

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVA ARALIKLARI EŞİT DAĞITILMIŞ ŞÖNT REAKTÖRLERİN BENZETİM
ÇALIŞMASI**

EMRE KURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM ŞENOL**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVA ARALIKLARI EŞİT DAĞITILMIŞ ŞÖNT REAKTÖRLERİN BENZETİM
ÇALIŞMASI**

Emre Kurt tarafından hazırlanan tez çalışması 09/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim ŞENOL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim ŞENOL

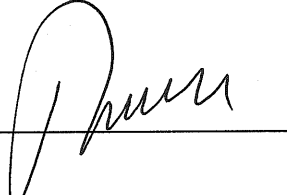
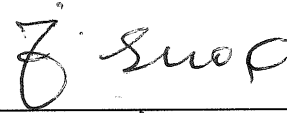
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nur BEKİROĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erhan BÜTÜN

Özyeğin Üniversitesi



ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek lisans öğrenimim boyunca; bilgi ve birikimlerini benimle paylaşıp yol gösteren ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. İbrahim Şenol'a,

Tezimin yazımı, öğrenim hayatım ve sosyal hayatımda her zaman yardım ve desteklerini benden esirgemeyen, yol gösteren hocalarım Arş. Gör. Fatma Keskin Arabul ve Arş. Gör. Dr. A. Yiğit Arabul' a,

Hayatımda her zaman arkamda duran, beni bu günlere yetiştiren, sahip olunabilecek en iyi aileye sahip olduğumu düşündüren başta annem ve babam olmak üzere tüm aile bireylerime teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2017

Emre KURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
REAKTÖRÜN KULLANIM ALANLARI VE SİSTEMDEKİ DURUMU	4
2.1 Reaktörlerin Yapısı	4
2.2 Şönt Reaktörlerin Yapıları ve Kullanım Amaçları	4
2.3 Şönt Reaktörlerin Kullanım Alanları.....	6
2.4 Ülkemizde Kullanılmakta Olan Şönt Reaktörlerin Standart ve Özellikleri ..	7
BÖLÜM 3	
MODELLENEN REAKTÖRÜN DİZAYN VE YAPISI	10
3.1 Nüvenin Tasarımı	11
3.2 Reaktör Sargılarının Belirlenmesi.....	16
3.3 Benzetim Çalışmasında Kullanılan Yöntem.....	17

BÖLÜM 4

BENZETİM ÇALIŞMASI	19
4.1 Endüktans Değeri Hesaplanması	19
4.2 Geçici Rejim Analizi	24
4.2.1 1 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları.....	26
4.2.2 10 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları.....	29
4.2.3 30 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları.....	33
4.3 Ekonomik ve Verimsel Analiz	36

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	46

SİMGE LİSTESİ

L	Sargının endüktans değeri
V_e	Nominal gerilim
I_e	Nominal akım
Q	Reaktif güç
ω	Açısal hız
f	Frekans
Φ_m	Maksimum manyetik akı
N	Sargının sarım sayısı
A_g	Hava aralığı alanı
l_g	Toplam hava aralığı uzunluğu
μ_0	Havanın manyetik geçirgenliği
B_m	Maksimum manyetik akı
A_i	Nüve bacağının yüzey alanı
B_w	Reaktör pencere genişliği
H_w	Reaktör pencere yüksekliği
A_w	Reaktör pencere alanı
r_{lay}	Bacak ve sargı arasındaki alan oranı
r_{lyw}	Bacak ve sargı arasındaki uzunluk oranı
r_{ly0}	Bacak ve nüve dış kenar uzunluk oranı
r_{ay0}	Bacak ve nüve dış kenar alanı oranı
M_{Cu}	Toplam bakır ağırlığı
γ_{Cu}	Bakır özgül ağırlığı
l_{av}	Ortalama iletken uzunluğu
M_{St}	Toplam çelik ağırlığı
γ_{St}	Çelik özgül ağırlığı
V_{leg}	Nüve bacağı hacmi
σ_{Cu}	Bakır iletkenliği
P_{Cu}	Bakır kayıpları

KISALTMA LİSTESİ

FEA	Finite Element Analysis
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Standardization Organization
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	3 fazlı Şönt Reaktör	6
Şekil 3.1	Şönt reaktör nüvesi temel yapısı	10
Şekil 3.2	Tasarlanan 3 bacaklı şönt reaktör nüve yapısı	13
Şekil 3.3	Tasarlanan 5 bacaklı nüve yapısı	14
Şekil 4.1	3-Bacaklı şönt reaktör	20
Şekil 4.2	5-Bacaklı şönt reaktör	20
Şekil 4.3	Uygulanan ağ yöntemi	21
Şekil 4.4	1 adet hava aralıklı nüve manyetik akı çizgileri	22
Şekil 4.5	5-Bacaklı nüve manyetik akı çizgileri	22
Şekil 4.6	3-Bacaklı şönt reaktör endüktans-hava aralığı sayısı grafiği	23
Şekil 4.7	5-Bacaklı şönt reaktör endüktans-hava aralığı sayısı grafiği	23
Şekil 4.8	30 adet hava aralıklı 3 ve 5 bacaklı nüve yapısı karşılaştırması	24
Şekil 4.9	M125-027 B-H Grafiği	25
Şekil 4.10	1 adet hava aralıklı şönt reaktör	27
Şekil 4.11	Reaktör akım değerleri	27
Şekil 4.12	1 numaralı sargı endüktans değeri	28
Şekil 4.13	Nüve kayıpları grafiği	28
Şekil 4.14	Manyetik akı çizgileri	28
Şekil 4.15	10 adet hava aralıklı şönt reaktör	31
Şekil 4.16	Reaktör akım değerleri	31
Şekil 4.17	1 numaralı sargı endüktans değeri	32
Şekil 4.18	Nüve kayıpları grafiği	32
Şekil 4.19	Manyetik akı çizgileri	32
Şekil 4.20	30 adet hava aralıklı şönt reaktör	34
Şekil 4.21	Reaktör akım değerleri	34
Şekil 4.22	1 numaralı sargı endüktans değerleri	35
Şekil 4.23	Nüve kayıpları grafiği	35
Şekil 4.24	Manyetik akı çizgileri	35
Şekil 5.1	3 ve 5 bacaklı çekirdek endüktans değişimi	41
Şekil 5.2	1, 10 ve 30 hava aralıklı nüvelerin maliyet grafiği	42
Şekil 5.3	1, 10 ve 30 hava aralıklı nüvelerin kayıp grafiği	43

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	3-Bacaklı ve 5-Bacaklı nüve parametreleri.....	15
Çizelge 4.1	M125-027 özellikleri.....	25
Çizelge 4.2	1 adet hava aralıklı tasarlanan nüve değerleri.....	26
Çizelge 4.3	10 adet hava aralıklı tasarlanan nüve değerleri.....	30
Çizelge 4.4	30 adet hava aralıklı tasarlanan nüve değerleri.....	33
Çizelge 4.5	Hava aralığı ve maliyet çizelgesi.....	37
Çizelge 4.6	Hava aralığı ve kayıplar çizelgesi	37

HAVA ARALIKLARI EŞİT DAĞITILMIŞ ŞÖNT REAKTÖRLERİN BENZETİM ÇALIŞMASI

Emre KURT

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim ŞENOL

Elektrik enerjisi günümüzde vazgeçilmez bir yere sahiptir. Elektrik enerjisinin üretildiği tesislerden kullanım alanlarına kadar ulaşmasını sağlayan ise iletim ve dağıtım hatlarıdır. Ancak, uzun iletim hatlarındaki reaktif güç dengesinin sağlanmaması sonucunda iletilen enerji hem kalitesiz olur hem de taşıma sırasında oluşan kayıplar artar. Bu olumsuz durumların yaşanmaması için iletim hatlarının tamamlayıcı bir parçası olarak geliştirilen şönt reaktörler kullanılmalıdır.

Şönt reaktörlerin bu işlevi en iyi şekilde yerine getirebilmesi için tasarım aşaması önemli bir yere sahiptir. Reaktör boyutu, hava aralığının toplam uzunluğu, bırakılan hava aralığı sayısı gibi önemli parametreler reaktörün endüktans değerini doğrudan etkilemektedir. Reaktörün endüktans değeri ise iletim hatlarındaki reaktif güç dengesini sağlamak adına yapılacak olan kompanzasyon işleminin sonucunu doğrudan etkileyen bir faktördür.

Yapılan bu yüksek lisans tezi çalışmasında iletim ve dağıtım hatlarındaki kaliteyi arttırmak ve kayıpların azaltılması için kullanılan şönt reaktörlerin tasarım aşamaları gösterilmiştir. Bu tasarım aşamaları arasında yukarıda belirtilen yüksek önem taşıyan değerlerin nasıl belirlendiği ve bu belirlenen değerler doğrultusunda reaktörün nasıl modellendiği anlatılmaktadır. Değerleri belirlenen ve modellenen reaktör Sonlu Elemanlar Yöntemi(SEY) analizi yapılarak benzetim çalışmasıyla hava aralığının enerji yoğunluğu ve nüvedeki manyetik akı çizgileri gözlemlenmiş ve reaktör üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletim hatları kayıpları, uzun iletim hatları kompanzasyonu, şönt reaktörler, şönt reaktör modellenmesi, sonlu elemanlar yöntemi



SIMULATION OF THE DISTRUBUTED AIR-GAP SHUNT REACTORS

Emre KURT

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr.Ibrahim Senol

Electrical energy is the most important statue in our time. The transmission and distribution lines deliver this energy from production plants to using areas. However, there are several problems if the balance of the long transmission lines are provided. These several problems are poor quality energy and high level of transmission losses. For solving this problem, shunt reactors which are the integral part of the transmission and distribution lines should be used.

The design part of the reactor is important for the solve problems that cause of long transmission lines. The important parameters such as the size of the reactor, total length of the air-gap, the number of air-gaps directly impact to the reactor's inductance value. And the reactor's inductance values directly impact to compensation which provides the balance of the transmission lines.

In this MSc thesis, shown shunt reactor design process to improve the quality of the both transmission and distribution lines' quality and decrease to losses of lines. How to

calculate and find these important parameters of the design process are shown in this thesis. The modeled reactor that known parameters investigate with Finite Element Analysis (FEA) and do the simulation of reactor. After these process reactors magnetic flux lines, energy between air-gaps and how to effect these situations effects on reactor are observed.

Keywords: Transmission lines losses, the long transmission line compensation, shunt reactors, the modeling of shunt reactors, finite element analysis



1.1 Literatür Özeti

Elektrik enerjisinin hayati bir önem taşıması nedeniyle, üretilen elektrik enerjisinin kullanım alanlarına ulaştırılması iletim ve dağıtım hatları ile mümkün olmaktadır. Ancak, üretim tesislerinin kullanım alanlarına uzaklığı arttıkça, iletim hatlarının uzunluğu da artmaktadır. İletim hattının uzunluğunun artması da çeşitli problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlerinin bazılarının çözümü için reaktörler kullanılmaktadır. Reaktörler şebekede kullanım şekline göre paralel ya da seri bağlanabilmektedirler. Ayrıca, tek başına bağlanabildikleri gibi başka elemanlar eklenerek de bağlanabilirler.

Reaktörler birçok nedenle devreye endüktif reaktans sağlamak amacıyla kullanılırlar. Reaktörler; hata akımı sınırlandırılması, harmonik filtrelemek, VAR kompanzasyonu ve yük dengelenmesidir vb. birçok işlemi gerçekleştirmek reaktörlerin kullanım amaçları arasındadır [1].

Yüksek gerilim iletim hatları, özellikle uzun olanlar, hafif yüklerde azımsanmayacak boyutta önde olan bir reaktif güç üretirler. Tersine, ağır yüklerde geri yönde reaktif güçleri absorbe ederler. Sonuç olarak; sistemdeki reaktif güç dengesini sağlayabilmek için, verilen işletme şartları için iletim veya dağıtım hattında mutlaka kompanzasyon uygulanmalıdır [2].

Ağır yükler altında reaktif yük dengesi negatiftir ve kapasitif kompanzasyon gerekmektedir. Bu genelde şönt kapasiteler kullanılarak gerçekleştirir. Bu durumun

tersi olarak, hafif yüklerde güç dengesi pozitifdir ve endüktif kompanzasyon gereklidir. Bu da şönt reaktörler yardımıyla sağlanmaktadır [1],[3].

Hafif yüklenmiş iletim hatlarının sahip olduğu doğal kapasite iki tip aşırı gerilime neden olmaktadır. Bu gerilimler şönt reaktörler tarafından kontrol edilebilir.

Oluşan aşırı gerilimlerden ilki; hafif yükle yüklenmiş iletim hatlarının oluşturduğu ileri yöndeki kapasitif şarj akımının hattın endüktansından ve sistemin içinden geçmesi sonucu (Ferrati Etkisi) çalışma geriliminin hat boyunca hattın uzunluğuna bağlı olarak artmasıdır. Reaktör tarafından tüketilen geri yöndeki reaktif akım, önde olan kapasitif şarj akımını sönümleyerek gerilim artışını azaltmış olur.

Oluşan aşırı gerilimlerden ikincisi; hattın kapasitesi ve doyumuna girebilecek herhangi bir endüktansın etkileşimi ya da ferreazonanstır. Örneğin, Hat sonuna bağlanan bir iletim hattı işletmeye alındığında, hat sonunda oluşan gerilim transformator endüktansı ile etkileşime girerek aşırı gerilime sebep olan harmonikler oluşturmaktadır. Bu tip aşırı gerilimleri engellemek amacıyla şönt reaktörler tersiyer olarak sisteme bağlanırlar. Böylece, transformatoru doyumuna sokacak gerilim değerine ulaşılmaması sağlanır bunun yanında transformator empedansına paralel olarak doyumuna girmeyen bir endüktans bağlanmış olur [1],[4].

Zaman içinde çeşitli reaktör tasarımları yapılmıştır. Demir nüveli reaktörler trafo ile benzer yapıda üretilirler. Sekonder sargısı bulunmayan trafo da denilebilir. Şönt reaktörün reaktif güç sönümleyebilmesi için manyetik devre relüktansının artırılması gerekir. İstenilen relüktans değerini elde etmek için dağıtılmış hava aralıkları yöntemi kullanılmaktadır. Nüve malzemesinin yüksek manyetik geçirgenliği nedeniyle relüktansın belirlenmesinde baskın olan hava aralığıdır. Endüktans değeri nüve manyetik geçirgenliğine çok bağlı değildir ve nüve doyumu normal steady-state akımında gerçekleşmez [1].

Dağıtılmış hava aralığı saçak akılarının etkisini azaltmak amacıyla da kullanılır. Bu yöntemle sarımlardaki Eddy kayıpları da azalır ve amper-sarım verimi artar [1],[3].

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde şönt reaktörler, nüveleri hava aralıklı olarak tasarlanmaktadır. Saçak akılarını azaltmak amacıyla hava aralıkları bacalar boyunca dağıtılır. Nominal gerilimdeki akı yoğunluğu trafolarla olduğu gibi sarım sayısına bağlıdır. Harici lamine edilmiş boyunduruklar akı yolu oluşturarak kaçak akıları azaltır. Ve bu akıların parçaları üzerinde oluşturduğu ısınma ve kayıplar azaltılmış olur. Sonuç olarak reaktör bacaları nüve blokları denilen hava aralıkları ile bölünmüş birkaç manyetik lamine çelik disklerle ayrılmış olur.

Reaktör hava aralıklarının ne kadar olacağı; gereken reaktör reaktif gücü, nüvedeki maksimum manyetik akı yoğunluğu, frekans, saçak etkisi (fringing effect) nedeniyle artan endüktansın artış miktarı, sargılar ve nüve bacaları arasında depolanan enerji miktarı dikkate alınarak belirlenir [5]. Bu çalışmada; hava aralıkları değiştirilerek reaktörde oluşan değişimler benzetim ortamında tespit edilmiş ve hava aralığının değişiminin inceleme sonuçları verilmiştir. Ayrıca tasarlanan reaktörün maliyet değerleri de hesaplanmış ve tasarımın ekonomik hale getirilmesi durumu incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, değiştirilen hava aralıklarının reaktör üzerindeki kayıplar, hava aralığında biriken enerji ve bu değişimlerin maliyete etkisi incelenmiştir. Çalışmada da gösterildiği gibi verimli bir çalışma için gerekli olan parametreler kullanılmalıdır.

REAKTÖRÜN KULLANIM ALANLARI VE SİSTEMDEKİ DURUMU

2.1 Reaktörlerin Yapısı

Reaktörler, kapasiteler gibi hem basit hem de iletim ve dağıtım hatlarının temel elemanları arasında yer almaktadırlar. Reaktörler kullanım amaçlarına göre devreye seri ya da şönt(paralel) olarak bağlanırlar. Ayrıca, sisteme tek başlarına bağlanabildiği gibi diğer güç elemanları ile birlikte akuple edilerek de bağlanabilmektedir.

Reaktörler kuru veya yağlı tip olabilirler. Kuru tip reaktörler demir nüveye veya hava aralıklı nüveye sahiptirler. Eski tasarım kuru tip reaktörler sadece açık tip bir yapıya sahiptir ve sargılar mekanik kelepçelerle tutulmakta sargılar arasındaki izolasyon hava ile sağlanmaktadır.

Modern kuru tip reaktör tasarımlarında hava aralıklı nüve yapısı kullanılmakta ve sargılar film, fiber veya dielektrik emaye kullanılarak sağlanmaktadır.

Yağlı tip reaktörler hava aralıklı demir nüve veya manyetik kabuk yapısına sahiptir.

Yağlı tip reaktörler çok yüksek gerilimli hatlarda şönt reaktör ve bazı yüksek gerilim DC iletim hatlarında gerilimi düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır. [1], [7]

2.2 Şönt Reaktörlerin Yapıları ve Kullanım Amaçları

Elektrik sistemlerinde reaktif güç dolaşımı, değişken reaktif güç üretimi ve tüketiminin bir sonucudur. Reaktif akım sistemde dolaştığında, gerilim düşümleri meydana gelecektir ve bu gerilim düşümleri tüm sistemin çalışma geriliminin düşmesine neden

olacaktır. Aynı zamanda, dolaşan bu reaktif akım sistem üzerinde ekstra kayıplara neden olacaktır. Sistem üzerinde değişken olarak bulunan reaktif gücün ve reaktif akımın etkileri tolere edilemeyeceğinden dolayı, reaktif gücün sistem üzerinde sönümlenmesi gerekmektedir. Bu sönümlenme işlemi, kompanzasyon yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu kompanzasyon işleminin yapılmasında şönt reaktörler görev üstlenmektedirler. [8]

Şönt reaktörler, iletim hatlarındaki kapasitif etkileri dengelemek için sisteme kurulmaktadır. Bu nedenle iletim hatlarının gerilim profillerini geliştirmektedirler. Aynı zamanda güç sistemlerindeki volt/VAR değerinin düzenlenmesine yardımcı olmaktadır. Şönt reaktörlerin sisteme özel entegrasyonları ile farklı kullanım amaçlarına hizmet edebilmektedir. Şönt reaktörler iletim hattının herhangi bir bölümüne ya da yakındaki bir bus'a bağlanabilmektedirler. [9]

Sisteme direkt olarak bağlanan şönt reaktörler yapısal olarak yağlı tip olanlardan seçilmektedirler. Yağlı tip reaktörler 2 farklı dizayn yapısına sahiptirler. Birinci yapı tipi nüvesiz yağlı tip şönt reaktörlerdir. Bu yapıda, reaktör tankının içerisindeki akıyı tutan bobini kapsayan bir manyetik devre modeli tasarlanmıştır. Normalde 1. ve 2. sargı arasındaki manyetik yolu sağlayan çelik nüve çıkarılmış yerine uygulanan voltaj değerine bağlı olarak iletken özelliği gösteren destek yapıları konulmuştur.

Bu tasarımın tersi olarak, demir nüveli yağlı tip şönt reaktörlerin manyetik devresi güç transformatörlerinde kullanılan yapı ile oldukça benzerlik göstermektedir. Buradaki fark demir nüvedeki hava aralığıdır. Bu hava aralığı düzenli dağıtılmış veya dağıtılmamış şekilde olabilmektedir. Bu hava aralığı sayesinde istenen relüktans değeri sağlanır. Çünkü, kullanılan nüve malzemesinin manyetik geçirgenliği havanınkinden oldukça fazladır ve bunun sonuncu olarak relüktans değerinin büyük bir bölümünü hava oluşturur.

Düzenli dağıtılmış hava aralıklı tasarım saçak akılarının oluşturduğu etkiyi ve sarımdaki Eddy kayıplarını azaltır. Ayrıca, amper sarım verimliliğini artırır.

Her iki yağlı tip şönt reaktörde tek veya 3-fazlı olarak üretilebilir ve güç transformatörleri kadar yaygın bulunabilir. [1], [8]



Şekil 2.1 3 fazlı Şönt Reaktör

2.3 Şönt Reaktörlerin Kullanım Alanları

Şönt reaktörler daha öncede bahsedildiği gibi iletim ve dağıtım sistemleri açısından çok önemli bir role sahiptir. Kullanım alanlarına örnek vermek gerekirse;

- Yenilenebilir enerji sistemlerinden olan rüzgar gülleri şönt reaktörlerin kullanım alanlarından bir tanesidir. Rüzgar güllerinde üretilen elektrik enerjisi, diğer üretim tesislerinde elde edilen enerji gibi stabil değildir. Oluşan bu dengesizlik önlem alınmadığı durumlarda bağlantılı olunan sisteme de zarar vermektedir. Bu oluşan zararların önlenmesi açısından şönt reaktörler kullanılmaktadır.
- En yaygın kullanım alanlarından bir tanesi de uzun iletim hatlarıdır. Uzun iletim hatlarının doğal yapısından dolayı sahip olduğu kapasite değeri mevcuttur. Mevcut olan bu kapasite değeri kompanze edilmediği sürece iletilen elektrik gücünde ciddi kayıplar ve dalgalanmalar oluşturacaktır. Bunun sonucunda da verimsiz ve kalitesiz bir iletim işlemi gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu sorunların önüne geçmek ve var olan sorunları çözüme kavuşturmak amacıyla şönt reaktörler kullanılmaktadır.

- Bir diğer yenilenebilir enerji sistemi olan güneş panelleri de, rüzgar gülleri gibi benzer problemlere sahiptirler. Güneş'in konumu ve ışık şiddetine bağlı olarak stabil bir enerji üretemeyen güneş panelleri sisteme bağlandığı esnada dengesizlik yaratmaması için şönt reaktörlerden yardım alınmaktadır. [10],[19]

2.4 Ülkemizde Kullanılmakta Olan Şönt Reaktörlerin Standart ve Özellikleri

Ülkemizde elektrik iletim tesislerinin işleticisi olan Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) iletilen gücün kalitesi ve verimliliği açısından şönt reaktörler kullanmaktadır. Kullandığı şönt reaktörleri satın alma yoluyla temin eden TEİAŞ, alımlarını oluşturduğu şartnameye göre yapmaktadır. Bu şartnameye göre istenilen standart ve değerleri şu şekildedir:

- Güç değeri : 97.73 MVar, 122.16 MVar, 146.59 MVar, 183.24 MVar
- Gerilim değeri: 420 kV
- Standartlar: Şartnamede geçen standartlar;
 - ISO 9001:2000 – Kalite Yönetim Sistem Bilgisi
 - TS EN 60076-6 – Güç Transformatörleri – Bölüm 6: Reaktörler
 - IEC 60076-6 – Power Transformers – Part 6: Reactors
 - TS 267 EN 60076-1 – Güç Transformatörleri – Bölüm 1: Genel
 - IEC 60076-6 – Power Transformers Part 1: General
 - TS 10901 EN 60076-2 – Güç Transformatörleri Bölüm 2: Sıcaklık Artışı
 - IEC 60076-2 – Power Transformers Part 2: Temperature Rise
 - TS 10902 EN 60076-3 - Güç Transformatörleri – Bölüm 3: Yalıtım Seviyeleri, dielektrik deneyler ve havadaki harici yalıtma aralıkları
 - IEC 60076-3 – Power Transformers Part 3: Insulation Levels, dielectric tests and external clearances in air

- TS EN 60076-4 – Güç Transformatörleri Bölüm 4: Yıldırım ve anahtarlama darbe deneylerine kılavuz – Güç transformatörleri ve reaktörler
- IEC 60076-4 – Power Transformers Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing: Power transformers reactor
- Tst 3791IEC 60076-8 – Güç transformatörleri – Kullanım Kılavuzu
- IEC 60076-8 – Power transformers Part 8: Application Guide
- TS EN 60076-10 – Güç transformatörleri Bölüm 10: Ses seviyelerinin belirlenmesi
- IEC 60076-10 – Power Transformers Part 10: Determination of sound levels
- TS 8756 EN 60721 – Çevre Şartlarının Sınıflandırılması
- IEC 60721 – Classification of environmental conditions
- TS EN 60214-1 – Kademe değıştirciler Bölüm 1: Performans özellikleri ve deney montajları
- IEC 60214-1 – Tap-changers Part 1: Performance requirements and test methods
- TS 623 EN 60296 – Mineral yalıtım yağları – Kullanılmamış – Elektromekanik uygulamalar için anahtarlama düzeni
- IEC 60296 – Fluids for electromechanical applications-Unused mineral insulating oils for transformers and switch gear
- IEC 60076-7 – Power transformers Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers
- TS EN 50216 – Güç transformatörleri ve reaktörler için aksesuarlar
- EN 50216 – Accessories for power transformers and reactors parts 1 through 6
- TS EN 60567 – Yağlar elektrikli cihazlar için çözünmüş ve serbest gaz analizleri için yağ ve gaz numunesi alma kılavuzu

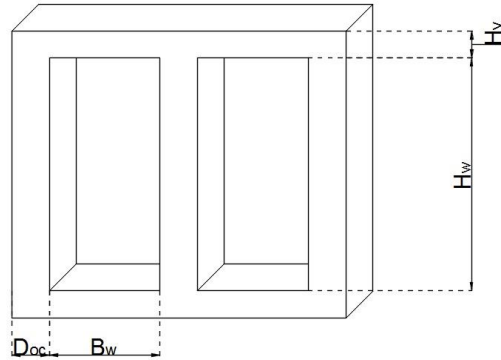
- IEC 60567 – Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gasses
- TS EN 60137 – Yalıtkan geçit izolatörleri – 1000 V’ un üzerindeki alternatif gerilimleri için
- IEC 60137 – Insulated bushing for alternating voltages above 1000 volts
- TS 620 EN 60244-1 – Ölçü transformatörleri Bölüm-1: Akım transformatörleri
- IEC 6004-1 – Current Transformers
- TS 2051 EN 60270 – Kablolar-Yüksek Gerilim Deney Teknikleri-Kısmi Boşalma Ölçümleri
- IEC 60270 – High voltage test techniques-Partial discharge measurements
- TS EN 60599 – Mineral yağ ile doldurulmuş kullanımdaki elektrikli cihazlar-Çözünmüş ve serbest gazların tayin sonuçlarının cihaz durumunun değerlendirilmesinde kullanılması kılavuzu
- IEC 60599 – Mineral oil-impregnated electrical equipment in service-Guide to interpretation of dissolved and free gases analysis
- TS 3989 EN 60156 – Yalıtım Sıvıları-Güç frekansında delinme gerilimi tayini
- IEC 60156 – Insulating Liquids-Determination of the break down voltage at power frequency
- TS 3033 EN 60529 – Muhafazalarla Sağlanan Koruma Dereceleri (IP Kodu)
- IEC 60529 – Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) [11].

BÖLÜM 3

MODELLENEN REAKTÖRÜN DİZAYN VE YAPISI

Şönt reaktörler tasarımının temel adımı, nüve yapısının belirlenmesidir. Bölüm 2'de de bahsedildiği üzere, şönt reaktörler nüve yapılarına göre 2 türde tasarlanmaktadır. Nüve yapısının belirlenmesinde reaktörün güç, nominal akım, nominal gerilim gibi değerleri göz önüne alınmaktadır. Bu çalışmada, ülkemiz standartları ve hali hazırda kullanılmakta olan şönt reaktör yapıları esas alınarak reaktörün standart ve güç değerleri belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, etiket değerleri 420 kV, 250 MVAr olan 3-fazlı hava aralıklı nüveli şönt reaktör 3 ve 5 bacaklı olmak üzere iki farklı yapıda tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan reaktörlerin temel yapısı üzerinde, hava aralıkları sayıları değiştirilerek çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 3.1 de 3 bacaklı olarak tasarlanan şönt reaktörün temel nüve yapısı gösterilmiştir. Nüve boyutlandırılması ve tasarımında izlenecek adımlar ve kullanılan formüller bir sonraki bölümde açıklanacaktır. Bölüm 3.1'de verilen formüller kullanılarak istenilen güç ve gerilim değerindeki şönt reaktör tasarımı gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.1 Şönt reaktör nüvesi temel yapısı

3.1 Nüvenin Tasarımı

Bu bölümde, şönt reaktör tasarımında önemli bir rolü bulunan nüvenin tasarım adımları ve bu adımlarda kullanılan formüller açıklanmıştır. Ülkemizde bulunan iletim hatlarında kullanılan şönt reaktör etiket değerleri ve resmi şartnameler incelenerek nominal gerilim ve güç değerleri sırasıyla 420 kV ve 250 MVAr olarak seçilmiştir. Kullanılan bu formüllerde V_e nominal gerilimi, I_e nominal akımı, f frekansı, Φ_m maksimum manyetik akı, K ve K_m yapıya bağlı olan sabitleri ve N nüvenin sarım sayısını ifade eder.

$$L = \frac{V_e^2}{\omega \cdot Q} \quad (3.1)$$

$$K = 4.44 \cdot f \cdot 10^3 \cdot K_t \quad (3.2)$$

$$K_t = \left(\frac{\Phi_m}{I_e \cdot N} \right) \quad (3.3)$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{\mu_0 \left(\frac{A_g}{l_g} \right)}} \quad (3.4)$$

Sarım sayısı reaktörün endüktansı ve A_g / l_g oranı kullanılarak hesaplanabilir. Bu formülde A_g hava aralığı alanı ve l_g toplam hava aralığı uzunluğu değerlerini ifade etmektedir. Bu çalışmada A_g/l_g oranı enerji dağılım oranları dikkate alınarak 1.1 seçilmiştir.

Denklem 3.5 incelendiğinde, A_g ve l_g 'nin, şönt reaktörün reaktif gücü (Q) ve maksimum manyetik akı (B_m) değeri ile birebir ilişkide olduğu görülmektedir [5]. B_m değeri kullanılan nüve malzemesine bağlı olarak seçilmeli ve hesaplamalar buna göre

yapılmalıdır. İlgili değer nüve malzemesinin B/H eğrisinde görünen doyuma ulaşma değerinden küçük olarak seçilmelidir. Aksi takdirde nüve çalışma esnasında doyuma girecek ve şönt reaktör görevini gerçekleştiremeyecektir.

Denklem 3.5 ve belirlenen A_g/l_g değeri kullanılarak, toplam hava aralığı alanı (A_g) ve toplam hava aralığı uzunluğu (l_g) değerlerine ulaşılabilir. Bu değerlerin belirlenmesi tasarlanan nüvenin boyutlarında önemli etkiye sahiptir [5].

$$A_g \cdot l_g = \frac{Q}{\left(\frac{\pi}{\mu_0} \cdot B_m^2 \cdot f\right)} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'in hesaplanmasından sonra bulunan A_g değeri ile birlikte nüve bacağının kesit alanı da bulunmuş olacaktır. A_g değeri bu şekilde hesaplanabileceği gibi denklem 3.6'de belirtilen formül kullanılarak da hesaplanabilmektedir. A_g değerinin hesaplanmasının ardından, nüve bacağının yarı çapı denklem 3.7 kullanılarak hesaplanabilecektir.

$$A_g = \frac{\Phi_m}{B_m} \quad (3.6)$$

$$A_g = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (3.7)$$

Tasarlanacak olan nüvenin pencere kısmı (Şekil 3.1'de görülebilir) Denklem 3.8'de verilen formül kullanılarak hesaplanabilir. Denklem 3.8'de H_w ve B_w değerleri sırasıyla nüve penceresinin yüksekliği ve nüve penceresinin genişliğini ifade etmektedir.

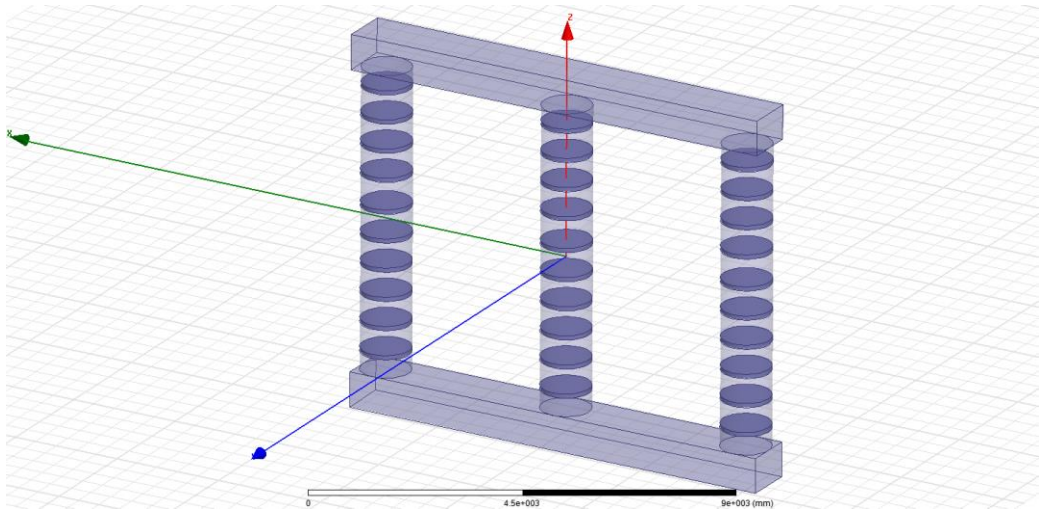
Nüve penceresini oluşturan yükseklik (H_w) ve genişlik (B_w) değerlerinin birbirlerine oranı, reaktör tasarımında verimlilik ve ekonomik kriterleri etkileyen bir parametredir ve bu değer daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde ilk tasarımda kullanılmak üzere 2.1 olarak seçilmiştir [12].

Nüvenin bacaklarına konulacak olan sargının nüvede oturduğu bacağa ve diğer bacaklara olan uzaklıkları bunun yanında tepedeki ve alttaki bacaklara olan uzaklıkları, Bölüm 3.2'de detaylı olarak anlatılacak nüve sargısının belirlenmesi ve tasarımı konusunda yapılacak hesaplamalar neticesinde kendiliğinden oturacaktır. (B_i , B_s , H_u , H_d).

Bunlara ek olarak, sarım ve dolayısıyla endüktans değerini etkileyecek sabitler olan, sarım dolgu faktörü (K_u) 0.6 ve akım yoğunluğu (J) 3.2 A/mm^2 olarak seçilmiştir. Ayrıca, sarım dolgu faktörü (K_u) nüve penceresine oturtulacak olan sargının konumun belirlenmesinde de önemli bir yere sahiptir.

Tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra, tasarlanan şönt reaktörün temel nüve yapısını oluşturan parametreler belirlenmiş olmaktadır. Bu parametrelere ek olarak, nüvenin üst kısmında kalan bacak dikdörtgen şeklindedir ve bu dikdörtgenin kenarlarına içten teğet olarak dairenin çapı (d_y), daha önce hesaplanan reaktörün sargı gelecek bacağının çapı ile aynı olmalıdır (D_{oc}). Üst bacağın kalınlığı 5 bacaklı nüve tasarımı ile uyumlu olması açısından, 5 bacaklı nüvede hesaplanan değer ile aynı seçilmiştir.

Yukarıda verilen formüller kullanılarak, 3 bacaklı nüve tasarımı için pencere genişliği (B_w) 330 cm, pencere yüksekliği (H_w) 693 cm hesaplanmıştır.



Şekil 3.2 Tasarlanan 3 bacaklı şönt reaktör nüve yapısı

Yapılan çalışmanın, gerçek operasyonda gerçekleşecek durumlara olan yakınlığını sağlamak amacıyla, hali hazırda ülkemizin elektrik iletim hatlarında kullanılmakta olan şönt reaktör modelleri araştırılmış ve temel tasarıma bu doğrultuda eklemeler yapılmıştır.

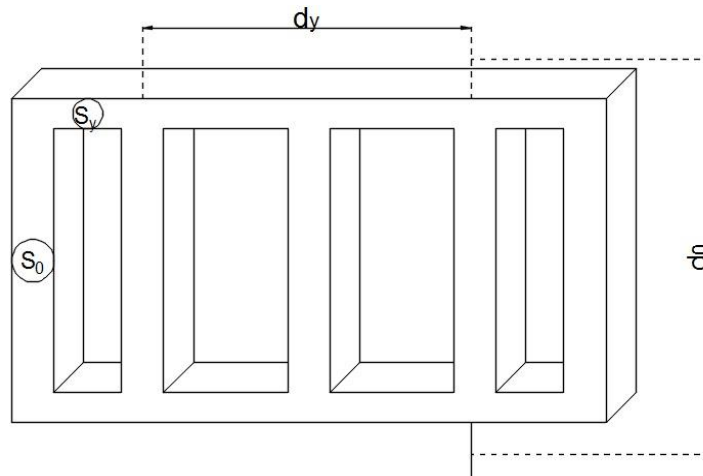
Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nin belirlediği şartnamede yer alan bilgilere göre, Türkiye'de bulunan iletim hatlarında kullanılan şönt reaktörler 5 bacaklı nüve yapısına sahip olmalıdırlar. Bu nedenle, bu çalışmada da 3 bacaklı nüve yapısına ek olarak 5 bacaklı nüve de tasarlanmış ve benzetim çalışmasına tabi tutulmuştur.

5 bacaklı nüve tasarlanırken, 3 bacaklı nüve tasarımında kullanılan formüllere ilaveten, nüvenin kenarlarına eklenecek olan ilave bacakların tasarımı için gereken formüller Denklem 3.8 ve Denklem 3.9 da belirtilmiştir.

$$r_{ly0} = \frac{d_y}{d_0} \quad (3.8)$$

$$r_{ay0} = \frac{S_y}{S_0} \quad (3.9)$$

Yukarıda bulunan Denklem 3.8 ve 3.9'da verilen r_{ly0} ve r_{sy0} parametreleri 5 bacaklı nüve tasarımlarında kullanılan oranlardır ve genellikle 2 ile 3 değerleri arasında seçilmektedirler [15]. Şekil 3.3 de verilen 5 bacaklı nüve yapısında denklemlerde belirtilen d_0 , d_y , S_0 , S_y değerlerinin karşılıkları gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Tasarlanan 5 bacaklı nüve yapısı

Denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak yapılan oranlama işleminde elde edilen sonuçlar, Denklem 3.10'de yerine konulduğunda; 5 bacaklı nüve yapısının oluşması için temel 3 bacaklı nüveye eklenecek bacakların boyutlandırılması yapılmış olmaktadır. Belirlenen ölçülerde eklemeler yapıldığında, oluşturulması planlanan nüve yapısı ortaya çıkmış olacaktır [16].

$$Lol = \frac{2rlyw}{rly0} \quad (3.10)$$

Yukarıda belirtilen tüm hesaplamalar yapıldığında, 3 ve 5 bacaklı nüve yapısına sahip şönt reaktörlerin boyutlandırılması tamamlanmış olacaktır. Boyutlandırılması tamamlanan 3 ve 5 bacaklı şönt reaktörler karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Nüveye yerleştirilecek olan reaktör sargısının tasarımı ve belirlenmesi Bölüm 3.2'de detaylı olarak anlatılmıştır.

Çizelge 3.1 3-Bacaklı ve 5-Bacaklı nüve parametreleri

<i>Parametreler</i>	<i>Sembol</i>	<i>Değer</i> <i>(3-Bacaklı)</i>	<i>Değer</i> <i>(5-Bacaklı)</i>
Reaktif Güç	$Q[\text{MVar}]$	250	250
Gerilim	$V_e[\text{kV}]$	420	420
Akım	$I_e [\text{A}]$	343.66	343.66
Reaktör Bacak Çapı	$D_{oc} [\text{cm}]$	112	112
Pencere Genişliği	$B_w [\text{cm}]$	330	330
Pencere Yüksekliği	$H_w [\text{cm}]$	693	693

3.2 Reaktör Sargılarının Belirlenmesi

Şönt reaktör tasarımında kullanılacak olan sargının belirlenmesinde en önemli parametrelerden bir tanesi sargının endüktans değeridir. Sargının endüktans değeri nüve tasarımında da kullanıldığı için Denklem 3.1'de verilen formül kullanılarak hesaplanır. Endüktans değerinin formülü incelendiğinde, reaktif güç, nominal gerilim ve frekans değerlerinin sargı endüktansı üzerindeki etkisi görülmektedir.

Kullanılacak sargının boyutlandırılmasında, nüve penceresinin doluluk oranı (K_u) değeri ve iletken kesiti değerleri belirleyici rol oynamaktadır. Denklem 3.11 kullanılarak hesaplanan pencere alanı, doluluk faktörü değeri ile çarpıldığında sargının nüve penceresinde kaplayacağı alan belirlenmektedir.

Sargının kaplayacağı alanın belirlenmesinden sonra, Denklem 3.12'de hesaplanan kullanılacak bakır iletken kesiti değeri kullanılarak sargının boyutlandırılması sargı alanı değeri ve sarım sayısı göz önüne alınarak yapılmalıdır. Sargı kesitinin seçiminde iletkenler arasında bırakılacak boşluk ve iletken kalınlıklarının standartta belirtilen değerde olmasına dikkat edilmelidir.

$$A_w = H_w \cdot B_w \quad (3.11)$$

$$A_{Cu} = \frac{I_e \cdot N}{K_u \cdot J} \quad (3.12)$$

Sarım sayısı değeri Bölüm 3.1'de belirtilen Denklem 3.4 ile hesaplanmıştır. Ancak, reaktör nüvesinde kullanılan hava aralığı sayısının değişimi ile birlikte, nüve geçirgenliği değeri azalacak buna bağlı olarak manyetik akı yoğunluğu v endüktans değerleri de azalacaktır. Aynı zamanda endüktans değerinin azalmasıyla çekilecek akım değeri de artacaktır ve mevcut sargı yetersiz durumda kalacaktır. Bu değişimleri Geçici Rejim Analizi'nde görebileceğimizden dolayı ilgili bölümün altında etkileri daha detaylı olarak anlatılacaktır.

Sargıda kullanılacak iletken kalınlığı, akım yoğunluğu değerini karşılayacak yapıda olmalıdır. Aynı zamanda sargı kalınlığı ve iletken kesiti tasarımda önemli bir parametre olan maliyeti de etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Kullanılan iletkenin ağırlığı

ve miktarı bu değer ile orantılı olacaktır. Bu nedenle iletken kesiti ve sarımın yerleştirilmesinde bu etkenlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.3 Benzetim Çalışmasında Kullanılan Yöntem

Benzetim çalışmasında, tasarlanan reaktör üzerindeki etkilerin gözlemlenebilmesi için 3 boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılmıştır.

Kullanılan analiz yönteminde, reaktör tamamıyla SEY kullanılarak tasarlanmış ve Eddy kayıpları ihmal edilmiştir. Magnetostatic denklemler endüktans hesabında kullanılmıştır.

Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'in güvenilirliği daha önce yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır [6], [13], [14]. Bu geçerlilik ve güvenilirliğe göre 3 boyutlu model oluşturulmuştur.

Denklem 3.13'de verilen Poisson Vektör denklemine göre, tasarlanan reaktöre çevre uygulanmış ve lineerlik sağlanmıştır [12], [15].

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0 \mu_r} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'de A manyetik potansiyel vektörünü ve μ_r bağlı geçirgenliği temsil etmektedir.

Akı yoğunluğu ve manyetik akı yoğunluğu gibi parametreler, manyetik potansiyel vektör hesaplandıktan sonra kolayca hesaplanabilmektedir. Aşağıda verilen denklemler kullanılarak enerji yoğunluğu ve ek olarak hava boşluğunda biriken enerjinin yarattığı endüktans değeri bulunabilmektedir.

$$w_m = \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} \quad (3.14)$$

$$W_m = \iiint W_m dv \quad (3.15)$$

$$L = \frac{2W_m}{I_m} \quad (3.16)$$

Denklem 3.14, 3.15, 3.16'da verilen formüllerde kullanılan W_m , w_m , B ve H sırasıyla manyetik enerji, birim hacimdeki enerji yoğunluğu, manyetik akı vektörü ve manyetik alan kuvvetini temsil etmektedir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) süresince, maksimum akım uygulanmıştır ve doğruluğun sağlanması için programın her çalışma parçasında küçük ağ yapısı (mesh) kullanılmıştır[9].

Denklem 3.16 kullanılarak hesaplanan endüktans değeri, Geçici Rejim Analizi yönteminde, hava aralığında biriken enerjinin oluşturmuş olduğu endüktans değerinin sargı endüktansı ile birlikte oluşturduğu reaktörün toplam endüktans değerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

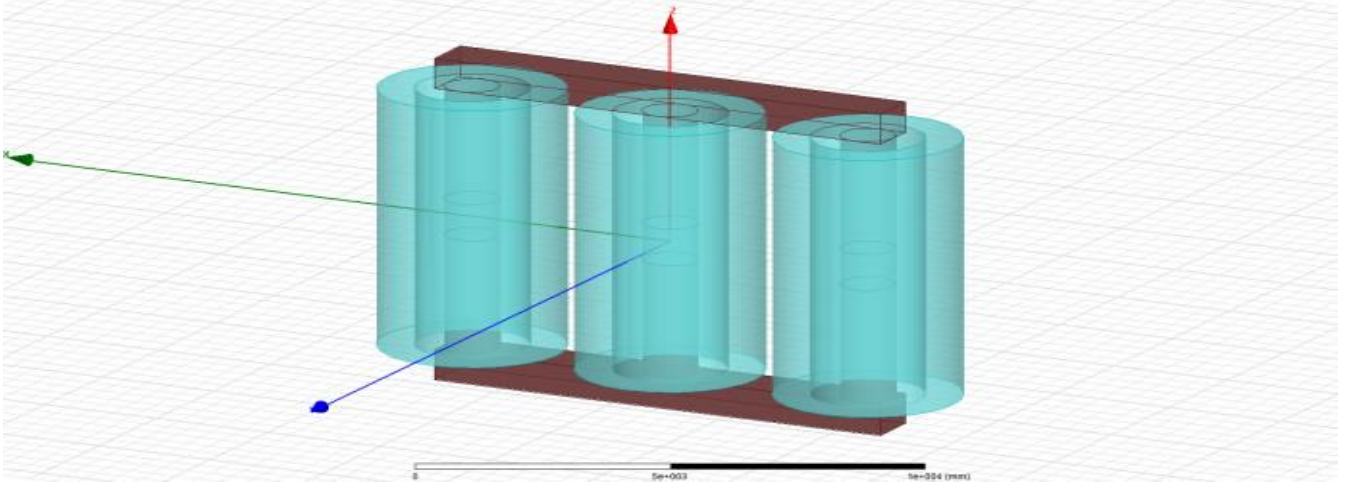
BENZETİM ÇALIŞMASI

Sonlu elemanlar yöntemi, fiziksel matematiğin sınır değer problemlerine yaklaşık çözümler elde etmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlk olarak 1940'lı yıllarda önerildikten sonra 1950'li yıllarda uçak tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonra, yöntem sürekli geliştirilmiş ve başta yapı analizi ile ilgili problemler olmak üzere pek çok alanda kullanılmıştır. Günümüzde, sonlu elemanlar yöntemi mühendislik ve matematik problemlerinin çözümünde geniş uygulama alanına sahip genel bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Bu bölümde de ilk olarak bu yöntemin kullanıldığı elektromanyetik benzetim çalışmaları yapılmıştır.[19]

4.1 Endüktans Değeri Hesaplanması

Bölüm 2 ve 3'te tasarım detayları ve nedenleri anlatılıp, verilen formüller kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu oluşturulan 3 ve 5 bacaklı nüve yapısına sahip şönt reaktörlerin, benzetim çalışmaları yapılmak üzere tasarlanan modelleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

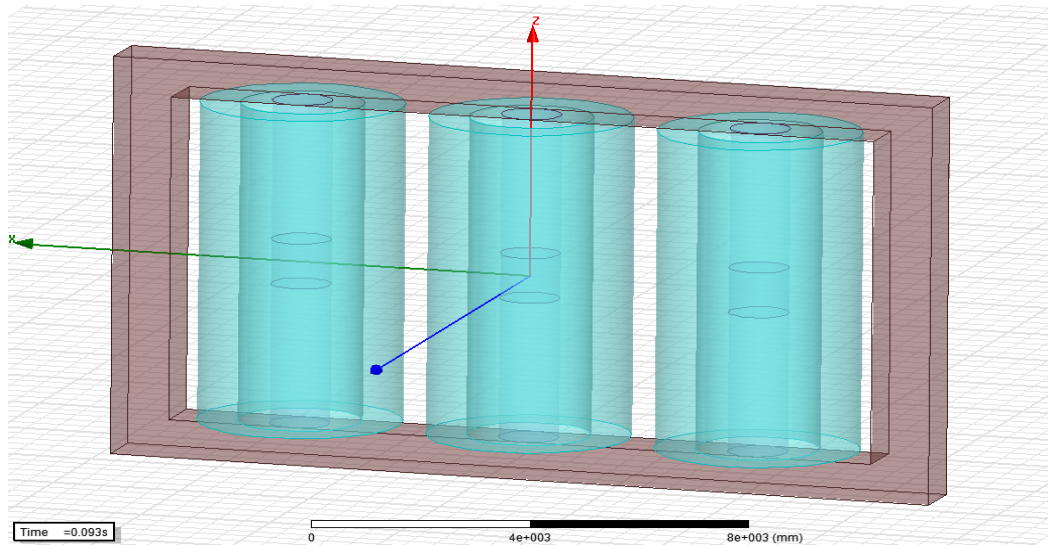
Tasarlanan şönt reaktörlerin, istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığının gözlemlenmesini sağlayacak olan benzetim çalışmasında farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu bölümdeki benzetim çalışmasında kullanılacak olan Magnetostatic yöntem ile şönt reaktörün temel çalışması gözlemlenecek, sargılara uygulanan sabit değerli alternatif akım ile çalışması sağlanacak ve bunun sonucunda oluşacak olan etkiler gözlemlenecektir. Bu yöntemde yapılan modellemede temel çalışma gözlemlenmesi yapılacaktır ve zamana bağlı parametre değişimlerinin gerçek zamanlı değişiminin gözlemlenmesi mümkün olmayacaktır.



Şekil 4.1 3-Bacaklı şönt reaktör

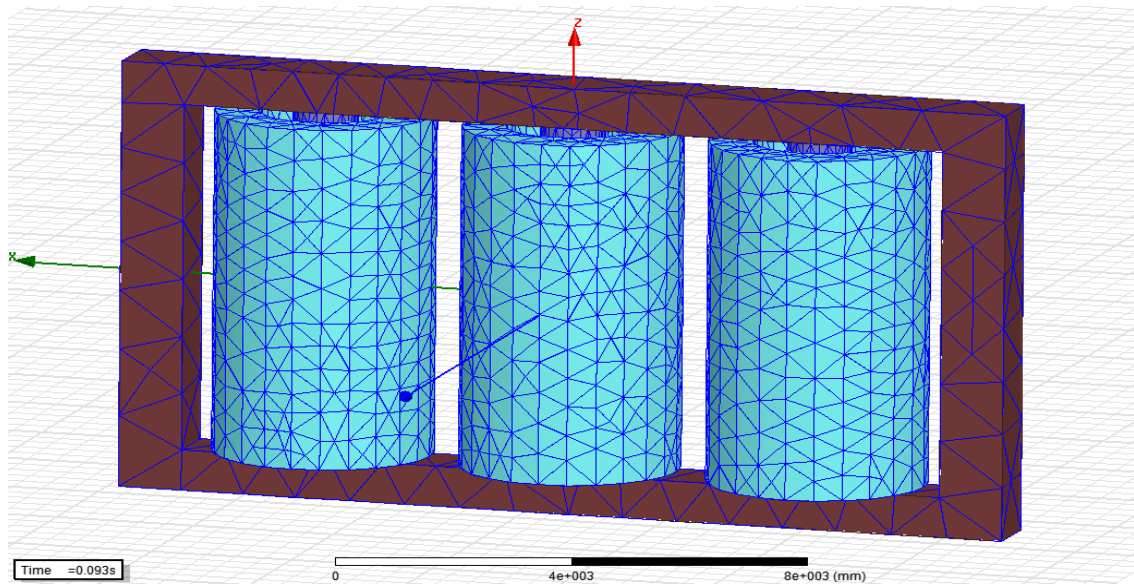
Bölüm 2 ve 3'te nüve tasarımında hava aralıklarının bırakılma sebebi temel olarak bahsedilmiş, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Tekrar edilecek olursa, nüvede bırakılan hava aralıkları manyetik devre relüktansını ayarlamak, nüvenin doyuma girmesini engellemek ve kaçak akıların azaltılarak kayıpların düşürülmesini sağlamaktadır.

Hava aralığı dağıtılmamış olan şönt reaktör modellerinde yapılan gözlemler sonucu, hava aralığında biriken enerji miktarının fazlalığı ve hava aralığında meydana gelen kaçak akıların fazlalığı dikkat çekmektedir.



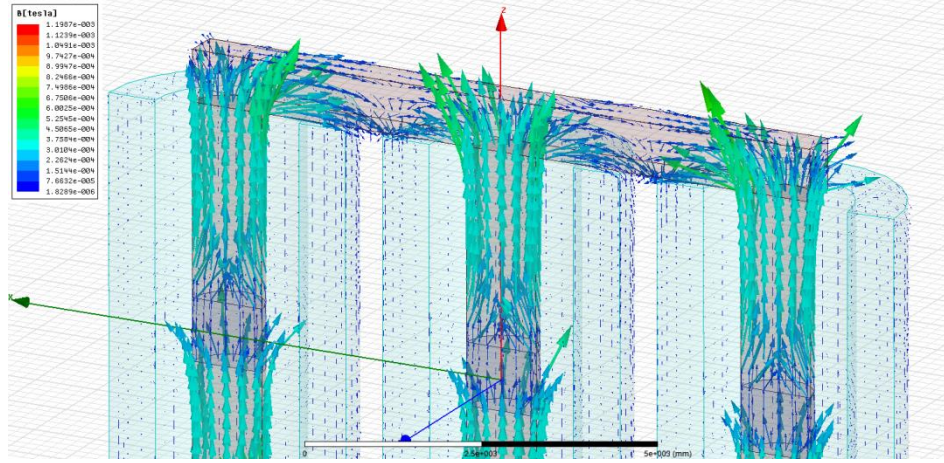
Şekil 4.2 5-Bacaklı şönt reaktör

Bu durumları gözlemek amacıyla, tasarımı yapılan şönt reaktör benzetim çalışmasına tabi tutulmuştur. Uygulanan benzetim çalışmasında, gözlemlenecek olan manyetik akı yoğunluğu, akım, gerilim ve kaçak akı gibi değerlerin net olarak hesaplanabilmesi için model yüzeyine ağ yöntemi (mesh) uygulanmıştır. Model yüzeyini küçük parçalara ayıran bu yöntem ile her bir parça üzerinde hesaplama yapılarak daha sağlıklı ve net sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır. Ağ yönteminin uygulandığı şönt reaktör modeli Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



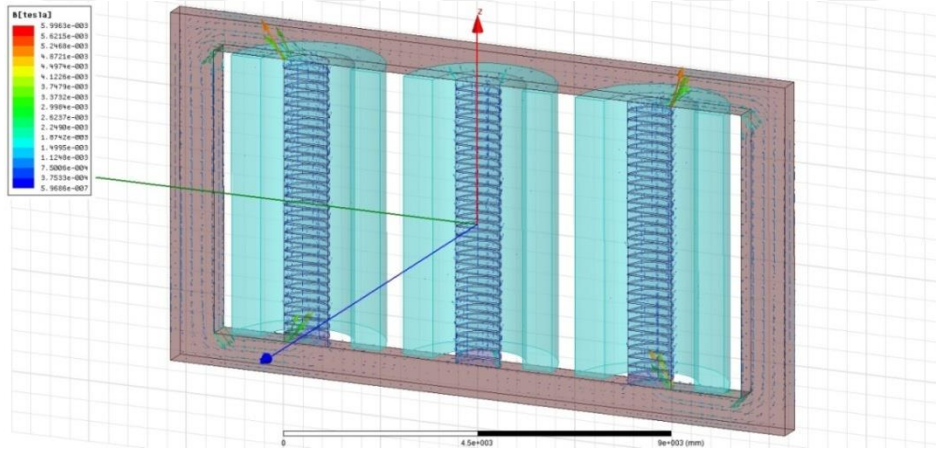
Şekil 4.3 Uygulanan ağ yöntemi

Uygulanan ağ yöntemi ile birlikte, tasarlanan şönt reaktörün benzetim çalışması başlatılabilir hale gelmiş durumdadır. Benzetim çalışmasının başlatılmasıyla, modellenen reaktör sargılarına sabit değerli alternatif akım uygulanır. Uygulanan alternatif akımın etkisi ile, Maxwell kanunları ile ispatı yapıldığı şekilde, alternatif akım taşıyan bir iletkenin oluşturduğu değişken manyetik alan çizgileri nüveyi keser ve nüve üzerinde bir manyetik akı indüklenmesi gerçekleşir. Bu etkileşimin sonucu olarak nüvede manyetik akının aktığı bir manyetik devre oluşur. Oluşan manyetik devredeki akı çizgileri ve kaçak manyetik akı çizgileri benzetim çalışmasında Şekil 4.4'de olduğu gibi gözlemlenebilmektedir [16].



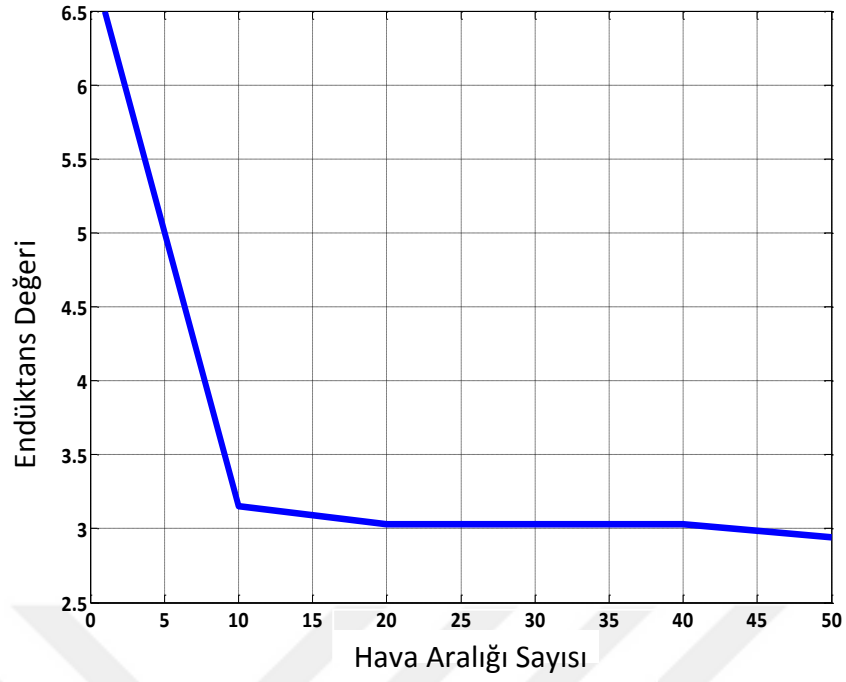
Şekil 4.4 1 adet hava aralıklı nüve manyetik akı çizgileri

Şekil 4.4’de de görüldüğü gibi hava aralıklarında oluşan kaçak akı miktarlarını azaltmak için, hesaplanan toplam hava aralığı uzunluğu reaktör bacaları boyunca eşit parçalara ayrılır. Yapılan çalışmada kaçak akıların etkilerinin, hava aralığı sayısı ile olan ilişkisinin net bir şekilde gözlemlenebilmesi için 6 adet şönt reaktör tasarımı benzetim çalışmasına tabi tutulmuştur. Bu örneklemelerde hava aralığı sayıları, 1, 10, 20, 30, 40 ve 50 olarak seçilmiştir.

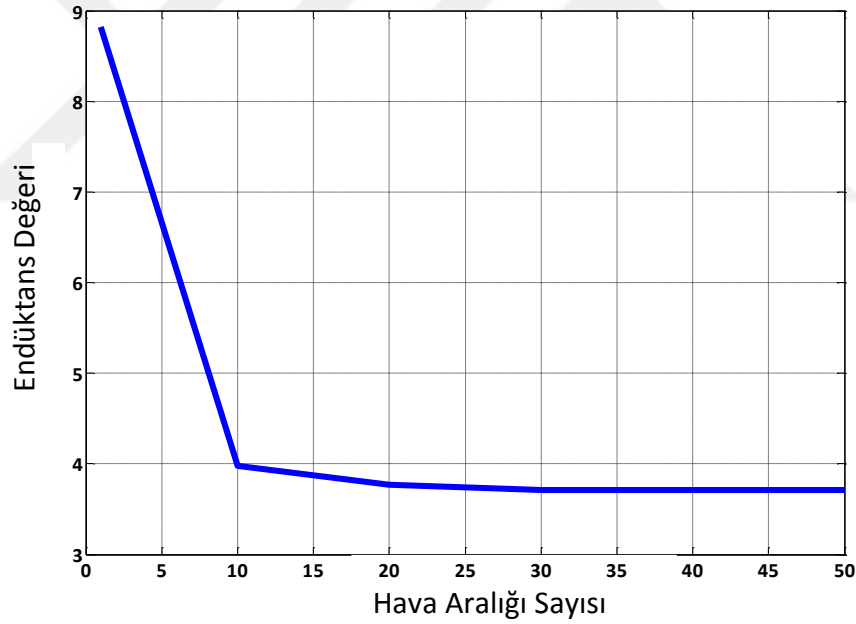


Şekil 4.5 5-Bacaklı nüve manyetik akı çizgileri

Çalışmanın daha önceki bölümlerinde de söylendiği gibi hava aralıklarının nüve bacağı boyunca eşit aralıklar ile dağıtılması, kaçak akıları ve bu nedenle oluşacak kayıpları azaltmak için kullanılan bit yöntemidir. Bu etkisinin yanında, hava aralığı sayısının artması ile birlikte endüktans değerinde değişimler olduğu tespit edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmasının sonuçları incelendiğinde, hava aralığı ve endüktans değeri arasındaki ilişki Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de görülmektedir.



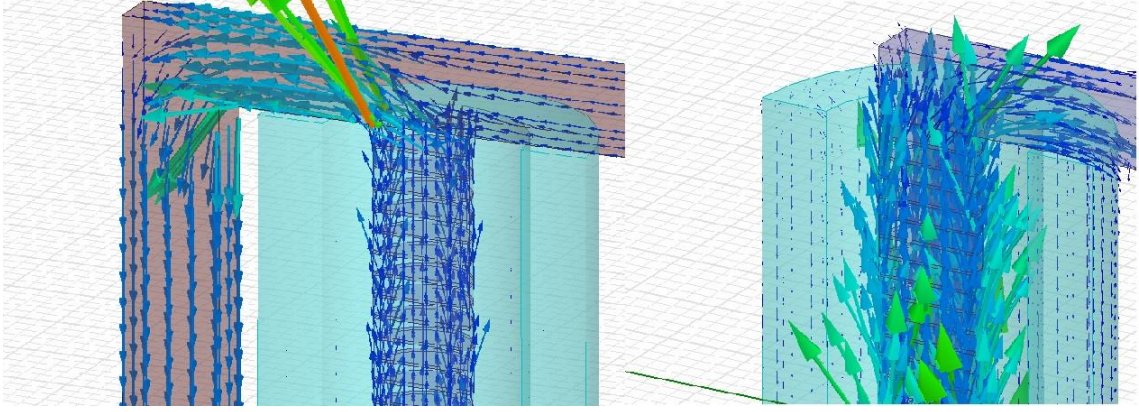
Şekil 4.6 3-Bacaklı şönt reaktör endüktans-hava aralığı sayısı grafiği



Şekil 4.7 5-Bacaklı şönt reaktör endüktans-hava aralığı sayısı grafiği

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelendiğinde reaktör bacaklarında bulunan hava aralığı sayısının artması ile birlikte, endüktans değerinin düştüğü ancak 20 hava aralığından sonra endüktans değerinin sabit kaldığı görülmüştür.

3 bacaklı nüve yapısının yanında tasarlanan 5 bacaklı nüve yapısının birbirlerinden farklılıkları, benzetim çalışması sonucunda gözlemlenebilmektedir.



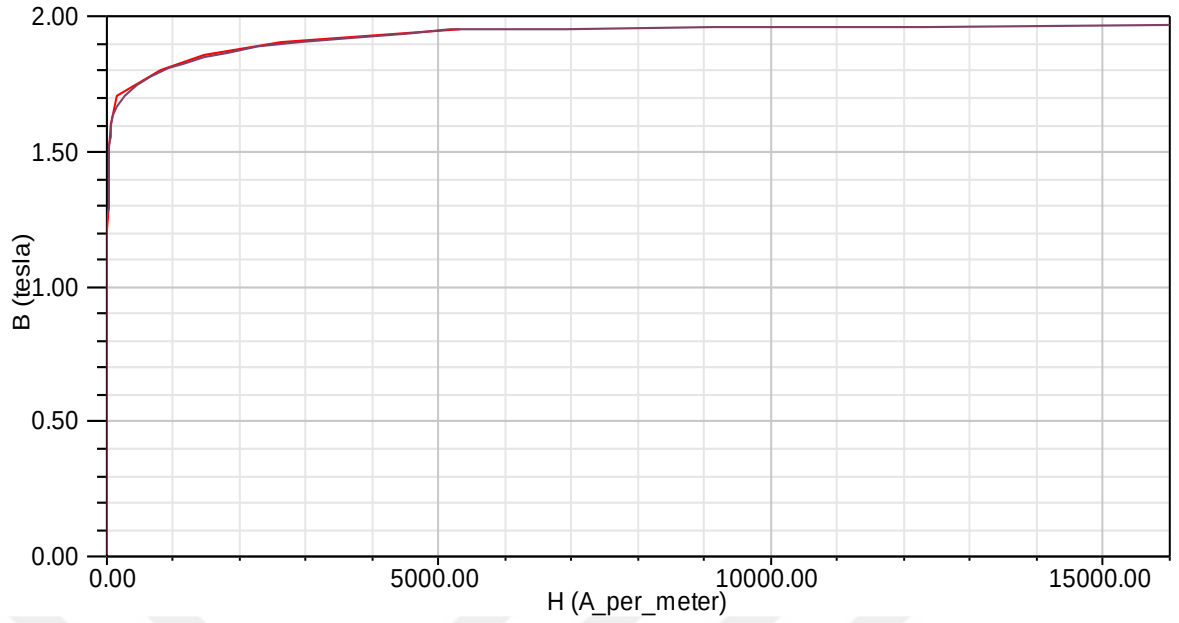
Şekil 4.8 30 adet hava aralıklı 3 ve 5 bacaklı nüve yapısı karşılaştırması

Şekil 4.1.8'de 30 adet hava aralığı ile tasarlanmış 3 ve 5 bacaklı şönt reaktör nüve yapısı görülmektedir. Şekilden gözlemlendiği üzere, 5 bacaklı nüve yapısının sahip olduğu ek bacak sayesinde, sargının bulunduğu bacaktaki manyetik akı yoğunluğunu azalttığı söylenebilmektedir. Bu sayede, nüvenin doyuma gitmesi zorlaşmış olacak ve daha az manyetik akı bacak üzerinden aktığı için kaçak akıların miktarı da azalmış olacaktır.

4.2 Geçici Rejim Analizi

Bölüm 4.1'de endüktans değerlerinin belirlenmesi ve kaçak akıların gözlemlenmesi için kullanılan Magnetostatic yöntem, daha temel bir benzetim yöntemi olup nüve kayıpları, Eddy akımları gibi parametreleri benzetim çalışmasında göz ardı etmektedir. Yapılan çalışmanın gerçek değerlere daha yakın bir sonuç vermesi ve bu sonuçlara göre daha sağlıklı bir çıkarım yapılabilmesi için, bu bölümde Geçici Rejim Analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede, Eddy kayıpları da hesaba katılarak nüve kayıplarının gözlenmesi, hava aralığında biriken enerjinin daha sağlıklı belirlenmesi ve sargı endüktansları daha gerçekçi biçimde gözlemlenebilecektir.

Bu analiz yapılırken kullanılan malzeme özelliklerine değinilecek olursa, piyasada yaygın olarak kullanılan M125-027 metali tercih edilmiştir. İlgili malzemenin B-H grafiği ve manyetik iletkenlik gibi parametreleri Şekil 4.9 ve Çizelge 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.9 M125-027 B-H Grafiği

Çizelge 4.1 M125-027 özellikleri

Parametre	Değer	Birim
Geçirgenlik	5000000	Siemens/m
Kh	64.488	w/m ³
Kc	0.599	w/m ³
MassDensity	7650	kg/m ³

Kullanılan Geçici Rejim Analiz yöntemi, Magnetostatic yöntemin aksine reaktör sargılarına sinüsoidal olarak 3 fazlı gerilimin uygulanması ile gerçekleşmektedir. Uygulanan bu gerilim sonucu endüklenen akım değeri, manyetik akıyı oluşturmaktadır. Bu yöntemde, nüvede tanımlanan Eddy Akımları sayesinde nüve kayıpları hesaplanabilmektedir. Hesaplanan nüve kayıpları ile ekonomik analiz ve verim gibi önemli parametre hesaplamaları da yapılabilmektedir.

Bölüm 4.1’de 3 ve 5 bacaklı modellenen şönt reaktörlerin yapıldığının aksine, Geçici Rejim Analiz bölümünde sadece 5 bacaklı nüve yapısı için çalışma yapılmıştır. Bunun nedeni, daha gerçekçi sonuçlar alınan Geçici Rejim Analiz yönteminde, TEİAŞ ve piyasada kullanımı daha yaygın olan 5 bacaklı nüve tipinin tercihinin daha gerçekçi

sonuçlar vereceğinin düşünülmesidir. Geçici Rejim Analiz bölümünde de 1, 10 ve 30 adet hava aralığı ile tasarlanmış modeller kullanılmıştır.

Genel yapı ve 4.1, 4.2 denklemleri gereği, hava aralığı sayısının artması ile birlikte manyetik geçirgenlik değeri düşecek buna bağlı olarak da nüvenin doyuma gireceği manyetik akı değeri de düşecektir. Aynı zamanda, manyetik geçirgenlik değerinin düşmesi ile birlikte nüvenin endüktans değeri de aynı oranda düşecektir. Hava aralığı sayısının artması ile birlikte düşecek olan endüktans değeri akım değerinin de yükselmesine neden olacaktır.

Yükselen akım değerinin düşürülmesi için sargının boyutunun ve sarım sayısının arttırılması gerekmektedir. Bu çalışmada sargının boyutu arttırılırken, sadece sargının yüksekliği değiştirilmiş dolayısıyla nüvenin boyu (H_w) da değişmiştir.

$$B = \mu_r \cdot H \quad (4.1)$$

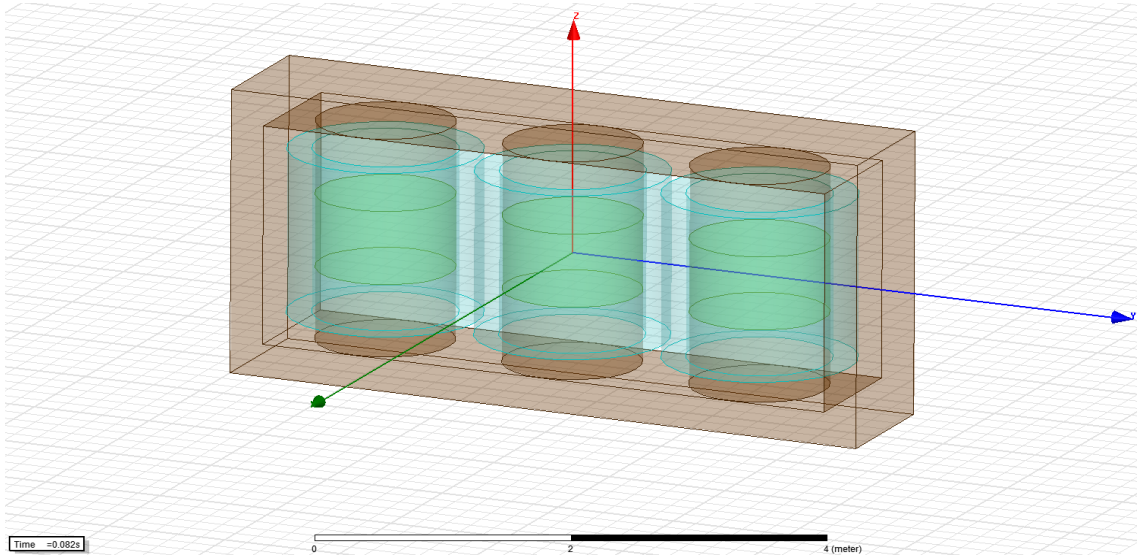
$$L = \frac{0.4 \cdot \pi \cdot \mu \cdot N^2 \cdot A \cdot 10^{-2}}{l_{av}} \quad (4.2)$$

4.2.1 1 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları

1 adet hava aralığı bırakılarak, Bölüm 2'de verilen formüller kullanılarak tasarlanan nüvenin boyutları izelge 4.2'de verilmiştir. Bu boyutlar doğrultusunda modellenen nüve şekil 4.10'da görülmektedir.

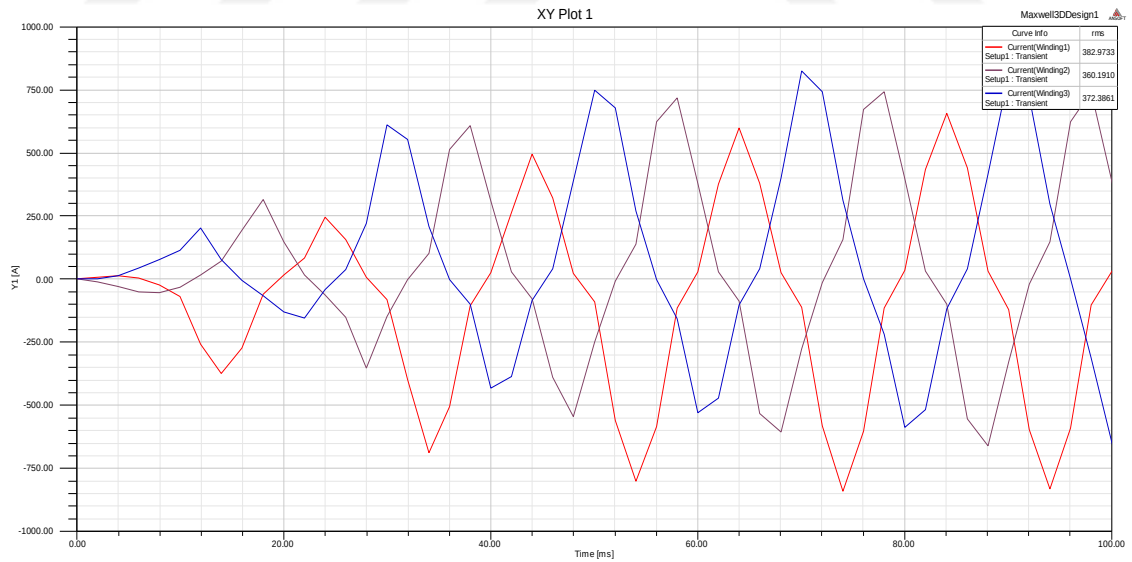
Çizelge 4.2 1 adet hava aralıklı tasarlanan nve değerleri

Parametre	Değer
Nve Bacak apı [m]	1.121
Pencere Genişliği (B_w) [m]	0.250
Pencere Yksekliği (H_w) [m]	1.864
Nve Boyu [m]	2.424
Nve Genişliği [m]	5.423

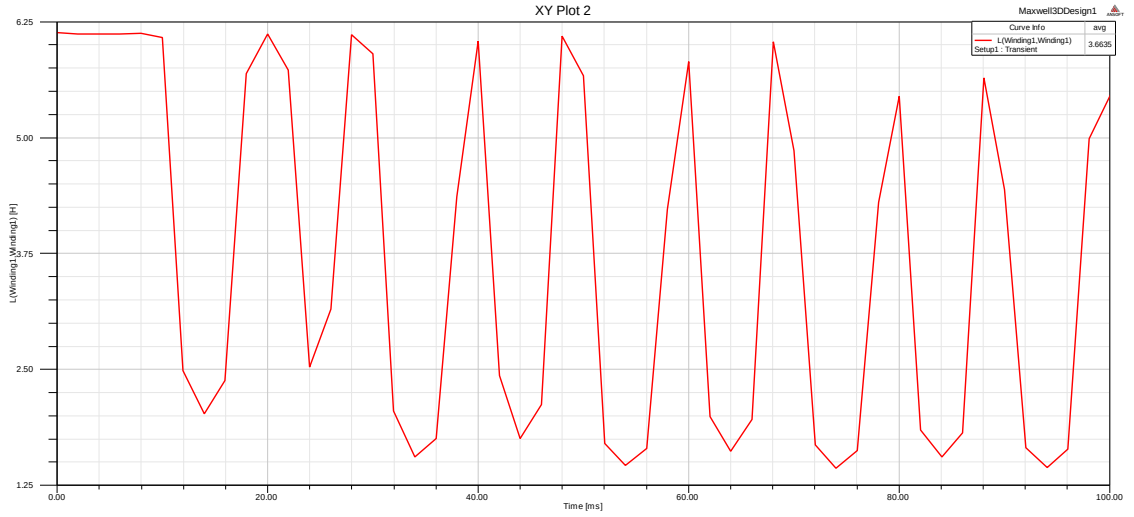


Şekil 4.10 1 adet hava aralıklı şönt reaktör

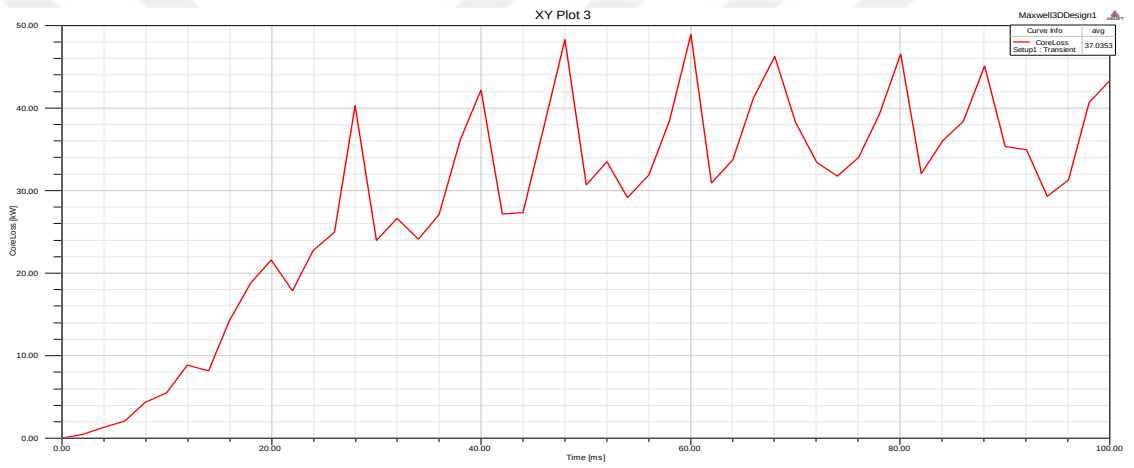
Modellenen nüve Geçici Rejim Analiz yöntemi kullanılarak benzetim çalışmasına tabi tutulmuştur. Benzetim çalışması sonucunda alınan akım, sargı endüktansı, nüve kayıpları ve manyetik akı çizgileri sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de görülmektedir.



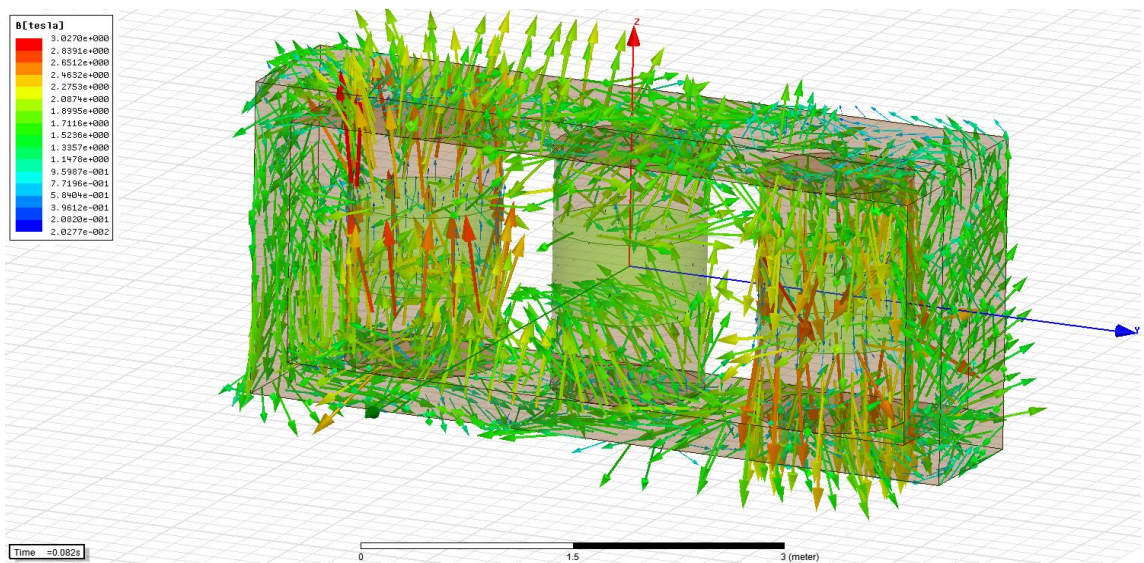
Şekil 4.11 Reaktör akım değerleri



Şekil 4.12 1 numaralı sargı endüktans değeri



Şekil 4.13 Nüve kayıpları grafiği



Şekil 4.14 Manyetik akı çizgileri

Benzetim çalışması sonrası şekiller değerlendirildiğinde; Sargı endüktans değerinin hesaplanan 3.89 H değerine yakın 3.66 H olarak görüldüğü, reaktörün çektiği akım değerinin 343,66 A olarak hesaplanmışken 382.97 A olarak çekildiği gözlemlenmiştir.

Sargı endüktansının yanında hava aralığında biriken enerjinin oluşturduğu endüktans da şönt reaktörün endüktansı üzerinde etkili olmaktadır. Hava aralığında biriken enerjinin integrali alınıp Formül 3.16 uygulandığında 0.583 H değeri elde edilmektedir. Bu endüktans değeri sargı endüktansına eklendiğinde reaktör endüktansı değeri 4.24 H olarak hesaplanmaktadır.

Nüve kayıp değeri incelendiğinde reaktörün stabil çalışma moduna oturduğu aralıkların ortalamasına bakıldığında 37 KW değerinde nüve kaybının olduğu görülmektedir.

0.082 saniyedeki Manyetik akı çizgilerine bakılacak olursa, Şekil 4.14'de görüleceği üzere hava aralığının bulunduğu kısımlarda kaçak akıların oldukça fazla ve B manyetik akı değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Bunun neticesinde ekstra kayıplar oluşmakta ve nüvenin daha kolay doyuma ulaşması gerçekleşme ihtimali bulunmaktadır.

4.2.2 10 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları

Bölüm 4.2.1'de tasarımı ve benzetim çalışması yapılan şönt reaktör modeli incelemelerinde belirtilen hava aralığında oluşan kaçak akıların azaltılması için en etkili yöntem olarak hava aralığı sayısının arttırılması kullanılmaktadır.

Hava aralığı sayısının arttırılması, reaktör tasarımında hesaplanan toplam hava aralığı uzunluğu değerinin sabit tutularak nüve bacağı boyunca bu uzunluğun eşit olarak dağıtılmasıdır. Bu bölümde 10 adet eşit olarak dağıtılmış hava aralığı için yapılan çalışma sonuçlarına yer verilecektir.

10 adet hava aralığı için yapılan hesaplama sonucu oluşan tasarımın ölçüleri Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Tasarlanan nüve incelendiğinde, nüve yüksekliği ve pencere yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni, hava aralığı sayısının arttırılmasıyla birlikte, nüvenin manyetik geçirgenliğinin artması ve bunun sonucu olarak endüktans değeri düşmesidir.

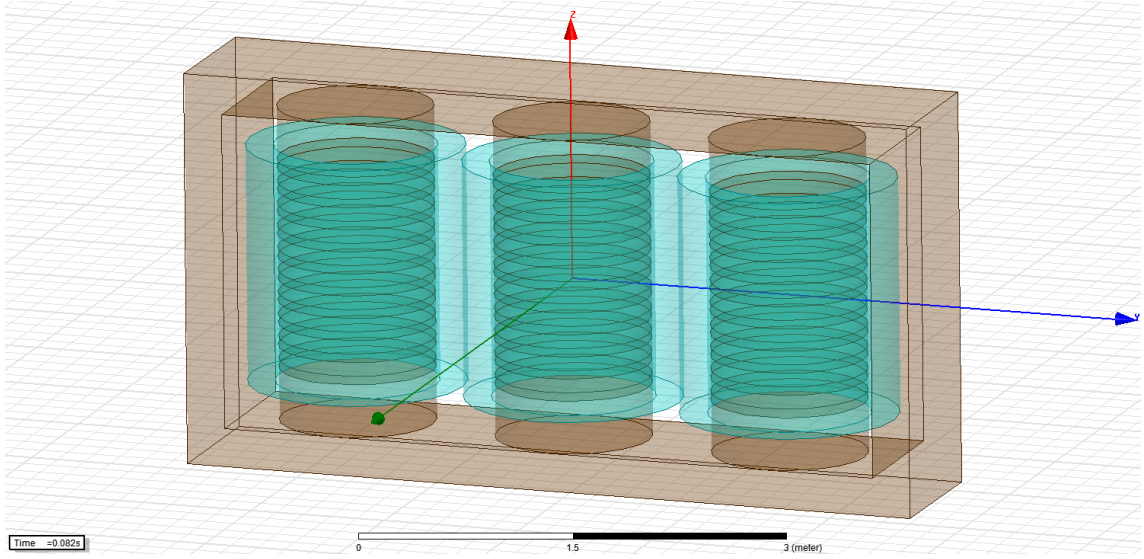
Düşen endüktans değerini normal seviyeye çekmek ve endüktans değerinin düşmesiyle artan akımın nominal seviyeye düşmesini sağlamak amacıyla sargının sarım sayısı ve buna bağlı olarak sargının boyu değişmiştir.

1 hava aralığı için yapılan sarım sayısı (N) 1400 iken, 10 hava aralığında oluşan endüktans düşümü ve akımın artması etkilerini normale döndürmek için 1722 olarak değiştirilmiştir.

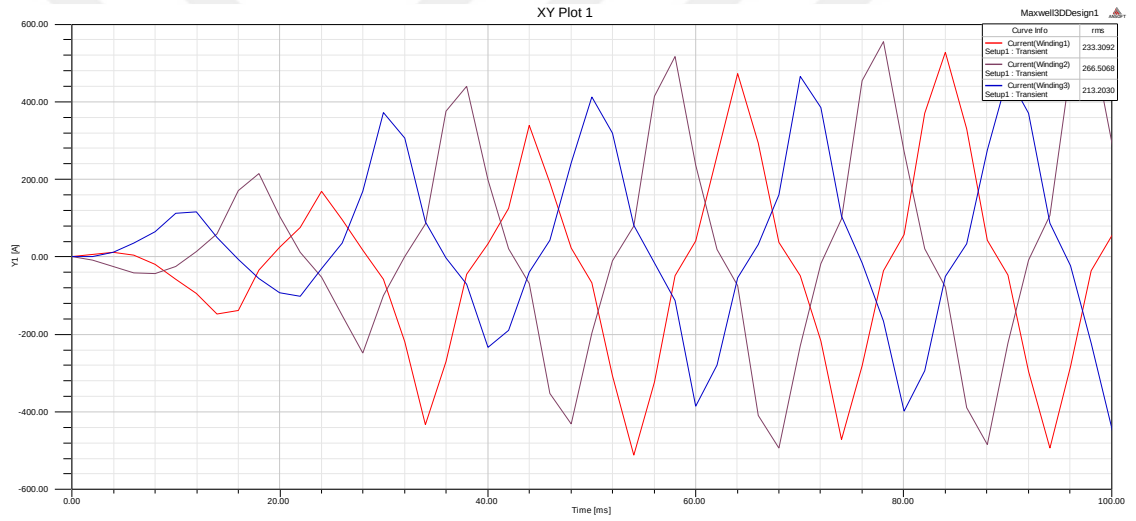
Çizelge 4.3 10 adet hava aralıklı tasarlanan nüve değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>
<i>Nüve Bacak Çapı [m]</i>	1.121
<i>Pencere Genişliği (B_w) [m]</i>	0.250
<i>Pencere Yüksekliği (H_w) [m]</i>	2.296
<i>Nüve Boyu [m]</i>	2.856
<i>Nüve Genişliği [m]</i>	5.423

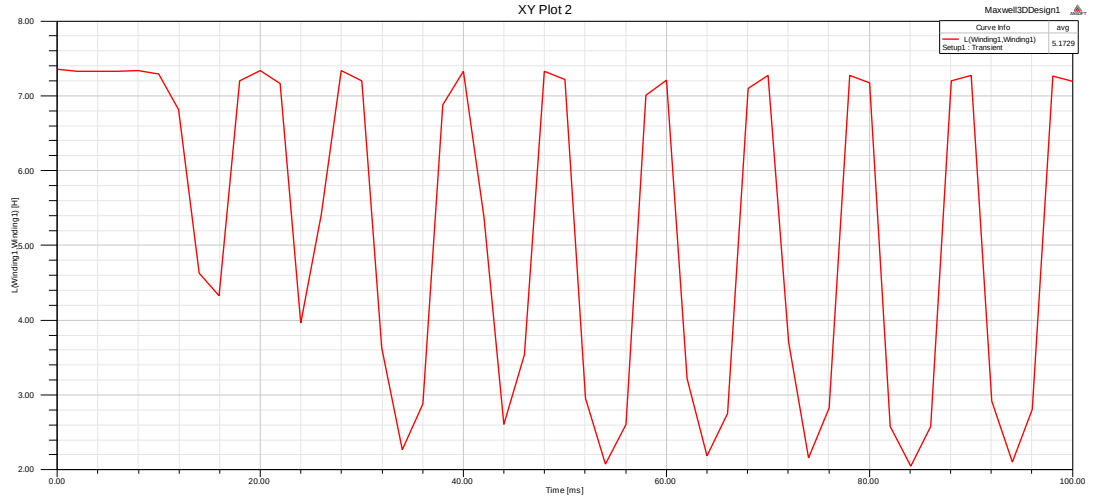
Tasarlanan nüve modellenerek Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Modellenmiş şönt reaktör benzetim çalışmasına tabi tutulduğunda, çıkan sonuçlar akım, sargı endüktansı, nüve kayıpları ve manyetik akı çizgileri sırasıyla Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görülmektedir.



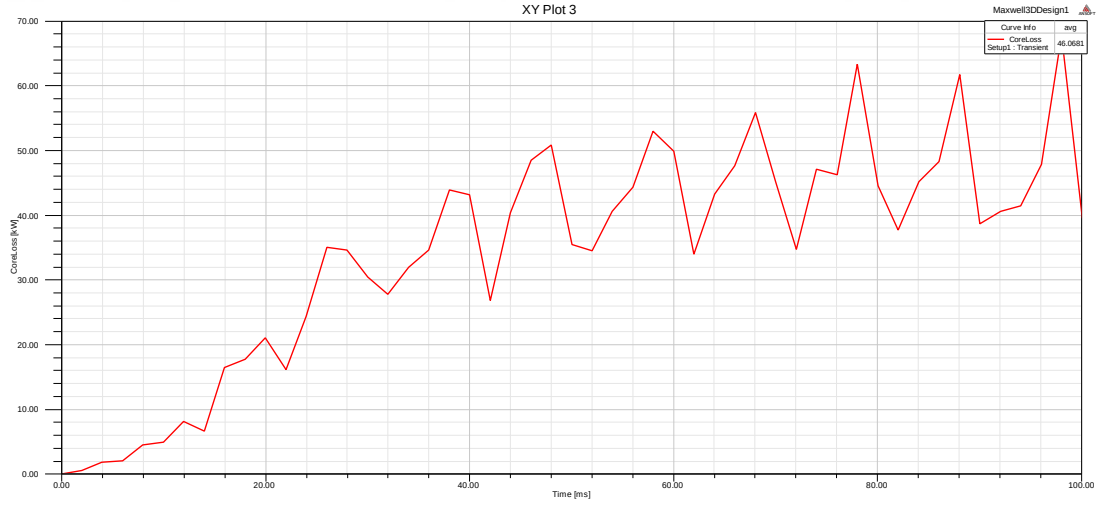
Şekil 4.15 10 adet hava aralıklı şönt reaktör



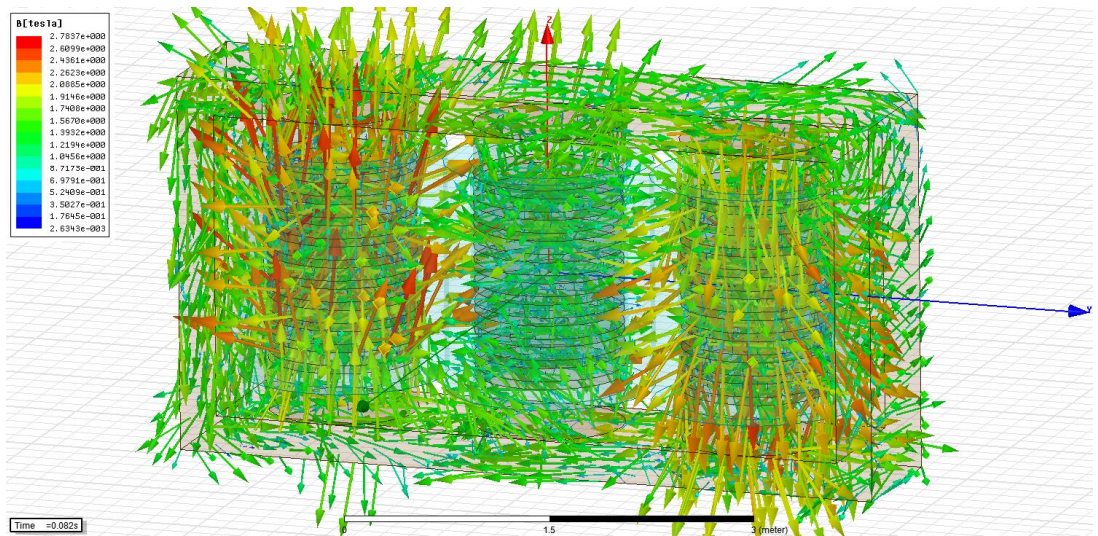
Şekil 4.16 Reaktör akım değerleri



Şekil 4.17 1 numaralı sargı endüktans değeri



Şekil 4.18 Nüve kayıpları grafiği



Şekil 4.19 Manyetik akı çizgileri

Benzetim çalışması sonuçlarına göre yapılan değerlendirmede, düşen sargı endüktans değerini arttırmak için yapılan çalışma neticesinin alındığı ve sargı endüktansının 5 H seviyelerine geldiği görülmüştür. Öte yandan akım değerlerine bakıldığında sargının büyütülmesi ile birlikte 266 A değerine kadar düştüğü görülmektedir.

Hava aralıklarında biriken enerji nedeniyle oluşan endüktans değeri hesaplandığında 0.0028 H değeri hesaplanmakta ve toplam reaktör endüktansı 5.0028 H değerine ulaşmaktadır.

Nüve kayıpları incelendiğinde, reaktörün stabil çalışmaya başladığı 45 ms anından itibaren alınan ortalama değer 46 KW olarak görülmektedir.

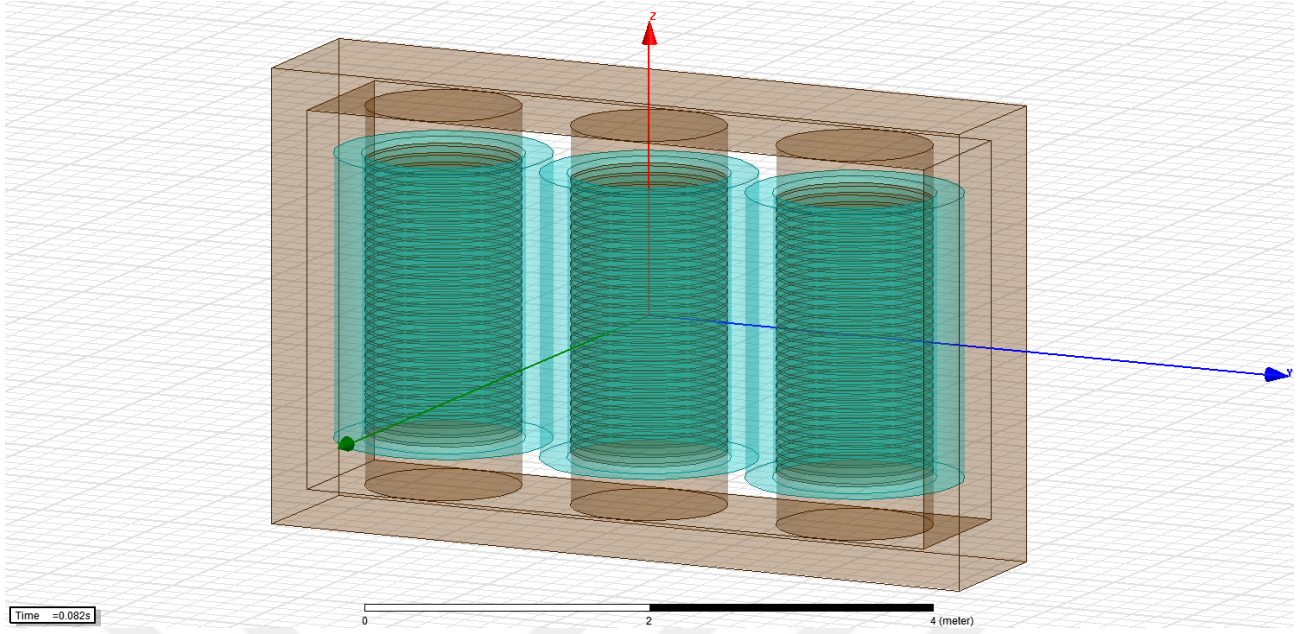
0.082 saniyedeki Manyetik akı çizgileri gözlemlendiğinde, hava aralıklarında yüksek değerli kaçakların varlığının olduğu ve reaktör çalışmasını olumsuz etkilediği görülmektedir.

4.2.3 30 Adet Hava Aralıklı Nüve Tasarım ve Sonuçları

Bölüm 4.2.2'de tasarlanan ve benzetim çalışması sonuçları değerlendirilen 10 adet hava aralıklı nüve yapısında istenilen iyileştirilmelerin tam görülememesi nedeniyle 30 Adet hava aralıklı tasarım Bölüm 2'de belirtilen formüller kullanılarak tasarlanmıştır. 30 Adet hava aralığının nüve boyunca eşit olarak dağıtılması sonucu Şekil 4.20 'de görülen şönt reaktör modeli oluşturulmuştur. Reaktör Boyutları ise Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

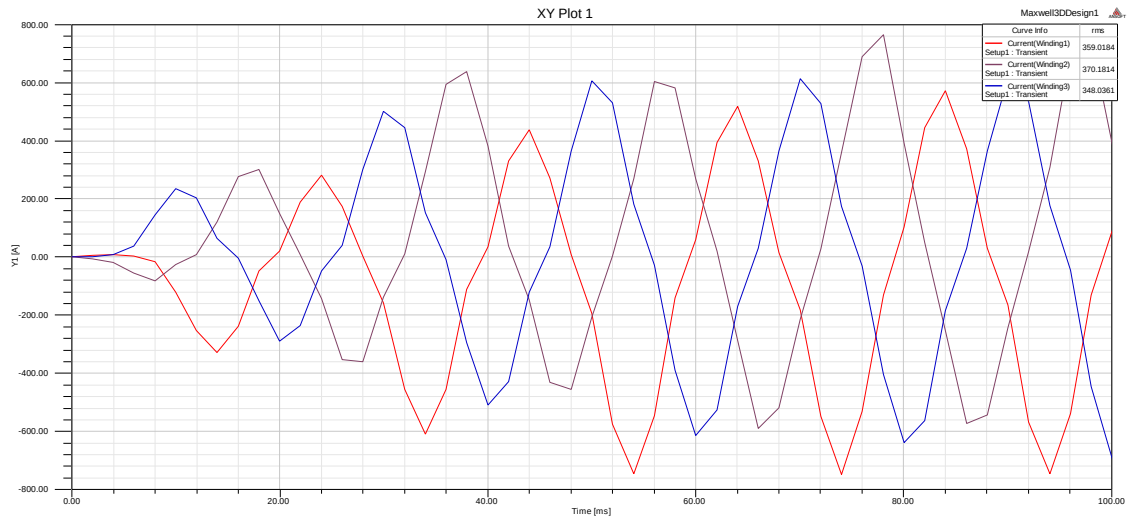
Çizelge 4.4 30 adet hava aralıklı tasarlanan nüve değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>
<i>Nüve Bacak Çapı [m]</i>	1.121
<i>Pencere Genişliği (B_w)[m]</i>	0.250
<i>Pencere Yüksekliği(H_w) [m]</i>	2.762
<i>Nüve Boyu [m]</i>	3.322
<i>Nüve Genişliği [m]</i>	5.423

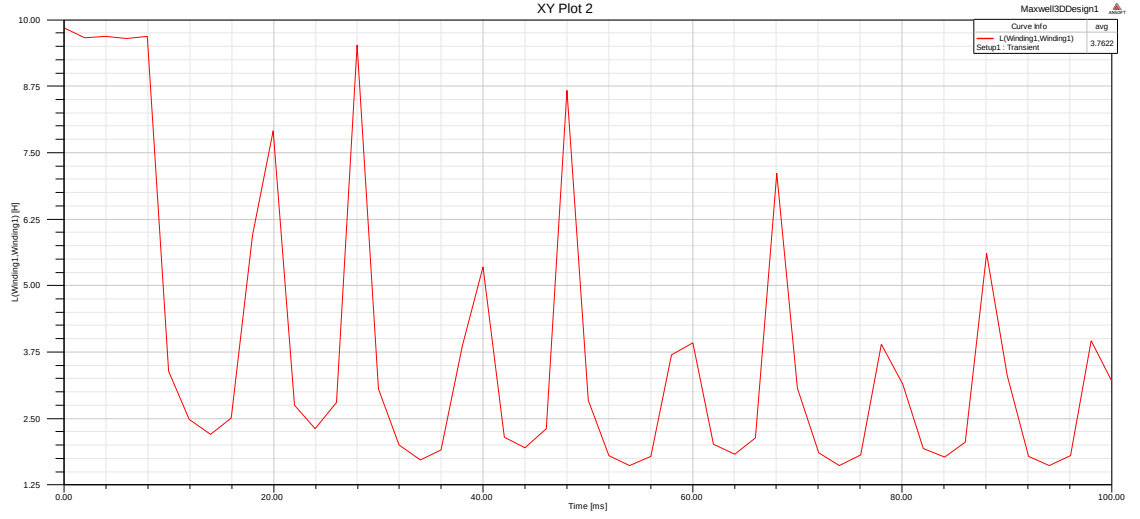


Şekil 4.20 30 adet hava aralıklı şönt reaktör

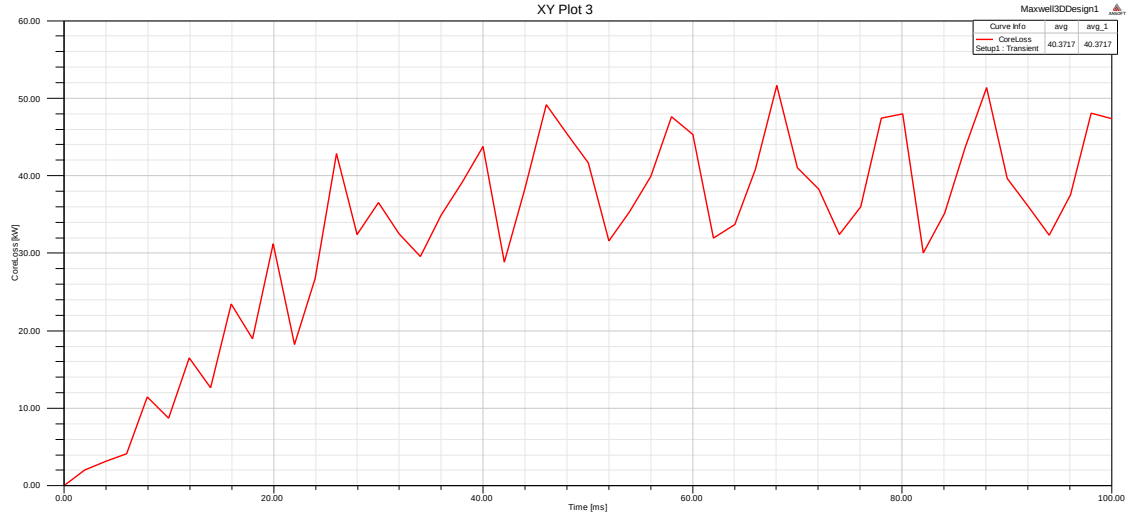
Yeni tasarlanan nüvede kullanılan sargı sarım sayısı akımın nominal değerine düşürülmesi ve istenilen endüktans değerinin sağlanabilmesi için 2072 sarım olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan bu model ile birlikte hava aralıklarında oluşan kaçakların mümkün olduğunca azaltılması, akım ve endüktans değerlerinin istenilen seviyeye ulaşması ve nüve kayıplarının azaltılması hedeflenmektedir. Yapılan benzetim çalışması sonucunda alınan akım, endüktans, nüve kayıpları ve manyetik akı çizgileri sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 'de gösterilmiştir.



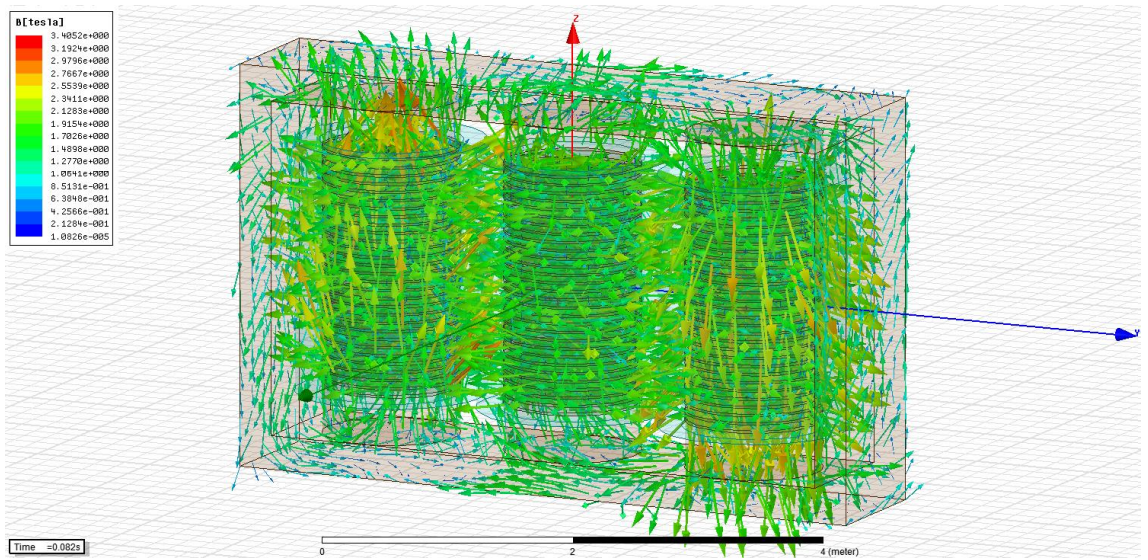
Şekil 4.211 Reaktör akım değerleri



Şekil 4.22 1 numaralı sargı endüktans değerleri



Şekil 4.23 Nüve kayıpları grafiği



Şekil 4.24 Manyetik akı çizgileri

Yapılan benzetim çalışması sonucunda; akım ve endüktans değerlerine bakıldığında, akımın 360 A olduğu ve nominal akım olan 343,66 A değerine yakın olduğu, endüktans değerinin 3.72 H olduğu ve hesaplanan endüktans değeri olan 3.89 H değerine yakın olduğu görülmektedir.

Hava aralıklarında biriken enerji neticesinde oluşan endüktans değeri yapılan hesaplamalar sonucunda 0.841 H bulunmuş ve reaktörün toplam endüktans değeri 4.60 H olarak hesaplanmıştır.

Nüve kayıpları incelendiğinde, 40.37 KW değeri okunmaktadır. Hava aralığı sayısının 1 adet olarak tasarlanan nüveden 30 kat büyük olmasına rağmen kayıplar birbirine yakın seviyededir.

Manyetik akı çizgileri gözlemlendiğinde hava aralıklarında oluşan kaçak akıların oldukça az ve değerlerinin nominal seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Bu sayede reaktör kayıpları azalacak ve nüvenin doyuma girmesi zorlaşacaktır.

4.3 Ekonomik ve Verimsel Analiz

Yapılan Geçici Rejim Analiz sonucu elde edilen değerler ile birlikte, tasarlanan şönt reaktörün ekonomik ve verimsel analizi yapılabilmektedir.

Ekonomik analiz için gereken veriler, Denklem (4.2)'de verilmiştir. Bu denkleme göre, reaktörde kullanılan toplam bakır ağırlığı Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer bir parametre olan çelik ağırlığı ise Denklem (4.4) hesaplanarak bulunabilmektedir. Güncel bakır ve demir fiyatlarına bakılarak Denklem (4.2)'de yerine konulmalıdır. Eğer, reaktör kayıpları bildirilen değerden fazla çıkarsa, birim güç başına kayıp değerinin toplam kayıplar ile çarpılması ve malzeme giderlerine eklenmesi gerekmektedir. Tüm bu verilerin toplanması sonucunda maliyet hesabımız tamamlanmış olacaktır.

$$M_{Cu} * Fiyat_{Cu} + M_{Fe} * Fiyat_{St} + (\Delta P_{Cu \text{ kayıp}} + (\Delta P_{St \text{ kayıp}}) * \text{Kayıp Bedeli} \quad (4.2)$$

$$M_{Cu} = 3 * \gamma_{Cu} * K_u * A_w * I_{av} \quad (4.3)$$

$$M_{St} = 3 * \gamma_{St} * V_{leg} \quad (4.4)$$

Tasarlanan 1, 10 ve 30 adet hava aralıklı modeller için Denklem 4.1 uygulandığında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Hava aralığı ve maliyet çizelgesi

Hava Aralığı Sayısı	1	10	30
Maliyet [\$]	133.360,00	161.872,00	195.118,00

Denklem 4.5 de verilen formül ile hesaplanan Bakır Kayıpları (P_{Cu}) ve benzetim çalışması sonucu alınan nüve kayıpları toplandığında hava aralığı sayısına göre kayıplar Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

$$P_{Cu} = 3 \cdot \left(\frac{N \cdot I_{av}}{\sigma_{Cu} \cdot A_{Cu}} \right) \cdot I^2 \quad (4.5)$$

Çizelge 4.6 Hava aralığı ve kayıplar çizelgesi

Hava Aralığı Sayısı	1	10	30
Kayıplar [kW]	256	176	326

Çizelgede verilen değerler ve benzetim çalışması verileri incelendiğinde; maliyet ve kayıplar açısından en yüksek değer 30 adet hava aralığı ile tasarlanan model için olduğu görülmektedir. Ancak; operasyon değerleri ve kaçak akıların etkilerine bakıldığında 30 adet hava aralıklı modelde istenilen değerlere ulaşıldığı görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde vazgeçilmez bir yere sahip elektrik enerjisinin, üretim tesislerinden başlayıp son kullanıcı olan bizlere kadar en az kayıpla ve en kaliteli şekilde ulaşması tüketicilerin ve üreticilerin dikkat ettiği önemli bir konudur. Bu kalite ve verimlilik elektrik enerjisinin taşındığı iletim ve dağıtım hatlarında sağlanmaktadır. Enerjinin taşınmasında büyük kayıpların verildiği yerler, sistemin en uzun ve taşıdığı güç ve gerilim bakımından en büyük kısmı olan uzun iletim hatlarında yaşanmaktadır.

Bu kayıpların ve enerji verimsizliğinin birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenlerden bir tanesi olan ve uzun iletim hatlarındaki kısmından bahsedilecek olursa, uzun iletim hatlarının yapısı gereği sahip olduğu kapasitif özellik sistemde gereksiz bir reaktif akımın dolaşmasına neden olmakta ve sistemin verimi ile birlikte gelen enerjinin kalitesini de düşürmektedir.

Bilindiği üzere kapasitif etkilerin sönmelenmesinin temel yöntemlerinden ve yaygın olarak kullanılanlarından bir tanesi kompanzasyon yöntemidir. Ancak, büyük güç ve gerilim değerlerine sahip olan uzun iletim hatlarındaki kapasitif etki de büyük olacağından dolayı sıradan bir kompanzasyon işlemi bu hatlarda etkili olmayacaktır.

Bu nedenle, bu kompanzasyon işleminin sağlanması için reaktörlerden yararlanılmaktadır. Bahsedilen durumda sönmelenecek büyüklük kapasitif olduğundan dolayı burada kullanılması gereken reaktör tipi şönt reaktördür.

Şönt reaktörlerin yapıları incelendiğinde, trafolar ile büyük benzerlik göstermektedirler. Trafolar ile karşılaştırıldığında temel farklılık, sekonder sargılarının olmayışıdır. Özetle tek sargılı trafo da denilebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı, iletim hatlarına olan etkisi

modellendiğinde sisteme bağlantısı paralel olarak bağlana büyük değerli bir endüktans olarak gösterilebilmektedir.

Ülkemizin Avrupa ve diğer ülkeler ile birbirine bağlı olduğu enterkonnekte sistem ve ülkemiz kalite standartları doğrultusunda belirlenen ve uyulması gereken standartlar mevcuttur.

Bu standartlar doğrultusunda, ülkemizde elektrik iletimi konusunda yetkili kuruluş olan Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), iletim sistemlerinde kullanılan her eleman için oluşturduğu teknik şartnameler ile elemanların özelliklerinin neler olacağını belirlemiştir.

Yapılan bu çalışmada, belirlenen tüm kalite ve teknik konudaki standart ve şartnameler çerçevesinde, iletim hatlarındaki verimlilik ve kalitenin arttırılmasında kullanılacak olan şönt reaktör tasarımı yapılmış ve benzetim çalışmasına tabi tutularak çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmada temel olarak 2 tip nüve tipi tasarımına çalışılmıştır. Bunlardan bir tanesi 3 bacaklı nüve yapısı, bir diğeri ise 5 bacaklı nüve yapısı olarak adlandırılabilir.

3 bacaklı nüve yapısı tasarımı temel bir tasarım olup, daha çok düşük ve orta güçlerde gerçekleştirilen iletim veya dağıtım işlemlerinde daha çok tercih edilmektedir. Ancak, tasarlanması planlanan şönt reaktörün güç değerlerine bakıldığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Buna rağmen, bu tasarımın neden efektif olmadığının görülmesi ve çalışmada sağlanacak çeşitlilik nedeniyle ilgili nüve yapısında sahip şönt reaktör de tasarlanmıştır.

3 bacaklı nüvenin yanında, TEİAŞ standartları ve teknik şartnamelerinde de belirtilen 5 bacaklı nüve yapısı kullanılarak şönt reaktör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yüksek güçlerde tasarlanan şönt reaktöre uygun olan bu tasarım benzetim çalışmasına tabi tutulmuş ve gerekli gözlemler yapılmıştır.

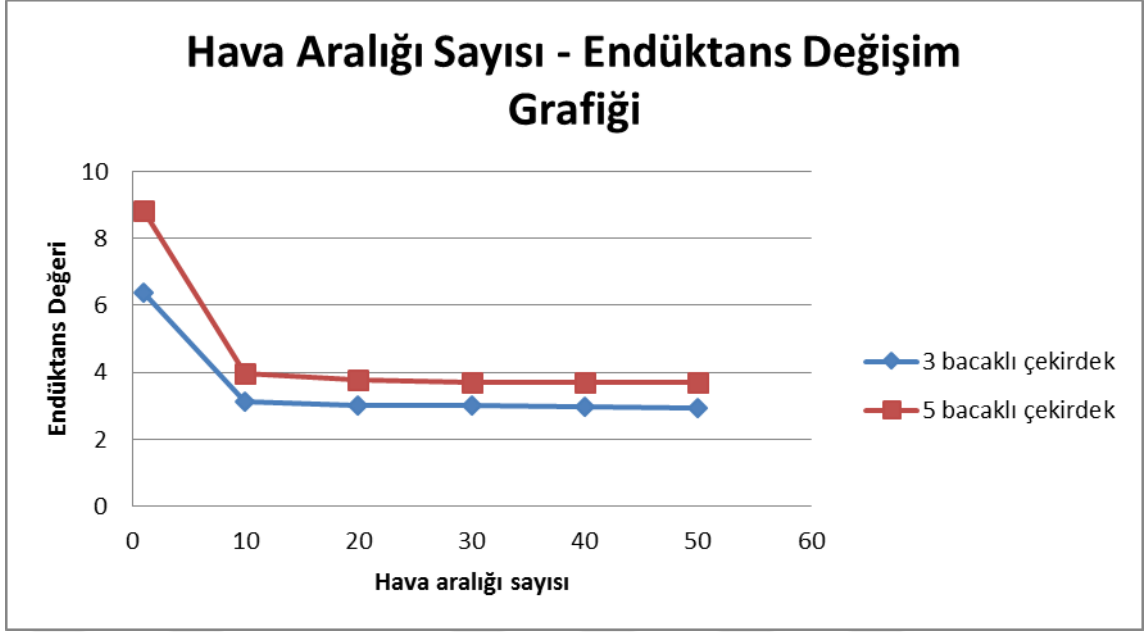
Tasarımın kritik noktalarından bir tanesi de, nüve tasarımında kullanılan hava aralıklarıdır. Nüvede bırakılan hava aralıkları, manyetik devre relüktansını arttırarak nüvenin doyuma girmesini önler ve reaktör çalışmasında aksaklık yaşanmasının önüne geçilmiş olur. Ancak, hava aralıklarının bırakılmasının getirdiği faydaların yanında

reaktörde yarattığı bazı olumsuz durumlar da bulunmaktadır. Bu olumsuz durumların başında hava aralıklarının çevrelerinde oluşan kaçak akılar bulunmaktadır. Oluşan bu kaçak akılar nüvenin doyuma girme riski oluşturmakla beraber, ekstra kayıplara da neden olmaktadır.

Bu tür olumsuzlukların önüne geçmek adına, tasarımda bırakılacak olan toplam hava aralığı uzunluğu nüve bacağı boyunca eşit uzunluklara bölünerek dağıtılmış ve böylece nüve bacağına dolaşan manyetik akının geçmesi gereken mesafe azaltılarak bu noktalarda oluşan kaçakların azaltılması hedeflenmiştir. Bu yöntemin etkilerini gözlemek amacıyla farklı sayılarda hava aralığı bırakılarak yapılan nüve tasarımları benzetim çalışmasına tabi tutulmuştur ve etkileri gözlemlenmiştir.

Reaktör nüvesinin tasarımının ardından, endüktans değerinin büyük bir bölümünü sağlayan sargıların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sargıların tasarımında, geçmesi hesaplanan akım hesaplanmış ve belirlenen akım yoğunluğu değerleri göz önüne alınarak kullanılacak olan iletkenin kesiti belirlenmiştir. Bu belirlemelerin ardından tasarımda kullanılan değerler gereği yapılan hesaplamalar da dikkate alınarak, oluşturulan sargılar reaktör modeline yerleştirilmiştir.

Şönt reaktörlerin tasarımının tamamlanmasının ardından, sonuçların gözlemlenebilmesi için tabi tutulan benzetim çalışması 2 farklı yöntemle sahiptir. Bu yöntemlerden bir tanesi, Magnetostatic yöntem olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde, temel olarak tasarlanan reaktörün çalışması gözlemlenebilmektedir. Reaktör sargılarına uygulanan sabit değerli alternatif akım ile nüve üzerinde meydana gelen manyetik akı çizgileri ve bu manyetik akı yoğunluğu gözlemlenerek tasarımda hedeflenen değerlere ulaşıp ulaşılmadığı gözlemlenmiştir. Uygulanan bu yöntemde, zaman bağılı olarak anlık reaktör durumu gözlemlenmesi yapılamamaktadır. Bu yöntem daha genel bir yöntem olup, reaktörün iletim operasyonlarında çalışırken ortalama değerlerinin gözlemlenebildiği bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, reaktör 1, 10, 20, 30, 40, 50 adet olmak 6 farklı sayıda hava aralığına sahip olacak şekilde modellenmiş ve endüktans değerlerindeki değişim gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucu, hava aralığı sayısının artması ile endüktans değerinin azaldığı ancak 30 adet hava aralığından sonra şekil 5.1'de de görüleceği üzere değişimin olmadığı anlaşılmaktadır.



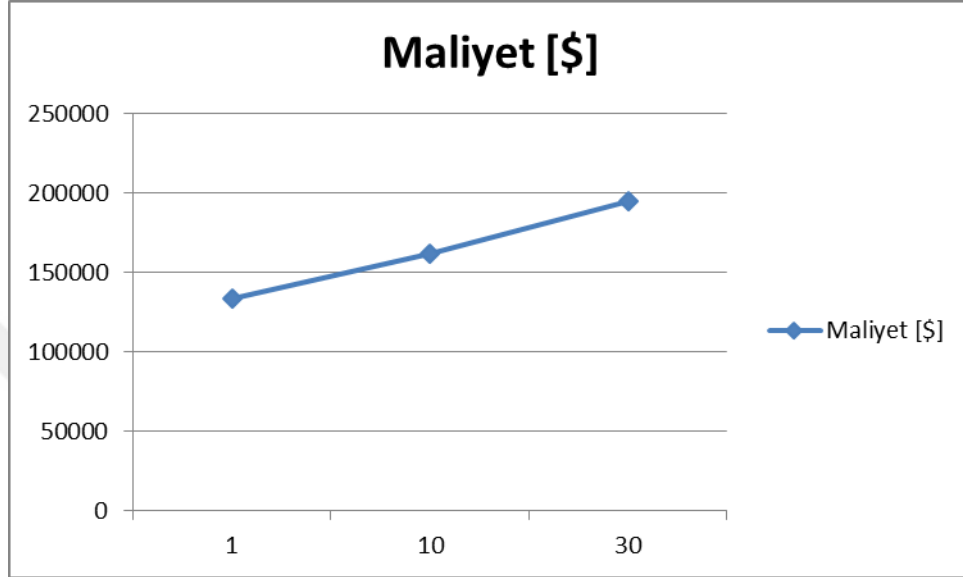
Şekil 5.1 3 ve 5 bacaklı çekirdek endüktans değişimi

Benzetim çalışmasında kullanılan diğer bir yöntem ise Geçici Rejim Analizi Yöntemidir. Bu yöntem Magnetostatic yöntemine göre daha detaylı olup, reaktör çalışmasında oluşan bir çok değerın gözlemlenmesi imkanı sunmaktadır. Tasarlanan reaktör sargılarına uygulanan sinusoidal gerilim ile reaktör tarafından çekilen alternatif akımın oluşturduğu manyetik alan çizgilerinin nüveyi kesmesi ile oluşturduğu manyetik devrenin çalışması gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde, geçici rejim analizi yönteminin getirdiği faydalardan yararlanarak nüve kayıplarının gözlemlenmesi de mümkün kılınmaktadır. Nüve kayıplarının gözlemlenmesi ile birlikte, reaktör çalışmasındaki kritik değerlerden bir tanesi olan kayıpların da değerlendirilmesi imkanı doğmuş bulunmaktadır.

Geçici rejim analizi yönteminin getirdiği avantajlarda bir tanesi de, zamana bağlı değişken olarak reaktör durumunun gözlemlenmesidir. Ayarlanan zaman aralıklarında alınan veriler sayesinde, hangi zaman biriminde reaktörün hangi durumda olduğu rahatça gözlemlenebilmekte ve sonuçların alındığı bu aralıkta gerçek zamanlı çalışmanın hareketli halde görüntüsü alınabilmektedir.

1, 10 ve 30 adet hava aralığı ile tasarlanmış nüve modellerinde benzetim çalışmaları sonucu alınan değerler, reaktörün maliyet hesabı çıkarılmak üzere kullanılmıştır. Tasarlanan farklı nüve yapıları için yapılan maliyet hesapları, reaktörlerin verimlilik

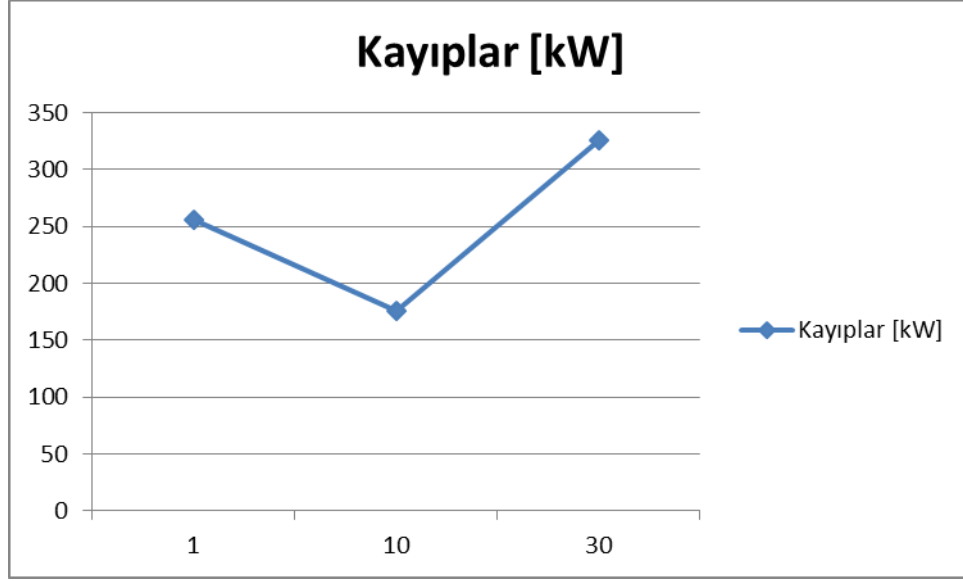
değerleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda; nüvede bırakılan hava aralıkları sayısının artması ile birlikte endüktans değerinde azalmanın hedeflenen değere ulaşabilmesi için tasarımda gidilen nüve ve sargı boyunun artması değişikliklerinin sonucu olarak, kullanılan malzemenin de artması maliyetin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.2 1, 10 ve 30 hava aralıklı nüvelerin maliyet grafiği

Sargıda meydana gelen sarım sayısının artması ve kullanılan bakır miktarının artması ile birlikte direnç değerinin de artması ile birlikte, kayıpların da buna bağlı olarak arttığı görülmektedir.

Nüve kayıpları incelendiğinde, hava aralığı sayısının artması ile birlikte önce arttığı ancak daha sonra azaldığı ve istenilen değerlere yakın olarak kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.3 1, 10 ve 30 hava aralıklı nüvelerin kayıp grafiği

Tüm bu veriler göz önüne alındığında, hava aralığı sayısının artması ile maliyet ve görünür güç kayıplarının artmış olduğu ancak istenilen endüktans ve nüve kayıpları değerine hava aralığı arttırılmış nüve tasarımında ulaşıldığından dolayı 30 adet hava aralığı olan nüve yapısı seçilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Kullanılan nüve ve hava aralığını sağlamak amacıyla kullanılan materyalde yapılacak iyileştirmeler, maliyeti belirli bir bant aralığında tutmak için sargının değişiminin belirli bir oran dahilinde yapılması şeklinde yöntemler izlenerek reaktör verimi arttırılabilir ve bunun yanında maliyet de azaltılarak iletim hatlarında kullanılmak üzere tasarımlar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Heatcote, M., (2007). J&P Transformer Book , Thirteenth Edition, Newness An imprint on Elsevier, Oxford , United Kingdom.
- [2] Tao Zheng, Zhao, Y.J., Ying Jin, Chen, P.L., Zhang, F.F. , (2015). "Design and Analysis on the Turn-to-Turn Fault Protection Scheme for the Control Winding of a Magnetically Controlled Shunt Reactor", IEEE Transactions, 30 (2): 967-975.
- [3] Turan, H. , (2009). "Demir Çekirdekli, Hava Aralığı Bulunan Reaktör Çeşitlerinin İrdelenmesi ve Bir Prototip için Uygulama Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [4] Dönük, A., (2012). " Modeling and Design of Iron-Core Shunt Reactors With Discretely Distributed Air-Gaps", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.
- [5] Lotfi A., Faridi M., (2012). "Design Optimization of Gapped-Core Shunt Reactor ", IEEE, 48(4): 1673-1676.
- [6] Sakura T., Takashi N., Fujiwara K., (2003). "3D-finite element analysis of eddy current loss of three-phase shunt reactor", JSAEM 181-88.
- [7] Harlow, J., (2004). Electric Power Transforming Engineering, 9th Edition, CRC Press, United States.
- [8] Trench Group, Variable Shunt Reactors for Reactive Power Consumption, http://www.trenchgroup.com/en/Products-Solutions/Coil-Products/Variable-Shunt-Reactors/node_727, 2017.
- [9] Nashawithi E., Fisher N., Bin Le, Taylor D., (2011). "Impact of Shunt Reactors on Transmission Line Protection" , 38th Annual Western Protective Relay Conference, 18-20 October 2011, Spokane, WA.
- [10] Arabul, F. K., Arabul, A. Y., Kumru, C. F., & Boynuegri, A. R. (2017). "Providing energy management of a fuel cell–battery–wind turbine–solar panel hybrid off grid smart home system", International Journal of Hydrogen Energy.
- [11] TEİAŞ, 420 kV Sabit Şönt Reaktör Şartnamesi, Mayıs 2014.
- [12] Reece A.B.J., Preston T.W., (2000). "Finite Element Methods in Electrical Power Engineering", Oxford University Press Inc., New York.

- [13] Lotfi A., Rahimpour E., (2013). "Optimum Design of Core Blocks and Analyzing the Fringing Effect Shunt Reactors With Distributed Gapped-Core", Elsevier, Electric Power Systems Research, 101(2013): 63-70.
- [14] Yan-ping L., Hai-ting Z., Zhen A., (2010). "Leakage inductance calculation and simulation research of extra-high voltage magnetically controlled shunt reactor", Mechanic Automation and Control Engineering(MACE), 2010 International Conference, 4025-4028.
- [15] Arabul, A. Y., & Senol, I. (2017). "Development of a hot-spot temperature calculation method for the loss of life estimation of an ONAN distribution transformer", Electrical Engineering, 1-9.
- [16] Arabul, A. Y., Kurt E., Senol I., Arabul, F. K. (2015). "An Investigation on Flux Density of Three Phase Distributed Air-Gap 3-5 Legged Shunt Reactor", IRES - 27th ICIET, Amsterdam, Netherland.
- [17] Enright W., Watson N., Nayak O., (1999). "Three-phase Five-limb Unified Magnetic Equivalent Circuit Transformer Models For PSCAD V3", IPST 1999, Budapest, Hungary.
- [18] Yan Ping L., Fang Z., Hai-ting Z., Zhen A., (2010). "Leakage inductance calculation and simulation research of extra-high voltage magnetically controlled shunt reactor", Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference, 4025-4028.
- [19] Arabul, A. Y., (2010). "Yakıt pillerinin şebekeden bağımsız ev uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre KURT
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.01.1993 / Bahçelievler
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emre.kurt@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen	Hasan Polatkan Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015 -	THY Teknik A.Ş	Uzman

YAYINLARI

Bildiri

1. Arabul, A.Y., Kurt E., Şenol İ. , Arabul, F.K., (2015), "An Investigation On Flux Density Of Three Phase Distributed Air-Gap 3-5 Legged Shunt Reactor", Institute of Research Engineers and Scientists, 25 December 2015, Netherland

