım şekli $\pm 8 \times 6$),

Çalışma şekli: minimum kademe 48 sarım ters, maksimum kademe 48 sarım düz ve normalde 0 sarım alacak şekilde uygulanıyor.

Tel ağırlığı = 99kg;



Şekil 5.12. Ayar gerilim çalışma tipi

$N11 = \text{round}((V11/\sqrt{3}).*N2/V2 - N1)$ matlab kodu:

% N11 =

% 48

% 42

% 36

% 30

% 24

% 18

% 12

% 6

% 0

% -6

% -12

% -18

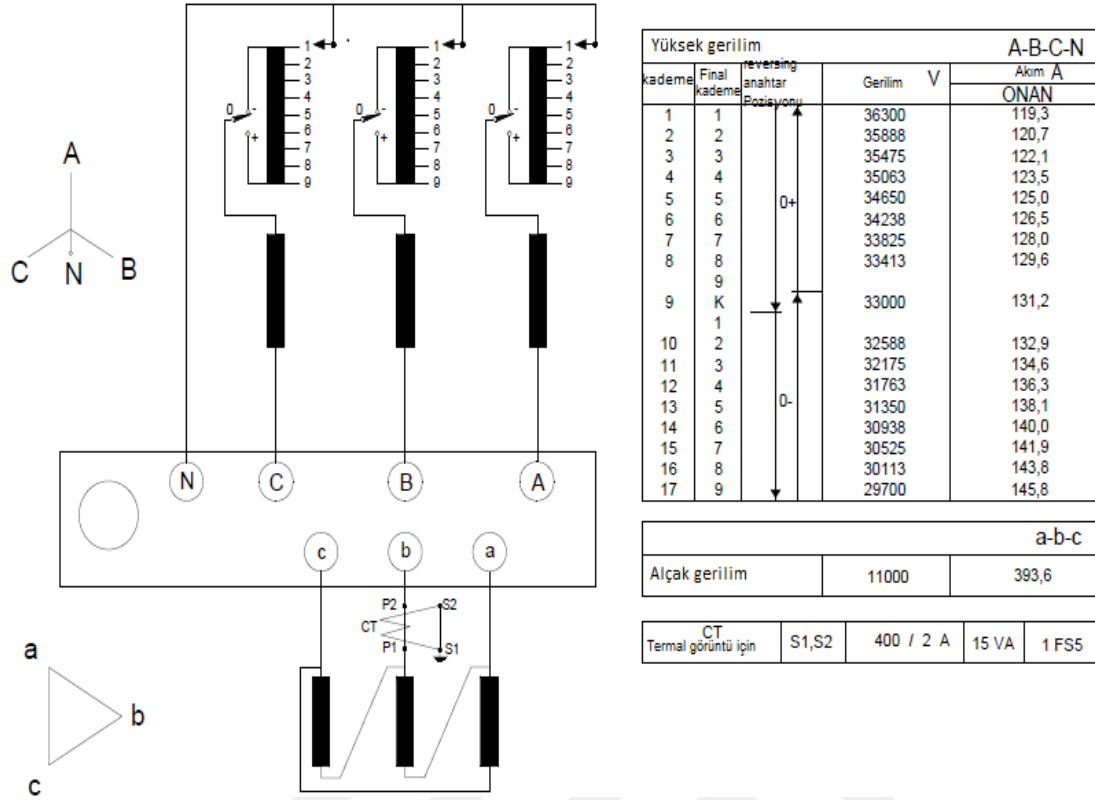
% -24

% -30

% -36

% -42

% -48



Şekil 5.13. 7500 kVA 33/11 kV’luk 3 fazlı yağlı Kademe değiştirmeli güç transformatörü bağlantı tipi

$$V_{11} = V_1 + V_1 \cdot (1.25/100 \cdot (8:-1:-8))'$$

% 3.6300

% 3.5888

% 3.5475

% 3.5063

% 3.4650

% 3.4238

% 3.3825

% 3.3413

% 3.3000

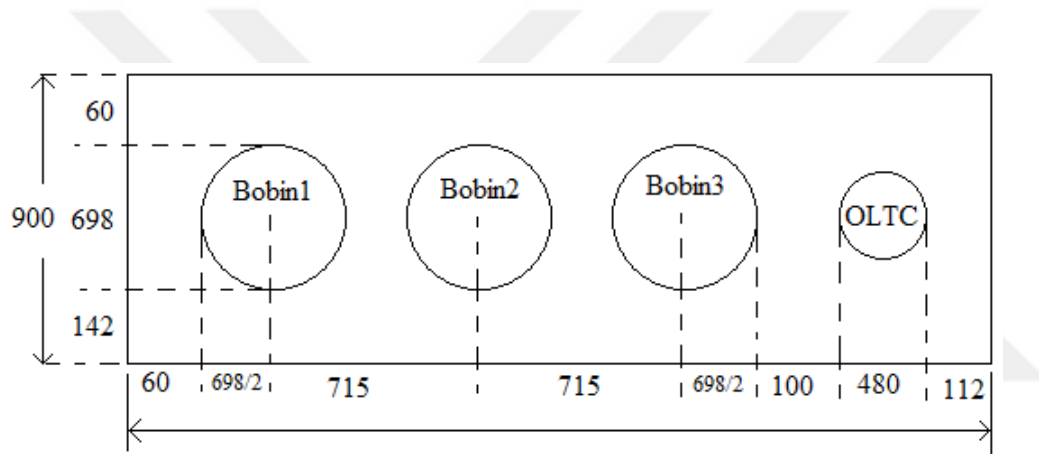
% 3.2588

Toplam yükte kayıp =	69,62 kW	58,76 kW	56,76 kW
	(min)	(nom)	(max)

Boşta kayıp = 6,2kW @ 1,743T , 50Hz

5.8. Mekanik Hesaplamalar

Kazan içi ölçüleri (üstten kazana bakıldığında görünüm ve ölçüler mm' dir)



Şekil 5.14. Kazanın üstten gösterimi tipi ve bobinler arası mesafeler

Yandan bakıldığında;

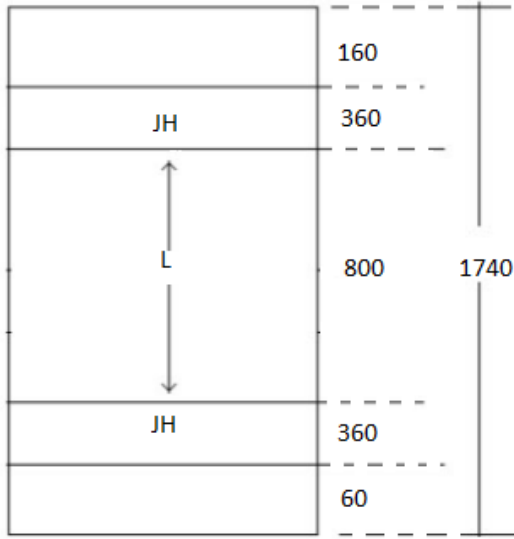
Radyatör ağırlığı =1950kg

Radyatör sayısı = 10 (5-5 iki uzun tarafta)

Radyatör dilim sayısı= 15

Radyatör boyu (yüksekliği)= 1200mm

Radyatör genişliği = 520mm



Şekil 5.15. Kazanın yan tarafı

5.9. Genel Ağırlıkları

Aktif kısım =	7,6 ton
Yağ ağırlığı =	3,8 ton
Kazan + şasi =	4,1 ton
Genleşme deposu=	0,15 ton +
Toplam =	15,65 ton
Nakliye ağırlığı =	13,00 ton
(Soğutma ünitesiz, yağlı)	

5.10. 3 Fazlı Yağlı Kademe Değiştirmeli Güç Transformatörü Kayıplarının Hesaplanması

Pratik ve teorik hesapların karşılaştırılması için 3 fazlı yağlı Kademe değiştirmeli güç Transformatör seçilmiştir. Bu transformatör önce teorik olarak kayıpları ölçülmüştür ve sonra yüksek gerilim ve alçak gerilim kısımlarında transformatör güçleri pratik olarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Örnek olarak ele alınan transformatör 7500kVA 33/11 kVluk transformatördür ve tasarım bilgileri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1. 7500 kVA transformatör tasarım bilgileri

GÜÇ (VA)	V1 (V)	V2 (V)	N1	N2	Pri. Faz Akım (A)	Sek. Faz Akım (A)
7500	29700 33000 36000	11000	476	275	393,7	145,8
F (Hz)	AKI (wb)	B(Tesla)	H(A/m)	UK%	Nüve Ağırlığı(kg)	Nüve hacmi(m3)
50	0.1626 0.1807 0.1987	1.4339 1.5935 1,7522	30,71 55,78 171,20	7,63	4767	0.5875

7500KVA

Bağlantı grubu YNd 11 olan 7500 kVA transformatörün demir, histerezis, girdap, (fuko) bakır kayıpları ve diğer kayıplar hesaplanmıştır.

Örnek transformatörün bilgileri

5.10.1. Histerisiz kayıp hesabı:

Bu kayıpları hesaplamak için Eş. 2.9' yi kullanabiliriz,

$$P_H = k_h * B_m^x * f \text{ (W/kg)}$$

veya,

$$P_H = k_h * B_{mx} * f * G_n \text{ (W)}$$

k_h : histerisiz kat sayısı ve alaşımlı sac için (0.01-0.015) arasındır,

f : manyetik akı değişme frekansı,

B_m: maksimum akı yoğunluğu,

x: malzemedan malzemeye göre değişen bir katsayıdır. Genelde elektrik malzemelerde 1.5-2.5 arasındadır. Ferrit malzeme için 2 seçilir,

G_n: nüve ağırlığıdır. Manyetik alan yoğunluğunu hesaplamak için endüksiyon eşitliğinden yararlanabiliriz;

$$E_1 = 4.44 * f * W_1 * \phi_m$$

$$E_1 = 4.44 * f * N_1 * \phi_m$$

$$\phi_m = E_1 / (4.44 * f * N_1)$$

$$\phi_m = E_1 / (4.44 * 50 * 475)$$

$$\phi_m = V_{1p} / (4.44 * 50 * 475)$$

$$\phi_m = (33000 / \sqrt{3}) / (4.44 * 50 * 475) = 0.1807 \text{ T} \times \text{m}^2$$

$$0.1626, 0.1807, 0.1987 \text{ [T} \times \text{m}^2]$$

$$A_{\text{core}} = \pi (D/2)^2$$

$$A_{\text{core}} = \pi * (0.38/2)^2$$

$$A_{\text{core}} = 3.14 * (0.38/2)^2 = 0.1134 \text{ m}^2$$

$$\phi_m = B_m * A_{\text{core}}$$

$$B_m = \phi_m / A_{\text{core}}$$

$$B_m = 0.1626 / 0.1134, 0.1807 / 0.1134, 0.1987 / 0.1134$$

$$B_m = 1.4339, 1.5935, 1.7522$$

$$V_1 = [29.7 \text{ } 33 \text{ } 36.3] * 1e+03 \text{ V}$$

$$V_{1p} = V_1 / \sqrt{3}$$

$$V_{1p} = [17.147, 19.053, 20.958] * 1e+03 \text{ V}$$

$$V_2 = 11e+03 \text{ V}$$

$$I_1 = 7.5e+06 / (V_1 * \sqrt{3}) \text{ A}$$

$$I_2 = 7.5e+06 / (V_2 * \sqrt{3}) \text{ A}$$

$$B_m = 2.4834, 2.7594, 3.0353 \text{ T}$$

$$I_1 = 145.7955, 131.2160, 119.2872 \text{ A}$$

$$I_2 = 393.6479 \text{ A}$$

$$P_H = k_h * (B_m)^{1.6} * f * G_n \text{ (W)}$$

$$G_n = 4767 \text{ kg}$$

$$P_H = k_h * (B_m)^{1.6} * f * G_n \text{ (W)}$$

$$P_H = 0.01 * (1.7522)^{1.6} * 50 * 4767 = 5.8472e+03 = 5847.214617 \text{ W}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$P_H = 1.0216, 1.2092, 1.4084$$

$$\phi_{\text{Max}} = V_1 / (4.44 * f * 475)$$

% Akımlar

$$I_1 = 7.5e6 / (V_1 * \sqrt{3})$$

$$I_2 = 7.5e6 / (V_2 * \sqrt{3})$$

% Boyutlar

$$L = (800/1000); \% \text{ m}$$

$$J_H = (360/1000); \% \text{ m}$$

$$A = (715/1000); \% \text{ m}$$

$$D = (380/1000); \% \text{ m}$$

$$V_{\text{core}} = 2 * (L + J_H + 2 * A) * (D/2)^2 * \pi$$

$$V_{\text{core}} = 0.5875$$

% Histerezis kayıpları

$$f = 50$$

$$V_1 = 29700, 33000, 36300$$

80

$$V2 = 11000$$

$$V1p =$$

$$1.0e+04 *$$

$$1.7147$$

$$1.9053$$

$$2.0958$$

$$\text{phiMax} = 0.2817, 0.3129, 0.3442$$

$$A_{\text{core}} = 0.1134$$

$$B_m = 2.4834, 2.7594, 3.0353$$

$$I1 = 145.7955, 131.2160, 119.2872$$

$$I2 = 393.6479$$

$$PH =$$

$$1.0e+04 *$$

$$1.0216$$

$$1.2092$$

$$1.4084$$

5.10.2. Girdap (Fuko) akım kayıp hesabı:

$$P_g = kg * B_m^2 * f^2 * h^2 \text{ (W/kg)}$$

$$Kg = \pi^2 / 6\rho$$

$$P_g = \frac{\pi^2 f^2 B_{\text{max}}^2 t^2}{6\rho} w/m^3 = \frac{\pi^2 f^2 B_{\text{max}}^2 t^2}{6\rho \times 7650} w/kg$$

$$= \frac{(3.14^2) * (50^2) * (1.75^2) * (0.27/1000)^2}{(6 * 4.8 * 10^{-7} * 7650)} = 0.2498$$

$$= 0.2498 * 4767 = 1190.7966 = 1.1907 * 10^3$$

Toplam demir kaybı (P_{fe})

$$P_{Fe} = P_H + P_g$$

$$P_{Fe} = 5847.2 + 1190.7966 = 7037.9966W = 7.037 kW$$

Bakır kayıpları

Primer ve sekonder iletken direnci (75°) için hesaplanmaktadır.

Bakırın(75 C°) deki özgül direnci;

$$\rho_{75^\circ} = \frac{234.5 + 75^\circ}{234.5 + 20^\circ} \rho_{20^\circ}$$

Bakır (20C°) özgül direnci($\rho_{20} = 0.01786 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

$$\rho_{75^\circ} = 1.2156 * 0.01786 = 0.02171 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Primer iletken(75 C°) direnci (R_p 75°);

$$R_{1\ 75} = \frac{234.5 + 75^\circ}{234.5 + 20^\circ} * R_{20}$$

$$R_{1\ 75} = \frac{l}{A} * \frac{234.5 + 75^\circ}{234.5 + 20^\circ} * \rho_{20}$$

l : iletken uzunluğu , A : iletken kesiti.

$$R_{2\ 75} = \frac{1185}{54.52} * \frac{310}{255} * 0.01786 = 0.04719$$

Veya;

$$Rl = \rho \frac{l}{q} \text{ vel } = \frac{G}{d \cdot q} \longrightarrow Rl = \rho \frac{G}{d \cdot q^2}$$

G (iletken ağırlığı toplam 3 faz için) = 832 kg

$$d = 8,9 * 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$J^2 \text{ (akım yoğunluğu) } = \frac{I^2}{q^2} \left(\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$J_{AG} = 393.7 / \sqrt{3} / 54.52 = 4.17 \text{ A/mm}^2$$

Transformatörün bağlantı gurubu Yzn olduğuna göre, Primer tarafında hat akımı ile faz akımı aynı değerdedirler, Primer bakır kaybını hesaplamak için aşağıdaki Eş.ten elde edilebilir;

$$P_{cu2} = (I_2)^2 * R_2$$

$$AG \text{ Kayıp} = (393.7/\sqrt{3})^2 * 0.4719 = 2.4381e+04 \text{ W} = 24.381 \text{ kW}$$

Toplam sekonder bakır kaybı;

$$P_{cuT2} = P_{cu2} + P_{ac2} = P_{cu2} + 0.05 * P_{cu2} = 1.05 * P_{cu2} = 2.5600e+04 \text{ W} = 25.6 \text{ kW}$$

Sekonder bakır kaybını hesaplamak için;

$$R_1 75^\circ = \frac{2683}{34.81} * \frac{310}{255} * 0.01786 = 1.6735$$

$$P_{cu1} = (I_1)^2 * R_1$$

$$(131.2)^2 * 1.6735 = 2.8807e+04 \text{ W} = 28.807 \text{ kW}$$

Toplam primer bakır kaybı;

$$P_{cuT1} = P_{cu1} + P_{ac1} = P_{cu1} + 0.05 * P_{cu1} = 1.05 * P_{cu1} = 30.2474 \text{ kW}$$

Transformatör toplam bakır kaybı;

$$PT = P_{cuT1} + P_{cuT2} = 25.6 + 30.2474 = 55.8474 \text{ kW}$$

Transformatörüm Toplam Kayıp hesabı (PT);

$$PT = P_{fe} + P_{cuT}$$

$$= 7037.9966 + 55847.4 \text{ W} = 62885.3966 = 62.8853 \text{ KW}$$

5.11. Trafolarda Ayar Sargısı Çeşitleri

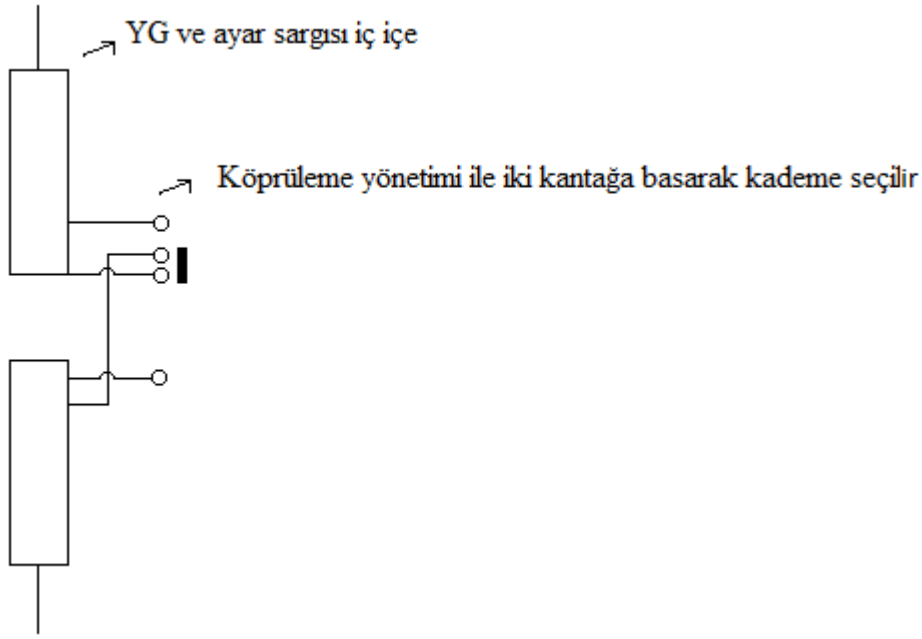
Ayar sargısının çeşidini belirlemek için gerilim ayar tipi (yükte ya da boşta olması) , gerilim ayar sahası, manyetik ve dielektrik faktörler gibi durumlar göz önünde bulundurulur.

Ayar sargısı çeşitlerini iki ana başlıkta inceleyebiliriz.

5.11.1. Ayar sargısının YG sargısı içerisinde olduğu durum

Bu tip genelde gerilim ayar sahasının % 10' dan küçük ve kademe sayısının 5' den küçük olduğu durumda kullanılır. Kademe değiştirici bu tipte kademe sargılarına köprü şeklinde basar. Bu tipin kullanılmasındaki avantajlar ayrı bir ayar sargısı üretilmez, böylece zaman kaybı yaşanmaz, tasarımda bobinlerde fazladan yer kaplayan bir sargı olmaz.

Sargı enerjilendirildiğinde kullanılmayan kademelerin sargılarda oluşan Amper – sarım boşluğu sargıdaki aksiyal kuvvetlerin zorlamalarında artışa sebep olur ve bunu zayıflatmak adına bazı önlemler alınmalıdır.



Şekil 5.16. kademe sargılarına köprü tipi kullanımı [36]

5.11.2. Ayar sargısının ayrı bir sargı olması durumu

Bu tipi gerilim ayar sargısı ve kademe sayısının daha fazla olduğu durumda kullanır. Genel olarak 3 farklı çeşidi vardır.

Lineer Tip

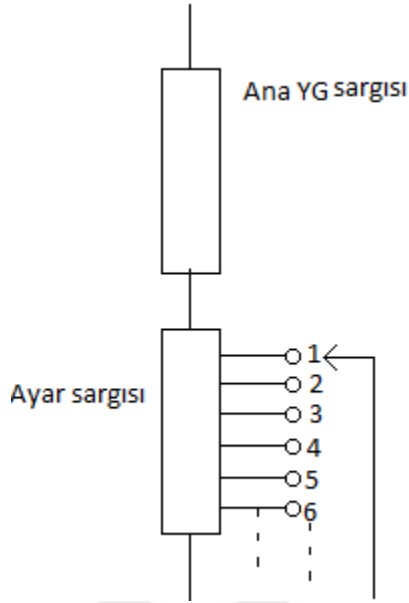
Genellikle hem boşta hem de yükte kademe değıştiricili tipler için kullanılabilir.

Gerilim ayar sahasında sınırlama olmamasıyla birlikte maksimum kademe sayısı yaklaşık 17' dir .

YG sargısının yıldız olması ve kademeli izolasyonlu olması durumunda YG sargısının nötr çıkışına ayar sargısı bağlanır ve aksiyal zorlanmalar ile dielektrik problemlerin önüne geçilir.

Lineer tipte trafonun yükte kaybı yaklaşık olarak her kademedede sabit kalır.

Dezavantajı ise kademe sayısının diğ er uygulamalara göre sınırlı olmasıdır.

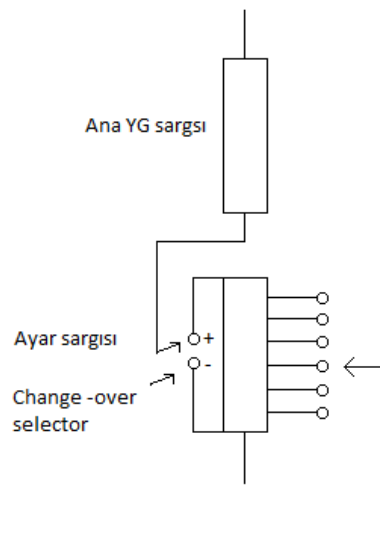


Şekil 5.17. Lineer tipi ayar sargısı kullanımı[36]

Reversing tip

Bu bağlantı tipi yükte kademe değiştiricili trafolarla kullanılır. Bir yer değiştiren seçici (change –over sector) yardımı ile ayar sargısının en başına ya da en sonuna bağlanılır. Bu sayede akı ile aynı yönde olduğunda ekleme ters yönde olduğunda çıkarma işlemi yapılmış gibi olur ve gerilim istenilen seviyelere ayarlanır.

Ayar gerilimi sargısı ayar sargısının iki katıdır.



Şekil 5.18. Reversing tipi [36]

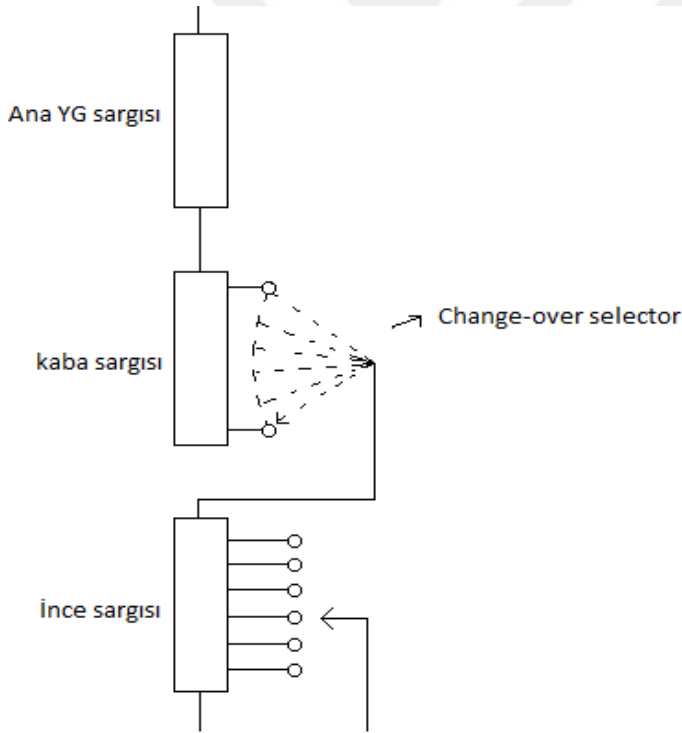
Şekil 5.18’da change over selector “ +” duruma geldiğinde pozitif yönde kademeler alınırken, “-” durumda ters yönde akı elde edildiği için negatif yönde kademeler alınır.

Maksimum kademe sayısı 35 olarak belirlenebilir. Lineer tiple karşılaştırıldığında 1b kademedan daha fazla durumda reversing tip daha uygundur.

Ancak Lineer tipi göre kademeler değıştikçe yükteki kayıplar daha fazla değışecektir. Maksimum kademe pozisyonu nominal kademe pozisyonu yükte kayıpları birbirine yakinken minimum negatif sargı alındığında yükte kayıplar fazladır.

Coarse/fine – kaba/ ince ayar sargısı tipi

Bu ayar sargısı tipinde bir change over selector (yer değıştiren seçici) kaba denilen sargıyı devreye alma ya da çıkarma işlevi görür.



Şekil 5.19. Tek kaba sargılı coarse-fine uygulame şekli [36]

Ayar gerilim sargısı ince sargının iki kattadır.

Özel uygulamalarda kaba sargının birden fazla olması ile kademe sayısı yaklaşık 100'lere getirilebilir.

Reversing tipine göre negatif kademedeki yükte kayıplar pozitif kademedekiler ile aynı farklara sahiptir.

Şekil 5.19'deki change -over selector yardımı ile kaba sargı devreye alınır ya da çıkartılır.

5.12. Kullanılan Analiz Yöntemleri

FEM analiz kısmı, MAXWELL programında çekirdek kayıplarının sinüzoidal olmayan gerilimler altında analizini kapsamaktadır.

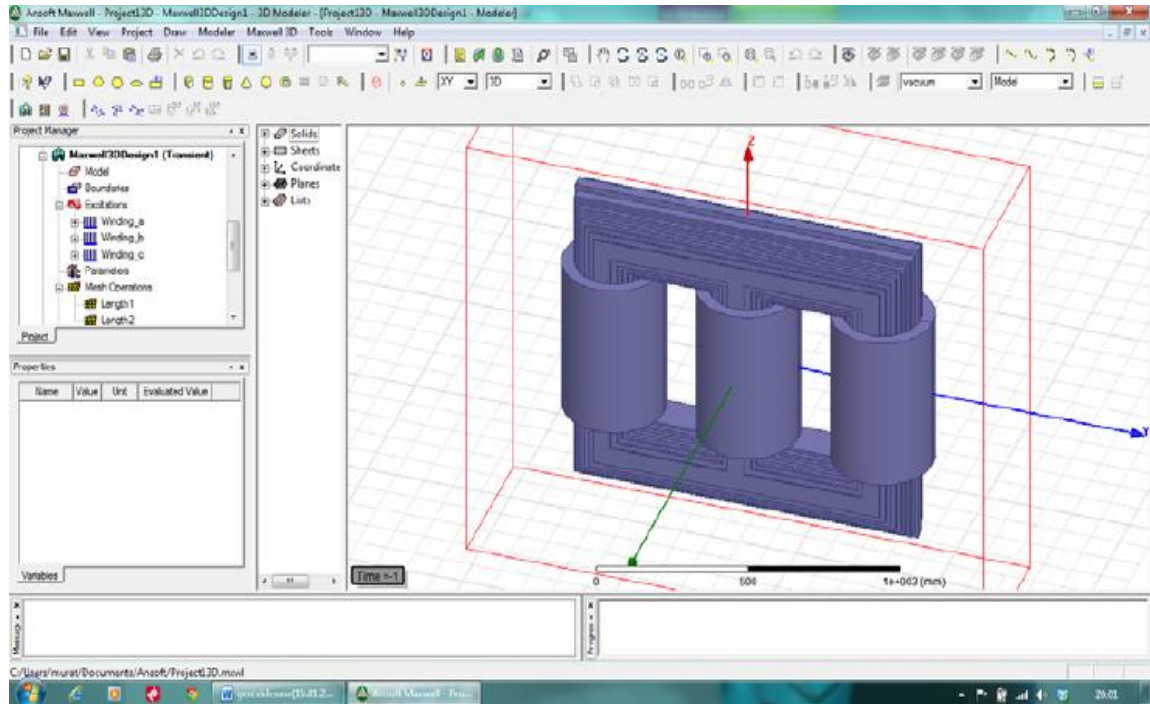
Transformatör kayıplarının FEM analiz süresini kısaltmak amacıyla literatürde birçok çalışmada 3 boyutlu (3D) FEM analizi yerine 2 boyutlu (2D) FEM analizi kullanılmıştır. Aynı gerekçeyle bu tez kapsamında oluşturulan algorithmada 2 boyutlu (2D) FEM analizi tercih edilmiştir.

Bununla birlikte ileride yapılacak yayın çalışmalarında ihtiyaç duyulabilme ihtimaline karşı MAXWELL programında 2D ve 3D transformatör çekirdek kaybı hesabına ilişkin adımlar birlikte incelenmiş ve ilgili prosedür aşağıda özetlenmiştir.

5.12.1. Çekirdek kaybının Maxwell 3D FEM analizi

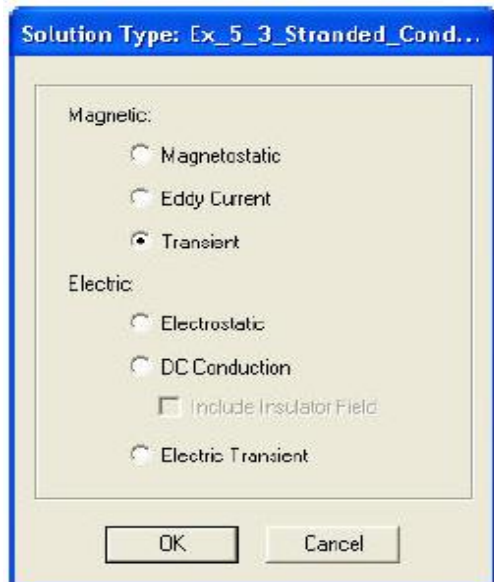
MAXWELL programında çekirdek kayıplarının 3 boyutlu (3D) hesabına ilişkin aşamalar aşağıda sıralanmıştır:

I. İlk olarak SOLIDWORKS programında çizilen transformatör geometrisi “Modeler” menüsünden import seçeneği tıklanarak MAXWELL programına aktarılır. MAXWELL de sadece çekirdek kayıpları hesaplanacağından dolayı SOLIDWORKS te geometri hazırlanırken çekirdek ve primer veya sekonder tarafın sargıları çizilir. Ayrıca geometri hazırlanırken sargı kalınlıkları ve boyları gerçeğe uygun olacak şekilde kabaca çizilir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Transformatörün 3D geometrisi

II. Daha sonra MAXWELL 3D menüsünden çözüm tipi geçici hal (transient) analiz olarak seçilir (Şekil 5.21).



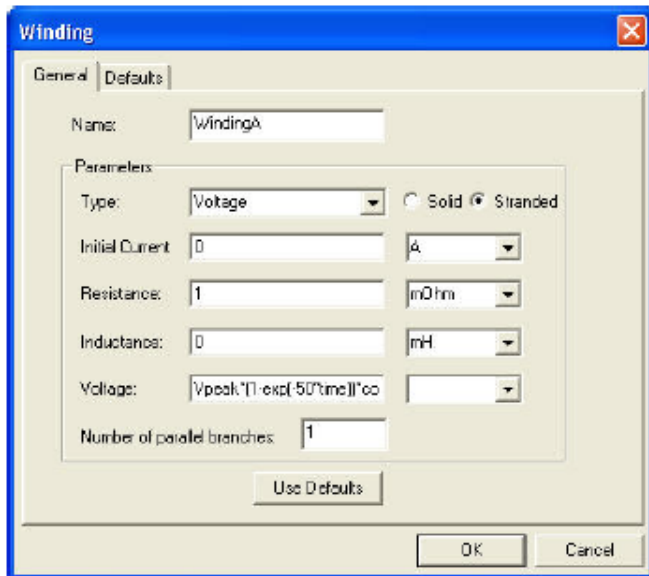
Şekil 5.21. Analiz tipinin seçildiği menü

III. Sargıların terminallerini belirlemek amacıyla aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılır:

- Modeler menüsünün Surface Section sekmesin den XZ yüzeyi seçilir.

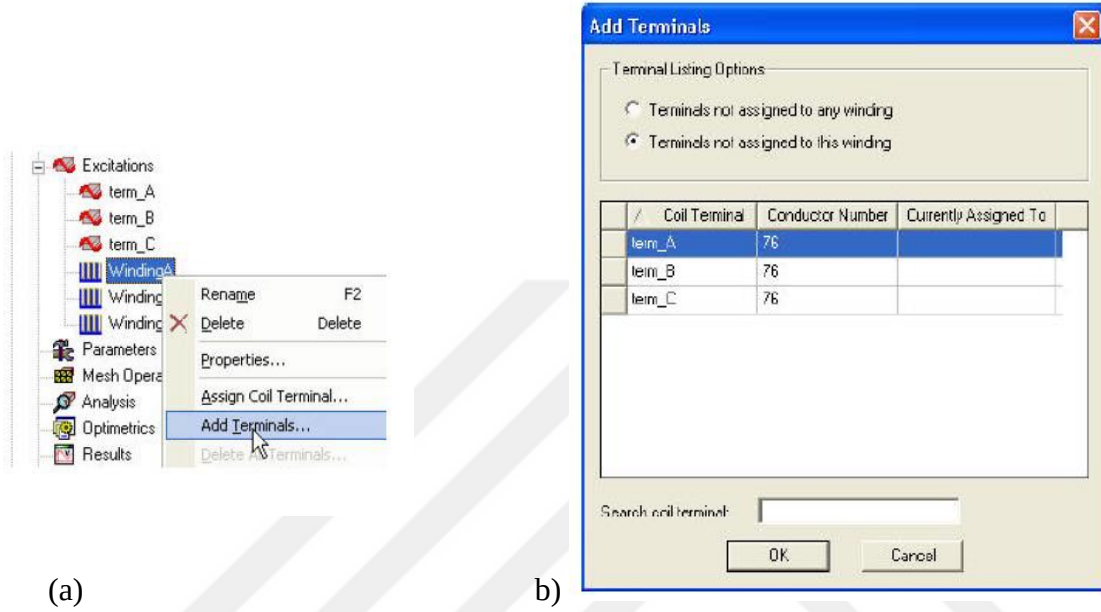
- Programın geçmiş işlemler kısmında (history tree) gözükken sargı yüzeyleri (SectionA, SectionB ve SectionC) seçilir, Modeler menüsünün Boolean ve Separate Bodies Sekmeleri sırasıyla tıklanarak her bir bobin yüzeyi XZ doğrultusunda ikiye parçaya ayrılmış olur. (SectionA,SectionB_Seperate1,SectionB,SectionB_Seperate1,SectionC,SectionC_Seperate1).
- Bu sargı yüzey parçalarından birer tanesi (SectionB_Seperate1, SectionB_Seperate1, SectionC_Seperate1) silinir.
- Programın geçmiş işlemler kısmından yeni XZ doğrultusu yüzeyler (SectionA, SectionB, SectionC) sırayla seçilir ve her biri için MAXWEL 3D menüsünden Excitations, Assign, Coil Terminal sekmeleri seçildiğinde açılan pencereye terminal ismi ve sargılarının sarım sayısı girilir.
- Böylece uyarma gerilimi / akımının verilmesi için sargı terminalleri belirlenmiş olur.

IV. Sargıların tipi, direnç parametresi ve o sargıya uygulanacak uyarma geriliminin zaman domeninde fonksiyonunu girmek amacıyla MAXWELL 3D menüsünün Excitations, Add Winding sekmeleri sırasıyla tıklanarak Şekil 5.22’da verilmiş olan pencerenin ilgili yerleri doldurulur. Bu işlem bütün sargılar için gerçekleştirilir. Gerilim uyarması seçildiğinde analizler sırasında sargının endüktans parametresini program kendi hesap etmesi sebebiyle bu parametre girilmez.



Şekil 5.22. Sargı direnç parametresi, sargı tipi, sargıdan başlangıçta akan akım ve sargıya uygulanacak uyarma gerilimi veya akımının fonksiyonunun girileceği pencere

V. III. ve IV. adımlarda oluşturulan terminaller (term_A, term_B ve term_C) ile sargılar (WindingA, WindingB ve WindingC) arasında ilişki kurmak için her bir sargı üzerine gelinip sağ tuşa tıklanıp Add Terminals sekmesi seçilir (Şekil 5.23(a)). Böylece Şekil 5.23(b)'deki açılan pencereden sargılara ait terminaller tanımlanmış olur.



Şekil 5.23. Terminaller ve sargıların birbirine tanıtılması

VI. Simülasyonun ne kadar büyüklükte bir alan için yapılacağı yani sınırlar Draw menüsünden Region sekmesi tıklanarak tanımlanır.

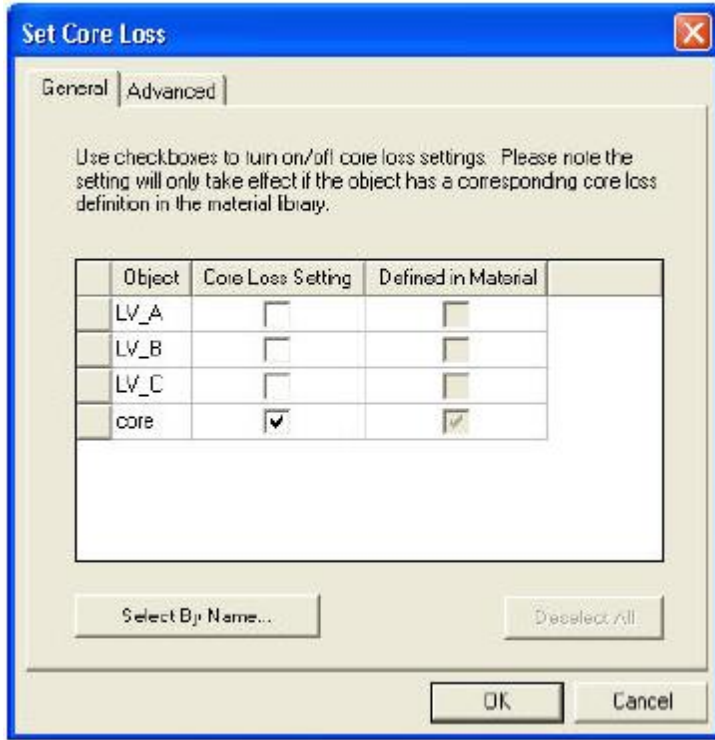
VII. Geometri üzerinden sargılar seçilip Assign Material menüsü tıklanarak açılan pencereden sargı malzemesi seçilir.

VIII. Geometri üzerinden çekirdek seçilip Assign Material menüsü tıklanarak açılan pencereden çekirdeğin yapıldığı malzeme seçilir. Denenecek malzeme cinsleri MAXWELL'in kütüphanesinde bulunmadığı takdirde Add Material butonuna basılıp malzemelere ait B-H eğrileri girilir. Daha sonra aynı menüden çekirdek kayıp tipi electrical steel seçilir ve saç kalınlığı, iletkenliği ve ağırlığı B-P eğrisi ile bu eğrinin elde edildiği frekans değerleri girilir.

IX. Geometriden sırayla çekirdek ve sargılar seçilip MAXWELL 3D menüsünden Mesh Operations, Assign, Inside Selection, Length Based sekmeleri tıklanarak Restrict Length of Elements seçeneği iptal edilip Maximum Number of Elements seçeneği onaylanıp; azami kaç nokta kullanarak mesh yapılacağı girilir.

X. Çekirdek kayıplarının hesap edilmesi için MAXWELL 3D menüsünden Excitations ve Set Core Loss sekmeleri sırayla seçilerek açılan pencerede Çekirdek (core) seçeneği onaylanır (Şekil 5.24).

XI. Son olarak analiz ayarları yapılır. Bu ayarlarda analiz süresi, zaman adımı, hassasiyet tanımlanır.



Şekil 5.24. Çekirdek kayıplarının hesaplanması için onaylanan pencere

5.12.2. Çekirdek kaybının Maxwell 2D FEM analizi

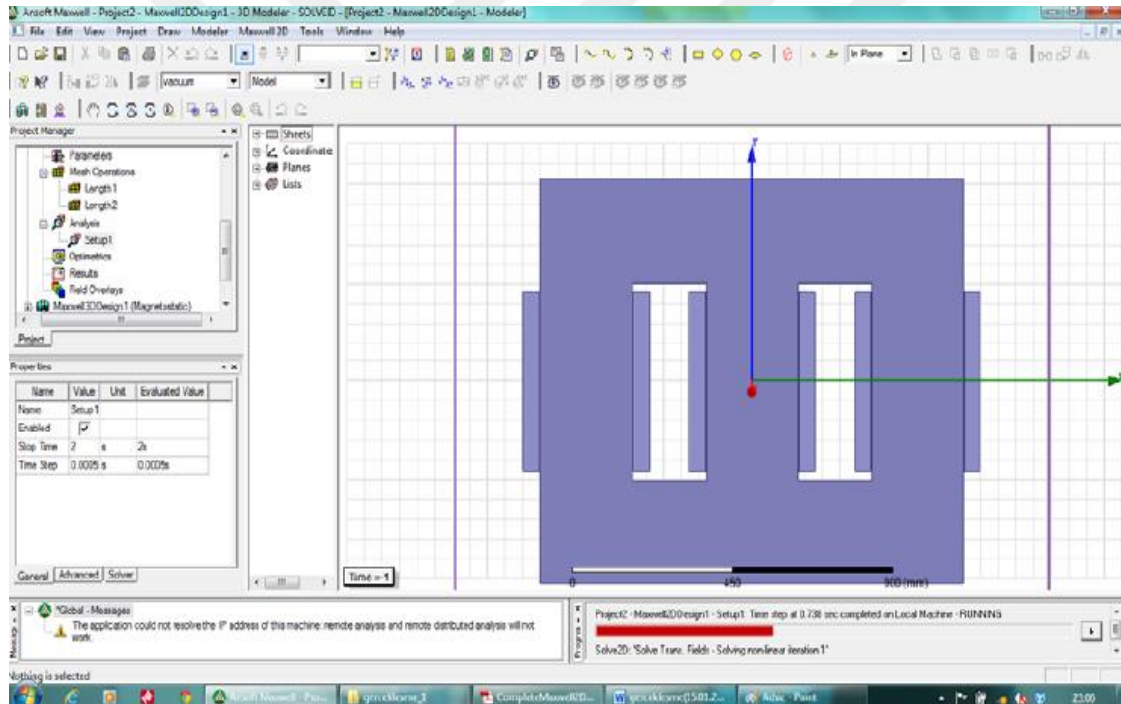
Maxwell programında çekirdek kayıplarının 2 boyutlu (2D) hesabına ilişkin aşamalar aşağıda sıralanmıştır. Bu sıralama yapılırken transformatör geometrisinin MAXWELL 3D'ye aktarılmış olduğu kabul edilerek anlatıma başlanmıştır.

I. Maxwell 3D menüsünden Create 2D design seçilir ve açılan pencerede;

Coordinate system sekmesi Global, Section plane sekmesi ZX ve 2D Geometry mode sekmesi XY seçilir (Şekil 5.25). Böylece daha önce Maxwell programına aktarılan 3D çizimden 2D çizime geçilir (Şekil 5.26).



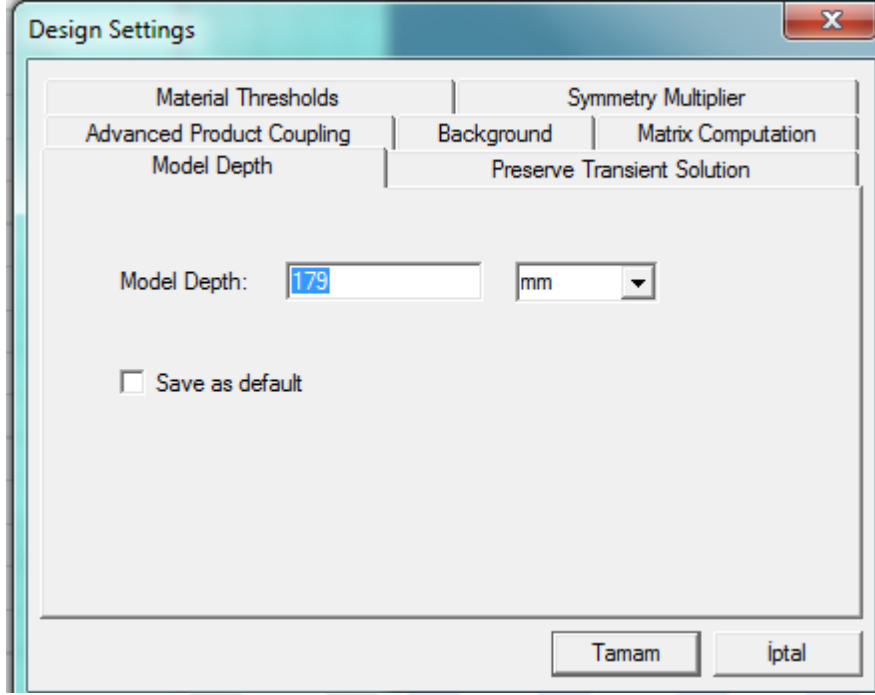
Şekil 5.25. 3D geometriden 2D geometriye geçiş menüsü



Şekil 5.26. Şekil 5.20’de verilen 3D transformatör geometrisinin 2D hali

II. Maxwell 2D menüsünden çözüm tipi geçici hal olarak seçilir.

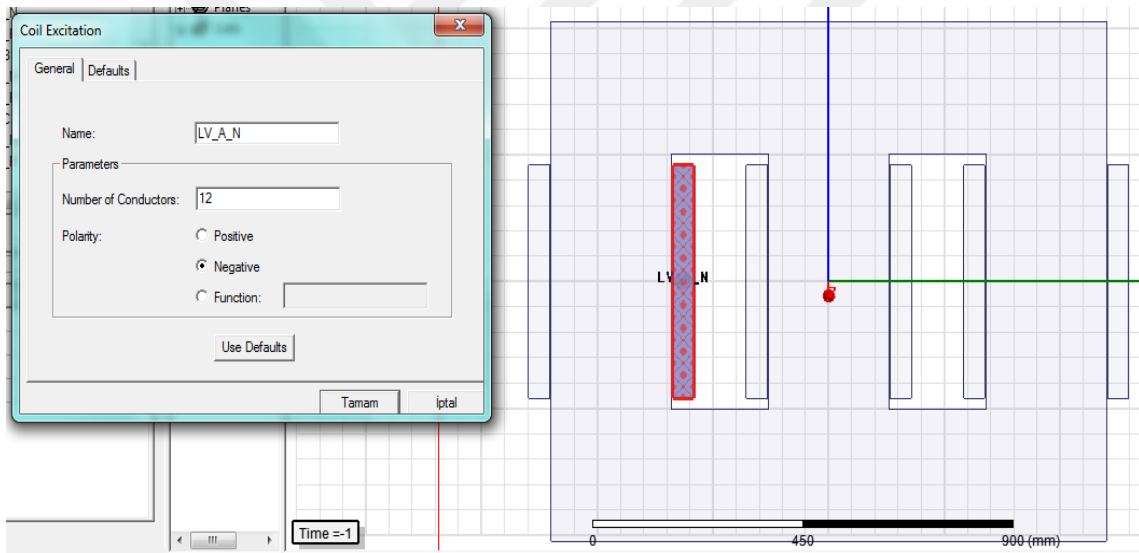
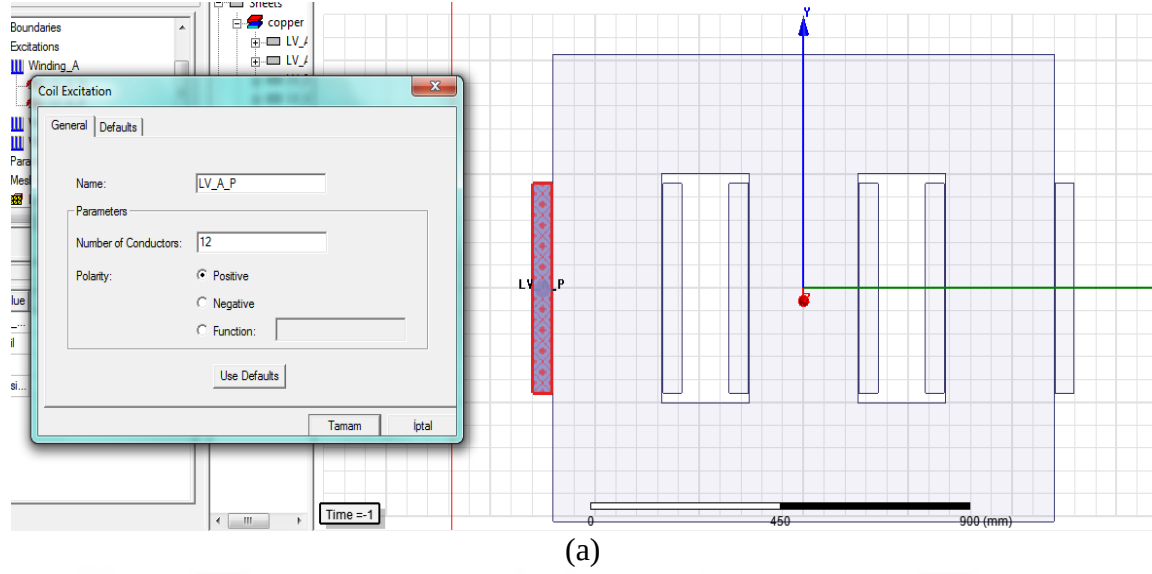
III. 3D geometrideki aynı kesit alanı verecek şekilde 2D geometrinin derinliği hesaplanır ve bu derinlik değeri Maxwell 2D menüsünden Model ve Set Model Depth sekmeleri sırasıyla tıklanıp açılan pencerede ilgili yere yazılır (Şekil5.27).



Şekil 5.27. 2D geometrinin derinlik değerinin girildiği pencere

IV. Sargılar seçilir ve Modeler menüsünün Boolean ve Separate Bodies sekmeleri sırasıyla tıklanarak her bir sargı iki parçaya ayrılır. Her bir sargıya ait bu parçalar biri akımın girdiği diğeri ise akımın çıktığı parça olarak tanımlanır.

- Bunun için parçalardan biri seçildikten sonra Maxwell 2D menüsünden Excitations, Assign ve Coil sekmeleri sırasıyla tıklanıp açılan pencerede Polarity positive olarak tanımlanır ayrıca yine bu parçadaki iletken sayısı Number of conductors kısmına yazılır (Şekil 5.28(a)).
- Daha sonra parçalardan diğeri seçilir ve yine Maxwell 2D menüsünden Excitations, Assign ve Coil sekmeleri sırasıyla tıklanıp açılan pencerede Polarity Negative olarak tanımlanır, bu parçadaki iletken sayısı Number of conductors kısmına yazılır (Şekil 28(b)).

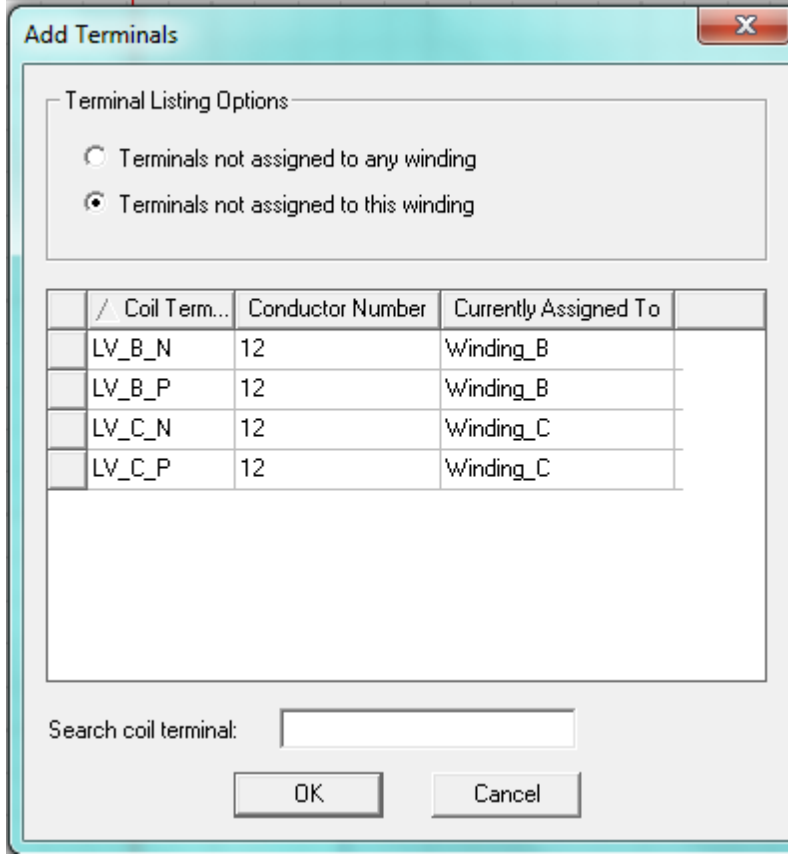


Şekil 5.28. Sargılar için akım giriş/çıkış yönlerinin belirlenmesi ve sargı iletken sayılarının girilmesi

V. Sargıların tipi, direnç parametresi ve o sargıya uygulanacak uyarma geriliminin zaman domeninde fonksiyonunu tanımlamak amacıyla MAXWELL 2D menüsünün Excitations, Add Winding sekmeleri sırasıyla tıklanarak Şekil 5.22’te verilmiş olan pencerenin ilgili yerleri doldurulur. Bu işlem bütün sargılar için gerçekleştirilir.

VI. Bir önceki adımda oluşturulan sargılardan herhangi biri üzerine gelinip sağ tuşa tıklanıp Add coils seçilir ve açılan pencerede bu sargıya ait adım IV’te tanımlanmış akım

giriş-çıkış parçaları (terminalleri) tıklanır (Şekil 5.29). Bu işlem diğer sargılar için de tekrarlanır.

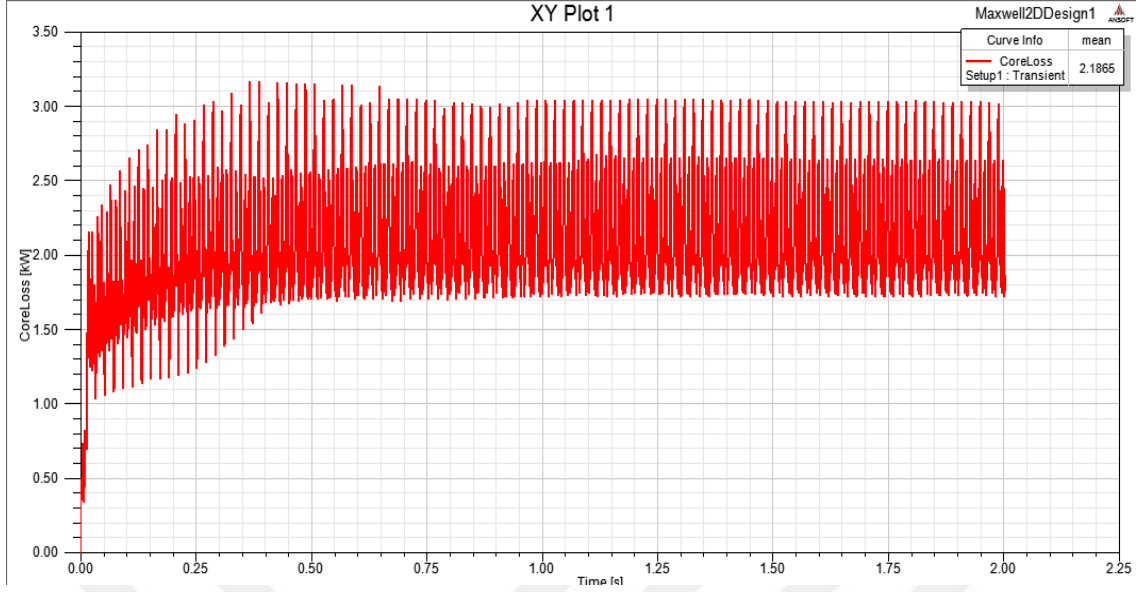


Şekil 5.29. Her bir sargıya ait terminallerin tanımlanması

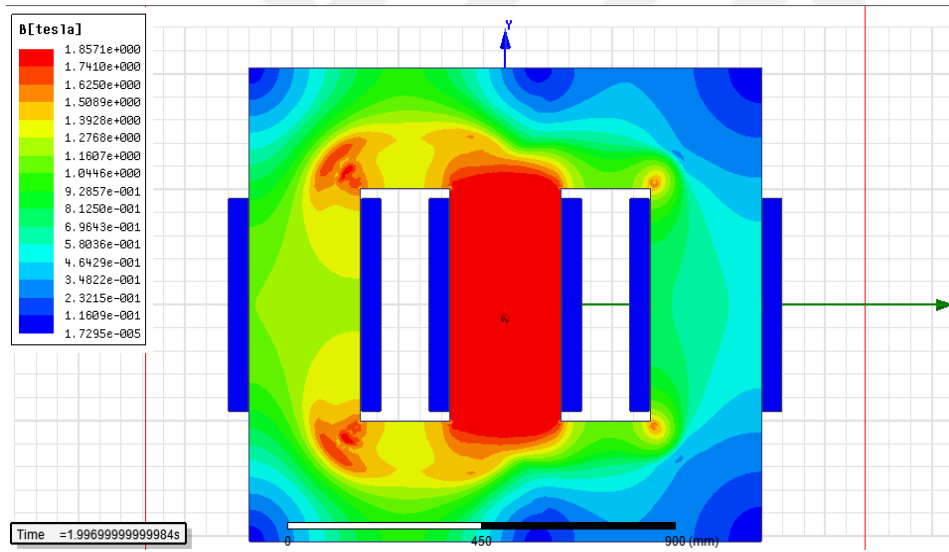
VII. Simülasyonun ne kadar büyüklükte bir alan için yapılacağı yani sınırlar Draw menüsünden Region sekmesi tıklanarak çizilir. Bu noktada 3D analizden farklı olarak; ayrıca Maxwell 2D menüsünden Boundaries, Assign, Vector potantiel sekmeleri sırasıyla tıklanarak açılan pencerede sınırın potansiyeli 0V seçilir.

VIII. Maxwell 3D analiz VII. -XI. adımları arasında yapılan işlemler 2D analiz içinde tekrarlanır. Burada dikkat edilmesi gereken husus 2D analizde sekmelerin Maxwell 2D menüsünden seçilecek olmasıdır.

MAXWELL 2D analiz programı yardımıyla sinüzoidal anma gerilimi için tasarım 1.a.'ya ait hesap edilen çekirdek kaybı Şekil 5.30'de, sinüzoidal anma gerilimi altında $t=1.99s$ 'de çekirdekteki manyetik akı yoğunluğu dağılımı ise Şekil 5.31'te verilmiştir.



Şekil 5.30. Sinüzoidal anma gerilimi için tasarım 1.a.'ya ait hesap edilen çekirdek kaybı

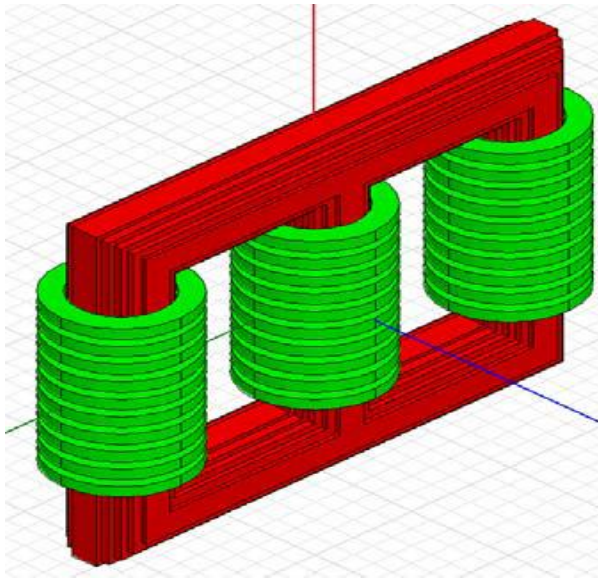


Şekil 5.31. Sinüzoidal anma gerilimi için $t=1.99\text{sn}$ 'de tasarım 1.a.'ya ait manyetik akı yoğunluğu dağılımı

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'ten tasarım 1.a.'nın sinüzoidal anma gerilimi altında çekirdek kaybının 2.18 kW ve $t=1.99\text{s}$ 'de ölçülen azami manyetik akı yoğunluğunun 1.85 Tesla olduğu görülmektedir. Tasarım 1.a.'nın Ek-1'de sunulan boşa çalışma test (elde edilen) sonuçlarına göre çekirdek kaybı 2.21 kW'dır. Diğer taraftan bu transformatörün çekirdek boyutları 1.8 T azami manyetik akı yoğunluğu civarında çalışmak üzere belirlenmiştir. Bütün bu sonuçlar FEM analizinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

5.13. 7500 kVA transformatörün boyut değişkenleri ve boyutları

Nüve dikey uzunluğu.....	1520 mm
Nüve yatay uzunluğu.....	1790 mm
Sekonder faydalı boyu.....	677 mm
Primer faydalı boyu.....	664 mm
Sekonder kalıp iç çapı	408 mm
Bobin dış çapı.....	698 mm



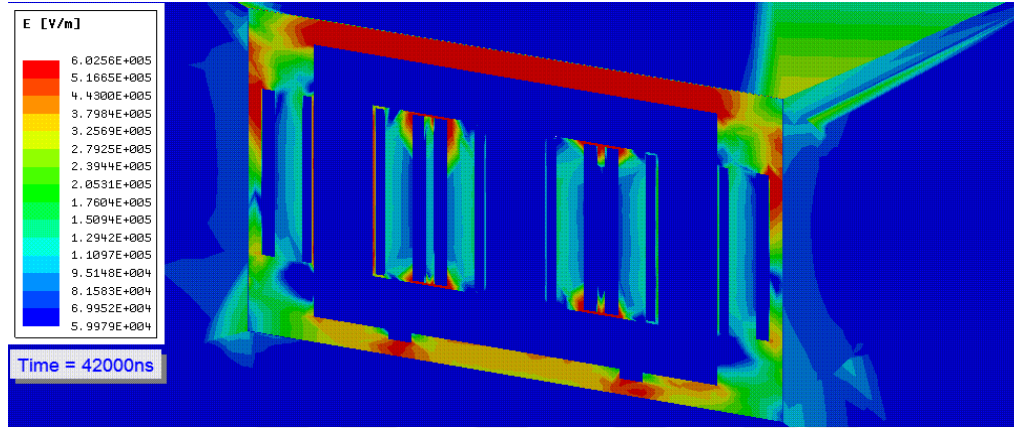
Şekil 5.32.Uç fazlı transformatör

5.14. Simülasyon Sonuçları

3 fazlı 3/0 çekirdek yapısına sahip güç transformatörünü göz önüne aldığımızda, çekirdek üzerinde oluşan manyetik endüksiyon, her faz için faz farkı oluşacak şekilde sırasıyla meydana gelmektedir. Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.38'te 2 boyutlu, 3 boyutlu akı dağılımı ve yönelimi olarak ayrı ayrı gösterilmiştir. Güç transformatörlerinde kullanılan sacların eğrilerinden elde edilen B-H eğri sonuçlarına göre, istenen boşta kayıp değerlerine sahip transformatörleri tasarlamak için maksimum manyetik endüksiyon değeri 1,60-1,75 Tesla değerleri arasından seçilmektedir. Şekil 5.38'te görüldüğü gibi transformatörün maksimum endüksiyon değeri 1,74 Tesla seviyelerindedir. Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'da ise sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı gösterilmiştir. Elektrik alan

şiddetinin yüksek olduğu yeşil olan yerler, sargılar arasındaki transformatör yağı ile dolu olan boşlukları göstermektedir. Elektrik alanın çok zayıf olduğu mavi ile gösterilen yerler ise sargıları temsil etmektedir.

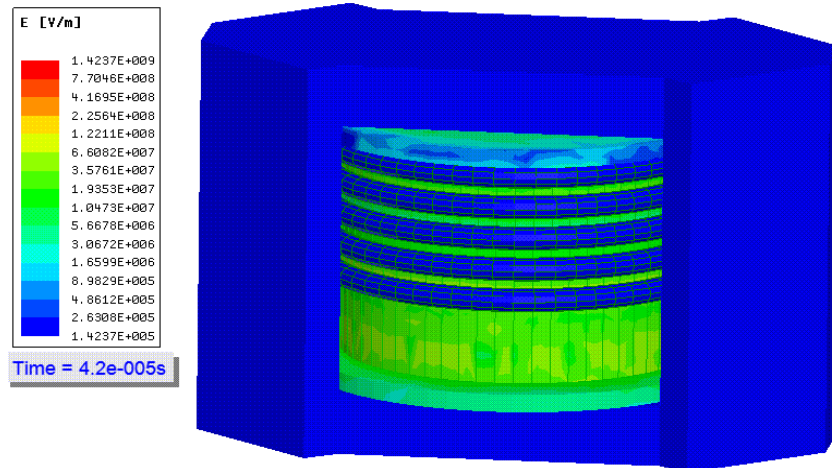
Şekil 5.33’de yapılan çalışmaya ait elektrik alan dağılımı sonucu görülmektedir.



Şekil 5. 33. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık elektrik alan dağılımı

Şekilde gösterilen çekirdek kısımları topraklanmış olduğundan içerisindeki elektrik alan sıfırdır. Şekilden görüldüğü üzere kırmızı ile gösterilen yerler elektriksel bağlantıların yapıldığı canlı noktalardır. Bu kısımların çevresinde elektrik alanı yüksektir. Çekerdeğin bacak kısımları etrafındaki dikdörtgen şeklindeki mavi kısımlar sargıları temsil etmektedir. Ve iletken içerisindeki elektrik alanı sıfır dır.

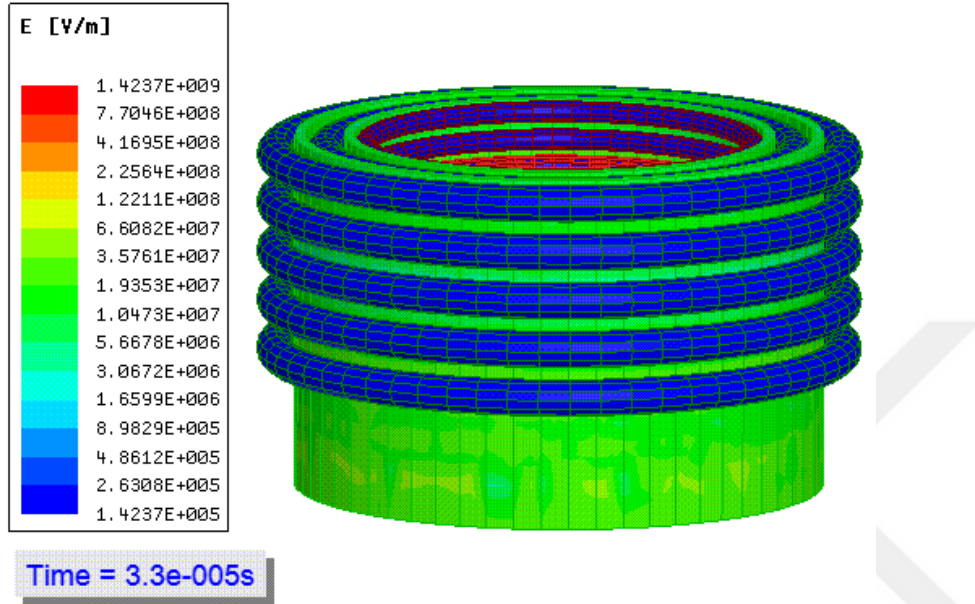
Şekil 5.34’de sargılar üzerine düşen elektrik alan dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.34. Sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı (bir fazdaki)

Sargılar etrafındaki topraklı kısımlarda elektrik alanı sıfırdır ve mavi ile gösterilmiştir

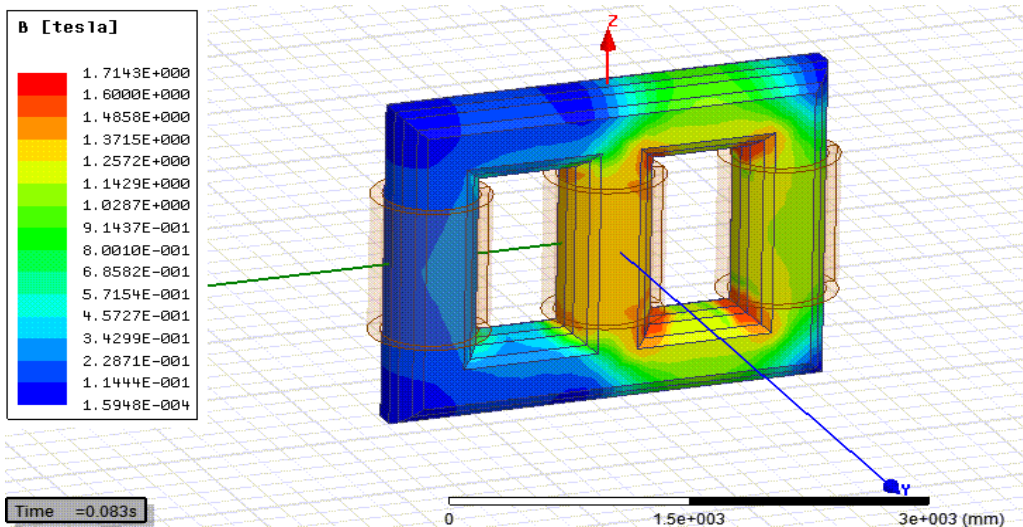
Şekil 5.35'te yapılan çalışmaya ait sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.35.Sargılar üzerindeki elektrik alan dağılımı (bir fazdaki-ayrıntılı gösterim)

Şekilde tek fazdaki bobin gösterilmiş iç olup kısmında alçak gerilim sargısı , dış kısımda ise yüksek gerilim sargısı mavi olarak görülmektedir . Yeşil kısımlar ise sargılar arası boşluklar olduğundan oluşan elektrik alanı yeşil renk ile görülmektedir.

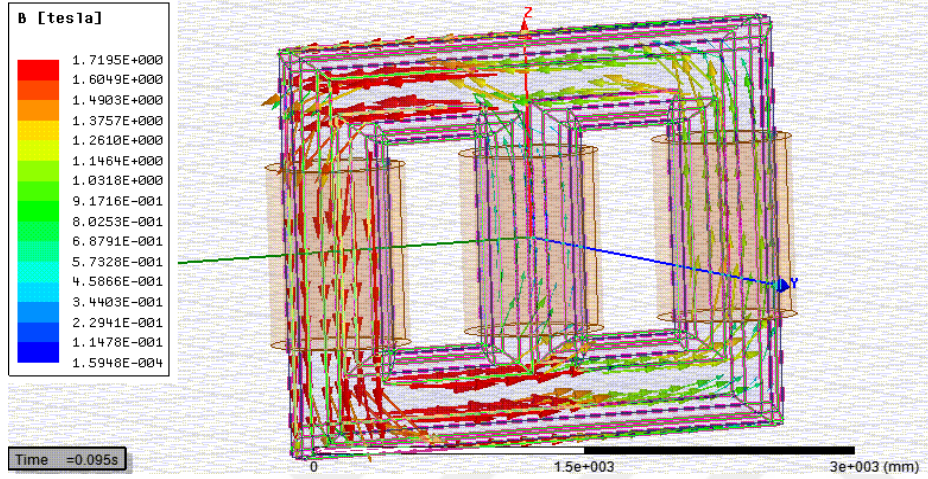
Şekil 5.36'de yapılan çalışmaya ait çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.36. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımı

Şekilde gösterilen anlık akı dağılımları üç fazlı olarak çekirdek bacaklarının sırayla endüklendiğini göstermektedir.

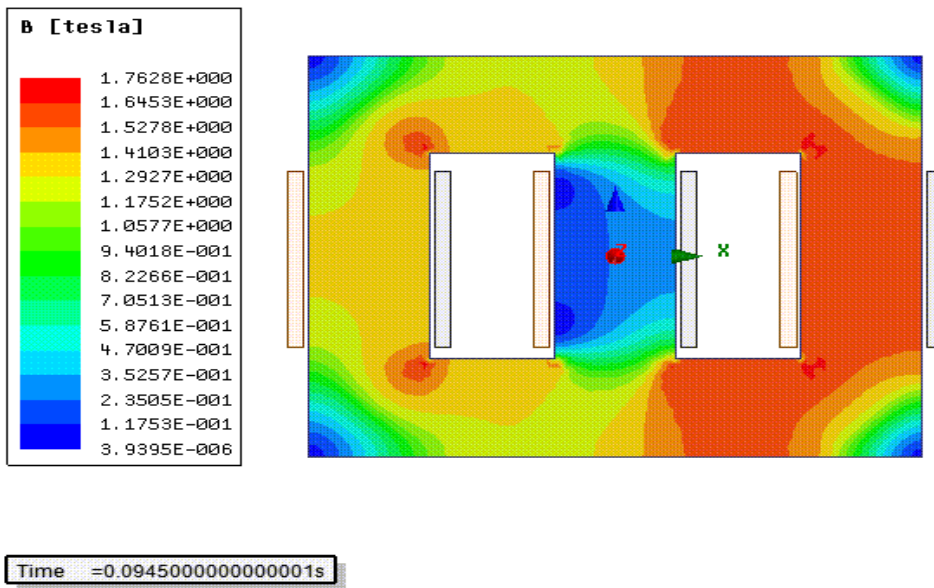
Aşağıdaki şekilde çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün diğer fazdaki anlık akı yönelimleri görülmektedir.



Şekil 5.37. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün diğer fazdaki anlık akı yönelimlerinin gösterimi

Şekilde A,B ve C fazlarında ayrı ayrı akı yönelimleri görülmektedir.

Şekil 5.38'de çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımları 2 boyutlu olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.38. 3/0 Çekirdek yapısına sahip 3 fazlı bir transformatörün anlık akı dağılımının 2 boyutlu gösterimi

Enerjilenme sonrası maksimum. yağ sıcaklık yükselmesi 54,93 ° C olarak gösterilmiştir. Transformatördeki en sıcak nokta olan hotspot, bu transformatör ısıma değerleri için uygundur. Sıcaklığın 75, 04° C olduğu gözükmetedir.



6. SONUÇ

Büyük miktarda elektrik enerjisi elektrik şebekesi tarafından taşınır ve dağıtılırken, üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi arasındaki bağlantıyı kurmak için ve iletim hattında meydana gelen güç kayıplarını azaltmak için yüksek gerilimler seviyeleri kullanılır. Bu gerilimler şebekede farklı gerilim seviyelerine sahip olup bu gerilim seviyelerinde kullanılan güç transformatörleri ile bağlantılıdır.

Bir güç transformatörünün temel olarak iki fonksiyonu vardır:

- Elektrik gücünün değişebileceğinin göz önünde bulundurulmasıyla ilgili olarak, farklı gerilim seviyelerini yüksek gerilim şebekesine bağlamak,
- Yükün değişeceği göz önünde bulundurulmasıyla ilgili olarak, gerilimi kabul edilebilir bir seviyede tutmak.

Gerilim regülasyonu, güç transformatörünün transformasyon oranını ayarlayarak tamamlanır. Bu amaç için, transformatör sargıları OLTC tarafından seçilebilen kademe sargıları ile donatılmıştır. Aktif ve reaktif güç akışı kademe değiştiricisi tarafından kontrol edilebilir. Genel olarak, yük altında kademe değiştiricilerin, ana transformatör sargıları boyunca, kademe sargılarını seçmek için kullanıldığı söylenebilir.

Tezin ikinci bölümünde transformatörlerin genel yapısı, yapısal parçaları ve çalışma şekli anlatılmıştır. Ayrıca oto transformatörlerden, çok sargılı transformatörlerden, akım transformatörleri ve gerilim transformatörlerinden bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde kademe değiştiricilere tarihsel bakış ve anket, yük altında kademe değiştiriciler, kademe değiştirici, yük altında kademe değiştirici neden önemli, yüksüz kademe değiştirici, tasarım prensipleri, yük altında kademe değiştiricinin avantajı ve yük altında kademe değiştiricinin dezavantajından bahsedilmiştir. Buna ek olarak yük altında kademe değiştiricilerin dizayn tipleri, yük altında kademe değiştiricilerin seçimi anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümde yük altında kademe değiştirici uygulamaları, kademe sargısını potansiyel bağlantı sırasında değiştirme işlemi, direnç tipi yük altında kademe değiştiricinin orta konumunu geçerken yön değiştirme anahtarının çalışması esnasında kademe sargısının / kaba sargının kaçak empedansının etkileri, anahtarlama prensibi, yük altında kademe değiştirici prensibi (pratikte),yük altında kademe değiştirici için yüksek voltaj sargısı, kutupluluklar ve yük altında kademe değiştiricilerin montajı üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, yük altında kademe değiştiricinin uygun sargı tipini belirlemek için, kademe değiştirici sargıları detaylı olarak incelenmiştir. Bir kademeli kademe değiştirici transformatörün montaj ve pratik olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Uygulamalı tasarım olarak, yağlı kademe değiştirmeli üç faz güç transformatörü için sargı dizilimi ve mesafeleri, sargıların detaylı incelemeleri ve hesaplamaları, mekanik hesaplamaları teorik olarak hesaplanmış ve pratik olarak tasarlanmıştır.

Uygulama kısmında 7500kVA 33/11 kV'luk üç faz kademe değiştirmeli güç transformatörü analiz edilmiş ve pratik olarak tasarlanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları, 2 boyutlu ve 3 boyutlu akı dağılımı, elektrik alan dağılımı ve yönelimi ayrı ayrı gösterilmiştir. İlgili trafonun tip testleri ile yapılan simülasyon çalışmalarının uygun olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Bengtsson, C. (1996). Status and trends in transformer monitoring, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(3), 1379- 1384.
2. Douglas,M. Gerson. (2002). *On load tap changer* ABB 4.3.
3. Lee, S. W, Byun, W. S, Lee, J. K ve Choi, K. D. (2007). Design of a single phase 33 MVA hts transformer with OLTC, *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, 17(12), 1939.
4. Chunng .Wangt, Wei Chent. Lin Chen, Hongzhong. Ma, ve Peng Gao. Chunliang Wang. (2010).*Energy based contact burning diagnosis and research of On- Load tap Changers*. International Conference on Electricity Distribution , Nanjing, China
5. Hillergren,Johan and Lindahl,Martin. (2010).*On Moving Contacts in On-Load Tap Changers* . Master of Science Thesis , Chalmers University of Technology , Göteborg, Sweden.
6. Aditya, Julian. (2010).*Influence of test parameters on the on-load tap changer's dynamic resistance measurement*,Master of Science Thesis, Delft University of Technology , Electrical Engineering, mathematics and computer science, Netherlands.
7. Fourie,Reinhart. (2010).*The development of a IGBT-based Tap Changer*, Master of ScienceThesis, StellenboschUniversity, Electrical & Electronic Engineering, South Africa.
8. Saez Romero , David. (2010). *Voltage regulation in distribution systems - Tap changerand Wind Power*, Maste of Science Thesis, Lund University, Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Sweden.
9. Erbrink, door Juriaan Jonathan. (2011). *On-load Tap Changer Diagnosis on High-Voltage Power Transformers using Dynamic Resistance Measurements*,Ph.D Thesis Delft University of Technology, Faculty of Engineering, Netherlands.
10. Raveechandrin, Keerthana. (2012). *Investigation of Long – Time Stability of Electrical Contacts* , Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Department of Energy and Environment, Göteborg,Sweden.
11. Sichwart ,Nelli. (2012). *Transfarmer Load Tap Changer Control using IEC 61850 Goose messaging* , Master of Science Thesis in Electrical Engineering , University of Tennessee at Chattanooga, Tennessee.
12. Dohnal,Dieter. (2013). On Load Tap changers for Power Transformer Maschinen fabrik Reinhausen GmbH ., 252 (6).
13. Rogers, Daniel J ve Green , Tim C. (2013). An Activ- shunt diverter for On – Load Tap Changers , *IEEE Transaction On Power Delivery*, 2, 64.

14. J.Lobry, B.Bakhshideh Zad ve Vallee,F. (2013). *Coordinated control of On- Load Tap Changer and D- STATCOM for voltage Regulation of Radial distribution system with DO units.* 3 International Conference on Electric Power and Energy Conversion systems Istanbul, Turkey.
15. BEng, Chao Gao. (2013). *Voltage Control in Distribution Networks using On-Load Tap Changer Transformers*, Doctor of Philosophy Thesis ,University of Bath, Department of Electronic and Electrical Engineering, United Kingdom.
16. Deakin, A.G, Spencer, J.W, Smith, D.H, Jonsen, D ,Johnson, N and Jones, G.R. (2014). Chromatic optoacoustic monitoring of Transformers and their On load Tap changers *IEEE Transaction on Power Delivery*, (29),1.
17. Gautham Ram, Chandra . Prasanth,Venugopal and Bauer,P. (2014). *Comparative Analysis of On- load tap changing (OLTC) transformer topologies* Conference,
18. Xue ,Han., Henrik,W Binder .,Mehmedalic,Jasmin and Tackie,David V. (2015). Coordinated voltage control scheme for distribution grid with On-load tap Changer and distributed energy resources in market context *IEEE* 003364.
19. Baerthlein, E.-M., Parolini,L., Hartung,M., Panosyan,A., Bernal Serra,E. and Witzmann,R. (2016). Variable bandwidth computation for Tap Changer Control in Distribution Grids *IEEE* 978-1-5090-2157.
20. Arya V., Ram, T., Haneesh, K.M. (2016). *Voltage stability analysis using L-index Under various Transformer tap changer settings.* International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, Banagalore, India.
21. Internet: Circuit magnetiques a flux alternatif Transformateurs URL: <http://www.webcitation.org/6tRGvKXivs>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
22. Fitzgerald ,A.E., Charles Kingsley,jr., StephenD,Umans. (2003). *Electric Machinery* , (sixth edition) New York : McGraw Hill.
23. Internet:ABBCompanay Power Technologue-3 Components URL: <http://www.webcitation.org/6t4kRVv1K>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
24. Georgilakis, P.S. (2009). *Spotlighting on Modern Transformer Design.* Greece:Springer.
25. Haliloğlu,A.B. (2012). *Güç Transformatörlerinin Standartlara Göre Termal Analizi* Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enistitüsü, Ankara, Türkiye.
26. Bernard,H. (1987). *Power Transformer Handbook* ,London Butterworths & Co. Ltd., ,145-145 - 148.
27. Güzelbel Oğlu,Nurdan. (2005). *Elektrik Makinalari I- II Teori Çözümlü problemleri*, İstanbul: Birsen Yayınevi .

28. Internet:Transformatörün çalışma ilkesi URL : <http://www.webcitation.org/6t4ennfSs>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
29. TMMOB ,EMO.(1988). *Orta gerilim Transformatör merkezlerinin Tasarımı* , İzmir:TMOB EMD., no: T-y-1-5.
30. Erbrink, JJ., Gulsk, E.,Smit, JJ.,Leich ,R.(2009June). *Experimental model for diagnosing on-load tap changer contact aging with dynamic resistance measurements*. 20th International conference on electricity distribution, 135, Prague Czech Republic.
31. Harlow, James H. (1993). *Transformer Tap changing Under Load a review of concepts and standards*. 64th Annual Engineering Conference, Kansas City, Missouri.
32. Internet:Transmission-line.net ,voltage regulators-definition-basicsURL: <http://www.webcitation.org/6t4exvGJ7>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
33. Kromer, Axel. (2000). On- load Tap -changer for power transformer operation Application and Selection Maschinen Febrük Reinhausen GmbH.
34. Seitz, P. P., Leich, R., Erbrink,JJ., Gulski, J.J. (2008,Apri). *Experimental model of aging mechanisms of on-load tap changer contacts*. International conference on condition monitoring and diagnosis, Beijing, China, 247- 250.
35. Internet: Tap Changers, To Tap or Not To Tap URL: <http://www.webcitation.org/6tRJ0bsyw>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
36. Seltsam, Uwe. (2013) .Design, function and operation of on- load Tap –Changers
37. Internet:On-LoadTapChangerTypeUBB URL: <http://www.webcitation.org/6t4gPr1lc>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
38. Internet: On-LoadTap Changer URL: <http://www.webcitation.org/6tt87MF87N> Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
39. Intrnet : ABB Components Rapports URL: <http://www.webcitation.org/6t88q50xE> Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
40. K, Raveechandrien. (2012). ABB AB Components, UC and VUC-Technical guide,on-load tap changers, Ludvika
41. Internet : "On-Load Tap-changers," URL: <http://www.webcitation.org/6t4fOfrZi> Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
42. Internet: "On-Load Tap-changers TypeUBB," <http://www.webcitation.org/6t4g4i11G>, (2012) Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
43. Şakrak, Ü. (1985). Aliğa II TM’de Yapılan Testlere ait Rapor, TEK Test Grup Başmühendisliği, İzmir, 85(9) 3-8

44. İlkahraman, Murat. (2008). *Güç Transformatör Arızalarının İncelenmesi*.Yüksek Lisans Tezi Elektrik- Elektronik ,Mühendisliği Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
45. Ansoft Corporation. (2005) Maxwell 3D Field Simulator URL: <http://www.webcitation.org/6tRqJNAFH>., Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
46. Internet : Smit Transformers URL: <http://www.webcitation.org/6t4fUqDk2>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
47. Interne: Astor Transformatör URL: <http://www.webcitation.org/6t4hnCxW9>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.





EK-1. Transformatörlerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan bir sayısal metoddur. İlk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olan bu metodun, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılabileceği anlaşılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise sonlu elemanlar metodu ve çözüm teknikleri hızlı gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde bir çok pratik problemin çözümü için kullanılan en iyi metodlardan birisi olmuştur. Metodun değişik mühendislik alanları için bu kadar popüler olmasının ana nedenlerinden birisi genel bir bilgisayar programının yalnız giriş verilerini değiştirerek herhangi bir özel problemin çözümü için kullanabilmesidir.

Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgenerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözümü için daha fazla çaba harcayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılmaması, hatta kesin sonuca ulaşılması mümkün olmaktadır

Sayısal yöntemler içerisinde manyeto-statik problemlerin çözümü için en popüler yöntem olan Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) tercih edilmektedir. Sonlu Elemanlar Analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir .

Sonlu elemanlar yönteminin uygulama alanları

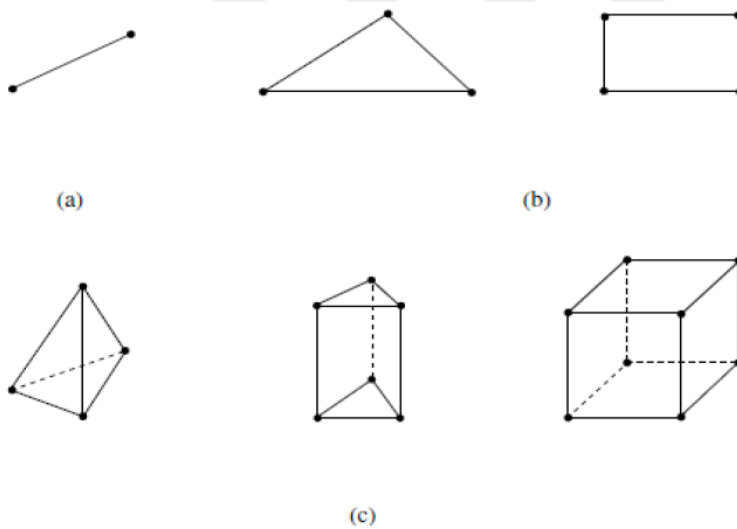
Sonlu elemanlar metodu, yapısal mekanik problemlerinin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için de basan ile kullanılmaktadır .

SEY'in temel fikri, diferansiyel denklemlerle çözümü karmaşık olan fiziksel problemin yerine geçen ve denklemleri doğrusal sistemde daha kolay çözülebilen bir dizi alt problemlere bölünmesidir

EK-1. (devam) Transformatörlerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi

Sonlu elemanlar yönteminin çözüm basamakları

Bölgenin ayrımı, sonlu eleman çözümlemesinde ilk ve belki de en önemli basamaktır. Çünkü bölgeyi ayırma yolu bilgisayarın bellek gereksinimini, hesaplama zamanını ve sayısal sonuçların doğruluğunu etkileyecektir. Tüm bölge, alt bölgeler olarak belirtilen çok sayıda küçük bölgelere bölünür. Bu alt bölgeler genellikle elemanlar olarak belirtilir. Gerçekte düz veya eğri bir çizgi olan bir- boyutlu bir bölge için elemanlar orijinal çizgiyi oluşturmak için iç içe bağlanmış kısa çizgiler halindeki parçalardır. İki-boyutlu bir bölge için, elemanlar genellikle küçük üçgen ve dikdörtgendirler. Tabi ki dikdörtgen elemanlar, dikdörtgen bölgeleri ayırmak için en uygundur. Üçgen olanlar da düzensiz bölgeler için kullanılabilirler. Üç-boyutlu bir çözümde ise; bölge tetrahedral, üçgen prizma veya dikdörtgenler prizmasına bölünebilir (Sekil 4. 1). Bunlar arasında tetrahedral olanlar en basit olanlarıdır ve keyfi hacim bölgelerine en iyi şekilde uyarlar [40]. Sonuç olarak, problem yeterli sayıda alt problemlerle çözülebileme yeteneğine sahip olmuştur.



Şekil 1.1.Temel sonlu elemanlar. (a) Bir-boyutlu. (b) İki-boyutlu. (c) Üç-boyutlu

Günümüzde sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan çok sayıda paket program bulunmaktadır. Ansoft firmasının geliştirdiği, üç boyutlu sonlu elemanlar analizi gerçekleştiren Maxwell programı, yaygın olarak kullanılan bu programlardan bir tanesidir. Maxwell hacim simülatörü, gerekli olan sonlu elemanlar ağını otomatik olarak oluşturarak, istenen elektrik ya da manyetik hacim çözümünü, kuvvet, moment, endüktans, kapasite ya da güç kaybı gibi belirlenmesi gerekli özel büyüklükleri hesaplamaktadır .

EK-2. Maxwell programında analiz kavramı ve gerekliliği

Bir konuyu temel parçalara ayırarak,daha sonra parçaları ve aralarındaki ilişkileri tanımlayarak sonucu elde etmeye analiz denilir. Programın kullanılması Tasarım kolaylığını sağlayıp ve laboratuvar ortamını bilgisayara taşıyarak oluşan maddi ve manevi kayıpları(zaman,para) azaltır. Bir Cismi bilgisayar ortamında modelleyerek oluşabilecek muhtemel tasarım hatalarını önceden belirlemesi mümkün olacaktır.

Elektrik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi

Elektromanyetik analizlerde sonlu elemanlar yöntemi elektrik ve manyetik alan ve bualanların birbiriyle etkileşimini incelemeye kullanılmaktadır. Çözülen temel fiziksel denklemler Maxwell denklemleri olup Faraday'ın endüksiyon yasasına, Amperé yasasına ve Gauss yasalarına dayanmaktadır.

Maxwell Denklemleri

Maxwell denklemlerinde iki tip elektrik alan incelenir; elektrik yükleri tarafından oluşturulan elektrostatik alanlar ve değişen manyetik alan sonucu endüklenen elektrik alanlar.

Maxwell denklemlerinin genel diferansiyel şekli

Elektromanyetik analiz problemi, verilen sınır şartlarına bağlı Maxwell denklemlerinin bir çözümüdür. Genel olarak zaman değişkenli alanlar için diferansiyel formda Maxwell denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\nabla \times E + \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \quad (\text{Faraday Yasası})$$

$$\nabla \times H - \frac{\partial D}{\partial t} = J \quad (\text{Maxwell-Amper Yasası})$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (\text{Gauss Yasası})$$

$$\nabla \cdot D = P \quad (\text{Gauss Yasası – Manyetik})$$

EK-2. (devam) EK-2. Maxwell programında analiz kavramı ve gerekliliği

Burada E elektrik alan şiddeti (V/m), D elektrik akı yoğunluğu (C/m²), H Manyetik alan şiddeti (A/m), B manyetik akı yoğunluğu (Wb/m²), J elektrik akım yoğunluğu (A/m²) ve ρ elektrik yük yoğunluğu (C/m³) olarak verilir.

Ansoft Maxwell programı nedir

Maxwell, düşük frekanslı elektromanyetik alan simülasyonu için geliştirilmiş bir yazılımdır. Elektromıknatıs, indükleyiciler, motor, akçuatörler (actuator), sabit mıknatıs, kaçak akı, alan, ısı hesapları ve diğer elektromanyetik ve elektromekanik uygulamalarda üç ve iki boyutlu yapıların tasarımında kullanılabilir. Sonlu elemanlar yöntemiyle Maxwell denklemlerini çözerek analizi gerçekleştirilir ve kendinden uyarlamalı ağ oluşturarak en uygun sonlu elemanlar ağını probleme göre geliştirir. Bu ağ iyileştirme algoritması; yakınsama yapılırken en uygun sonlu elemanlar ağını oluşturur, çözüm işlemini kolaylaştırır ve yazılımın kullanımını kolaylaştırır.

Maxwell; statik, frekans ve zaman bölgesinde elektromanyetik ve elektrik alanlarını çözer. Buna ek olarak, güçlü, sistem seviyesinde elektromanyetik tabanlı tasarım akışı yaratmak için Simplorer'a bağlanabilir. Bu akış; kullanıcılara, tüm sistemleri tasarlamak ve analiz etmek için Maxwell'de oluşturulan hassas parça bileşenleri ile kompleks devreleri birleştirme olanağı verir. Ayrıca mühendislerin kompleks multi-fizik çalışmaları yapmaları için

Ansoft Maxwell program kullanma faydaları

- Sonlu elemanlar yöntemiyle Maxwell denklemlerini çözer.
- Uygun sınır koşulları kullanarak sonlu bir bölgede çalışır.
- Statik ve dinamik manyetik alan analizleri için kullanılır.
- Yüksek performanslı interaktif bir programdır.
- Başka programlarla birlikte çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Verilen sınır değerlerine göre ağ oluşturma işlemini otomatik olarak yaparak en uygun ağ oluşturur.

EK-2. (devam) Maxwell programında analiz kavramı ve gerekliliği

- Alçak Frekans çözümleri : elektrik makinalarında (motor, generatör),baralarda, busbarlarda, kablo, hat uygulamalarında, orta gerilim elemanlarında ,mıknatıslarda, transformatörlerde (güç ve ölçme tr.), sargılarda, ve bobinlerde uygulanabilir.

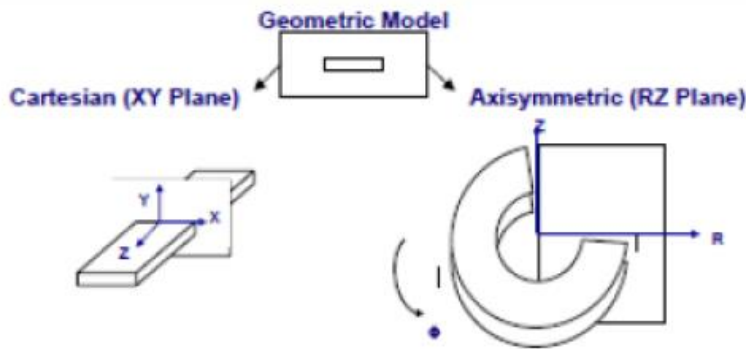
Ansoft Maxwell Kullanarak Bir Problem Çözme Sürecinin Prosedürü

Model geometrisinin çizilmesi

Bilgisayar destekli olarak fiziksel ortamın geometrisinin oluşturulması aşağıdaki paragraflarda açıklanacaktır. Programın kendine özel bir çizim yapısı altında istenilen model geometrisini oluşturmak mümkündür.

Koordinat ve çözümler

Modellemede kartezyen koordinatlar (XY plane) veya asimetric modelleme kullanılabilmektedir.



Şekil 2.1. Geometrik modele göre koordinat sistemi seçilir.

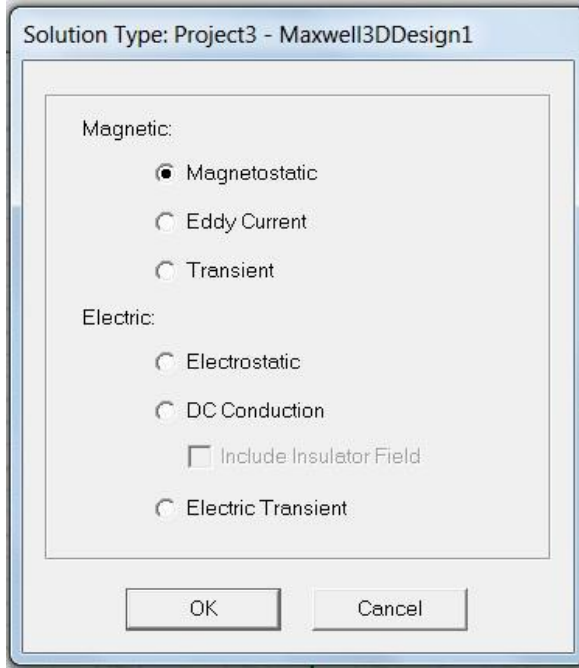
Ansoft Maxwell programında 5 tür farklı çözücü vardır

Çözücü alanlarının türleri sunulmaktadır:

- Elektrik Alan Çözümleri
- Manyetik Alan Çözümleri
- Girdap Akımları Çözümleri

EK-2. (devam) Maxwell programında analiz kavramı ve gerekliliği

- Zamana Bağlı Çözümler
- Frekansa Bağlı Çözümler



Şekil 2.2 Çözücü seçme şekli

EK-3. Çalışmada kullanılan transformatör ve kademe değıştirici cihazların resimleri



Resim 3.1. Fabrikada kullanılan yük altında kademe değıştirici sargı tipi belirlenmesi



Resim 3.2. Kullanılan transformatör ve kademe değıştirici

EK-3. (devam) Çalışmada kullanılan transformatör ve kademe değiştirici cihazların resimleri



Resim 3.3. Kullanılan kademe değiştiricisi ve transformatör



Resim 3.4. Kademe değiştiricisindeki kontrol kutusu

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :MIRZAD, Ahmad Farid
 Uyuğu :Afganistan
 Doğum tarihi ve yeri :05.04.1974, Kabil - Afganistan
 Medeni hali :Evli
 Telefon :0553288 91 90
 e-mail : ahmadfaridmirzad@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Müh. Fak.)	2017
Lisans	Kabil Üniversitesi /Makine Mühendisliği	1998
Lise	Nadirya Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-2005	Maden ve Sanayi Bakanlığı	Makine Mühendisi
2006-2010	Ticaret Bakanlığı	Devlet Müdürü
2010- 2011	Afganistan Ulusal Standartlar Otoritesi	Devlet Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce , Farsça , paštoça

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, voleybol, kitap okuma , Gezi



GAZİ GELECEKTİR...