

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALARIN
OLUŞTURDUKLARI HARMONİKLERİN ŞEBEKE
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Ali Osman ÇAKIROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2007**

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALARIN
OLUŞTURDUKLARI HARMONİKLERİN ŞEBEKE
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ali Osman ÇAKIROĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI

GEBZE
2007

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALARIN OLUŞTURDUKLARI HARMONİKLERİN ŞEBEKE ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YAZAR ADI : ALİ OSMAN ÇAKIROĞLU

Flüoresan lambaların akkor flamanlı lambalara alternatif olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır. Flüoresan lambaların bir türü olan kompakt flüoresan lambalar, elektronik balastları ve nonlinear karakteristikleri nedeniyle harmonik üretmektedirler. Kompakt flüoresan lambalar küçük güçlerde üretildiklerinden, birkaç tanesinin bir arada çalıştığı durumda, bağlı oldukları şebeke üzerinde rahatsız edici düzeyde harmonik akımları üretemezler.

Ancak, enerji tasarrufunun giderek önemli bir hale geldiği günümüzde, aydınlatmada elektrik enerjisinden tasarruf edilmesi ve daha etkin aydınlatma sağlanabilmesi için, alışveriş merkezi, ofis, fabrika, otel, ev, okul, hastane vb. kurumlarda elektronik balastlı kompakt flüoresan lamba kullanımı teşvik edilmektedir. Bu çalışmada, kompakt flüoresan lambaların oluşturdukları harmonikler incelenerek, örnek bir sistem üzerinde lambaların oluşturdukları harmoniklerin analizi yapılacaktır.

Birinci bölümde harmoniklerle ilgili tanımlar ve matematiksel bağıntılar verilip, harmoniklerin neden olduğu problem çeşitleri incelenmiştir. Daha sonra kompakt flüoresan lambalar teknik açıdan değerlendirilmiş ve yapılan deneylerle meydana getirdikleri harmonikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile örnek bir model üzerinde harmonik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak kompakt flüoresan lambaların oluşturdukları harmonikler, harmonik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Analizler sonucunda, kompakt flüoresan lambaların bağlı oldukları şebeke üzerinde harmonikler ürettiği tespit edilmiştir.

SUMMARY

**TITLE : EXAMINATION OF HARMONIC EFFECTS
CREATED BY COMPACT FLUORESCENT LAMPS
ON THE NETWORKS**

AUTHOR : ALİ OSMAN ÇAKIROĞLU

The usage of fluorescent lamps as an alternative to incandescent lamps is increased more and more. Compact fluorescent lamps which is a kind of fluorescent lamp generate harmonics because of electronic ballasts and nonlinear characteristics. Since compact fluorescent lamps are manufactured in small powers, when a few of them are operating together, they can not generate harmonic currents at disturbing level in the network connected.

However, nowadays energy saving has gained more and more importance. For electric energy saving and more efficient lighting, shopping centers, hotels, houses, industrial plants, hospitals and etc. are encouraged to use compact fluorescent lamps with electronic ballast. In this study, by investigating harmonics generated by compact fluorescent lamps, harmonics generated by compact fluorescent lamps in a model system are analysed.

In the first chapter, some definitions and mathematical correlations about harmonics are given and types of harmonic problem are examined. Later, compact fluorescent lamps are technically evaluated and its harmonics are examined experimentally. Harmonic analysis in a sample model, by means of obtained results, is made. As a result, harmonics generated by compact fluorescent lamps are examined with harmonic analysis method. Analysis results, compact fluorescent lamps fixing generate harmonics in the network connected.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Eğitimime başladığımdan bu yana, anlayış ve hoşgörüsüyle yardımlarını benden esirgemeyen, hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI' ya ve Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU' na, bu tezin hazırlanmasında bana destek olan değerli arkadaşım Arş. Görevlisi Özgür KARACASU, Arş. Görevlisi M. Erhan BALCI ve çalışmanın son bölümlerinde iteratif çözüm sisteminin incelenmesinde emeği geçen Arş. Görevlisi Tuba GÖZEL'e, Yüksek Lisans yapmam için beni teşvik eden, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve destekleyen babam Ömer ÇAKIROĞLU, annem Emine ÇAKIROĞLU ve kardeşlerim Hafize ve Murat'a teşekkürlerimi sunarım.

Ali Osman ÇAKIROĞLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. HARMONİKLER VE ETKİLERİ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Harmonik Tanımı	4
2.3. Harmonik Üreten Elemanlar ve Harmoniklerin Etkileri	6
2.4. Üçüncü Harmonik Nedeniyle Oluşan Problemler	8
2.5. Harmonik Standardı	9
2.6. Sonuç ve Özet	10
3. KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALAR	11
3.1. Giriş	11
3.2. Kompakt Flüoresan Lambaların Teknik Özellikleri	11
3.3. Kompakt Flüoresan Lamba Deneyleri	13
3.3.1. Deney-1	13
3.3.2. Deney-2	25
3.3.3. Deney-3	29
3.4. Sonuç ve Değerlendirme	36
4. HARMONİK ANALİZİ VE KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALAR İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA	37
4.1. Giriş	37
4.2. Harmonik Analizi	37
4.2.1. İteratif Harmonik Analizi	38
4.2.2. Sabit Akım Kaynağı ve Norton Eşdeğer Devre Modelleri	39
4.3. Kompakt Flüoresan Lambalar ile İlgili Bir Uygulama	41

4.3.1. Aydınlatma Hattı Modeli	41
4.3.2. Aydınlatma Hattının Bilgisayar Ortamında Harmonik Analizi	45
4.4. Sonuç ve Özet	53
5. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

φ_n	: n.harmonik faz açısı
ω_1	: Temel frekans için açısai frekans
ω_n	: n.harmoniğin açısai frekansı
HD_I	: Akımın tekil harmonik bozulumu
HD_V	: Gerilimin tekil harmonik bozulumu
I	: Akımın etkin değeri
I_1	: Akımın temel frekansının etkin değeri
$[I_h]$: h.harmoniğe ait akım kaynakları matrisi
I_n	: Akımın n.harmoniğinin etkin değeri
$I_{N,h}$: Norton akım kaynağının h.harmonik bileşeni
$i(t)$: Akımın zamana bağlı ifadesi
KFL	: Kompakt flüoresan lamba
L	: Endüktans
R	: Omik direnç
THD_I	: Akımın toplam harmonik bozulumu
THD_V	: Gerilimin toplam harmonik bozulumu
V	: Gerilimin etkin değeri
V_1	: Gerilimin temel frekansının etkin değeri
$[V_h]$: h.harmoniğe ait düğüm gerilimleri matrisi
V_n	: Gerilimin n.harmoniği in etkin değeri
$v(t)$: Gerilimin zamana bağlı ifadesi
X	: Endüktif reaktans
XC_n	: n.harmoniğe ait kapasitif reaktans
XL_n	: n.harmoniğe ait endüktif reaktans
Y_h	: h. harmoniğe ait admitans matrisi
Z	: Empedans
$Z_{N,h}$: h.harmonik Norton eşdeğer empedansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sinüzoidal olmayan dalga şeklinin farklı frekanslardaki sinüzoidal dalga şekillerinin toplamı biçiminde ifadesi	6
2.2. Nötr hattından geçen üçüncü harmonik akımları	9
3.1. Kompakt flüoresan lamba blok diyagramı	11
3.2. Deney-1 Bağlantı şeması	14
3.3. Kompakt flüoresan lamba deney bağlantısı	14
3.4. A ve B marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi	15
3.5. C ve D marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi	15
3.6. E marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi	15
3.7. A ve B marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi	16
3.8. C ve D marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi	16
3.9. E marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi	16
3.10. A marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi	17
3.11. B marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi	17
3.12. C marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi	18
3.13. D marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi	18
3.14. E marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi	18
3.15. Her marka lambanın tek (1 no'lu grup) ve beş (2 no'lu grup) lambasına ait toplam harmonik bozulum (THD ₁) sonuçlarının karşılaştırılması	19

3.16. A ve B marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	19
3.17. A ve C marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	20
3.18. A ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	20
3.19. A ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	20
3.20. B ve C marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	21
3.21. B ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	21
3.22. B ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	21
3.23. C ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	22
3.24. C ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	22
3.25. D ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması	22
3.26. Lambaların ikili gruplar şeklinde bağlantısı ile elde edilen toplam harmonik bozulum (THD_I) sonuçlarının karşılaştırması	23
3.27. Lambaların karışık bağlantısından elde edilen akım harmonik genliği ve açđ değerlerinin frekans domeninde karşılaştırması	24
3.28. Lambaların karışık bağlantısı sonucunda akıma ait toplam harmonik bozulum (THD_I) sonuçlarının karşılaştırması	24
3.29. Deney – 2 Bağlantı řemasđ	25
3.30. Deney devresine seri bağlı X(bobin) ve R (direnç)	25
3.31. Farklı X/R oranları için 3. harmonik akımının genliği ile THD_V değişim grafiği	26
3.32. Farklı X/R oranları için 3. harmonik akımının açđsđ ile THD_V değişim grafiği	27
3.33. Farklı X/R oranları için 5. harmonik akımının genliği ile THD_V değişim grafiği	27

3.34. Farklı X/R oranları için 5. harmonik akımının açısı ile THD _V değişim grafiği	28
3.35. X/R=0.2841 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD _V (%) grafiği	30
3.36. X/R=0.2841 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD _V (%) grafiği	30
3.37. X/R=0.57 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD _V (%) grafiği	31
3.38. X/R=0.57 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD _V (%) grafiği	31
3.39. X/R=1.3272 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD _V (%) grafiği	32
3.40. X/R=1.3272 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD _V (%) grafiği	32
3.41. X/R=2.1202 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD _V (%) grafiği	33
3.42. X/R=2.1202 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD _V (%) grafiği	33
4.1. Sabit akım kaynağı ve Norton modelleri	39
4.2. Norton modelinin eşdeğer devresi	40
4.3. Aydınlatma hattının tek hat şeması	41
4.4. B1-B2 baraları arası aydınlatma hattının π eşdeğer modeli	42
4.5. B0-B1 baraları arası hattın modeli	42
4.6. 4x4 mm ² YVV tipi enerji kablo yapısı	43
4.7. İteratif harmonik analizi akış diyagramı	47
4.8. A fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması	49
4.9. B fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması	49
4.10. C fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması	50
4.11. Nötr (N) hattına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması	50

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kompakt flüoresan lambalar için harmonik akım limitleri	10
3.1. Deney-2’de elde edilen polinomların toplu halde gösterimi	29
3.2. 7 lambalı sistem için Deney-3’de elde edilen değerler ile hata oranları	34
3.3. 22 lambalı sistem için Deney – 3’de elde edilen değerler ile hata oranları	35
4.1. Harmonik analizlerinde elde edilen THD _v (%) sonuçları	48
4.2. Harmonik analizlerinde elde edilen 3. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri	51
4.3. Harmonik analizlerinde elde edilen 5. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri	52

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtımı sırasında, akım ve gerilimin anma frekansında değişmesi ve sinüs eğrisine çok benzer biçimde olması istenir. Günümüzde, yarı iletken teknolojisine sahip cihazların kullanımının yaygınlaşması, gerilim ve akım dalga şekillerinde istenmeyen bozulmalara sebep olmaktadır. Dağıtım sistemlerindeki tek fazlı yüklerden olan ve gaz deşarjı prensibiyle çalışan aydınlatma aygıtları önemli harmonik kaynaklarındandır [1].

Flüoresan, civa buharlı ve sodyum buharlı lambalar gaz deşarjı prensibine göre çalışan ve etkinlik faktörlerinin yüksek olması nedeniyle akkor flamanlı lambalara göre daha çok tercih edilen aydınlatma elemanlarıdır. Deşarj lambaları akım – gerilim karakteristiğinin lineer olmaması sebebiyle şebekeden sinüzoidal olmayan akım çekerler ve harmonik üretirler. Flüoresan lambaların yaygın olarak kullanılan ve akkor flamanlı lambalara alternatif olarak kullanımı her geçen gün artan bir çeşidi de kompakt flüoresan lambalardır.

Enerji tasarrufunun giderek önemli bir hale geldiği günümüzde, aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinden tasarruf edilmesi ve daha etkin aydınlatma sağlanabilmesi için, alışveriş merkezi, ofis, fabrika, otel, ev, okul, hastane vb devlet kurumlarında ve çevre aydınlatmasında elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların kullanımı teşvik edilmektedir. Kompakt flüoresan lambalar küçük güçlerde üretildiklerinden, birkaç tanesinin bir arada çalıştığı durumda, bağlı oldukları şebeke üzerinde rahatsız edici düzeyde harmonik akımları üretemezler. Ancak, yukarıda sayılan ve aynı anda binlerce lambanın çalışabileceği ortamlarda, lambaların bağlı oldukları şebekenin akım ve gerilim dalga formundaki bozulmalar rahatsız edici seviyelere ulaşabilmektedir.

Yapılan literatür araştırmasında kompakt flüoresan lambalar hakkında, farklı özellikler dikkate alınarak yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Örneğin; 1993 yılında yapılan bir çalışmada [2], farklı güç değerlerindeki kompakt flüoresan lambaların harmonik ölçümleri yapılarak, bu harmonik seviyelerini düşürmek amacıyla pasif filtre modelleri tasarlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; tasarlanan filtre modelleri maliyet, boyut ve etkileri bakımından karşılaştırılmıştır.

1993 yılında yapılan bir çalışmada [3]; manyetik balastlı flüoresan lambalar ile elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların farklı çeşitlerinin ömür, harmonik bozulma ve tüketim gücünden oluşan parametreleri dikkate alınarak performans analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda; kompakt flüoresan lambaların ömür – maliyet bakımından üstünlüklerine dikkat çekilmiştir.

2004 yılında yapılan bir çalışmada [4]; fotovoltaik sistemle beslenen bir Yunan adasının (Arki), aydınlatma tesisatlarında kullanılan tüm lambaların kompakt flüoresan lambalar ile değiştirilmesi sonucu sistemde meydana gelen harmonik bozulmalar incelenmiştir. Yapılan çalışmada, sistem içerisinde var olduğu kabul edilen dört ayrı yük tipi ile sistemin farklı yüklenme koşulları altında, sistem baralarında oluşan harmonik bozulma değerleri bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Yapılan çalışmada, sistem içerisinde var olduğu kabul edilen bütün yüklerin norton eşdeğer modelleri alınarak simülasyon yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; yük arttıkça sistem baralarında meydana gelen harmonik bozulma seviyesinin arttığına dikkat çekilmiştir.

2004 yılında yapılan bir çalışmada [5]; bir oteldeki koridor aydınlatmalarının kompakt flüoresan lambalar ile sağlandığı kabul edilmiştir. Otelin besleme sistemindeki baralarda meydana gelen harmonik bozulmalar bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Yapılan çalışmada, sistemdeki her baraya ait yük değerleri dikkate alınarak sabit akım kaynağı modeli ile sistemin tüm baralarında oluşan harmonik bozulma hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; kompakt flüoresan lambaların bağlı olduğu baranın harmonik bozulmasının diğer baralara oranla yüksek olduğu belirtilmiştir.

2005 yılında yapılan bir çalışmada [6]; kompakt flüoresan lambalar harmonik kaynağı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, farklı firmalara ait kompakt flüoresan lambaların besleme gerilimi değişimine bağlı olarak oluşturdukları akım harmonikleri incelenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen MATLAB simülasyonu ile kompakt flüoresan lambalar reaktif güç değerleri kullanılarak, nonlinear yük olarak modellenmiştir. Bu

çalışmanın sonucunda; kompakt flüoresan lambaların güç kalitesi üzerindeki bozucu etkileri ortaya konulmuştur.

Bu çalışmaların yanı sıra kompakt flüoresan lambaların ömür – maliyet ilişkisini inceleyen çeşitli çalışmalar da mevcuttur [7]. Yapılan literatür araştırmasında, kompakt flüoresan lambaların ömür–maliyet ilişkilerini inceleyen çalışmaların mevcut olduğu, buna karşın harmonik analizi ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, farklı markalara ait kompakt flüoresan lambaların oluşturdukları akım ve gerilim harmonikleri farklı deney düzenekleri yardımıyla ölçülerek, bilgisayar ortamında kompakt flüoresan lambalardan oluşan bir aydınlatma sistemi üzerinde harmonik analizlerinin ve yük modellerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Tez içerisinde incelenilen konular ve bu konularla alakalı analizlerde, aynı güç değerine sahip elektronik balastı lamba devresiyle bütünleşik (vida başlıklı) kompakt flüoresan lambalar incelenmiştir. Harmonik analizinde, harmonik iterasyon metodunun yanı sıra, sabit akım kaynağı ve norton model kullanılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde harmonikler, harmonik üreten elemanlar, harmoniklerin güç sistemlerinde meydana getirdikleri etkiler ve kompakt flüoresan lambalar ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, kompakt flüoresan lambaların teknik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında farklı markalardan oluşan kompakt flüoresan lambalarla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Dördüncü bölümde, kompakt flüoresan lambalardan oluşan bir aydınlatma sisteminin kablo parametreleri EMTP / ATP programı yardımıyla hesaplanarak, MATLAB programı ile sistem üzerinde harmonik iterasyon metodu, sabit akım kaynağı ve norton model yardımıyla harmonik analizi yapılmıştır. Yapılan harmonik analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise, ilk dört bölümdeki bilgilerin doğrultusunda ulaşılan sonuçlar özetlenmiştir.

2. HARMONİKLER VE ETKİLERİ

2.1. Giriş

Bu bölümde harmonikler hakkında genel bilgiler verilecek, harmonik üreten elemanlar ve güç sistemleri üzerine etkileri açıklanacak, harmonik indisler ve hesaplamaların nasıl yapılacağı belirtilecek, kompakt flüoresan lambaların harmonikleri ile ilgili standartlar incelenecektir.

2.2. Harmonik Tanımı

Güç sistemlerindeki lineer olmayan elemanların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışın sonucu olarak güç sistemlerinde harmonik bileşenler ve bunların olumsuz etkileri de karşımıza çıkmaktadır. Harmonikler genel olarak lineer olmayan elemanlar ile sinüzoidal olmayan kaynaklardan herhangi birisinin veya bunların her ikisinin de sistemde bulunması ile meydana gelir. Harmonikli akım ve gerilimlerin güç sistemlerinde bulunması, sinüzoidal akım ve gerilim dalgasının bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar “ *nonsinüzoidal dalga* ” olarak adlandırılır [8].

Güç sistemlerinde meydana gelen sinüzoidal olmayan akım ve gerilimler Fourier serileri yardımı ile temel frekans ve temel frekansın katları frekanslarda sinüzoidal bileşenler biçiminde ifade edilebilir [9]. Fourier serileri kullanılarak sinüzoidal olmayan akım $i(t)$ ve gerilim $v(t)$ dalga formları;

$$i(t) = \sum_1^n \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t - \varphi_n) \quad (2.1)$$

$$v(t) = \sum_1^n \sqrt{2} \cdot V_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \quad (2.2)$$

olarak ifade edilebilir. Sinüzoidal olmayan akım ve gerilimlerin etkin değeri ise

$$I = \sqrt{\sum_1^n I_n^2} \quad (2.3)$$

$$V = \sqrt{\sum_1^n V_n^2} \quad (2.4)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir [10]. Burada, I_n ve V_n sırasıyla n. harmoniğe ait akım ve gerilimin etkin değeri, φ_n ise n. harmoniğe ait faz açısıdır.

Harmoniklerin sistemde meydana getirdiği bozulmayı göstermek açısından önemli bir parametre olan ve harmoniklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda da kullanılan toplam harmonik bozulumu THD, akım ve gerilim için sırasıyla,

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.5)$$

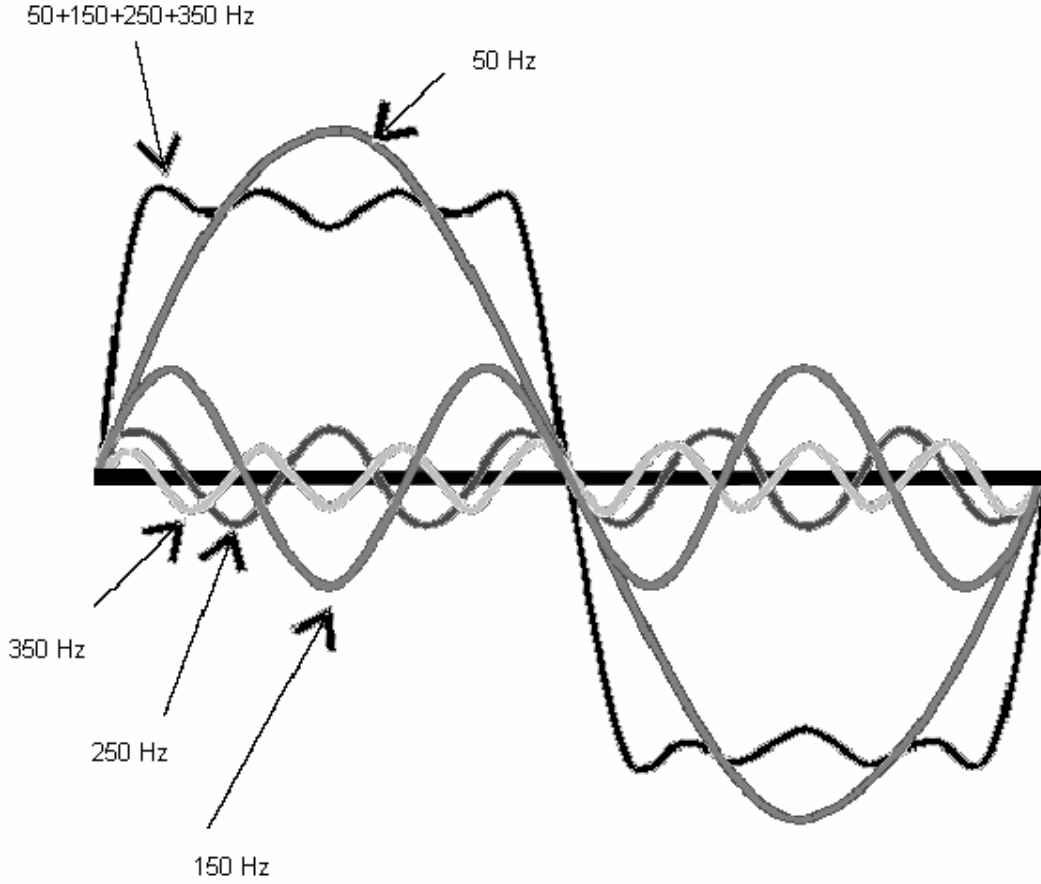
$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.6)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanabilir [9]. Her bir harmonik bileşenin temel bileşene oranı olarak tanımlanan tekil harmonik bozulumu akım ve gerilim için sırasıyla,

$$HD_I = \frac{I_n}{I_1} \quad (2.7)$$

$$HD_v = \frac{V_n}{V_1} \quad (2.8)$$

olarak ifade edilir [10].



Şekil 2.1. Sinüzoidal olmayan dalga şeklinin farklı frekanslardaki sinüzoidal dalga şekillerinin toplamı biçiminde ifadesi

2.3. Harmonik Üreten Elemanlar ve Harmoniklerin Etkileri

Harmoniklerin ortaya çıkmasına neden olan başlıca lineer olmayan elemanlar şu şekilde sıralanabilir;

- Generatörler,
- Transformatörler,

- Konverterler,
- Ark fırınları,
- Gaz deşarjı prensibi ile çalışan aydınlatma elemanları,
- Motorlar,
- Kaynak makineleri,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Senkron makinelerin uyarma sistemleri,
- Statik Var kompanzatörler,
- Mikrodalga fırınlar ve klimalar,
- Elektronik balastlar,
- DC enerji iletimi kontrolü [9, 10].

Güç sistemlerinde harmoniklerin bulunması halinde diğer elemanların çalışmasını ve performansını olumsuz etkileyen bazı sorunlar ortaya çıkar. Bu sorunların başlıcaları;

- Generatör ve şebeke geriliminin dalga şeklinin bozulması,
- Gerilim düşümünün ve kayıpların artması, verimin azalması,
- Kompanzasyon sistemlerinin aşırı yüklenmesi ve hasar görmeleri,
- Koruma ve kontrol sistemlerinin hatalı çalışması,
- Ölçü aletlerinin hatalı çalışması,
- Aydınlatma elemanlarında ve monitörlerde titreşimlerin meydana gelmesi,

- Asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmaların meydana gelmesi,
- İzolasyon malzemelerinin delinmesi,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Şebekede rezonans olaylarının neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Transformatörlerdeki demir kayıplarının frekansa bağlı artışları sonucu hasar görmeleri ya da ömürlerinin azalması,
- Elektrikli cihazların ömrünün azalması

olarak açıklanabilir [9, 10].

2.4. Üçüncü Harmonik Nedeniyle Oluşan Problemler

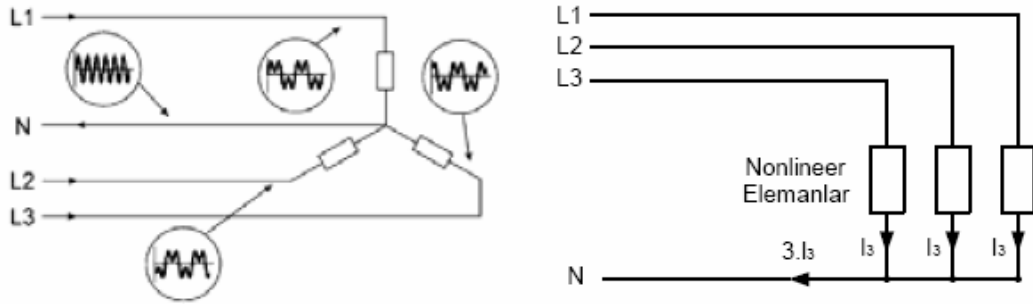
Üç faz – dört telli sistemlerde üç ve üçün katı harmoniklerden dolayı nötr iletkeni etkilenir. Üç fazlı dengeli nonlineer yük akımının n. harmonik bileşeninin etkin değeri I_n ve temel frekans için açısız frekans ω_1 olmak üzere; a, b, c faz akımlarının n. harmonik bileşenlerinin ani değerleri,

$$\begin{aligned}
 i_{a_n}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t) \\
 i_{b_n}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t - n \cdot 120^\circ) \\
 i_{c_n}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t + n \cdot 120^\circ)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir [11]. Üçüncü harmonik için ($n=3$),

$$\begin{aligned}
 i_{a_3}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t) \\
 i_{b_3}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t - 360^\circ) \\
 i_{c_3}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \sin(n \cdot \omega_1 t + 360^\circ) \\
 i_{a_3} &= i_{b_3} = i_{c_3}
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

olur. Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi, dengeli şebeke ve yük koşulları altında üç ve üçün katı harmonik bileşenlerinin her üç faz akımları birbirine eşittir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi [11], bir fazdan geçen üçüncü harmonik akımının üç katı nötr iletkeninden geçer ve nötr iletkeni bu akım nedeniyle aşırı ısınabilir. Bu nedenle nötr iletkeninin kesitinin belirlenmesinde üçüncü harmonik akımının da göz önüne alınması gereklidir [11].



Şekil 2.2. Nötr hattından geçen üçüncü harmonik akımları

Kompakt flüoresan lambalar ve elektronik balastlı flüoresan lambalar büro ve konutlarda yer alan, büyük ölçüde üçüncü harmonik üreten nonlineer yüklerdir. Nötr hattından üçüncü harmonik akımlarının toplamının geçmesi sebebiyle nötr hattı aşırı yüklenir, kayıplar ve gerilim düşümleri artar. Söz konusu sorunlara karşı alınan en yaygın önlem, nötr iletkeninin kesitinin faz iletkeninin kesitinden daha büyük seçilmesidir [6].

2.5. Harmonik Standardı

Şebekenin ve sistemdeki diğer yüklerin harmonik etkilerden mümkün olduğu kadar az zarar görmesini sağlamak ve tüketiciye daha kaliteli enerji verebilmek için harmoniklerin belirli bir seviyenin altında tutulması gerekir. Bu amaçla, lineer olmayan yüklerin toplam harmonik bozulumu (THD) ve harmoniklerin temel bileşene oranı uluslararası standartlarla sınırlandırılmıştır [10]. IEC 61000-3-2 standardında elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların 25 Watt'ı aşmayan yükleri için lamba

watt'ı başına akım harmonik değerleri benimsenmiştir. Bu değerler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kompakt flüoresan lambalar için harmonik akım limitleri [12]

Harmonik no (h)	Watt başına maksimum izin verilebilir harmonik akım (mA/ W)	Maksimum izin verilebilir harmonik akım (temel harmonik %)
3	3,4	78,2
5	1,9	43,7
7	1	23
9	0,5	11,5
11	0,35	8,05
13	0,3	6,9
$15 \leq h \leq 39$	3,85 / h	88,55 / h

2.6. Sonuç ve Özet

Akım - gerilim karakteristiği lineer olmayan yükler şebekeden sinüs formunda olmayan akım çekerler. Lineer olmayan bu akımların şebeke empedansında yaratacağı gerilim düşümleri nedeniyle şebeke geriliminin dalga formunda da bozulmalara sebep olurlar. Bozulmuş akım ve gerilimler Fourier serileri yardımı ile temel frekans ve temel frekansın katları frekanslarda sinüzoidal bileşenler biçiminde ifade edilebilir.

Harmoniklerin güç sistemleri üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Üç faz – Dört telli sistemlerde üç ve üçün katı harmoniklerin nötr hattında aşırı yüklenmelere sebep olduğu bilinmektedir.

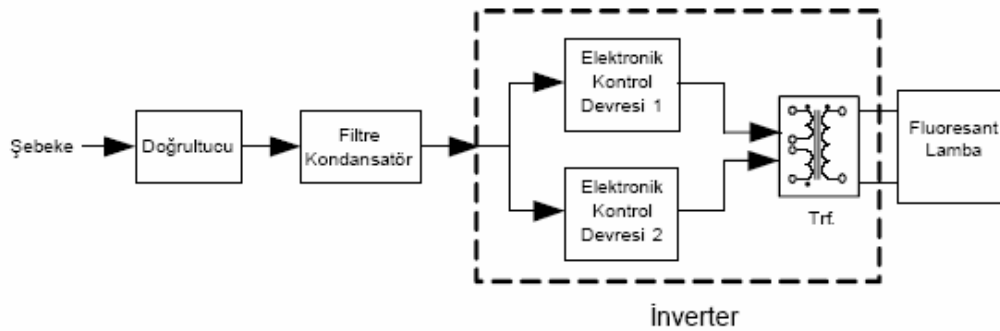
3. KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALAR

3.1. Giriş

Bu bölümde elektronik balastlı (vida başlıklı) kompakt flüoresan lambaların teknik özellikleri incelenecek, aynı güç değerinde beş ayrı markaya ait lambaların laboratuvar ortamında yapılan deneylerde elde edilen harmonik ölçüm sonuçları verilecektir.

3.2. Kompakt Flüoresan Lambaların Teknik Özellikleri

Kompakt flüoresan lambalar ile birlikte kullanılan balastlar lamba ile bütünleşik ya da ayrı olabildiği gibi, manyetik veya elektronik de olabilirler. Kompakt flüoresan lambalar 2 veya 4 pinli ya da vida başlıklı olarak imal edilmektedirler. Konutlarda yaygın olarak kullanılan akkor telli lambalar yerine E-27 vida başlıklı kompakt flüoresan lambaların balastları elektronik ve lamba ile bütünleşiktir [13]. Elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların blok diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir [14].



Şekil 3.1. Kompakt flüoresan lamba blok diyagramı

Kompakt flüoresan lambalara uygulanan 50 Hz frekanslı şebeke gerilimi doğrultulduktan sonra kondansatörle filtrelenir. Elde edilen dc gerilim inverterle yüksek frekanslı (20 kHz-50 kHz) ac gerilime dönüştürülür ve bu ac gerilim flüoresan lambaya uygulanır. Flüoresan tüpe uygulanan gerilimin frekansı yükseldikçe

ışık akısı artar ve lambanın etkinlik faktörü yükselir. Çalışma frekansı seçilirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [15].

- Yüksek ışık verimi için çalışma frekansı 10 kHz'den büyük olmalıdır.
- Rahatsız edici akustik etkileri önlemek için frekans işletme sınırı dışında (18 kHz'in üzerinde) olmalıdır.
- Frekans arttıkça anahtarlama kayıpları ve deşarj lambalarının elektromanyetik dalga yayımları artar. Bunu önlemek için frekansın üst sınırı 50 kHz'dir.

Elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların ilk satın alma maliyetlerinin, endüktif balastlı flüoresan lambalar ve akkor flamanlı lambalara göre çok yüksek olduğu, fakat işletme süresi dikkate alındığında kompakt flüoresan lambaların daha ekonomik olduğu görülmektedir [7].

Kompakt flüoresan lambalarda elektronik balast kullanıldığı için, düşük güç faktörü, harmonikler ve elektromanyetik parazitler üretirler. Kompakt flüoresan lambaların çoğu güç katsayısı düzeltme düzeneğine sahip değildir. Büyük üretici firmalar, gerekli teknolojiye sahip olmalarına rağmen, hacim, ağırlık ve maliyet nedenleriyle güç katsayısını düzeltme işlemini gerçekleştirmezler. Bu da güç katsayısının 0,6 dolaylarına, toplam harmonik distorsiyonun % 100'lere ulaşmasına neden olur [2].

Kompakt flüoresan lambaların endüktif balastlı flüoresan lambalara göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir [6]. Kompakt flüoresan lambalar:

- Starter gerektirmez, ani ateşlenir.
- Etkinlik faktörleri yüksektir, çalışma frekansının 50 Hz yerine 20kHz–50kHz aralığında (genellikle 30 kHz civarında) olması sebebiyle ışık verimi %10 artar.
- Kayıpları daha azdır, enerji tasarrufu sağlarlar.

- Endüktif balastlı flüoresan lambalar gibi birbirinden bağımsız çeşitli parçalardan oluşmadığı için, arıza yapma olasılıkları daha düşüktür. Her hangi bir arıza durumunda kompakt flüoresan lambaların yenisi ile değiştirilmesi daha kolaydır.
- Endüktif balastlı flüoresan lambalara göre; ömür, enerji etkinliği, hafiflik, parlama ve stroskobik etki bakımından kullanıma daha elverişlidir.

Bu avantajlarına rağmen kompakt flüoresan lambaların akım dalga şekli nonsinüzoidaldir ve bu akım dalga şeklinden dolayı bu lambalar %100 - %150 değerine ulaşan toplam harmonik bozulum (THD) değerleri nedeniyle güç kalitesini bozarlar [6].

3.3. Kompakt Flüoresan Lamba Deneyleri

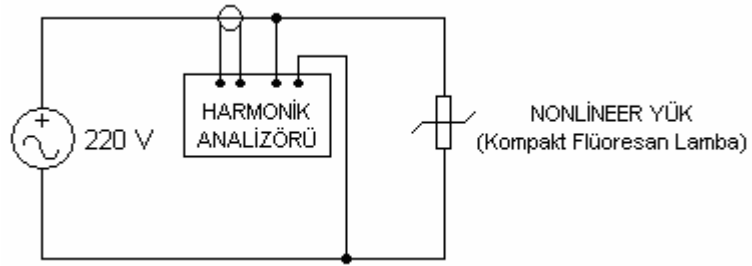
Laboratuar ortamında yapılan deneylerde elektronik balastlı ve vida başlıklı kompakt flüoresan lambalar kullanılmıştır. Beş ayrı markaya ait aynı güç değerinde (15 W) lambalar test edilmiştir. Yapılan deneylerde besleme gerilimi, 220 Volt saf sinüzoidal gerilim kaynağı ile sağlanmıştır. Şebekedeki yükler paralel olduğu için yapılan deneylerde, lambalar paralel bağlanarak ölçümler yapılmıştır.

Deneylerde lambaların oluşturduğu harmonikler Power Quality Analyzer ölçü aletiyle ölçülerek, elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yapılan ölçümlerde, lambaların oluşturduğu harmoniklerin stabil (kararlı) hale gelmesi için lambalar yaklaşık olarak 20 dakika çalıştırıldıktan sonra ölçümler alınmıştır.

3.3.1. Deney-1

Deney – 1'e ait bağlantı şeması Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir. Yapılan deneyde lambaların akım harmonikleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde lamba akım değerleri çok küçük olduğundan, akım trafosu üzerinde lambaları besleyen kablo, 10 tur sarılarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan deneyde lambalar sırasıyla şu şekilde bağlanarak ölçümler yapılmıştır;

- Aynı markaya ait lambalar tek ve beşli grup şeklinde bağlanarak ölçümler yapılmıştır.
- Her marka lamba, diğer markalardan bir lamba ile birlikte bağlanarak ikili gruplar halinde ölçümler yapılmıştır.
- Her markadan lambalar karışık olarak beşli, onlu, on beşli, yirmili ve yirmi beşli grup şeklinde devreye bağlanarak ölçümler yapılmıştır.

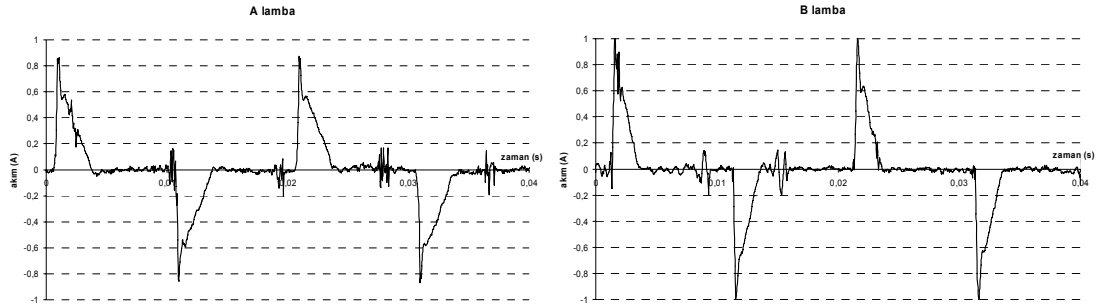


Şekil 3.2. Deney-1 Bağlantı şeması

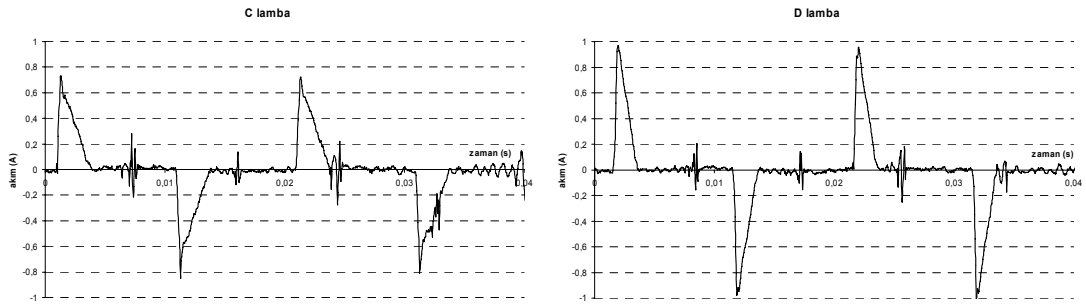


Şekil 3.3. Kompakt flüoresan lamba deney bağlantısı

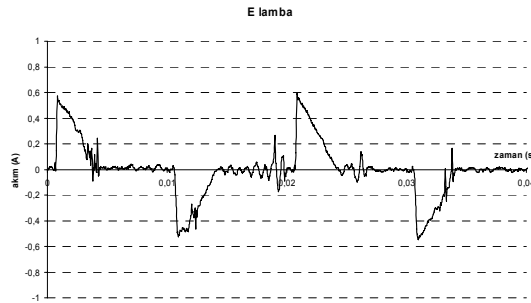
Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar MS Excel ortamında grafiksel olarak çizilmiştir. Her markanın tek lambasına ait sonuçların zaman ve frekans domeninde gösterimi aşağıda verilmiştir.



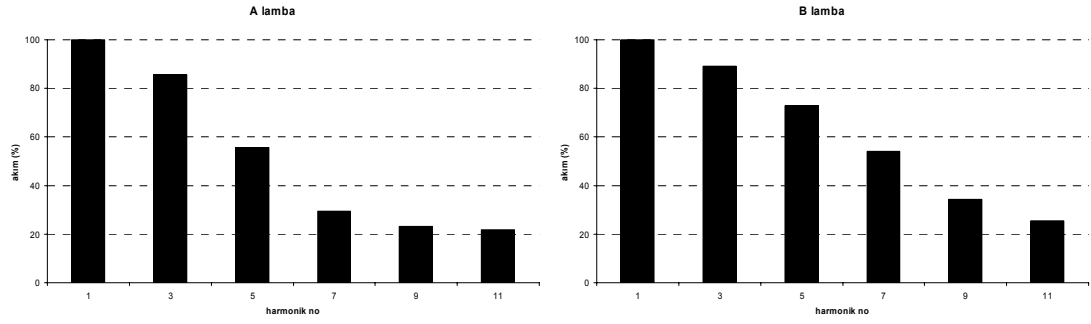
Şekil 3.4. A ve B marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi



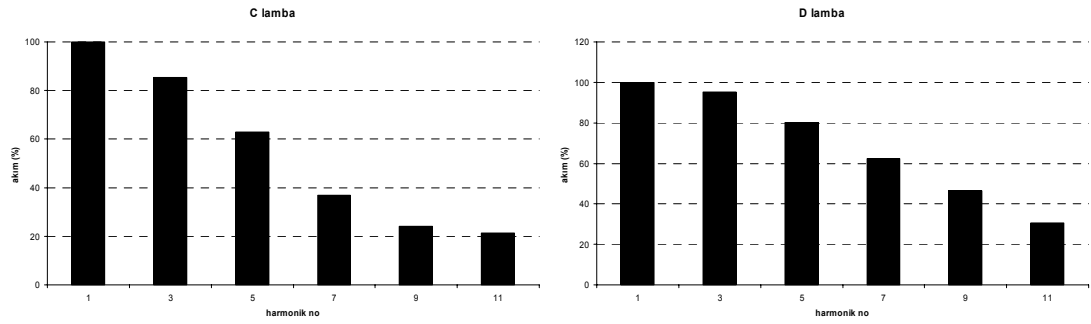
Şekil 3.5. C ve D marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi



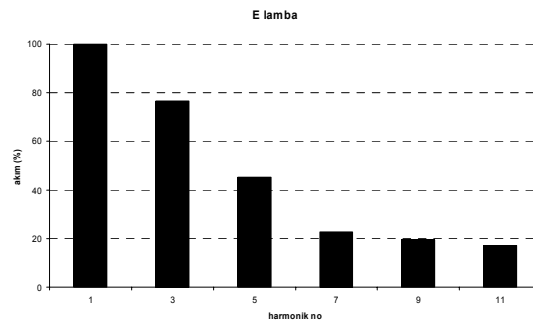
Şekil 3.6. E marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının zaman domeninde gösterimi



Şekil 3.7. A ve B marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi



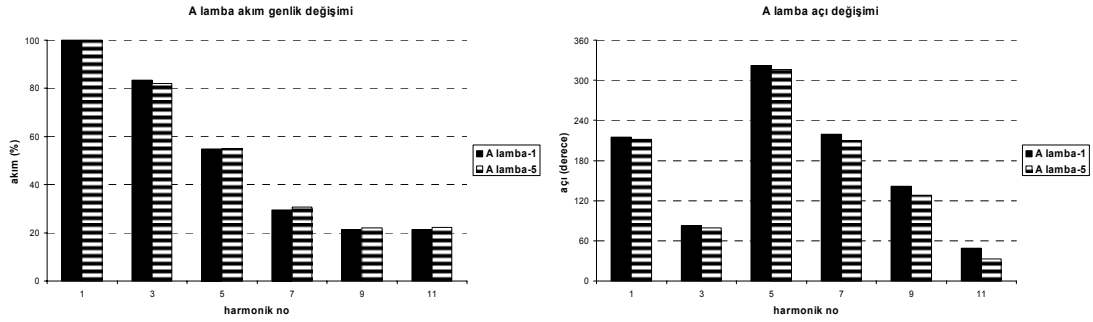
Şekil 3.8. C ve D marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi



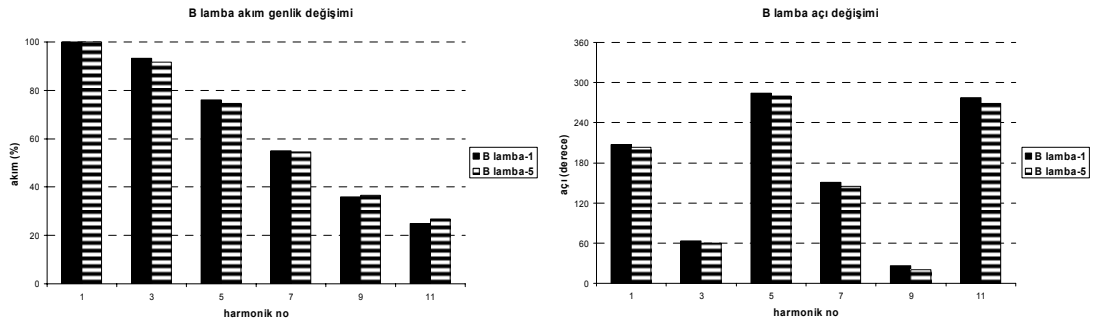
Şekil 3.9. E marka tek lambaya ait akım harmonik sonuçlarının frekans domeninde gösterimi

Kompakt flüoresan lambaların akım harmoniklerinin zaman ve frekans domenindeki gösterimleri dikkate alındığında, her marka lambaya ait akım harmoniklerinin birbirinden farklı sonuçlara sahip olduğu görülmüştür.

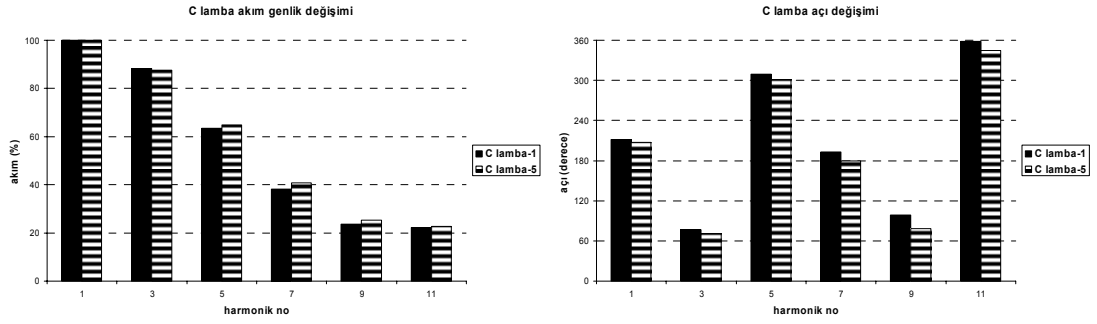
Lamba sayısına bağlı olarak akım harmonik genişliği ile açı değerlerinin nasıl bir değişim gösterdiğini görebilmek amacıyla, her marka lambaya ait tek ve beş adedinin ölçümleri sonucunda elde edilen değerler, aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



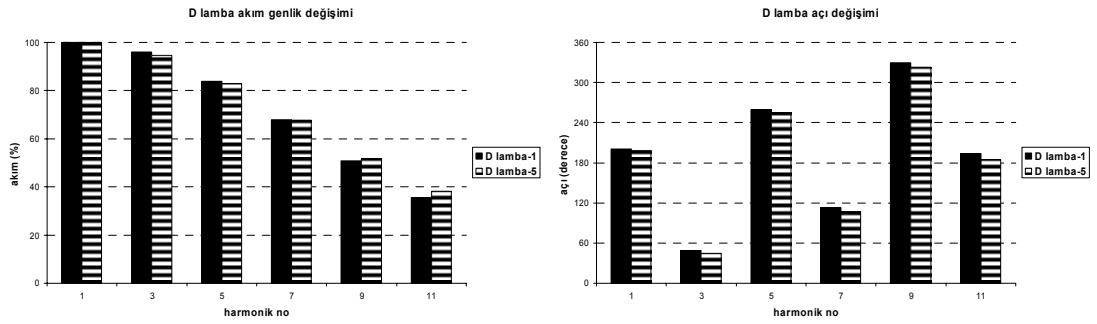
Şekil 3.10. A marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genişliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi



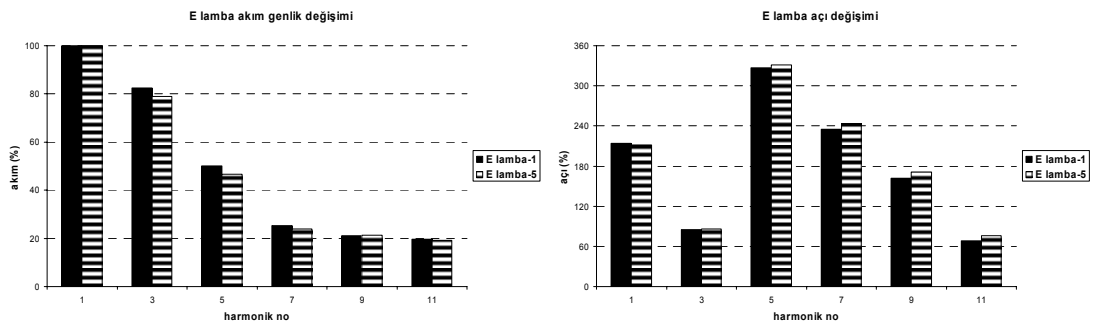
Şekil 3.11. B marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genişliği ile açı değişimlerinin frekans domeninde gösterimi



Şekil 3.12. C marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açılış değişimlerinin frekans domeninde gösterimi

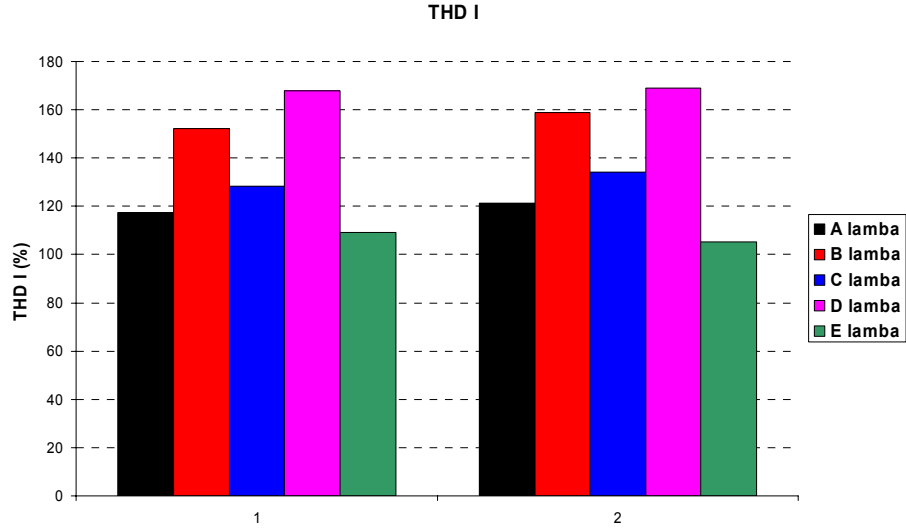


Şekil 3.13. D marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açılış değişimlerinin frekans domeninde gösterimi



Şekil 3.14. E marka lambanın tek ve beş adedine ait akım harmonik genliği ile açılış değişimlerinin frekans domeninde gösterimi

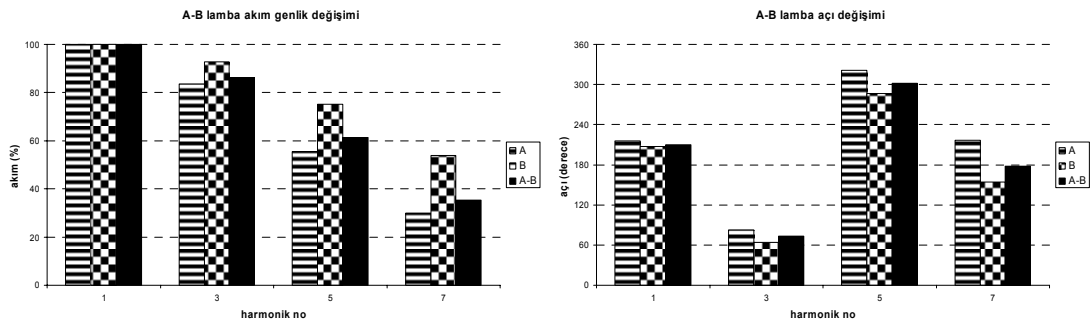
Yukarıda çizilen şekiller sonucunda, aynı markaya ait lambaların tek ve beş adedinin, akım harmonik genliği ve açı değerlerindeki değişimlerin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



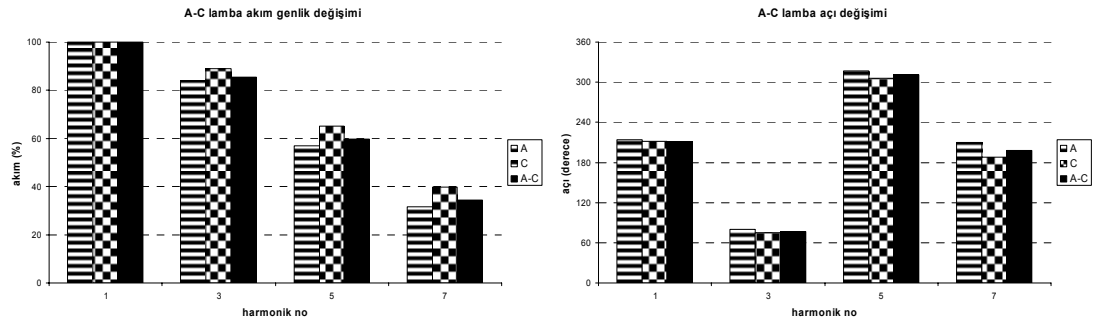
Şekil 3.15. Her marka lambanın tek (1 no'lu grup) ve beş (2 no'lu grup) lambasına ait toplam harmonik bozulum (THD_I) sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 3.15'de görüldüğü gibi aynı markaya ait lambaların sayısına bağlı olarak, akımın toplam harmonik bozulum (THD_I) değerinde lamba sayısı arttıkça bir artış görülmektedir.

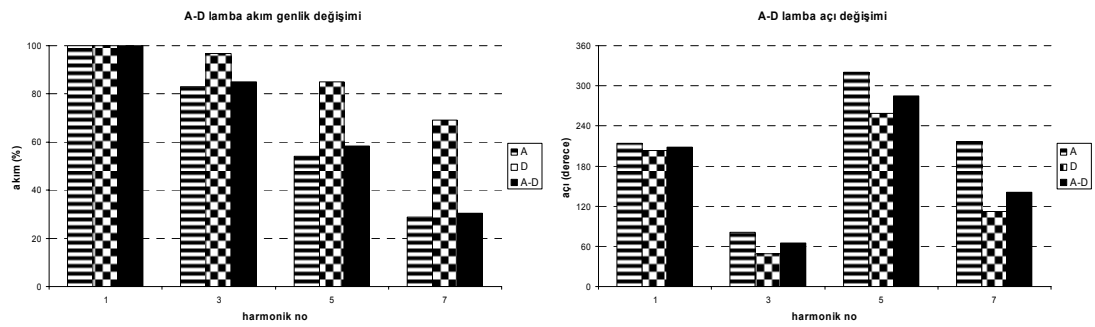
Yapılan deneylerde, aynı markaya ait lambalar kendi aralarında ölçülmüştür. Aynı şekilde, her marka lambanın diğer marka lambalarla bağlantısı sonucunda akım harmonik genliği ve açı değerleri arası değişimi incelemek amacıyla, yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



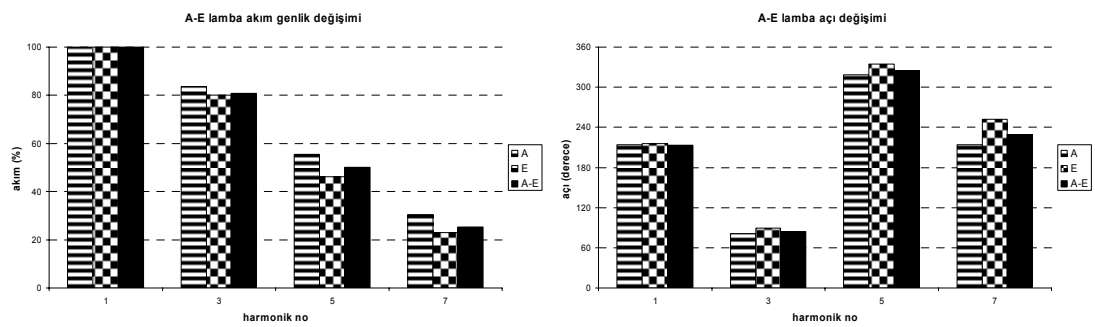
Şekil 3.16. A ve B marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açı değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



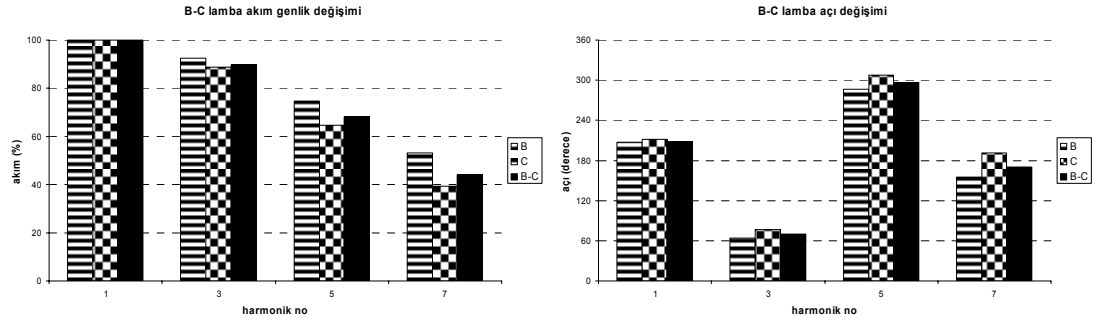
Şekil 3.17. A ve C marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açı değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



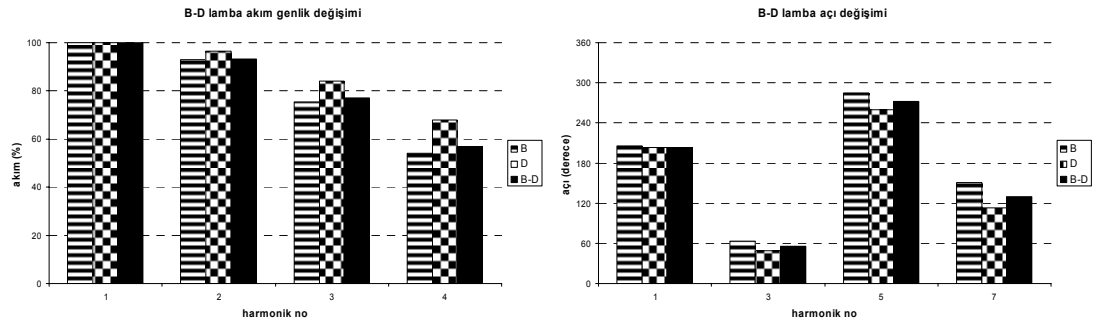
Şekil 3.18. A ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açı değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



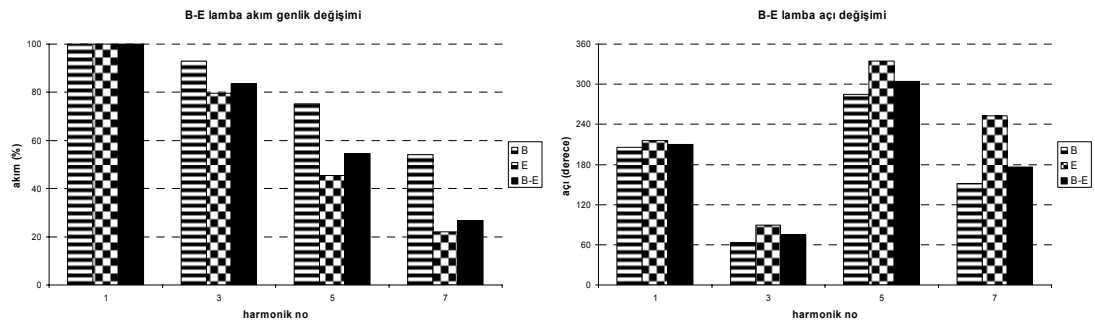
Şekil 3.19. A ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açı değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



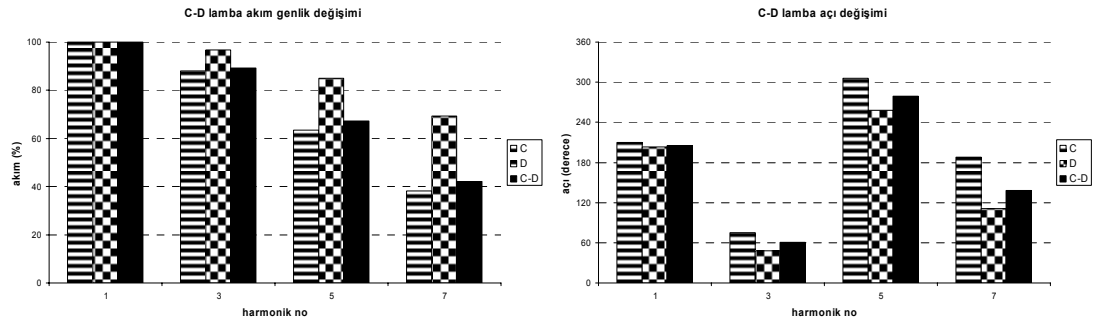
Şekil 3.20. B ve C marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



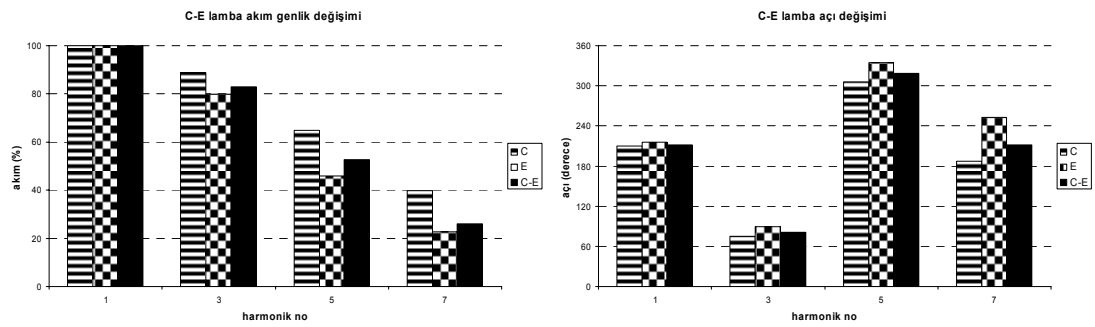
Şekil 3.21. B ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



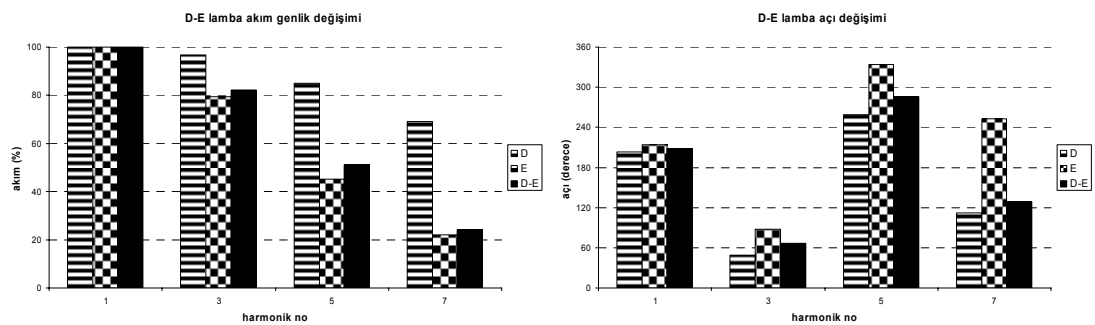
Şekil 3.22. B ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



Şekil 3.23. C ve D marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması

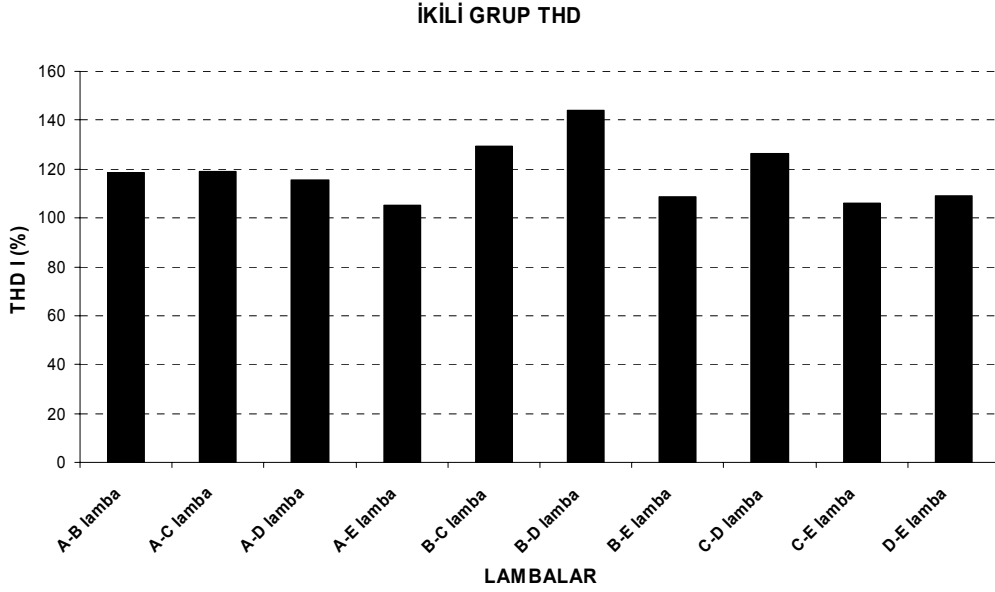


Şekil 3.24. C ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması



Şekil 3.25. D ve E marka lambanın birer adedine ait akım harmonik genliği ve açılma değerlerinin frekans domeninde karşılaştırılması

Her marka lambanın bir adedi ile diğer marka lambaların bir adedinin bağlantısı sonucunda yapılan deneylerde elde edilen veriler yardımıyla çizilen grafiklerde, akım harmonik genliklerinin ve açı değerlerinin birbirinden farklı değerlerde olduğu görülmüştür. Bu durumda akımların vektörel olarak toplamı dikkate alınırsa, iki lambaya ait toplam değerlerin (akım harmonik genliği ve açı değerleri) farklı sonuçlarda olduğu görülmektedir.



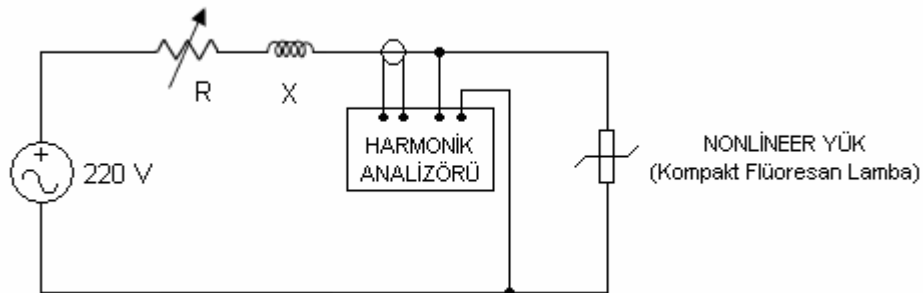
Şekil 3.26. Lambaların ikili gruplar şeklinde bağlantısı ile elde edilen toplam harmonik bozulum (THD_1) sonuçlarının karşılaştırması

Şekil 3.26'da her marka lambanın diğer marka lambalar ile bağlantısı sonucunda elde edilen, akımın toplam harmonik bozulum (THD_1) sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir. Burada, lambaların akım harmonik genliklerinin ve açı değerlerinin farklı olması sonucu, vektörel toplamaların birbirini etkilediği ve bu nedenle THD_1 değerlerinin farklı olduğu görülmektedir.

Lambaların beşli, onlu, on beşli, yirmili ve yirmi beşli gruplar halinde karışık bağlantıları sonucunda elde edilen sonuçların frekans domenindeki karşılaştırması aşağıda verilmiştir. Lambaların her markadan birer, ikişer, üçer, dörder ve beşer adet olmak üzere karışık bağlantı gerçekleştirilmiştir.

3.3.2. Deney-2

Lambaların oluşturduğu akım ve gerilim harmoniklerinin ölçümünü yapabilmek için, Şekil 3.29'daki deney devresi oluşturulmuştur. Lambalar karışık olarak beşli, onlu, on beşli, yirmili ve yirmi beşli gruplar halinde ölçülmüştür. Lambaların oluşturdukları gerilim harmoniklerini ölçebilmek için deney devresine seri olarak Şekil 3.30'da verilen, bobin (X) ve direnç (R) bağlanmıştır. Yapılan deneyde 9 farklı X/R oranı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Lambaların çektiği akım ve gerilim üzerindeki harmonik bozulmalar akım trafosu yardımıyla ölçülmüştür. Ölçümler sırasında lamba akım değerleri çok küçük olduğundan, akım trafosu üzerinde lambaları besleyen kablo, 10 tur sarılarak ölçümler yapılmıştır. Deney devresine seri olarak bağlanan bobin ve direnç, kaynak empedansı olarak kabul edilmiştir. Yapılan deneylerde kaynak empedansının değişimi (X/R oranı) dikkate alınarak ölçümler yapılmıştır. X/R değeri besleme sisteminin kısa devre gücüne ait bilgi vermesi açısından önemlidir. Ayrıca deney devresine uygulanan gerilim dalgasının bozulma değerini belirlemektedir.



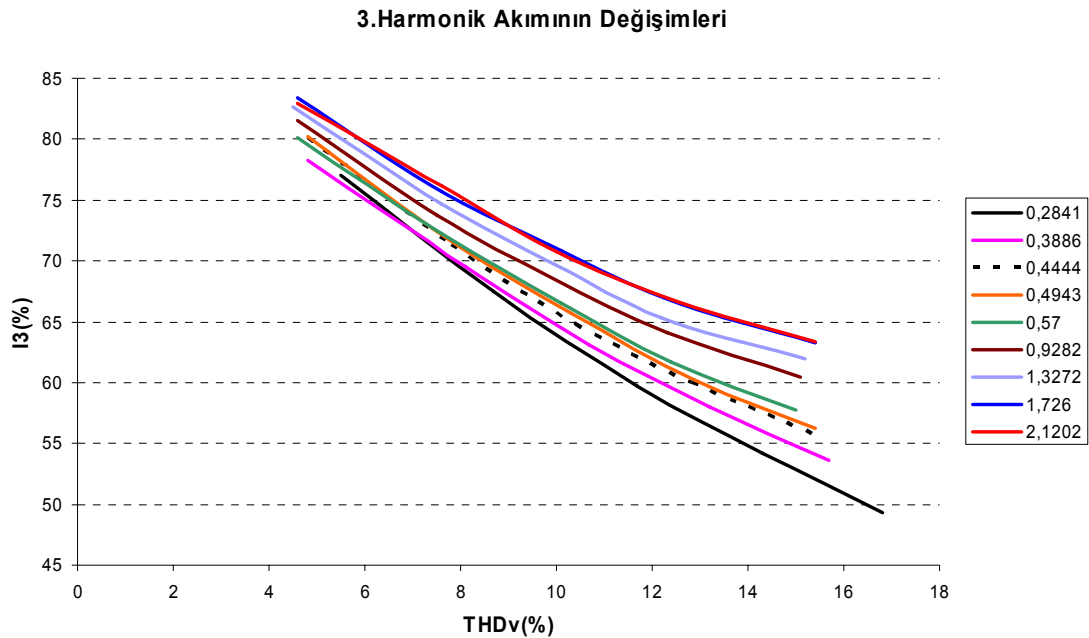
Şekil 3.29. Deney – 2 Bağlantı şeması



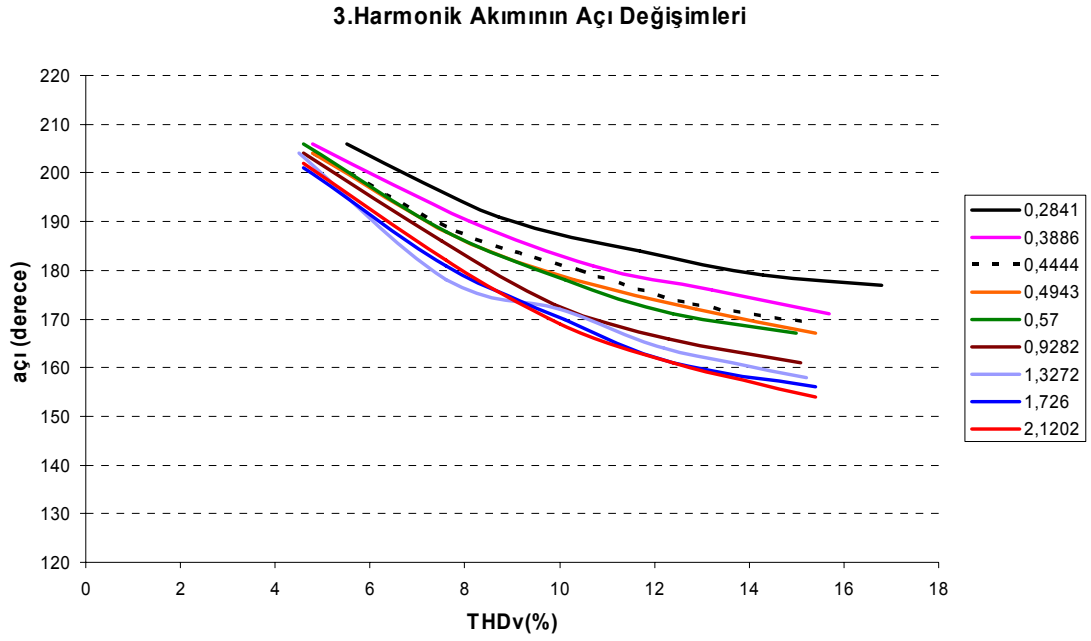
Şekil 3.30. Deney devresine seri bağlı X(bobin) ve R (direnç)

Deney-1’de elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aynı tipteki yüklerin sayısının artmasına karşılık, akım harmoniklerinin ve akıma ait toplam harmonik bozulunun (THD_I) azaldığı görülmüştür. Harmonik analizlerinde, doğru yük modellerinin oluşturulması önemlidir. Bu nedenle, Deney-2’de lamba sayısına bağlı olarak akım harmonikleri ve bu harmoniklere ait açılar ile gerilimin toplam harmonik bozulumu (THD_V) arasındaki bağıntı incelenmiştir. Bu bağıntılar dikkate alınarak iteratif harmonik analizi yapılacaktır.

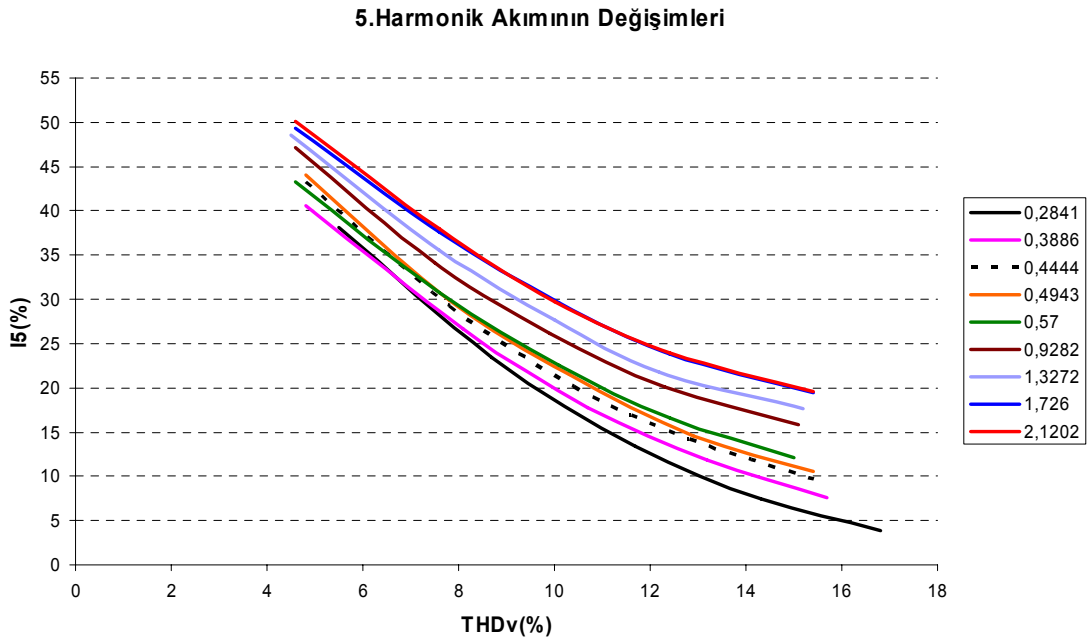
Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar MS Excel ortamında grafiksel olarak çizilmiştir. Yapılan çizimlerde 3. ve 5. akım harmoniği (%) değeri ile gerilimin THD (%) değeri arasındaki bağıntıyı gösteren grafikler elde edilmiştir. Aynı şekilde lambaların akım harmonik açıları ile gerilimin THD (%) değeri arasındaki bağıntı grafiksel olarak çizilmiştir. Çizilen grafiklerde lambda değerleri arası değişim polinom ile ifade edilmiştir. Yapılan ölçümlerde tüm X/R oranlarına ait grafiklerin aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece dört adet X/R oranına ait değerlerin grafikleri ele alınmıştır. Elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



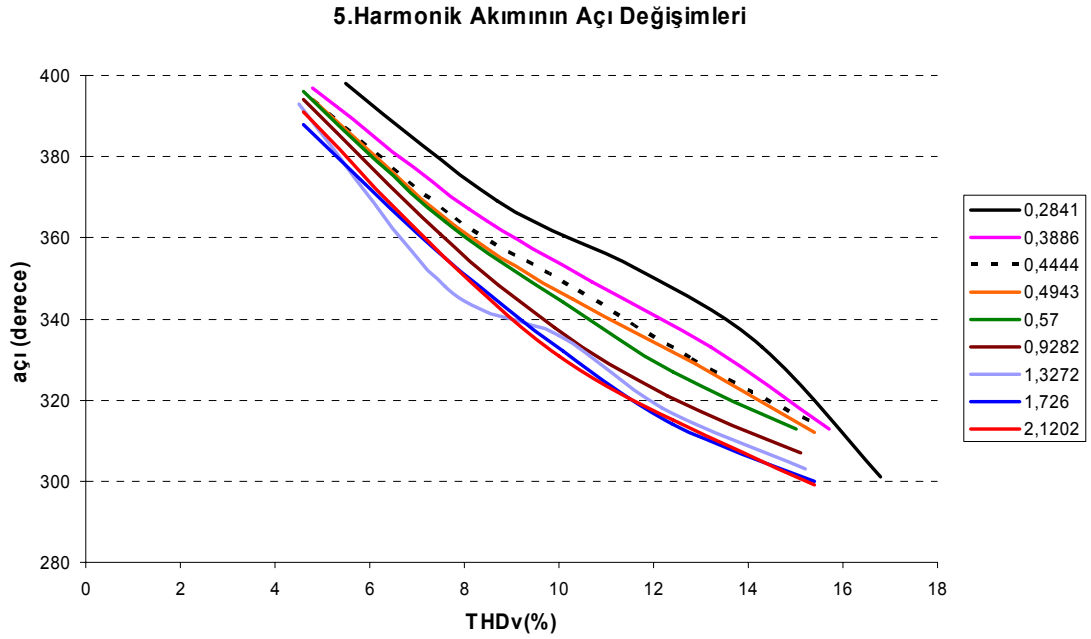
Şekil 3.31. Farklı X/R oranları için 3. harmonik akımının genliği ile THD_V değişim grafiği



Şekil 3.32. Farklı X/R oranları için 3. harmonik akımının açısı ile THD_v değişim grafiği



Şekil 3.33. Farklı X/R oranları için 5. harmonik akımının genliği ile THD_v değişim grafiği



Şekil 3.34. Farklı X/R oranları için 5. harmonik akımının açısı ile THD_V değişim grafiği

Çizilen grafiklerde gerilimin toplam harmonik bozulum (THD_V) değeri (%) ile akım harmoniklerinin (%) değeri arası değişimin, lambaların sayısına ve devreye seri bağlanan X/R oranına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Özellikle lamba sayısının artması sonucu, gerilimin toplam harmonik bozulum değeri (THD_V) artmasına rağmen akım harmonik değerlerinin azalması dikkat çekicidir. Bu durumda lamba sayısı arttıkça akım harmoniklerinin vektörel toplamları birbirini azaltacak yönde etkilemektedir. Çizilen grafiklerin birbirine benzer özellikte olduğu görülmektedir. Bu nedenle dört adet X/R oranı için MS Excel ortamında polinomlar elde edilmiştir. Elde edilen polinomların toplu halde gösterimi Tablo 3.1’de verilmiştir.

Yapılan deneyde, kompakt flüoresan lambaların akım harmonikleri ile gerilimin toplam harmonik bozulum değeri arası bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bu bağıntılar yardımıyla, örnek bir hat modeli üzerinde harmonik analizi yapılacaktır.

Tablo 3.1. Deney-2’de elde edilen polinomların toplu halde gösterimi

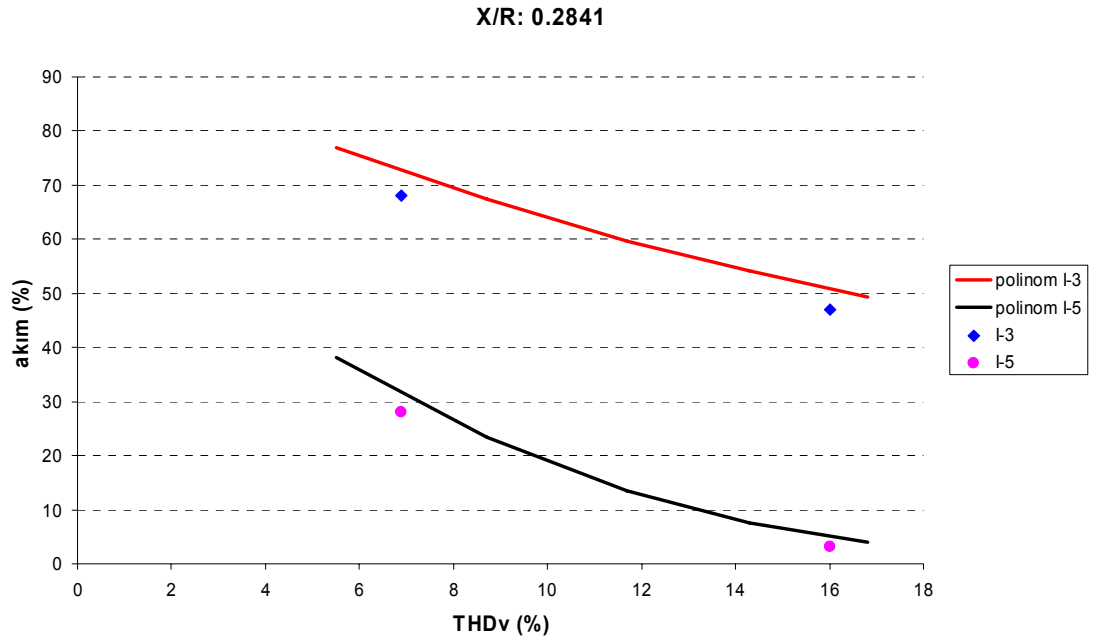
X/R oranı	polinomlar
0,2841 için	$I_3 = -0,0009 V_{THD}^4 + 0,0386 V_{THD}^3 - 0,5372 V_{THD}^2 + 0,0475 V_{THD} + 87,369$
	$\theta_3 = 0,0047 V_{THD}^4 - 0,2232 V_{THD}^3 + 4,0206 V_{THD}^2 - 34,498 V_{THD} + 306,97$
	$I_5 = -0,0002 V_{THD}^4 + 0,0052 V_{THD}^3 + 0,1453 V_{THD}^2 - 7,202 V_{THD} + 72,608$
	$\theta_5 = -0,0001 V_{THD}^4 - 0,0911 V_{THD}^3 + 2,9583 V_{THD}^2 - 36,889 V_{THD} + 526,66$
X/R oranı	polinomlar
0,57 için	$I_3 = 0,0009 V_{THD}^4 - 0,0299 V_{THD}^3 + 0,4283 V_{THD}^2 - 5,2425 V_{THD} + 97,68$
	$\theta_3 = 0,0034 V_{THD}^4 - 0,14 V_{THD}^3 + 2,3236 V_{THD}^2 - 21,703 V_{THD} + 268,76$
	$I_5 = 0,0001 V_{THD}^4 - 0,004 V_{THD}^3 + 0,2005 V_{THD}^2 - 6,2758 V_{THD} + 68,263$
	$\theta_5 = 0,0081 V_{THD}^4 - 0,3265 V_{THD}^3 + 5,024 V_{THD}^2 - 42,561 V_{THD} + 513,63$
X/R oranı	polinomlar
1,3272 için	$I_3 = 0,0021 V_{THD}^4 - 0,0787 V_{THD}^3 + 1,1153 V_{THD}^2 - 9,2472 V_{THD} + 108,03$
	$\theta_3 = 0,0229 V_{THD}^4 - 0,9565 V_{THD}^3 + 14,579 V_{THD}^2 - 99,078 V_{THD} + 432,4$
	$I_5 = 0,0018 V_{THD}^4 - 0,0647 V_{THD}^3 + 0,9917 V_{THD}^2 - 10,59 V_{THD} + 81,235$
	$\theta_5 = 0,0454 V_{THD}^4 - 1,8726 V_{THD}^3 + 27,979 V_{THD}^2 - 185,81 V_{THD} + 814,6$
X/R oranı	polinomlar
2,1202 için	$I_3 = -0,0017 V_{THD}^4 + 0,0765 V_{THD}^3 - 1,114 V_{THD}^2 + 4,3286 V_{THD} + 79,896$
	$\theta_3 = -0,0054 V_{THD}^4 + 0,2114 V_{THD}^3 - 2,6611 V_{THD}^2 + 6,8874 V_{THD} + 208,45$
	$I_5 = -0,0015 V_{THD}^4 + 0,064 V_{THD}^3 - 0,803 V_{THD}^2 - 0,0834 V_{THD} + 61,914$
	$\theta_5 = -0,0092 V_{THD}^4 + 0,3585 V_{THD}^3 - 4,5111 V_{THD}^2 + 11,032 V_{THD} + 404,92$

3.3.3. Deney – 3

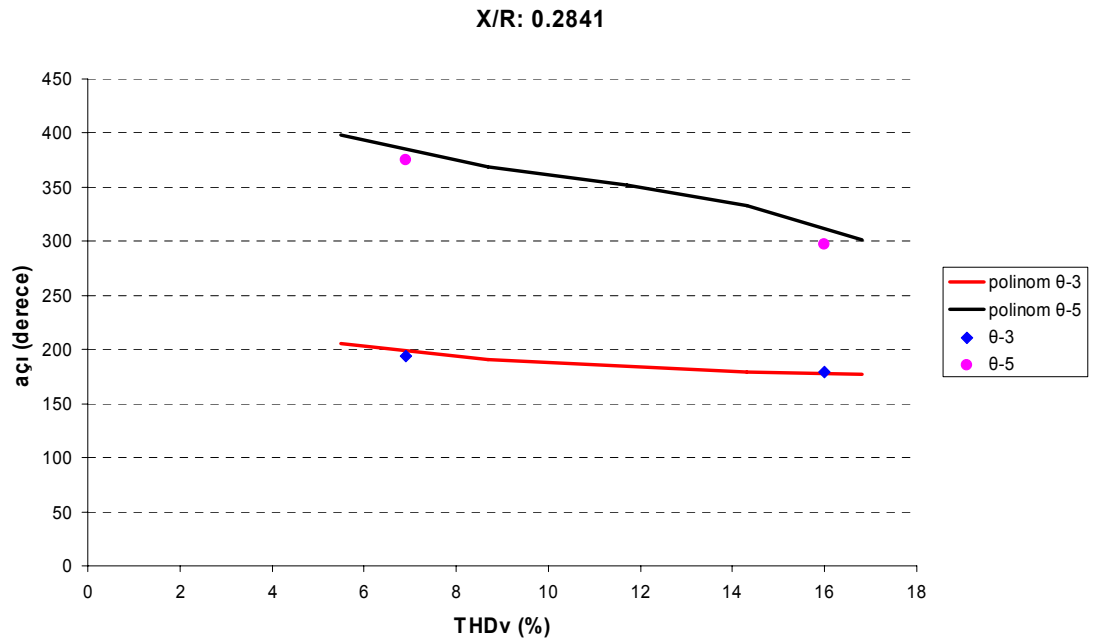
Deney-2’de elde edilen değerler ile çizilen grafiklerdeki polinomların doğruluğunu ispatlamak amacıyla, 7 ve 22 adet lambadan oluşan sistem için Şekil 3.29’daki Deney-2 bağlantı şemasından yararlanılmıştır. X/R oranı Deney-2’deki değerlere mümkün mertebe yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Aynı değerler elde edilemese de çok yakın değerlerle ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda Deney-2’de elde edilen polinomlar üzerinde, yeni bulunan değerler gösterilerek polinom ile yeni bulunan değerler arasındaki hata oranları hesaplanmıştır. Elde edilen grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

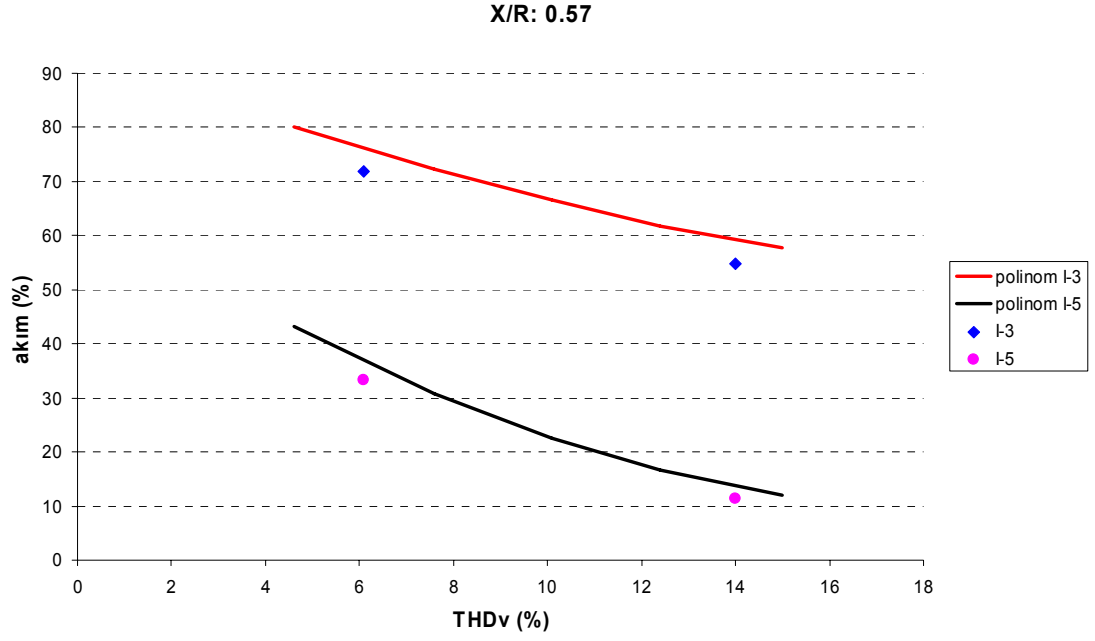
Grafiklerde polinom ile belirtilen eğriler (polinom I-3, polinom I-5, polinom θ -3 ve polinom θ -5) Deneysel-2'den elde edilen polinomların ifadesidir. Diğer ölçüm noktaları ise (I-3, I-5, θ -3 ve θ -5) Deneysel-3'de elde edilen değerleri göstermektedir.



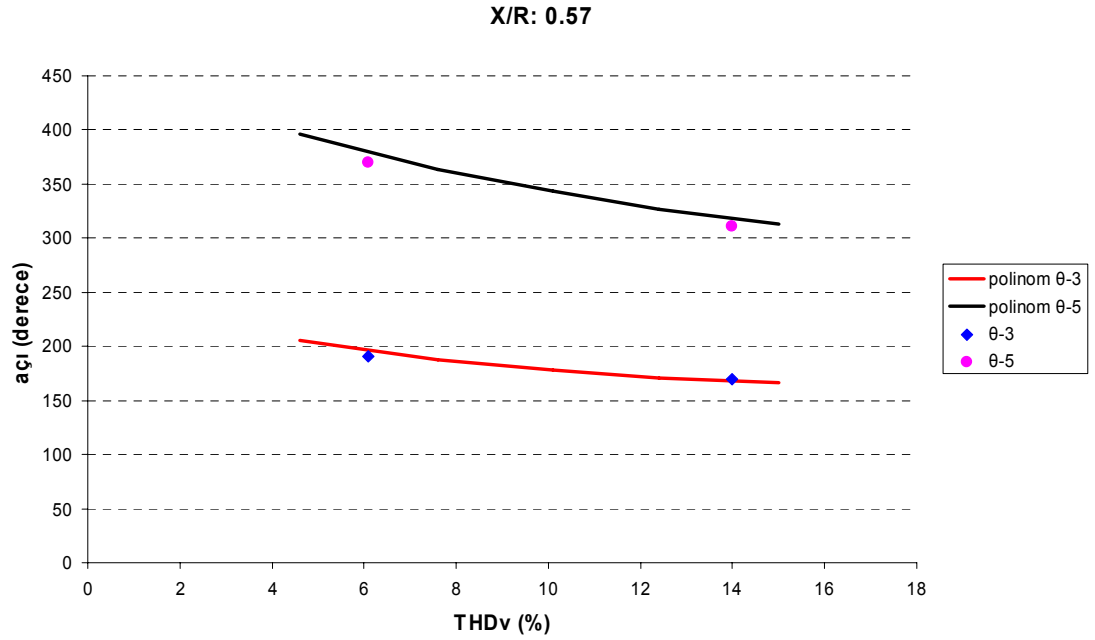
Şekil 3.35. X/R=0.2841 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD_v (%) grafiği



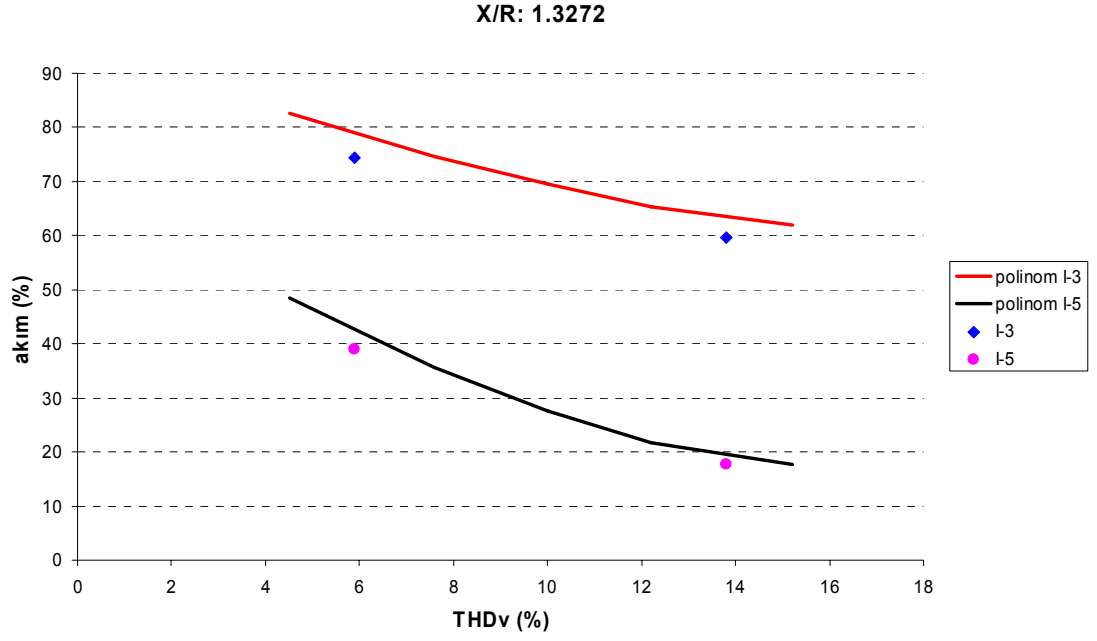
Şekil 3.36. X/R=0.2841 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD_v (%) grafiği



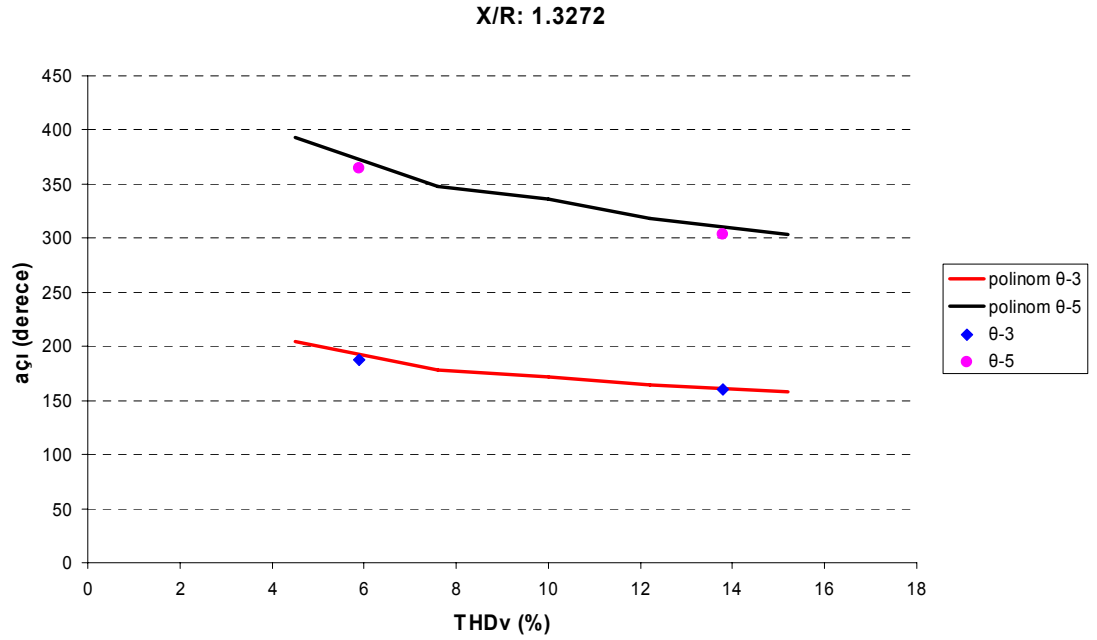
Şekil 3.37. X/R=0.57 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD_v (%) grafiği



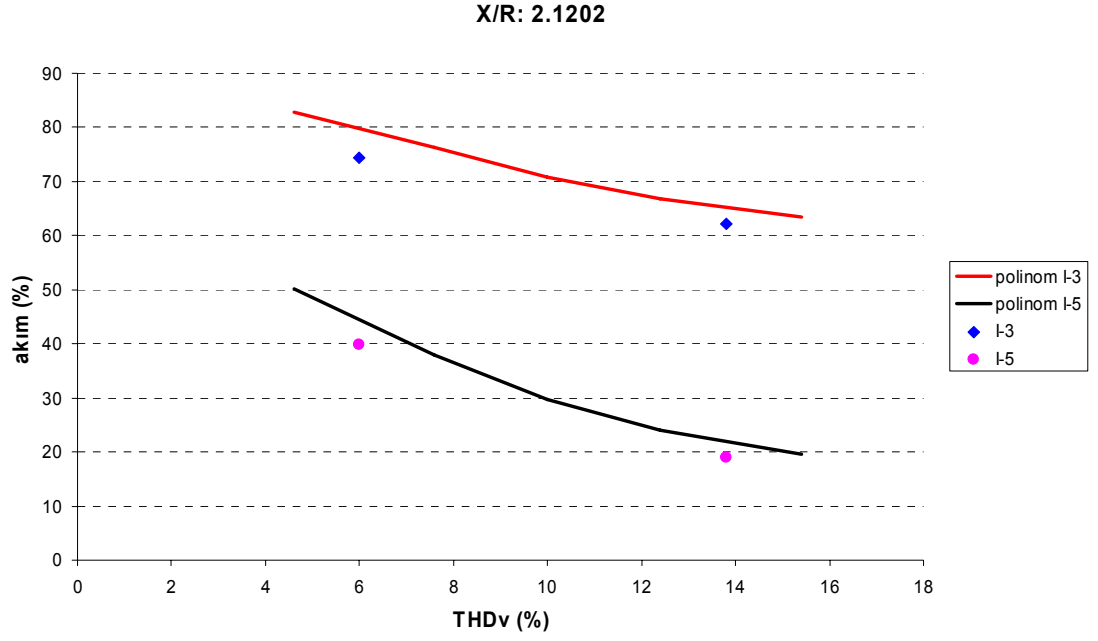
Şekil 3.38. X/R=0.57 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD_v (%) grafiği



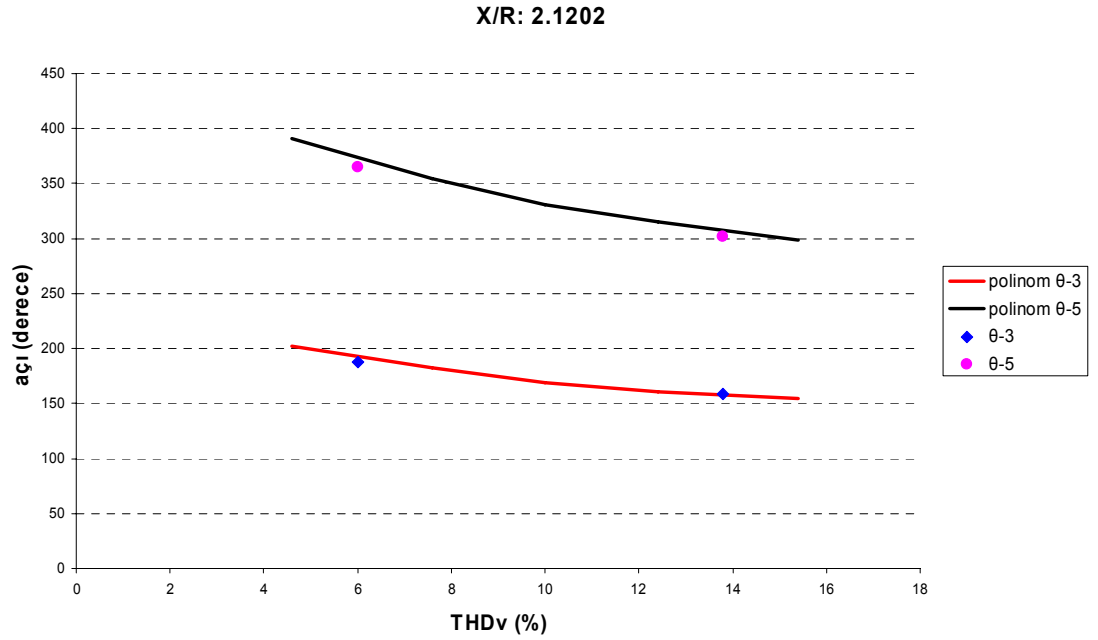
Şekil 3.39. X/R=1.3272 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD_v (%) grafiği



Şekil 3.40. X/R=1.3272 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD_v (%) grafiği



Şekil 3.41. X/R=2.1202 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik genliği (%) ile THD_v (%) grafiği



Şekil 3.42. X/R=2.1202 için 7 ve 22 lambalı sistemin 3. ve 5. akım harmonik açı değeri ile THD_v (%) grafiği

Deney-2’de yer alan X/R oranlarına çok yakın değerlerde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler, yine Deney-2’deki sonuçlardan elde edilen polinomlar üzerinde gösterilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler ile hesaplanan hata oranları 7 lamba için Tablo 3.2’de, 22 lamba için ise Tablo 3.3’de verilmiştir. Tablolarda yer alan akım değerlerinin (I_3 ve I_5) birimi (%) ve açı değerlerinin birimi de derece ($^{\circ}$) olarak verilmiştir.

Tablo 3.2. 7 lambalı sistem için Deney-3’de elde edilen değerler ile hata oranları

Deney - 2 X/R oranı	Deney - 3 X/R oranı		Deney - 3 ölçülen değer	polinom üzerinde hesaplanan değer	Hata (%)
0,2841	0,2883	I_3	68,1	72,761	6,406
		θ_3	194	197,685	1,864
		I_5	28,1	31,087	9,608
		θ_5	375	382,817	2,042
0,57	0,551	I_3	71,8	76,097	5,647
		θ_3	191	195,763	2,433
		I_5	33,4	36,672	8,922
		θ_5	370	378,057	2,131
1,3272	1,395	I_3	74,2	78,676	5,69
		θ_3	188	186,639	0,729
		I_5	38,9	42,168	7,75
		θ_5	364	362,69	0,361
2,1202	2,28	I_3	74,3	80,084	4,41
		θ_3	188	192,639	2,408
		I_5	39,9	44,186	8,931
		θ_5	365	374,225	2,465

Tablo 3.3. 22 lambalı sistem için Deney – 3’de elde edilen değerler ile hata oranları

Deney - 2 X/R oranı	Deney - 3 X/R oranı		Deney - 3 ölçülen değer	polinom üzerinde hesaplanan değer	Hata (%)
0,2841	0,2883	I₃	47	49,729	5,488
		θ₃	179	178,068	0,524
		I₅	3,1	2,865	8,202
		θ₅	297	314,062	5,433
0,57	0,551	I₃	54,8	60,761	9,81
		θ₃	170	166,798	1,92
		I₅	11,4	12,565	9,275
		θ₅	311	317,734	2,119
1,3272	1,395	I₃	59,7	62,149	3,94
		θ₃	160	158,321	1,061
		I₅	17,6	19,197	8,321
		θ₅	303	303,955	0,314
2,1202	2,28	I₃	62,1	66,873	7,138
		θ₃	159	156,447	1,632
		I₅	18,9	20,635	8,408
		θ₅	302	306,572	1,491

Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de, 7 ve 22 lambalı ölçümler sonucunda elde edilen değerler ile Deney-2’de elde edilen polinomlardan hesaplanan değerlerden yararlanarak hata oranı (%) hesaplanmıştır. Hesaplanan hata oranlarına göre, akım değerlerinde (I_3 ve I_5) maksimum %10 hata, açı değerlerinde (θ_3 ve θ_5) ise maksimum %5 hata değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan hata oranları dikkate alınarak, Deney-2’den elde edilen polinomların, akım değerlerinde (I_3 ve I_5) %10 hata ve açı değerlerinde (θ_3 ve θ_5) %5 hata ile doğru olduğu kabul edilebilir.

Deney-2’de elde edilen polinomların belirli bir hata oranına sahip olmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir. Deney-2’de beş ölçüm noktası ile polinom oluşturulduğu için polinomların hata oranları daha büyük olmaktadır. Bu hata oranlarını düşürmek için, daha çok ölçüm noktası ile polinom elde edilmelidir. Ayrıca, lamba sayısına bağlı olarak akım harmoniklerinin vektörel toplamı birbirini azaltacak yönde olabilmektedir. Bunların yanı sıra, X/R oranları arasındaki farklar da oluşturulan polinomların hata değerlerine etki etmektedir. Deneyler sırasında yapılan ölçüm hataları da hata oranını etkilemektedir.

3.4. Sonuç ve Değerlendirme

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerde, saf sinüzoidal gerilimle beslenen elektronik balastlı kompakt flüoresan lambaların akım dalgası üzerinde bozucu etkilere sebep olan harmonikler ürettiği tespit edilmiştir. Akım dalgası üzerinde bozucu etkiye neden olan bu harmonikler, gerilim dalgası üzerinde de bozulmalara sebep olmaktadır.

Yapılan deneylerin sonucunda lambalara ait akım harmoniklerinin lambanın markasına ve devreye bağlanan lambaların sayısına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Özellikle lamba sayısı arttıkça, gerilimin toplam harmonik bozulumu THD_V (%) artmasına rağmen, akıma ait tekil harmoniklerin (I_3 (%) ve I_5 (%)) azalması dikkate değer bir sonuçtur. Akım harmoniklerinin vektörel toplamının birbirini azaltacak yönde olduğu yapılan çizimlerde görülmüştür. Bu nedenle lamba sayısı artmasına rağmen akım harmonik genlikleri azalmaktadır.

Deney-2’de elde edilen sonuçlar yardımıyla oluşturulan polinomlar, Deney-3’de yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar belirli bir hata oranı ile doğru kabul edilmiştir. Polinomların belirli bir hata oranına sahip olmasının nedenleri, beş adet ölçüm noktası ile polinom oluşturulması, lamba sayısı arttıkça akım harmoniklerinin vektörel toplamalarının birbirini azaltacak yönde olmaları, farklı X/R oranları ile ölçümler yapılması ve deneylerdeki ölçüm hataları olarak kabul edilebilir. Hata oranlarını azaltmak için, daha çok ölçüm noktası ile polinom oluşturulması, benzer vektörel akım harmoniklerine sahip lambalar kullanılması ve aynı X/R oranlarında ölçümler yapılması gerekmektedir.

4. HARMONİK ANALİZİ VE KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALAR İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

4.1. Giriş

Bu bölümde, harmonik analiz tekniklerinden bahsedilecek, kompakt flüoresan lambaların kullanıldığı aydınlatma hattının modeli oluşturulacak ve oluşturulan modelin bilgisayar ortamında harmonik analizi yapılacaktır.

4.2. Harmonik Analizi

Günümüzde, yarı iletken teknolojisi temelli cihazların kullanımındaki artışa bağlı olarak akım ve gerilim dalga formunda meydana gelen bozulmalar rahatsız edici seviyelere ulaşmıştır. Bu sebeple, bozulmuş akım ve gerilim dalga formunun bulunduğu güç sistemlerinin planlanması ve tasarımında harmonik domeni temelli analizler önem kazanmıştır. Harmonik domenindeki analizlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ise, güç sistemi elemanlarının gerçeğe en yakın biçimde modellenmesine bağlıdır [16].

Güç sistemlerinin harmonik domeninde analizleri için yaygın olarak kullanılan modelleme ve çözüm algoritmasına göre değişen birçok metotları bulunmaktadır [10, 17]. Bu analiz metotlarının en önemlilerinden biri “*Frekans Tarama*” metodudur. Diğer analiz metotlarıyla karşılaştırıldığında daha az veri gerektirmesi; “*Frekans Tarama*” metodunu kolayca uygulanabilir hale getirmiştir. Bu metodun dezavantajı ise ancak tipik harmonik karakteristiğine sahip yüklere uygulanabilir olmasıdır. “*Frekans Tarama*” metodu harmonik üreten yükün özelliğine göre iki farklı biçimde kullanılmaktadır. Bunlardan biri, harmonikli yükün bulunduğu düğüme akım kaynağı bağlayıp sistemdeki harmonik gerilimlerinin

$$[Y_h] \cdot [V_h] = [I_h] \quad (4.1)$$

ifadesinden hesaplanmasıdır. “*Gerilim Transfer Fonksiyonu*” olarak isimlendirilen ikinci tip “*Frekans Tarama*” metodunda ise harmonik üreten yükün bulunduğu düğüme gerilim kaynağı bağlanıp (4.1) ifadesi her harmonik için çözülür [10, 17].

“*Frekans Tarama*” metodu harmonik üreten cihazların tam yüklenmediği veya aşırı yüklendiği durumlarda, dengesizlik durumlarında, tipik olmayan harmonik spektruma sahip yüklerin bulunduğu güç sistemlerinde yeterli değildir [10, 17]. “*Frekans Tarama*” metodunda bunlarla birlikte harmonik üreten yükün gerilim bağımlılığı özelliği ve harmoniklerin birbirine etkileri de dikkate alınmamaktadır [16].

Güç sistemlerindeki elemanların harmonik domenindeki modellerine,

- Harmonik üreten yüklerin lineer yüklere ve güç sistemlerine etkisini tahmin etmek,
- Rezonans frekansındaki akım ve gerilim değerlerini hesaplamak,
- Güç sistemindeki elemanlara ait harmonik indislerini hesaplamak,
- Güç akışı hesaplamalarında kullanmak,
- Reaktif güç kompanzasyonu kapasitesi ve harmonik filtrelerinin büyüklüklerini belirlemek

gibi işlemleri yapmak için ihtiyaç duyulur [16].

4.2.1. İteratif Harmonik Analizi

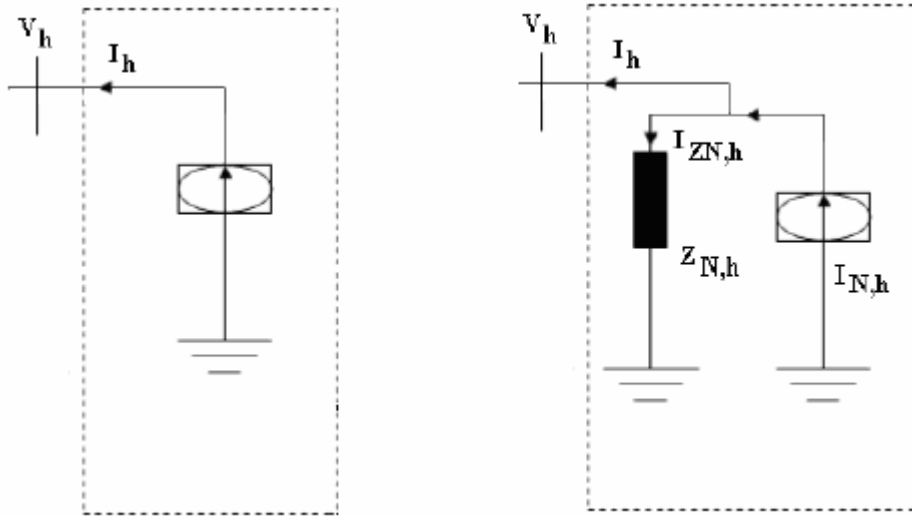
Harmonik üreten yüklerin gerilim bağımlılığının hesap edilmesi gerekliliği “*Harmonik İterasyon*” metodunun oluşturulmasına sebep olmuştur [18, 19]. Bu metotta harmonik üreten cihazlar kaynak gerilimine bağımlı akım kaynağı olarak

$$I_h = F(V_1, V_2, \dots, V_h, c) \quad h = 1, \dots, h \quad (4.2)$$

biçiminde, c kontrol değişkenine ve gerilim harmoniklerine bağlı olarak modellenmektedir. Bu metotta, tahmin edilen kaynak gerilimi için (4.2) ifadesi bir kez çözülür. Daha sonra harmonik akım kaynağının spektrumu kafi doğruluğa ulaşana kadar (4.1) ve (4.2) ifadeleri iteratif olarak çözülür [16].

4.2.2. Sabit Akım Kaynağı ve Norton Eşdeğer Devre Modelleri

Harmonik problemlerinin en aza indirilebilmesi, güç sistemlerinin kesintisiz ve güvenli çalışmaları için, harmonik üreten yüklerin doğru şekilde modellenmesi büyük önem taşır [16]. Literatürde yapılan bir çalışmada, harmonik üreten kompakt flüoresan lambalar “Sabit Akım Kaynağı” olarak modellenmiştir [5]. Son dönemde yapılan diğer bir çalışmada ise, güç sistemlerindeki değişimlere karşı daha hassas bir model olan “Norton Model” kullanılarak harmonik analizi gerçekleştirilmiştir [4]. Yaygın olarak kullanılan Sabit Akım Kaynağı Modeli ve Norton Model’in yapıları Şekil 4.1’de verilmiştir [16].



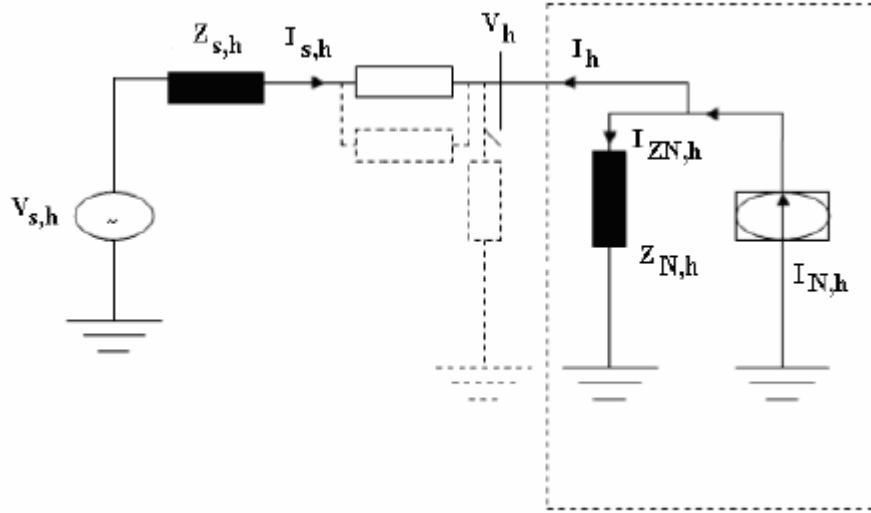
(a) Sabit Akım Kaynağı Modeli

(b) Norton Model

Şekil 4.1. Sabit akım kaynağı ve Norton modelleri

Sabit akım kaynağı modelinde yük akımının h .harmonikte sabit akım kaynağı olarak ifade edilir. Bu modelin h .harmonikte gerilim bileşeni yoktur [16].

Norton modeli h . harmonikte Norton akım kaynağı ile bu akım kaynağına paralel h .harmonikte Norton eşdeğer empedansına sahiptir. Norton modelin eşdeğer devresi ise Şekil 4.2’de verilmiştir [20]



Şekil 4.2. Norton modelinin eşdeğer devresi

Norton modeli Şekil 4.2’deki devrenin hat empedansının ve/veya kompanzasyon kapasitesinin farklı parametrelerine ait akım ve gerilim değerleri kullanılarak;

$$Z_{N,h} = \frac{V_{1,h} - V_{2,h}}{I_{2,h} - I_{1,h}} \quad (4.3)$$

$$I_{1,h} = I_{N,h} + \frac{V_{1,h}}{Z_{N,h}} \quad (4.4)$$

$$I_{2,h} = I_{N,h} + \frac{V_{2,h}}{Z_{N,h}} \quad (4.5)$$

ifadeleri elde edilir [20]. Burada $V_{1,h}$ ile $I_{1,h}$ sistemde herhangi bir değişiklik olmadan önce alınan gerilim ve akım değerleri, $V_{2,h}$ ile $I_{2,h}$ ise sistem empedansında farklılık olduktan sonra alınan gerilim ve akım değerleridir. Her iki çalışma koşulundan alınan gerilim ve akım değerleri kullanılarak $Z_{N,h}$ Norton empedansı hesaplanır (4.3). Norton empedansı ve ölçüm değerleri kullanılarak $I_{N,h}$ Norton akımı hesaplanır (4.4 ve 4.5) [21].

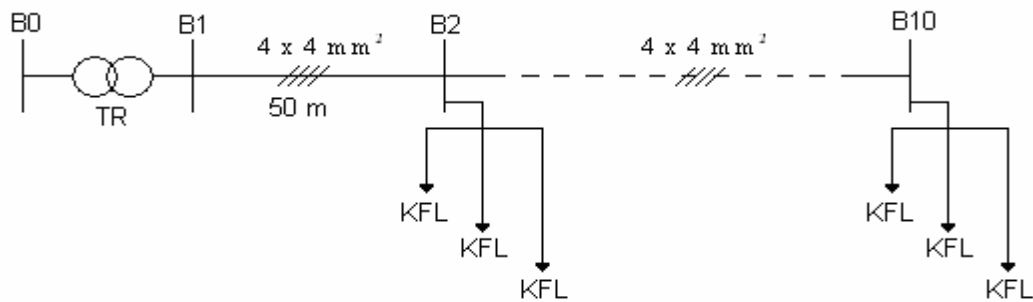
Sabit akım kaynağı ve Norton modellerinin performanslarının bilinmesi harmonik analizleri sırasında hangi modelin tercih edilmesinin daha uygun olacağı sorusuna cevap bulunması yönünden önemlidir [16]. İteratif harmonik analiz metodunda, harmonik üreten yükün gerilim bağımlılığı özelliği dikkate alındığından harmonik analizlerinde daha doğru sonuçlar elde etmek için tercih edilen metottur.

4.3. Kompakt Flüoresan Lambalar ile İlgili Bir Uygulama

Kompakt flüoresan lambaların kullanıldığı bir aydınlatma hattı modeli oluşturularak, oluşturulan modelin bilgisayar ortamında harmonik analizi yapılacaktır.

4.3.1. Aydınlatma Hattı Modeli

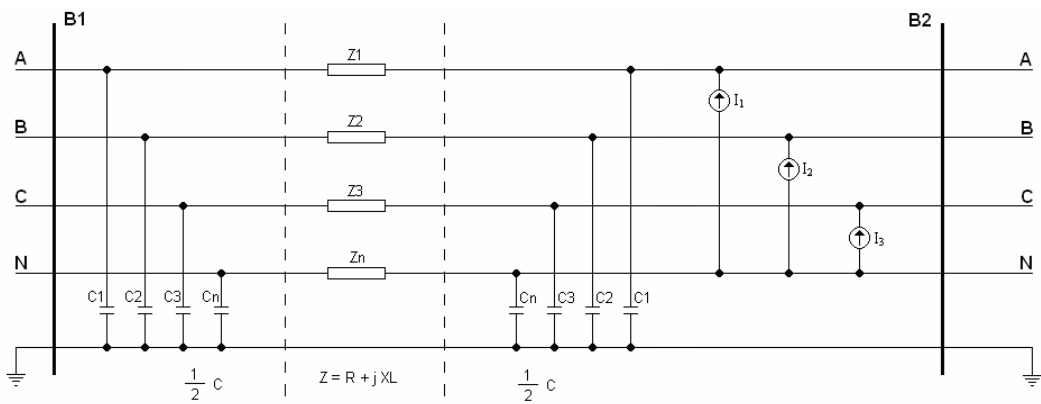
Üç faz – dört telli bir aydınlatma hattı modelinde, belli aralıklarda yük baraları oluşturularak her bir yük için kompakt flüoresan lambalar kullanılacaktır. Oluşturulan aydınlatma hattı modelinde hatların dengeli olduğu kabul edilmiştir. Aydınlatma hattının tek hat şeması Şekil 4.3’de verilmiştir. Aydınlatma hattında her üç direk bir adet bara ile temsil edilmiştir. Aydınlatma hattında direkler arası mesafe 50 metre olup, besleme $4 \times 4 \text{ mm}^2$ YVV tipi enerji kablosu ile sağlanmaktadır.



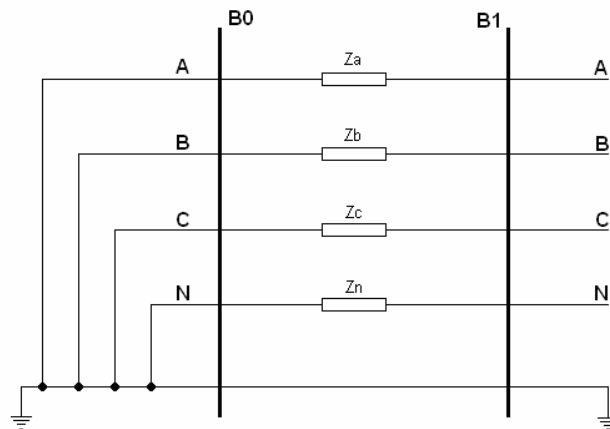
Şekil 4.3. Aydınlatma hattının tek hat şeması

Aydınlatma hattında kullanılan kablonun fiziksel özellikleri ve direnç değeri kullanılarak, EMTP/ATP programı yardımıyla üç fazlı kablo modeli oluşturulmuştur [22]. Oluşturulan kablo modelinde B1 ve B2 baraları arasındaki hattın π eşdeğer modeli Şekil 4.4’de verilmiştir [23].

Oluşturulan aydınlatma hattında B1 barası ile B10 barası arasında birbirini takip eden baralar arası aydınlatma hattının modeli Şekil 4.4’de verilen şekildedir. Aydınlatma hattının besleme gerilimi, saf sinüzoidal gerilim kaynağı ile sağlandığı kabul edilmiştir. Bu nedenle B0–B1 baraları arasında, hattın kısa devre gücünden (sigorta değerleri) yararlanılarak elde edilen direnç ve endüktans değerleri kullanılmıştır. Besleme gerilimi ve sigorta akım değerleri kullanılarak sistemin empedansı hesaplanmıştır. Hesaplanan empedans değeri yardımıyla X/R oranı 1/3 olarak alınmıştır. Burada B0 barası referans baradır. B0-B1 baraları arası hat modeli Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4. B1-B2 baraları arası aydınlatma hattının π eşdeğer modeli



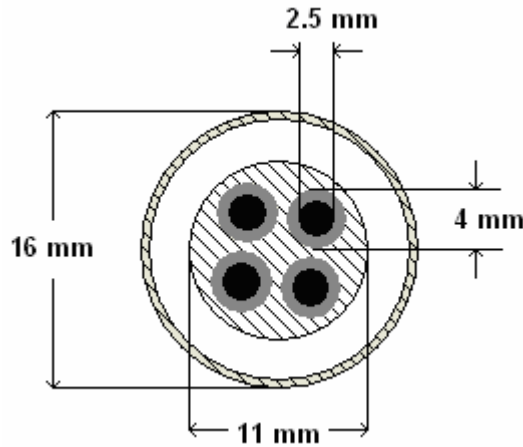
Şekil 4.5. B0-B1 baraları arası hattın modeli

Aydınlatma hattının besleme kablosunun EMTP/ATP programı kullanılarak oluşturulan modelinde, kablonun hat parametreleri (4.6)’da belirtilen formda elde

edilmiştir. Modeli oluşturulan kablunun 4 adet iletkeni olduğu için, elde edilen model matrisi [4x4] boyutunda ve karşılıklı endüktanslar ihmal edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} (R_{11} \ L_{11} \ C_{11}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (R_{22} \ L_{22} \ C_{22}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (R_{33} \ L_{33} \ C_{33}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (R_{44} \ L_{44} \ C_{44}) \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

(4.6)'da belirtilen matriste, R ile ifade edilen parametre, hattın direnci olup birimi ohm (Ω)'dur. L ile ifade edilen parametre, hattın endüktansı olup birimi milihenry (mH)'dir. C ile ifade edilen parametre ise, hattın kapasitansı olup birimi mikroyfarad (μF)'dır. Elde edilen matriste yer alan tüm R, L ve C değerleri aynı değerdedir. Besleme kablosuna ait hat parametre değerleri (4.7)'de verilmiştir. Aydınlatma hattında kullanılan $4 \times 4 \text{ mm}^2$ YVV tipi besleme kablosunun yapısı Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. $4 \times 4 \text{ mm}^2$ YVV tipi enerji kablo yapısı

$$\begin{aligned} R_{11} = R_{22} = R_{33} = R_{44} &= (4.67 \ E - 01) \\ L_{11} = L_{22} = L_{33} = L_{44} &= (4.70 \ E - 02) \\ C_{11} = C_{22} = C_{33} = C_{44} &= (2.65 \ E - 02) \end{aligned} \quad (4.7)$$

(4.7)'de elde edilen hat parametre değerlerinden yararlanarak, endüktansın endüktif reaktansa dönüştürülmesinde (4.8) ifadesi ve kapasitansın kapasitif reaktansa dönüştürülmesinde (4.9) ifadesinden yararlanılır. Hat parametreleri matrisinde yer alan tüm endüktans ve kapasitans değerleri için hesaplama yapılır. Oluşturulacak modelde lambaların 3. ve 5. harmonik değerleri dikkate alınacağı için hat parametrelerinde de bu harmonik bileşen değerleri hesaplanacaktır.

$$XL_n = n \cdot \omega_1 \cdot L \quad (4.8)$$

$$XC_n = \frac{1}{n \cdot \omega_1 \cdot C} \quad (4.9)$$

4.3.2. Aydınlatma Hattının Bilgisayar Ortamında Harmonik Analizi

Aydınlatma hattının EMTP/ATP programı kullanılarak elde edilen model parametreleri, her bir harmonik indisi için (3. ve 5.) hesaplanarak sistemin admitans matrisi MATLAB ortamında (4.10) ifadesindeki formda oluşturulur. Kompakt flüoresan lambalar aydınlatma hattı modelinin içine, akım kaynağı olarak ilave edileceğinden (4.10) ifadesi düzenlenerek (4.11)'deki forma getirilir. Aydınlatma hattının modeli oluşturulurken kısa devre hesabında kullanılan admitans matrisi dikkate alınmıştır [24]. Yapılan harmonik analizlerinde X/R=2.1202 değerinde elde edilen sonuçlar ve bağıntılar kullanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ \dots \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2n} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & \dots & Y_{3n} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & \dots & Y_{4n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & Y_{m3} & \dots & Y_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ \dots \\ V_m \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

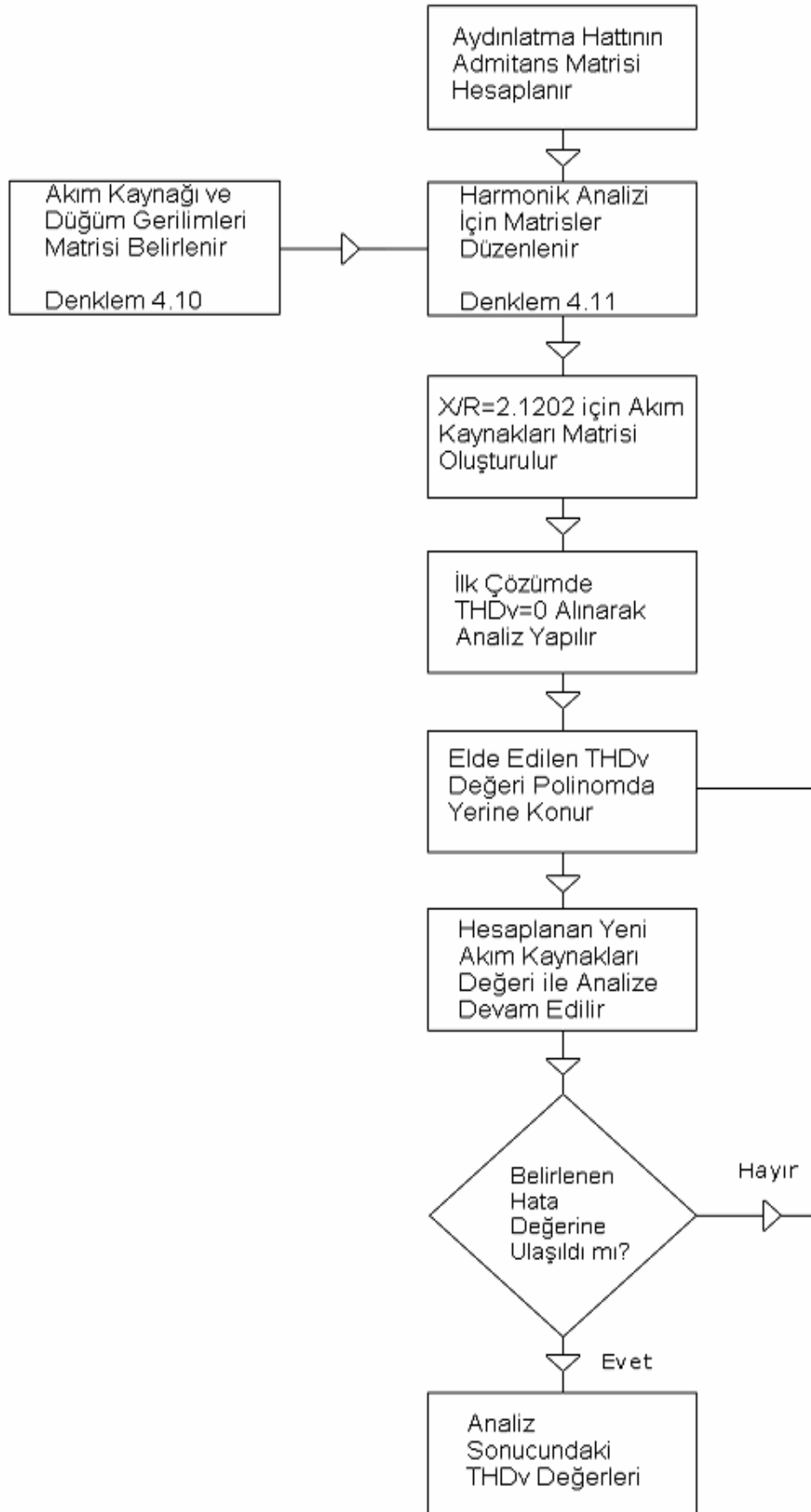
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ \dots \\ V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2n} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & \dots & Y_{3n} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & \dots & Y_{4n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & Y_{m3} & \dots & Y_{mn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ \dots \\ I_m \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

(4.11) ifadesindeki formda her bir harmonik indisi için (3. ve 5.) iteratif çözüm yapılır. Akım değerleri yerine Deney-2'de elde edilen grafiklerde bulunan polinomlardan biri yerleştirilecektir. Böylece modelin içinde yer alan akım kaynakları, gerilimin toplam harmonik bozulumuna (THD_V) bağlı akım kaynağı olarak modellenmiş olacaktır. Aynı şekilde akımın açısını belirlemek için de THD_V -açı polinomu kullanılacaktır.

İlk iterasyonda THD_V değeri “0” olduğu için, akım kaynaklarının değerleri elde edilen polinomun sabitidir. Bu sabitler her bir düğüm için (4.11) ifadesinde yer alan akım matrisi içine yerleştirilerek işlem yapılır. Yapılan bu işlem her bir harmonik indisi için (3. ve 5.) tekrarlanır. Hesaplamalar sonucunda her düğüme ait gerilimin toplam harmonik bozulumu (THD_V) elde edilir. Bir sonraki iterasyonda, akım kaynaklarının değeri, her düğüm için hesaplanan THD_V değerinin akım kaynağına ait polinomda yerine konulması ile elde edilir. Aynı işlem açılı polinomları için de geçerlidir. Bu şekilde hesaplanan yeni akım değerleri ile ikinci iterasyon gerçekleştirilir. Bu iteratif işlem, her düğüme ait son hesaplanan THD_V değerleri ile bir önceki iterasyonda hesaplanan THD_V değerleri belirli bir hata değeri ile birbirine eşit olana kadar sürdürülür. İteratif harmonik analizine ait akış diyagramı Şekil 4.7’de verilmiştir.

Yapılan iteratif harmonik analizinde hata değeri 10^{-4} olarak alınmıştır. Hesaplanan parametreler kullanılarak yapılan iteratif harmonik analizinde “6” iterasyon sonucunda belirlenen hata değerine ulaşılmıştır.

Aydınlatma hattının iteratif çözüm haricinde Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model yardımıyla harmonik analizleri yapılmıştır. Norton Model ile yapılan analizde ilk durumda $X/R=2.1202$ için elde edilen değerler, ikinci durumda ise $X/R=0.2841$ için elde edilen değerler kullanılmıştır. Yapılan tüm analiz sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

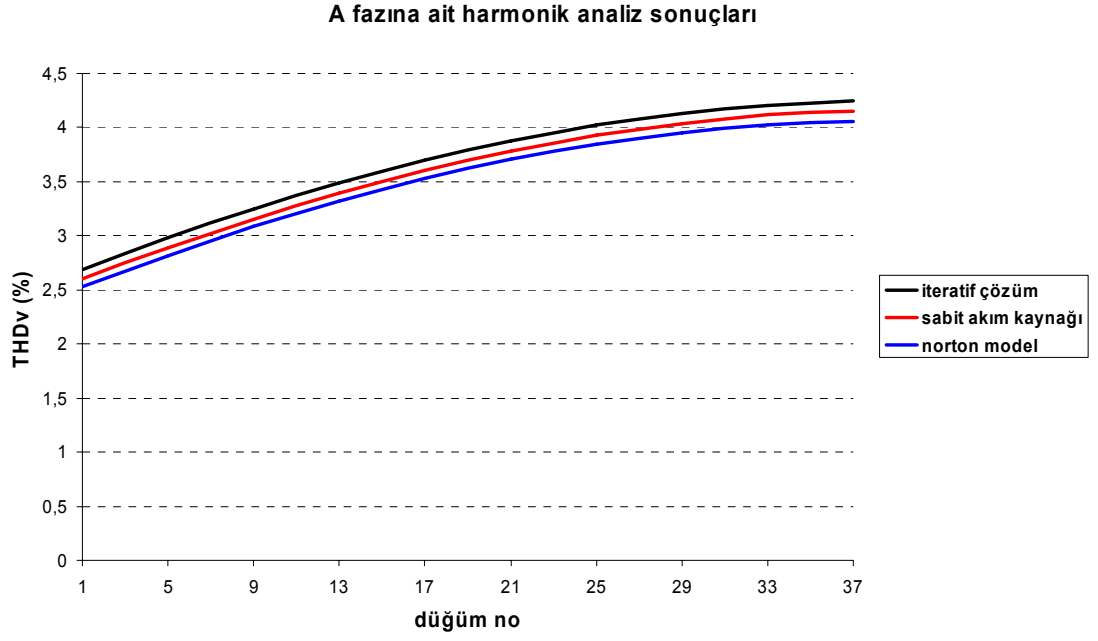


Şekil 4.7. İteratif harmonik analizi akış diyagramı

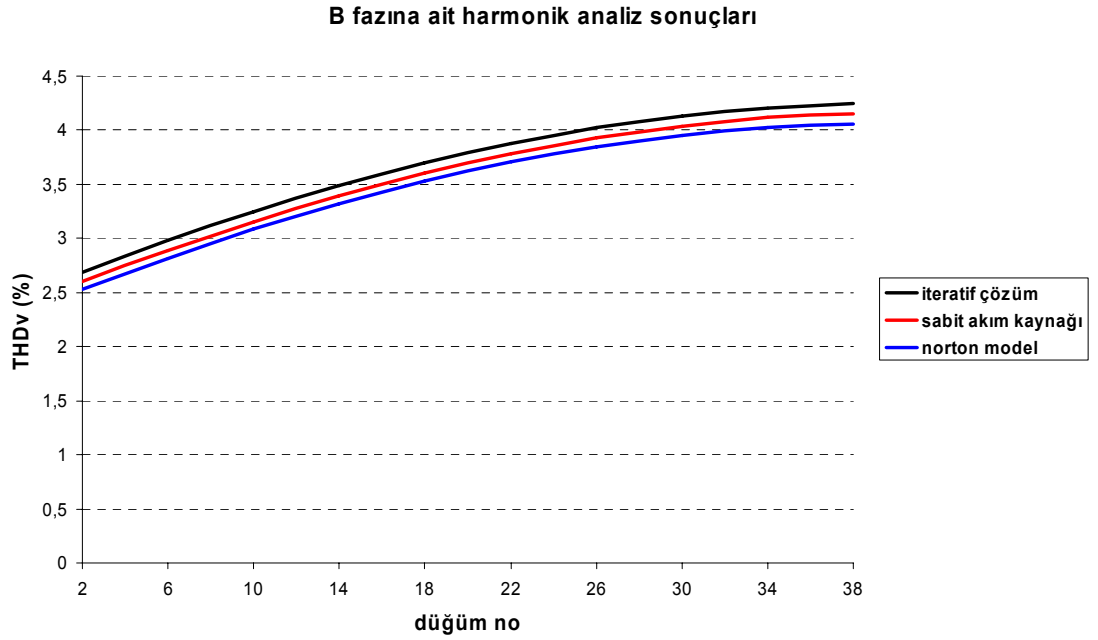
Tablo 4.1. Harmonik analizlerinde elde edilen THD_v (%) sonuçları

Faz	Düğüm No	İterasyon No						Düğüm No	Sabit Akım Kaynağı	Düğüm No	Norton Model
		1	2	3	4	5	6				
A	1	2,8216	2,6746	2,6934	2,6906	2,6910	2,6910	1	2,6048	1	2,5344
B	2	2,8216	2,6746	2,6934	2,6906	2,6910	2,6910	2	2,6048	2	2,5344
C	3	2,8216	2,6746	2,6934	2,6906	2,6910	2,6910	3	2,6048	3	2,5344
N	4	1,9611	2,0572	2,0627	2,0620	2,0621	2,0621	4	2,0349	4	2,0878
A	5	3,1080	2,9597	2,9798	2,9769	2,9773	2,9772	5	2,8847	5	2,8187
B	6	3,1080	2,9597	2,9798	2,9769	2,9773	2,9772	6	2,8847	6	2,8187
C	7	3,1080	2,9597	2,9798	2,9769	2,9773	2,9772	7	2,8847	7	2,8187
N	8	2,8783	3,0193	3,0274	3,0263	3,0264	3,0264	8	2,9865	8	3,0598
A	9	3,3799	3,2267	3,2483	3,2452	3,2456	3,2456	9	3,1497	9	3,0836
B	10	3,3799	3,2267	3,2483	3,2452	3,2456	3,2456	10	3,1497	10	3,0836
C	11	3,3799	3,2267	3,2483	3,2452	3,2456	3,2456	11	3,1497	11	3,0836
N	12	3,6947	3,8753	3,8857	3,8843	3,8845	3,8845	12	3,8336	12	3,9226
A	13	3,6281	3,4680	3,4912	3,4878	3,4883	3,4882	13	3,3912	13	3,3223
B	14	3,6281	3,4680	3,4912	3,4878	3,4883	3,4882	14	3,3912	14	3,3223
C	15	3,6281	3,4680	3,4912	3,4878	3,4883	3,4882	15	3,3912	15	3,3223
N	16	4,4095	4,6239	4,6366	4,6348	4,6351	4,6350	16	4,5753	16	4,6753
A	17	3,8472	3,6792	3,7039	3,7003	3,7008	3,7007	17	3,6038	17	3,5307
B	18	3,8472	3,6792	3,7039	3,7003	3,7008	3,7007	18	3,6038	18	3,5307
C	19	3,8472	3,6792	3,7039	3,7003	3,7008	3,7007	19	3,6038	19	3,5307
N	20	5,0223	5,2651	5,2798	5,2777	5,2780	5,2780	20	5,2112	20	5,3183
A	21	4,0334	3,8575	3,8836	3,8798	3,8804	3,8803	21	3,7844	21	3,7064
B	22	4,0334	3,8575	3,8836	3,8798	3,8804	3,8803	22	3,7844	22	3,7064
C	23	4,0334	3,8575	3,8836	3,8798	3,8804	3,8803	23	3,7844	23	3,7064
N	24	5,5331	5,7990	5,8154	5,8131	5,8134	5,8134	24	5,7411	24	5,8526
A	25	4,1844	4,0015	4,0288	4,0248	4,0254	4,0253	25	3,9307	25	3,8482
B	26	4,1844	4,0015	4,0288	4,0248	4,0254	4,0253	26	3,9307	26	3,8482
C	27	4,1844	4,0015	4,0288	4,0248	4,0254	4,0253	27	3,9307	27	3,8482
N	28	5,9418	6,2257	6,2435	6,2410	6,2414	6,2413	28	6,1652	28	6,2790
A	29	4,2988	4,1102	4,1383	4,1342	4,1348	4,1347	29	4,0414	29	3,9551
B	30	4,2988	4,1102	4,1383	4,1342	4,1348	4,1347	30	4,0414	30	3,9551
C	31	4,2988	4,1102	4,1383	4,1342	4,1348	4,1347	31	4,0414	31	3,9551
N	32	6,2483	6,5454	6,5644	6,5617	6,5621	6,5621	32	6,4832	32	6,5982
A	33	4,3755	4,1828	4,2116	4,2074	4,2080	4,2079	33	4,1157	33	4,0266
B	34	4,3755	4,1828	4,2116	4,2074	4,2080	4,2079	34	4,1157	34	4,0266
C	35	4,3755	4,1828	4,2116	4,2074	4,2080	4,2079	35	4,1157	35	4,0266
N	36	6,4526	6,7585	6,7783	6,7754	6,7759	6,7758	36	6,6952	36	6,8107
A	37	4,4140	4,2193	4,2484	4,2441	4,2447	4,2446	37	4,1529	37	4,0625
B	38	4,4140	4,2193	4,2484	4,2441	4,2447	4,2446	38	4,1529	38	4,0625
C	39	4,4140	4,2193	4,2484	4,2441	4,2447	4,2446	39	4,1529	39	4,0625
N	40	6,5548	6,8650	6,8851	6,8823	6,8827	6,8826	40	6,8012	40	6,9168

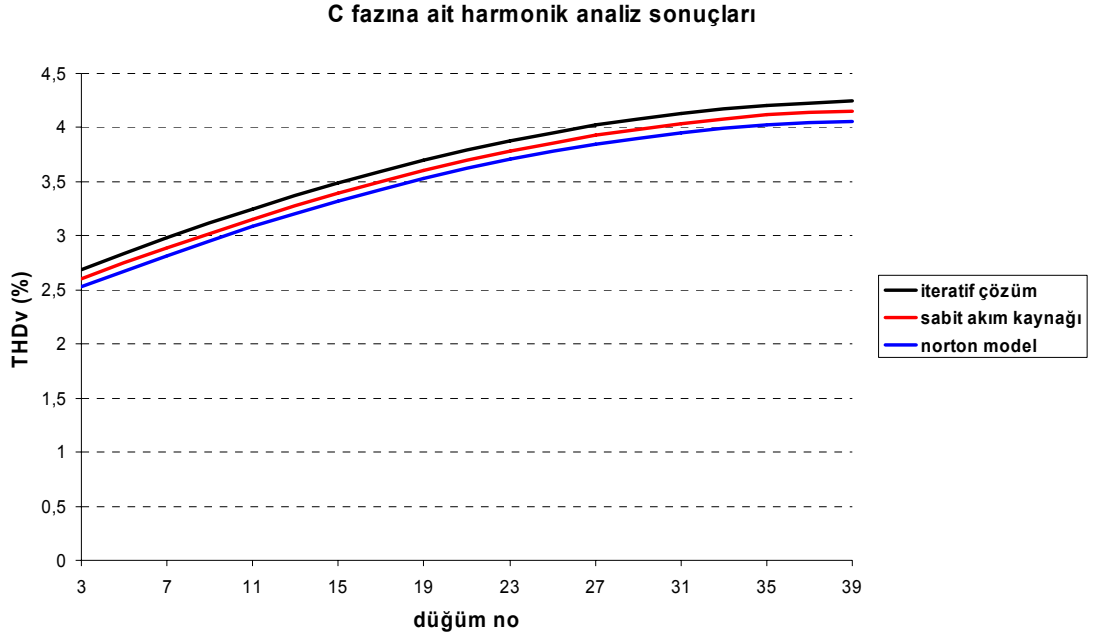
Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, besleme noktasından uzaklaşıldıkça, yani hatta ilave edilen lamba sayısı arttıkça, sistemde meydana gelen toplam harmonik bozulum THD_v (%) değerindeki artış görülmektedir. Aynı durum Nötr (N) hattı için daha büyük değerlerdedir. Bunun nedeni, 3. harmoniğe ait akımların toplamının Nötr (N) hattından geçmesidir. Yapılan analizlerin sonucunda elde edilen THD_v (%) değerlerinin her faz hattı ve nötr hattı için değişimi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



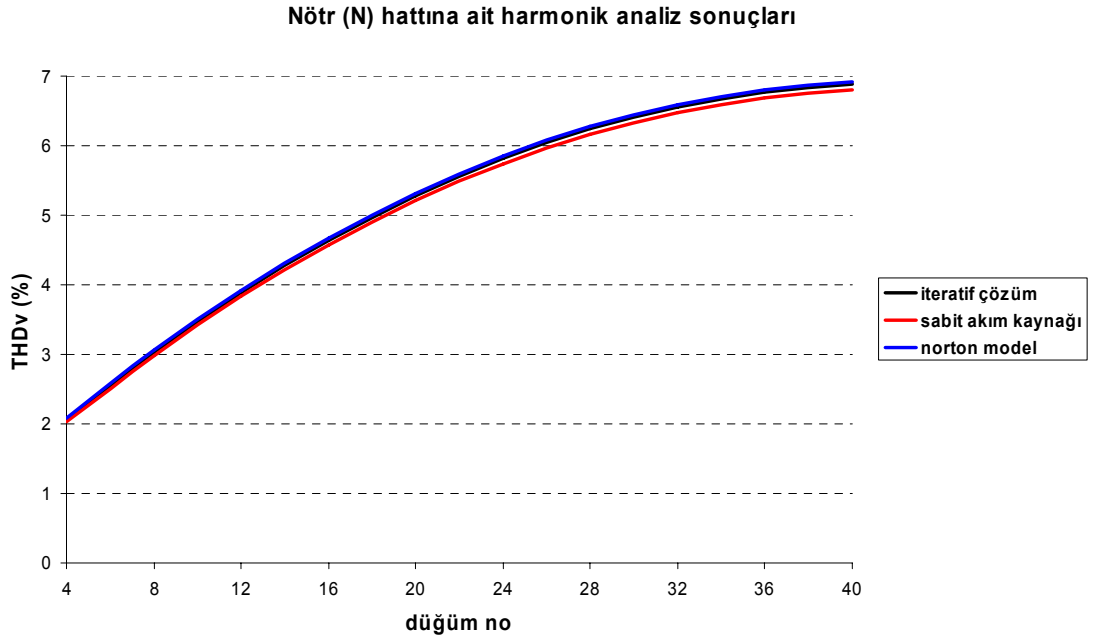
Şekil 4.8. A fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.9. B fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.10. C fazına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.11. Nötr (N) hattına ait harmonik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Yapılan harmonik analizlerinde, 3. ve 5. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri sırasıyla Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verilmiştir. Tablo 4.2’deki sonuçlar dikkate alındığında Nötr hattına (N) ait gerilim değerlerinin faz hatlarına ait gerilim değerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu durumun başlıca sebebi, 3. harmonik akımlarının toplamının nötr hattından geçmesidir.

Tablo 4.2. Harmonik analizlerinde elde edilen 3. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri

Faz	Düğüm No	3. Harmonik Gerilim Genliği (V)			Düğüm No	3. Harmonik Gerilim Açısı (derece)		
		İteratif	Sabit Akım	Norton		İteratif	Sabit Akım	Norton
A	1	4,4652	4,4064	4,5209	1	251,67	246,95	216,89
B	2	4,4652	4,4064	4,5209	2	251,67	246,95	216,89
C	3	4,4652	4,4064	4,5209	3	251,67	246,95	216,89
N	4	4,5365	4,4767	4,5931	4	26,687	21,968	351,9017
A	5	5,0324	4,9661	5,1033	5	246,52	241,8	211,91
B	6	5,0324	4,9661	5,1033	6	246,52	241,8	211,91
C	7	5,0324	4,9661	5,1033	7	246,52	241,8	211,91
N	8	6,6581	6,5704	6,7316	8	28,413	23,694	354,0658
A	9	5,561	5,4908	5,6369	9	242,8	238,12	208,25
B	10	5,561	5,4908	5,6369	10	242,8	238,12	208,25
C	11	5,561	5,4908	5,6369	11	242,8	238,12	208,25
N	12	8,5458	8,434	8,6298	12	29,12	24,508	354,7972
A	13	6,0369	5,9654	6,1121	13	240,05	235,45	205,5
B	14	6,0369	5,9654	6,1121	14	240,05	235,45	205,5
C	15	6,0369	5,9654	6,1121	15	240,05	235,45	205,5
N	16	10,197	10,066	10,286	16	29,45	24,972	355,0279
A	17	6,4524	6,381	6,5238	17	238	233,47	203,41
B	18	6,4524	6,381	6,5238	18	238	233,47	203,41
C	19	6,4524	6,381	6,5238	19	238	233,47	203,41
N	20	11,612	11,465	11,7	20	29,607	25,265	355,0516
A	21	6,8028	6,7326	6,8692	21	236,46	232,01	201,83
B	22	6,8028	6,7326	6,8692	22	236,46	232,01	201,83
C	23	6,8028	6,7326	6,8692	23	236,46	232,01	201,83
N	24	12,789	12,631	12,876	24	29,677	25,46	354,9894
A	25	7,0854	7,0166	7,1465	25	235,33	230,95	200,64
B	26	7,0854	7,0166	7,1465	26	235,33	230,95	200,64
C	27	7,0854	7,0166	7,1465	27	235,33	230,95	200,64
N	28	13,731	13,563	13,814	28	29,703	25,591	354,8998
A	29	7,2984	7,2311	7,3551	29	234,54	230,21	199,8
B	30	7,2984	7,2311	7,3551	30	234,54	230,21	199,8
C	31	7,2984	7,2311	7,3551	31	234,54	230,21	199,8
N	32	14,437	14,263	14,516	32	29,708	25,679	354,814
A	33	7,4409	7,3748	7,4943	33	234,03	229,74	199,26
B	34	7,4409	7,3748	7,4943	34	234,03	229,74	199,26
C	35	7,4409	7,3748	7,4943	35	234,03	229,74	199,26
N	36	14,907	14,729	14,983	36	29,706	25,732	354,7493
A	37	7,5123	7,4468	7,564	37	233,78	229,52	198,99
B	38	7,5123	7,4468	7,564	38	233,78	229,52	198,99
C	39	7,5123	7,4468	7,564	39	233,78	229,52	198,99
N	40	15,142	14,963	15,217	40	29,703	25,758	354,715

Tablo 4.3. Harmonik analizlerinde elde edilen 5. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri

Faz	Düğüm No	5. Harmonik Gerilim Genliği (V)			Düğüm No	5. Harmonik Gerilim Açısı (derece)		
		İteratif	Sabit Akım	Norton		İteratif	Sabit Akım	Norton
A	1	3,8871	3,6637	3,2635	1	98,616	89,964	129,06
B	2	3,8871	3,6637	3,2635	2	218,62	209,96	249,06
C	3	3,8871	3,6637	3,2635	3	338,616	329,964	9,063
N	4	2,41E-16	1,39E-16	7,08E-14	4	13,273	179,95	77,616
A	5	4,1924	3,9513	3,523	5	93,864	85,212	124,12
B	6	4,1924	3,9513	3,523	6	213,86	205,21	244,12
C	7	4,1924	3,9513	3,523	7	333,864	325,212	4,1154
N	8	3,54E-16	2,04E-16	1,05E-13	8	16,153	182,83	79,858
A	9	4,4787	4,2269	3,7746	9	90,165	81,552	120,36
B	10	4,4787	4,2269	3,7746	10	210,16	201,55	240,36
C	11	4,4787	4,2269	3,7746	11	330,165	321,552	0,36196
N	12	4,64E-16	2,62E-16	1,37E-13	12	17,7	184,18	82,436
A	13	4,7379	4,4804	4,0079	13	87,271	78,729	117,51
B	14	4,7379	4,4804	4,0079	14	207,27	198,73	237,51
C	15	4,7379	4,4804	4,0079	15	327,271	318,729	357,5115
N	16	5,71E-16	3,12E-16	1,65E-13	16	18,709	184,95	84,642
A	17	4,9651	4,7055	4,2158	17	85,01	76,556	115,35
B	18	4,9651	4,7055	4,2158	18	205,01	196,56	235,35
C	19	4,9651	4,7055	4,2158	19	325,01	316,556	355,3501
N	20	7,27E-16	3,56E-16	1,79E-13	20	19,207	185,44	83,672
A	21	5,1571	4,8978	4,3938	21	83,262	74,899	113,73
B	22	5,1571	4,8978	4,3938	22	203,26	194,9	233,73
C	23	5,1571	4,8978	4,3938	23	323,262	314,899	353,7253
N	24	8,32E-16	3,92E-16	1,91E-13	24	19,282	185,76	82,696
A	25	5,3123	5,0544	4,5389	25	81,944	73,665	112,53
B	26	5,3123	5,0544	4,5389	26	201,94	193,67	232,53
C	27	5,3123	5,0544	4,5389	27	321,944	313,665	352,5295
N	28	8,85E-16	4,21E-16	2,01E-13	28	19,079	185,98	81,687
A	29	5,4293	5,1733	4,6492	29	80,998	72,79	111,69
B	30	5,4293	5,1733	4,6492	30	201	192,79	231,69
C	31	5,4293	5,1733	4,6492	31	320,998	312,79	351,6887
N	32	9,36E-16	4,43E-16	2,06E-13	32	19,338	186,13	80,352
A	33	5,5076	5,2532	4,7233	33	80,387	72,228	111,15
B	34	5,5076	5,2532	4,7233	34	200,39	192,23	231,15
C	35	5,5076	5,2532	4,7233	35	320,387	312,228	351,1534
N	36	9,42E-16	4,58E-16	2,11E-13	36	19,675	186,22	79,273
A	37	5,5468	5,2934	4,7606	37	80,087	71,954	110,89
B	38	5,5468	5,2934	4,7606	38	200,09	191,95	230,89
C	39	5,5468	5,2934	4,7606	39	320,087	311,954	350,8932
N	40	9,43E-16	4,65E-16	2,14E-13	40	19,666	186,26	78,304

Yapılan harmonik analiz sonuçları incelendiğinde, İteratif Harmonik Analizi ile Sabit Akım Kaynağı Modeli'nde elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, Norton Model ile elde edilen sonuçların daha kötü performans ortaya koyduğu görülmüştür.

4.4. Sonuç ve Özet

Kompakt flüoresan lambaların kullanıldığı örnek bir sistem üzerinde harmonik analizleri yapılmıştır. Yapılan harmonik analizlerinde, İteratif Harmonik Analizi, Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model kullanılmıştır.

İteratif Harmonik Analizinde, belirlenen hata değerinde “6” iterasyon sonucunda analiz tamamlanmıştır. Yapılan analiz sonucunda, aynı faza ait her bara için iterasyonlar arası değişimin aynı olduğu tespit edilmiştir.

İteratif Harmonik Analizi, Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model ile yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, THD_V (%) değerlerinin her faz hattı ve nötr hattı için değişimini gösteren grafikler çizilmiştir. Çizilen grafikler dikkate alındığında, besleme noktasından uzaklaştıkça, yani hatta ilave edilen kompakt flüoresan lamba sayısı arttıkça, sistemde meydana gelen toplam harmonik bozulma THD_V (%) değerindeki artış görülmektedir. Aynı durum Nötr (N) hattı için daha büyük değerlerdedir. Bunun nedeni, 3. harmoniğe ait akımların toplamının Nötr (N) hattından geçmesidir.

Yapılan analizler sonucunda, 3. ve 5. harmonik gerilimine ait genlik ve açı değerleri tablolar halinde (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3) verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, nötr (N) hattına ait 3.harmonik gerilim genliğinin fazlara kıyasla daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, 3. harmonik akımlarının toplamının nötr hattından geçmesi olarak açıklanabilir. Bu durum dikkate alındığında, üç faz-dört telli sistemlerin tasarımında, nötr iletkeninde meydana gelebilecek aşırı yüklenmeleri engellemek amacıyla, faz iletkenlerine oranla daha büyük kesitlerin seçilmesi gerekmektedir.

Yapılan harmonik analiz sonuçları incelendiğinde, tüm baralar için İteratif Harmonik Analizindeki sonuçlar referans alındığında, Sabit Akım Kaynağı Modeli'nde elde edilen sonuçların Norton Model'e göre daha yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Kısaca Norton Model, Sabit Akım Kaynağı'na göre daha kötü bir performans ortaya koymuştur.

5. SONUÇLAR

Elektrik enerjisinin giderek önem kazandığı günümüzde, aydınlatmada kullanılan enerjiden tasarruf edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, akkor flamanlı lambaların yerine elektronik balastlı ve vida başlıklı Kompakt Flüoresan Lambaların kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu tür lambalar elektronik balastları nedeniyle harmonik üreten elemanlardır.

Bu tez çalışmasında, Kompakt Flüoresan Lambaların kullanıldığı örnek bir sistem üzerinde; İteratif Harmonik Analizi, Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model kullanılarak harmonik analizi yapılmış ve bu analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Kompakt flüoresan lambaların akım harmoniklerini ölçmek amacıyla yapılan deneylerde, farklı harmonik spektrumlara sahip lambaların birlikte çalıştıkları durumlarda, akım harmonik genliklerine ait vektörel toplamların birbirini azaltabilecek yönde etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu durumda, lamba sayısına bağlı olarak akımın toplam harmonik bozulum THD_I (%) değerinin artmasına rağmen, akım harmonik genliklerinin azalması dikkat çekici bir sonuçtur.

Kompakt flüoresan lambaların gerilim harmoniklerini ölçebilmek ve akım harmonikleri ile arasındaki bağıntıları elde edebilmek için farklı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak bilgisayar ortamında, akım harmonikleri (I_3 ve I_5) ile gerilimin toplam harmonik bozulumu THD_V arasında ve akım harmoniklerine ait açı değerleri (θ_3 ve θ_5) ile yine gerilimin toplam harmonik bozulumu THD_V arasında, lamba sayısına göre değişen matematiksel bağıntılar elde edilmiştir.

Elde edilen bağıntılar dikkate alınarak, farklı ölçüm noktaları için yeni deneyler yapılmıştır. Yapılan yeni deneyler ile daha önceki deneylerde elde edilen bağıntılar kıyaslanarak, oluşturulan matematik modelin doğruluğu sorgulanmıştır. Bunun sonucunda, oluşturulan matematik modelin akım harmonik genliklerinde %10 ve açı değerlerinde %5 hata ile doğru olduğu kabul edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen matematiksel bağıntılar yardımıyla, üç faz-dört telli bir sistem üzerinde İteratif Harmonik Analizi yapılmıştır. Aynı sistem üzerinde, Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model kullanılarak da harmonik analizi yapılmıştır. Yapılan harmonik analiz sonuçları incelendiğinde, İteratif Harmonik Analizi ile Sabit Akım Kaynağı ve Norton Model sonuçlarının birbirine yakın değerlerde olduğu, ancak bu üç analiz çalışmasında Norton Model'in Sabit Akım Kaynağı Modeli'ne göre daha kötü performans ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

Harmonik analiz sonuçlarında, üç faz-dört telli sistemin besleme noktasından uzaklaştıkça, yani sisteme eklenen kompakt flüoresan lamba sayısı arttıkça, sistemde meydana gelen toplam harmonik bozulum THD_V (%) değerinde bir artış söz konusudur. Bu artış faz hatlarına kıyasla, nötr hattında daha büyük değerlerdedir. Bunun başlıca nedeni, 3. harmoniğe ait akımların toplamının nötr iletkeninden geçmesidir. Bu durum dikkate alındığında, bu tür sistemlerin tasarımında nötr iletkeninin aşırı yüklenmesini önlemek amacıyla, faz iletkenlerine kıyasla nötr iletkeninin daha büyük kesitlerde seçilmesi uygun görülmektedir.

İleriye dönük yapılması planlanan çalışmalarda, farklı harmonik spektrumlarına sahip lambaların daha doğru matematiksel modellerinin elde edilmesi ve elde edilen bu yeni matematiksel modellerin, harmonik analizi ve güç akışı analizlerinde kullanılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Emmanuel, A.E., Gentile, T.J., Pileggi, D.J., Gulachenski, E.M. & Root, C.E., “The Effect of Modern Compact Fluorescent Lights on Voltage Distortion”, IEEE Trans. Power Delivery, 8 (3), pp.1451-1459, No.3, 1993
- [2] Verderber, R.R., Morse, O.C., Alling, W.R., “Harmonics from Compact Fluorescent Lamps”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.29, pp. 670-674, No.3, 1993.
- [3] Arseneau, R., Ouellette, M., “The Effects of Supply Harmonics on The Performance of Compact Fluorescent Lamps”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.8, pp. 473-479, No.2, 1993.
- [4] Korovesis, P.N., Vokas, G.A., Gonos, I.F., Topalis, F.V., “Influence of Large – Scale Installation of Energy Saving Lamps on The Line Voltage Distortion of a Weak Network Supplied by Photovoltaic Stations” IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.19, pp. 1787-1793, No.4 , 2004.
- [5] Radakovic, Z., Topalis, F.V., Kostic, M., “The Voltage Distortion in Low – Voltage Networks Caused by Compact Fluorescent Lamps with Electronic Gear”, Electric Power Systems Research, 73, pp.129-136, 2004
- [6] Yumurtacı, R., Arıkan, O., Bozkurt, A., “Kompakt Floresant Lambaların Harmonik Kaynağı Olarak İncelenmesi”, 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Sayfa No: 207 – 211, Kocaeli, 2005

- [7] Onaygil, S., Güler, Ö., Erkin, E., Sayın, H., “Konutlarda Kompakt Flüoresan Lamba Kullanımı”, 5. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Sayfa No: 257 264, İstanbul, 2004.
- [8] Kocatepe, C., Köroğlu, S., Arıkan, O., “Investigation of Power Definations and Power Factor Under Non – Sinusoidal Conditions”, Journal of Engineering and Natural Sciences, pp.117-126, Sigma 2005/2.
- [9] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
- [10] Arrilaga, J., Bradley, D.A., Bodger, P.S., “Power System Harmonics”, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- [11] Yumurtacı, R., “Lineer Olmayan Dengesiz Yükler İçeren Enerji Sistemlerinde Üç Fazlı Harmonik Yük Akışı Analizi ve Simulasyonu”, (Doktora Tezi), YTÜ, İstanbul, 2000.
- [12] IEC 61000-3-2, Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), ed. 2.1, p.10, 2001.
- [13] Finn D.W., Ouellette M.J., “Compact Fluorescent Lamps: What Should Know”, PROGRESSIVE ARCHITECTURE, Aug., pp. 89 – 92 , 1992.
- [14] Wenzel, E., AN1864 Application Note, 22W/120Vac Compact Fluorescent Lamp Driver with VK05CFL, ST Microelectronics Com., Italy, 2004.

- [15] Onaygil, S., Güler, Ö., “Yüksek Frekanslı Elektronik Balastlar”,
1.Ulusal Aydınlatma Kongresi, Sayfa No: 200-207, İstanbul, 1996.
- [16] Balcı, M. E., Kılıç, Ö., Hocaoğlu, M. H., “Harmonik Üreten Yüklere Ait
Yaygın Olarak Kullanılan Modellerin Gerçek Bir Siteme Uygulaması”,
1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Sayfa No: 172-177, Kocaeli,
2005.
- [17] Task Force on Harmonic Modelling and Simulation; “Modelling and
Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks”
, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.11, No.1, pp. 452-465, January, 1996.
- [18] Yacamini, R. And De Oliveira, J. C.,”Harmonics in Multiple Converter
Systems: A Generalized Approach”, IEE Proc. Part B, Vol.127, No.2, March,
1980.
- [19] Xu, W., Jose, J. R. And Dommel, H. W., “A Multiphase Harmonic Load Flow
Solution Technique”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol.PS-6, pp.174-182,
February, 1991.
- [20] Thunberg, E. and Söder, L., “A Norton Approach to Distribution Network
Modeling for Harmonics Studies”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.14,
No.1, pp.272-277, January, 1999.
- [21] Kılıç, Ö., “Harmonik Üreten Yüklere Ait Yaygın Olarak Kullanılan Modellerin
Uygulaması”, (Yüksek Lisans Tezi), GYTE, Kocaeli, 2006.
- [22] İletkenler ve Enerji Kabloları Katalogu, Türk Pirelli Kablo ve Sistemleri A.Ş.,
2004

- [23] Scott Meyer, W., Liu, T., “ATP Rule Book”, Canadian/American EMTP User Group, 1987-92.
- [24] Saaadat, H., “Power System Analysis” Second Edition, McGraw-Hill, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Osman ÇAKIROĞLU, 1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Üsküdar'da tamamladıktan sonra 1996 yılında Beykoz Denizcilik ve Su Ürünleri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 1996–1998 yılları arasında Atatürk Havalimanı II. Bakım Hangarı inşaatında Bozfakıoğlu Genel Elektrik şirketi bünyesinde teknisyen olarak görev aldı. 1998 yılında girmeye hak kazandığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Ali Osman ÇAKIROĞLU'na ulaşabilmek için;

E-Mail:

aocakiroglu@yahoo.com

aocakiroglu@hotmail.com