

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPAKT FLORESAN LAMBALARIN ENERJİ
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Elektrik Mühendisi Cem ÇAKILLIK

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPAKT FLORESAN LAMBALARIN ENERJİ
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Elektrik Mühendisi Cem ÇAKILLIK

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. FLORESAN AYDINLATMA.....	3
2.1 Klasik Floresan Lambalar	5
2.2 Kompakt Floresan Lambalar	6
2.2.1 Floresan Lambalarda Kullanılan Balastlar	8
2.2.1.1 Elektromanyetik Balastlar	8
2.2.1.2 Elektronik Balastlar	9
2.2.2 Kompakt Floresan Lamba Elektronik Devresi Çalışma Prensibi	10
2.2.2.1 AC Gerilimin Doğrultulması	10
2.2.2.2 Başlatma Fazı.....	11
2.2.2.3 Normal İşletme	11
3. HARMONİKLER VE HARMONİKLERLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR ..	12
3.1 Güç Sistem Harmonikleri	12
3.1.1 Harmonik Kaynağı Olarak Doğrultucular	12
3.1.2 Harmoniklerin Matematiksel Analizi	13
3.1.3 Harmonik İndisleri.....	15
3.1.4 Güç Sistemindeki Harmonik Kaynakları.....	17
3.1.4.1 Güç Elektroniği Cihazları	17
3.1.4.2 Ark Prensibiyle Çalışan Cihazlar	17
3.1.4.3 Elektromanyetik Doyumlu Cihazlar	18
3.1.5 Harmoniklerin Sistem Bileşenlerine Etkileri.....	18
3.1.5.1 Kablo Zorlanmaları.....	18
3.1.5.2 Kondansatör Ömründe Azalma	18
3.1.5.3 Elektrik makinelerindeki Kayıplar ve Titreşim Momenti	18
3.1.5.4 Transformatörlerin Aşırı Isınması	19
3.1.5.5 Telefon Etkileşimi	19
3.1.5.6 Elektronik Yüklerin Devre Dışı Kalması	19
3.1.5.7 Ölçü Aletleri ve Cihazlarının Hatalı Çalışması	19
3.1.6 Güç Sistem Ara Harmonikleri	19
4. KOMPAKT FLORESAN LAMBALARIN HARMONİK KAYNAĞI OLARAK İNCELENMESİ.....	22

4.1	Kompakt Floresan Lambaların Modellenmesi	22
4.1.1	Güç Faktörü ve Harmonik Bozulma	22
4.1.1.1	Güç Faktörü Düzeltmesi Olmayan Balast (Basit Durum)	23
4.1.1.2	Pasif Güç Faktörü Düzeltme	23
4.1.1.3	Vadi Doldurma Devresi	25
4.1.1.4	Aktif güç faktörü kontrolü	26
4.1.1.5	Kompakt Floresanların Akım Dalga Biçimleri	27
4.2	Kompakt Floresan Lambalarda Harmonik Azalma Etkisinin İncelenmesi	29
4.2.1	Giriş	29
4.2.2	Tek Fazlı Kondansatör Filtreli Köprü Diyotlu Doğrultucu	30
4.2.3	Kompakt Floresanların Harmonik Azalma Etkilerinin Tanımlanması	32
4.2.4	Harmonik Azalma Etkisinin Nedenleri	33
4.2.5	Azalma Faktörü (AF) ’nün Tanımlanması	34
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
5.1	Kompakt Floresan Lambanın MATLAB/SIMULINK Modeli ve Modelin Doğrulanması	35
5.2	Filtre Kondansatörünün Lamba Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi ..	40
5.3	Kaynak Harmoniklerinin Kompakt Floresanlar Üzerine Etkileri	44
5.3.1	Test Edilen Kompakt Floresan Lambalar	44
5.3.2	Kompakt Floresan Lambalara Uygulanan Gerilim Dalga Şekilleri	44
5.3.3	Deney Sonuçları	46
5.4	Kompakt Floresanlardaki Azalma Etkisinin Belirlenmesi	49
5.4.1	Deney Kurulumu	49
5.4.2	Kablo Uzunluğunun Etkisi	50
5.4.3	Arka Plan Distorsiyonunun Etkisi	54
5.4.4	Kaynak THD _v ’sinin Etkisi	58
5.4.5	Analiz Sonuçları	61
6.	SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	64
6.1	Kompakt Floresan Simülasyon Modelinin Lamba ile Karşılaştırılması	64
6.2	Azalma Etkisinin Simülasyon Modeli Üzerinde İncelenmesi	65
6.2.1	Kablo Uzunluğunun Etkisi	65
6.2.2	Arka Plan Distorsiyonunun Etkisi	70
6.2.3	Kaynak THD _v ’sinin Etkisi	73
6.2.4	Analiz Sonuçları	76
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
	KAYNAKLAR	80
	ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGE LİSTESİ

AF	Kablo empedansı
AF_h	Belirli bozulmuş kaynak gerilim dalga şeklinde h'ncı harmonik için azalma faktörü
C	Kondansatör değeri
D	Diyot değeri
f	Temel frekans (Hz)
f(t)	Periyodik fonksiyon
f_z	Temel frekans (Hz)
h	Harmonik derecesi
Hz	Hertz
I_c	Maksimum yük akımı
I_h	h'ncı akım harmoniği efektif değeri
I_{h-1}	N=1 iken h'ncı harmonik akım genliği
I_{h-baz}	Çok az ya da hiç bozulmamış kaynak gerilim dalga şeklinde h'ncı harmonik akımının büyüklüğü
$I_{h-bozulmuş}$	Belirli bozulmuş kaynak gerilim dalga şeklinde h'ncı harmonik akımının büyüklüğü
I_1	Temel bileşen akımı efektif değeri
I_{h-N}	N adet paralel cihaz için h'ncı harmonik akım genliği
I_L	Maksimum yük akımı
I_{rms}	Akım efektif değeri
I_{s-h}	Enjekte edilen harmonik akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
ik	Kaynak akımı
$I_{yük}$	Yük akımı
K	Transformatör faktörü
L	Kablo uzunluğu
L_{th}	Thevenin eşdeğer sistem endüktansı
N	Arka plan lamba sayısı
P_1	Temel bileşen akımından kaynaklanan aktif güç
P_H	Harmonikli bileşenlerden kaynaklanan aktif güç
R	Direnç değeri
R_{AC}	AC direnç değeri
$R_{eş}$	Eşdeğer direnç değeri
RMS	Root mean square (ortalama karesel değer)
R_{th}	Thevenin eşdeğer sistem direnci
T	Temel frekans periyodu
THD_I	Toplam harmonik distorsiyonu akım
THD_V	Toplam harmonik distorsiyonu gerilim
V_1	Gerilim temel bileşeni efektif değeri
V_h	h'ncı gerilim harmoniği efektif değeri
v_k	Kaynak gerilimi
V_{rms}	Gerilimin efektif değeri
V_{s-h}	Kablo empedansı Z_{s-h} nedeniyle oluşan gerilim düşümü
V_{th}	Thevenin eşdeğer sistem gerilimi
x	Değişken
Z_{s-h}	Kablo empedansı
ω	Açısal frekans
θ_h	Harmonik gerilim ile akımı arasındaki açısal fark

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
AF	Attenuation Factor (Azalma Faktörü)
ASD	Adjustable Speed Drives (Ayarlanabilir Hız Sürücüsü)
CFL	Compact Fluorescent Lamp
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DPF	Distortion Power Factor (Distorsiyon Güç Faktörü)
FACTS	Flexible AC Transmission Systems
HPS	High Pressure Sodium (Yüksek Basıncılı Sodyum)
IC	Integrated Circuit (Entegre Devre)
IEA	International Energy Agency
PF	Power Factor (Toplam Güç Faktörü)
PC	Personal Computer
KFL	Kompakt Floresan Lamba
TEF	Telefon Etkileşim Faktörü
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu (Total Harmonic Distortion)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
Std.	Standard
UV	Ultraviole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Floresan lambada elektrik enerjisinin ışığa dönüşümü (IEEE Std, 1993)	3
Şekil 2.2	Kendinden balastlı ve starterli kompakt floresanın kısımları (Block, 1993)	7
Şekil 2.3	Elektromanyetik balastlı floresan lambanın kaynak akım ve gerilim dalga şekli (Sasaki, 1994)	9
Şekil 2.4	Elektronik balastlı floresan lambanın kaynak akım ve gerilim dalga şekli (Sasaki, 1994)	10
Şekil 2.5	Kompakt floresan lamba için örnek elektronik devre (Vitanza, 1999).....	11
Şekil 3.1	Üç fazlı doğrultma (Nassif, 2009).....	13
Şekil 3.2	Elektrik güç sisteminde tipik bozulmuş akım dalga şekli (Nassif, 2009)	14
Şekil 3.3	Ara harmoniklerin ASD’de oluşumu (Nassif, 2009)	20
Şekil 3.4	Ara harmonikler içeren örnek dalga şekli ve harmonik spektrumu (Nassif, 2009)	20
Şekil 4.1	Filtresiz basit kompakt floresan balast devresi (Wei vd., 2008).....	23
Şekil 4.2	Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 1) (Wei vd., 2008).....	23
Şekil 4.3	Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 2) (Wei vd., 2008).....	24
Şekil 4.4	Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 3) (Wei vd., 2008).....	24
Şekil 4.5	Vadi doldurma filtreleme devresi (Wei vd., 2008)	25
Şekil 4.6	Gelişmiş vadi doldurma filtreleme devresi (Wei vd., 2008).....	26
Şekil 4.7	Aktif filtre devresi (Wei vd., 2008).....	26
Şekil 4.8	Farklı balast devreleri için akım dalga şekilleri ve harmonik spektrumları (Wei vd., 2008)	27
Şekil 4.9	Tipik kompakt floresan balast devresi (Wei vd., 2008).....	28
Şekil 4.10	Kompakt floresan eşdeğer devresi	28
Şekil 4.11	Kondansatör filtreli köprü diyot doğrultucu devresi (Nassif, 2009)	30
Şekil 4.12	Tipik Kompakt floresan akım dalga şekli ve harmonik spektrumu	31
Şekil 4.13	Farklı THD _I değerleri için kompakt floresan lamba akım dalga şekillerinin karşılaştırılması	32
Şekil 4.14	Farklı THD _V değerleri için 7. harmonik akımındaki değişim	32
Şekil 4.15	Azalma etkisinin gerilim ve akım dalga şekilleri üzerinde gösterilimi (Nassif, 2009).....	33
Şekil 5.1	Eş değer devresi çıkarılan lamba örneği	35
Şekil 5.2	Kompakt floresan modellemesi için kullanılan lamba devre şeması	36
Şekil 5.3	Modellemede kullanılacak kompakt floresan lamba devresinin fotoğrafı	36
Şekil 5.4	Modelleme deneyi devre şeması (Kompakt floresan lambanın dirençli eşdeğer devresi).....	37
Şekil 5.5	Lamba ve eşdeğer devreye uygulanan gerilim dalga şekli ve spektrumu	38
Şekil 5.6	Eşdeğer devre ve lamba akımlarının dalga şekillerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.7	Eşdeğer devre ve lamba akımlarının harmonik spektrumlarının karşılaştırılması	40
Şekil 5.8	Değişik filtre kondansatörü değerleri için lamba akımı ve kondansatör DC çıkış gerilimi	42
Şekil 5.9	Değişik filtre kondansatörü değerleri için %THD _I değişimi	43
Şekil 5.10	Filtre kondansatöründeki değişime bağlı harmonik spektrumu	43
Şekil 5.11	Test gerilimlerinin dalga şekilleri	45
Şekil 5.12	Örnek kompakt floresanların THD _V ’deki değişim ile toplam güç faktörü (PF) değişimi	47
Şekil 5.13	Örnek kompakt floresanların THD _V ’deki değişim ile distorsiyon güç faktörü (DPF) değişimi	47
Şekil 5.14	Örnek kompakt floresanların %THD _V ’deki değişim ile %THD _I değişimi.....	47
Şekil 5.15	%THD _V ‘deki değişim ile örnek 1’in akım spektrumundaki değişim	48

Şekil 5.16	%THD _V 'deki değişim ile örnek 2'nin akım spektrumundaki değişim	48
Şekil 5.17	%THD _V 'deki değişim ile örnek 3'ün akım spektrumundaki değişim.....	49
Şekil 5.18	Kablo uzunluğu ve arka plan gerilim distorsiyonundaki değişimin etkisini incelemek için deney şeması	50
Şekil 5.19	h=3'den h=13'e kadar kablo uzunluğuna bağlı azalma faktörü değişimi	53
Şekil 5.20	Kablo uzunluğuna bağlı olarak THD _I 'daki değişim	54
Şekil 5.21	h=3'den h=13'e kadar arka plan lamba sayısına bağlı azalma faktörü değişimi	57
Şekil 5.22	N arka plan lamba sayısının değişmesiyle %THD _I 'daki değişim.....	58
Şekil 5.23	THD _V 'nin %2.7 ile %6.8 arasında değişmesi ile azalma faktöründeki değişme.....	60
Şekil 5.24	THD _V 'nin %2.7 ile %6.8 arasında değişmesi ile THD _I 'da % değişme	61
Şekil 6.1	Kompakt floresan Simülasyon Modeli	64
Şekil 6.2	Simülasyon modeli ile lamba akım harmonik spektrumlarının karşılaştırılması	65
Şekil 6.3	Deney devresi simülasyon modeli	66
Şekil 6.4	h=3'den h=13'e kadar kablo uzunluğuna bağlı olarak azalma faktöründeki değişim	68
Şekil 6.5	Kablo uzunluğuna bağlı olarak THD _I 'daki değişim	69
Şekil 6.6	h=3'den h=13'e kadar arka plan lamba sayısına bağlı azalma faktörü değişimi	72
Şekil 6.7	N arka plan lamba sayısının değişmesiyle %THD _I 'daki değişim.....	73
Şekil 6.8	THD _V 'nin %2.72 ile %2.86 arasında değişmesi ile azalma faktöründeki değişme.....	75
Şekil 6.9	THD _V 'nin %2.72 ile %2.86 arasında değişmesi ile THD _I 'da % değişme	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Kompakt floresan lambaların renk sıcaklık seçenekleri	8
Çizelge 3.1	IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyon sınırları (IEEE Std, 1993).....	16
Çizelge 3.2	IEEE'nin Gerilim için Harmonik Distorsiyon Sınırları (IEEE Std, 1993).....	16
Çizelge 5.1	Modellenen kompakt floresan etiket değerleri.....	35
Çizelge 5.2	Lamba ve eş değer devrenin çalışma parametreleri	39
Çizelge 5.3	Filtre kondansatöründeki değişim ile Lamba değerlerindeki değişim	41
Çizelge 5.4	Deneyde kullanılan kompakt floresanlar	44
Çizelge 5.6	Kablo uzunluğunun 20m'den 134m'ye değişmesi durumunda %AF değişimi (her bir lamba grubu için).....	53
Çizelge 5.7	L'nin 20m'den 134m'ye değişmesi durumunda %THD _I ve %THD _V değişimi (her bir lamba grubu için).....	54
Çizelge 5.8	Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %AF değişimi (farklı kablo uzunlukları için)	57
Çizelge 5.9	Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %THD _I ve %THD _V değişimi (farklı kablo uzunlukları için).....	57
Çizelge 5.10	%THD _V 'nin %2.7'den %6.8'e değişimi ile % AF değişimi	58
Çizelge 5.11	3-13.harmonikler için farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında AF _h değerleri	62
Çizelge 5.12	Farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında bağlantı noktasındaki %THD _V ve %THD _I değerleri	62
Çizelge 6.1	Simülasyon modeline ve lambaya uygulanan gerilim ve gerilimlere ait faz açıları.....	64
Çizelge 6.2	Kablo uzunluğunun 20m'den 134m'ye değişmesi durumunda %AF değişimi (her bir lamba grubu için).....	69
Çizelge 6.3	L'nin 20 m'den 134 m'ye değişmesi durumunda %THD _I ve %THD _V değişimi (her bir lamba grubu için)	70
Çizelge 6.4	Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %AF değişimi (farklı kablo uzunlukları için)	72
Çizelge 6.5	Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %THD _I değişimi (farklı kablo uzunlukları için).....	73
Çizelge 6.6	%THD _V 'nin %2.72'den %2.86'e değişimi ile % AF değişimi.....	76
Çizelge 6.7	3-13.harmonikler için farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında AF _h değerleri	77
Çizelge 6.8	Farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında bağlantı noktasındaki %THD _V ve %THD _I değerleri	77

ÖNSÖZ

Her geçen gün enerji kaynaklarının tükenmesi, enerji üretim maliyetlerinin artması ve enerji üretiminin çevresel etkileri toplumların enerji tüketimi konusunda bilinçlenmelerini sağlamıştır. Bu kapsamda kullanılmakta olan mevcut cihazlar daha verimli alternatifleri ile değiştirilmektedir. Keşfinden bu yana aydınlatmanın temel birimi olan akkor filamanlı lambalar yerlerini daha verimli alternatifleri olan kompakt floresan lambalara bırakmaktadır.

Her geçen gün kullanımı yaygınlaşan kompakt floresan lambaların enerji kalitesi üzerindeki etkileri deney ve simülasyon çalışmaları ile incelenerek, elde edilen sonuçlar tez kapsamında sunulmuştur. Sonuçta mevcut kompakt floresanların daha etkin devre tasarımlarının geliştirmesi ile güç sistemine olumsuz etkilerinin giderilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Mevcut bilgi birikimini mühendislik tecrübeleri ile birleştirerek öğrencilerine sunmayı görev edinmiş değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Recep YUMURTACI' ya, tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta Genel Koordinatörüm Sn. Tülay KANIT olmak üzere tüm Cedetaş Müh. ve Müş. Ltd. Şti. çalışanlarına, deneylerde kullanılan elektronik devreleri oluşturmadaki katkılarından ötürü değerli arkadaşım ve meslektaşım Sn. Özlem APUHAN'a, ihtiyaç duyduğum her anda yanımda olan sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Elektronik balastlı kompakt floresan lambalar geleneksel akkor filamanlı lambalara göre 4-5 kat daha az enerji tüketirler ve ömürleri 8-15 kat daha uzundur. Kurulum maliyetleri yüksek olmasına rağmen, enerji tasarrufu sağlamaları ve yüksek ömürleri sayesinde akkor filamanlı lambalara göre daha ekonomiktirler. Gelecekteki eğilim, tüm akkor filamanlı lambaların kompakt floresanlarla değiştirilmesine yöneliktir.

Halbuki kompakt floresan lambalar %100'ün üzerinde toplam harmonik distorsiyonlu bozulmuş akımları üreten nonlineer yüklerdir. Aynı zamanda akkor filamanlı lambalara göre düşük güç faktörü ile çalışırlar. Kompakt floresanların giriş güçleri 5 W ile 30 W arasında düşük güçlerde iken, konut başına 24-30 adet kompakt floresan lamba kullanılan kalabalık yerleşim biriminde bu lambalar hatırı sayılır bir enerji yükü oluşturur. Bu enerji yükü, beslemenin belirli noktalarında beklenmedik gerilim bozulmalarına neden olabilir. Bu nedenle kompakt floresan lambaların enerji kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi gerekir. Bu kapsamda literatür araştırmasının yanı sıra, deney ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Laboratuar ölçümleri ile kompakt floresan eşdeğer devresi oluşturulmuş, eşdeğer devre MATLAB/SIMULINK yazılımı yardımıyla simülasyon ortamına aktarılmıştır.

Kaynak gerilim harmonikleri ile yük akım harmonikleri arasındaki ilişki azalma etkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu etki ile ilgili mevcut araştırmalar incelenmiş, kompakt floresanlardaki azalma etkisi, ölçüm ve simülasyon sonuçları kullanılarak doğrulanmıştır.

Filtre kondansatörünün ve kaynak harmoniklerinin kompakt floresan lamba performansı üzerindeki etkisi deneysel çalışmalar ile incelenmiştir.

Kompakt floresan lambaların enerji kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ile ilgili araştırmaların yanı sıra, deney ve simülasyon sonuçları tez kapsamında sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kompakt floresan, harmonik, distorsiyon, azalma etkisi

ABSTRACT

Electronic-ballasted compact fluorescent lamps are claimed to consume generally about four to five times less power than the traditional incandescent bulbs, and also last eight to fifteen times longer (in number of hours). While they have higher initial cost, on a life basis they are significantly more economical than incandescent lamps due to their energy saving performance and longer useful life. The future trend is to completely replace incandescent bulbs by compact fluorescent lamps.

CFLs, however, are nonlinear loads producing extremely distorted currents with a total harmonic distortion (THD_i) usually excess of 100%. They also operate at a relatively low power factor. While the input power of a single CFL is quite insignificant, typically 5W to 30W, a large number of customers using 24-30 CFLs per household would create a considerable total load. This total level of power may be sufficient to cause unacceptable voltage distortion at the some points along the feeder. In order to examine The impact of compact fluorescent lamp on power quality, in addition to researches, experimental and simulation studies are done.

Equivalent circuit of compact fluorescent lamp is built using laboratory measurement results. The circuit is then simulated in MATLAB/SIMULINK software.

The relationship between the supply voltage harmonics and the load current harmonics is the attenuation effect. The studies about this effect is searched and the attenuation effect of compact fluorescent lamps is proved by using laboratory and simulation studies.

The impact of filter capacitor and supply harmonics on the performance of compact fluorescent lamps is searched with experimental studies.

In addition to Researches, experiment and simulation results are introduced about the effect of compact fluorescent lamps on power quality.

Keywords: Compact fluorescent, harmonics, distortion , attenuation effect

1. GİRİŞ

Kompakt floresan lambalar 1980'lerin başında kullanılmaya başlanmış olup, akkor filamanlı lambalarla karşılaştırıldıklarında, daha uzun ömürlü ve daha verimlidirler. Kompakt floresanlar ticari, endüstriyel ve konut pazarında kullanılabilmeleri için farklı şekil ve boyutlarda üretilmektedir. Üreticiler geleneksel floresan lambalar ve akkor filamanlı lambalara alternatif sunmak için farklı lamba ve balast kombinasyonları denemektedirler. Kompakt floresanlar, boyut olarak akkor filamanlı lambalara yaklaşıırken, verimlilik olarak da klasik floresan lambalara yaklaşmaktadırlar.

Kompakt floresanların diğer alternatiflerine göre fiyatlarının pahalı olması, konutlarda kullanımlarını sınırlamaktadır. Enerji tasarruflu cihazların kullanımını sağlamak için hükümetler çeşitli teşvik çalışmaları yürütmektedir. Bu şekilde kompakt floresan kullanımında son yıllarda ciddi bir artış gözlenmiştir.

Diğer yandan dağıtım sisteminin harmonik gerilim seviyeleri üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı nonlineer bir eleman olan kompakt floresan lambaların geniş kullanımı endişe yaratmaktadır. Elektronik balastın nonlineer etkisinden dolayı, kompakt floresanlar dağıtım sistemine harmonikli akımlar enjekte ederler. Harmonik akım enjeksiyonlarının dağıtım seviyesindeki toplam etkisi şebekedeki bazı noktalarda beklenmedik gerilim bozulmalarına neden olur. Çok sayıda küçük harmonik kaynaklarının birleşmiş etkisi büyük bir kaynak kadar zararlı olabilir.

Güç sistemindeki harmonik kaynaklarının yoğunluğu nedeniyle, harmonik kaynaklarını besleyen gerilimler önceden bozulmuş durumdadır. Bu bozulma, girişinde filtre kondansatörlü doğrultucu bulunan yüklerin harmonik akım büyüklüklerinde belirli bir değişime neden olur. Bu değişim azalma etkisi olarak tanımlanacaktır. Mevcut harmonik analiz yöntemleri bu değişimi göz önünde bulunduramaz. Çünkü tipik harmonik akım kaynağı modeli, gerilimin az ya da hiç bozulmadığı durumda oluşturulur.

Tez kapsamında kompakt floresan azalma etkisi ve kaynak harmoniklerinin lamba performansı üzerindeki etkilerinin yanı sıra lamba devresi bileşenlerinin harmonik üretimi üzerindeki etkisi deney ve simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde floresan aydınlatma incelenerek, kompakt floresanların yapıları ve çalışma prensipleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde güç sistem harmoniklerinin tanımı ve matematiksel analizi yapılarak, harmonik indisleri sunulmuştur. Güç sistemi harmonik kaynakları özetlenerek, bu kaynakların

sistem bileşenleri üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Harmoniklere göre farklı tanımlara sahip ara harmonikler ve etkileri de bu bölümde incelenmiştir.

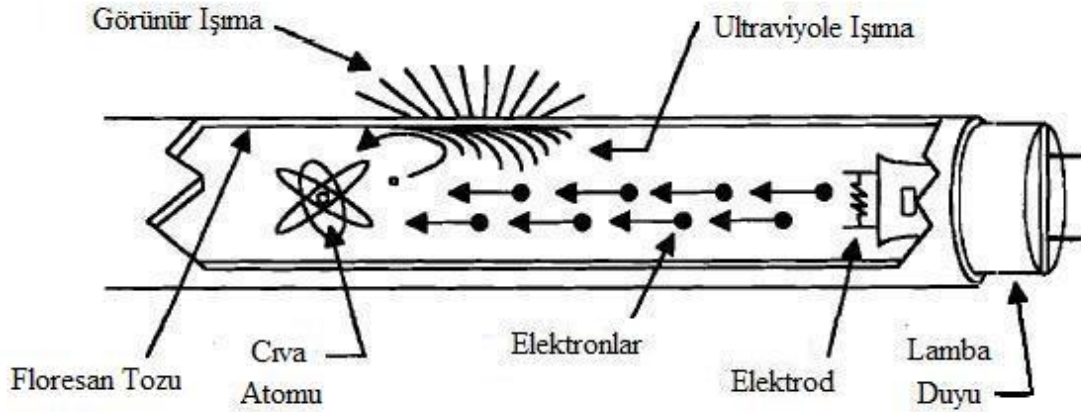
Dördüncü bölümde, elektriksel karakteristikleri incelenmek üzere kompakt floresan lambalar balast devre dizaynlarına göre kategorize edilmiştir. Kompakt floresanlardan kaynaklanan harmoniklerin modellenebilmesi için kompakt floresan modeli sunulmuştur. Ayrıca akım harmonik spektrumu üzerinde kaynak geriliminin etkisini tanımlayan azalma etkisi kavramı ve bu kavramın tanımlanmasında kullanılan azalma faktörü sunulmuştur.

Beşinci bölümde kompakt floresanlarla ilgili deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk kısımda, 4. Bölümde sunulan eşdeğer devre modeli laboratuvar ortamında oluşturulmuş ve lamba ile benzer harmonik akım spektrumuna sahip olduğu doğrulanmıştır. İkinci kısımda lamba devresi kullanılarak filtre kondansatörünün harmonik üretimindeki ve lamba performansındaki etkisi incelenmiştir. 3. kısımda kaynak harmoniklerinin kompakt floresan performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. 4. kısımda dördüncü bölümde tanımlanan azalma etkisi kavramının gerçekliği deney ortamında kanıtlanmıştır.

Altıncı bölümde, beşinci bölümde doğrulanan eşdeğer lamba modeli MATLAB/SIMULINK yazılımı kullanılarak simülasyon ortamına aktarılmış ve simülasyon modelinin doğruluğu, eşdeğer devre parametreleri ile karşılaştırmalı olarak kanıtlanmıştır. Elde edilen simülasyon modeli üzerinden azalma etkisi kavramı simülasyon ortamında yeniden incelenmiştir. Azalma etkisi konusunda deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür.

2. FLORESAN AYDINLATMA

Floresan lambalar düşük basınçlı gaz deşarj lambaları olarak tanımlanabilir. Oluşan deşarj sonucu, ultraviyole spektrumu içinde cıvanın 185.0 ve 253.7 nm dalga boyundaki iki rezonans hattı oluşur. Tüpün elektrotları boyunca bir potansiyel uygulandığında, elektrotlardan serbest elektronlar yayılır ve bu elektronlar cıva atomlarını bombalar. Cıva atomları ile elektronlar arasındaki çarpışma ısı üretilmesine, cıva atomlarının ve moleküllerinin uyarılmasına ve cıva atomlarının iyonizasyonuna neden olur. Isı oluşumu ve gaz ısının artışı serbest elektronlar ile cıva atomlarının çarpışmasının bir sonucudur. Serbest elektronlar ile cıva atomlarının çarpışması sonucu oluşan cıva atom ve moleküllerinin uyarımı, cıva atomlarına ait elektronların bir üst seviyeye geçmesine neden olur. Cıva atomunun elektrostatik gücünden dolayı, bu elektronlar bir süre sonra normal enerji seviyelerine geri dönerler. Cıva atomu tarafından elektronun geri dönüşü sebebiyle kazanılan enerji uyarım enerjisi olarak tanımlanır. Bu enerji, cıva atomunu elektromanyetik enerji biçiminde terk eder. Açığa çıkan elektromanyetik enerji UV radyasyonu formundadır ve tüpü kaplayan floresan tozu ile görünür ışığa dönüşür. Serbest elektronların ve cıva atomlarının arasındaki çarpışma sonucu oluşan cıva atomu iyonizasyonu cıva atomunun bir elektronunun yörüngesinden ayrılarak serbest elektron durumuna geçmesine sebep olur. Elektrik enerjisinin ışığa dönüşmesiyle ilgili proses Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Sasaki, 1994).



Şekil 2.1 Floresan lambada elektrik enerjisinin ışığa dönüşümü (IEEE Std, 1993)

İki rezonans ana hattını belirleyen ana faktörler cıva buhar basıncı, yardımcı gaz, akım yoğunluğu ve deşarj tüpü boyutlarıdır. Bu faktörler aşağıda incelenmiştir.

- **Cıva buhar basıncı:** Deşarjın oluşabilmesi için floresan lambaların içinde az miktarda cıva bulunur. Doymuş cıva buharı basıncı, sıcaklığa bağlıdır. Floresan lambalarda,

cıva buharı basıncı tüp duvarındaki en soğuk nokta tarafından belirlenir. Bu nokta, soğuk nokta olarak bilinir. Bu nedenle, oluşan UV rezonans hatlarının maksimum verimliliği için belirli bir lamba işletme sıcaklığı vardır. Eğer buhar basıncı düşerse, serbest elektronlar tarafından uyarılan cıva atomu sayısı düşer ve sonuç olarak lamba daha az ışık verir. Eğer buhar basıncı çok fazla ise, UV rezonans hatlarının öz soğurması artar ve yine lambanın ışık akısı azalır.

- **Yardımcı gaz:** Serbest elektronlar ile cıva atomları arasında çarpışma gerçekleştiğinde, elektronlar belirli bir mesafe kat eder. Bu elektronlar tarafından kat edilen mesafe ortalama serbest rota uzunluğu olarak tanımlanabilir. Bu uzunluk iki çarpışma arasında elektronlar tarafından kat edilen mesafedir. Cıva buhar basıncı en uygun seviyede iken elektronların serbest ortalama rota uzunluğu çok büyüktür ve cıva atomlarının ve moleküllerinin uyarılma ihtimali çok düşüktür. Yardımcı bir gaz (genelde krypton) ile elektronların ortalama serbest rota uzunluğu azaltılır ve böylece cıva atomları uyarılır, UV salınımı artar (Meyer ve Nienhuis, 1998). Cıva buharında olduğu gibi yardımcı gazında optimum bir basıncı vardır. Bu optimum basınçta lamba maksimum ışık verimi sağlar. Eğer yardımcı gaz basıncı düşükse, cıva atomlarının uyarılma ihtimali azalır. Yardımcı gaz basıncı çok yüksekse, serbest elektronlar ile yardımcı gaz arasındaki çarpışmalar artar. UV'den enerji çekilerek serbest elektronlar ile cıva atomları arasında çarpışmalar oluşur.
- **Akım yoğunluğu:** Floresan tüpü tarafından harcanan enerji ve tüp duvar ısısındaki sıcaklık artışı lamba akımındaki artış ile orantılıdır (Meyer ve Nienhuis, 1998). Eğer tüp duvarı ısısı optimum buhar sıcaklığını geçerse, UV yayılmada bir azalma olur. Sabit tüp boyutlarında lamba akımındaki artış, tüp içerisindeki daha yüksek akım yoğunluğunun bir ölçüsüdür. Daha yüksek akım yoğunluğu, cıva atomlarının uyarılmasındaki artış nedeniyle rezonans seviyesindeki düşmeye ve cıva buharının uyarılması ile üretilen rezonans ışıması emiliminin artmasına neden olur. Tüm bu etkiler lambanın ışık verimini düşürür.
- **Deşarj tüpü boyutları:** Floresan lamba gücü tüp boyunca akan akımın ve lamba geriliminin bir fonksiyonudur. Lamba gerilimi anot elektrot gerilimi, katot elektrot gerilimi ve anot ile katot arasındaki ark geriliminin toplamıdır (Sasaki, 1994). Sabit tüp çapı için, tüp uzunluğunda bir değişiklik yapıldığında, optimum duvar sıcaklığı ve ışık veriminin elde edilmesi için ark gerilimde tüp uzunluğundaki artışla orantılı bir artışa ihtiyaç vardır. Tüp boyu azalınca, optimum ışık verimini sağlayabilmek için tüp çapının da azalması gerekir. Tüp çapındaki azalma, tüp boyunca elektrik alan

dayanımını arttırır. Böylece deşarj yolu boyunca birim uzunluk için daha fazla güç harcanmış olur.

Floresan lambalar temel olarak iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar klasik floresan lambalar ve kompakt floresan lambalardır.

2.1 Klasik Floresan Lambalar

Klasik floresan lambaların bir parçası olan floresan tüpü, deşarj tüpü, floresan tozu, elektrotlar, dolgu gazı ve duylardan oluşur (Meyer ve Nienhuis, 1998).

Deşarj tüpü silindirik şeklindedir. Doldurma gazını ve elektrotları içerir. Düz tüpler kireç camından imal edilirken (24'', 48'' ve 96'' uzunluğunda) eğri tüpler (simit ve kompakt floresan) kurşun camdan imal edilirler. Tüp, çapı ve fiziksel yapılandırması ile tanımlanır. T tüpü simgelerken sonraki sayının 8'e bölümü inç olarak tüp çapını verir. Örneğin "T12" düz tüplü 1.5 inç çaplı floresan lambaya karşılık gelir (Ouellette, 1993).

Deşarj tüpünün yüzeyini kaplayan floresan tozu, deşarj lambası tarafından üretilen UV'yi görünür ışığa dönüştürür. Floresan tozu tarafından üretilen görünür ışık, ışımaya olarak tanımlanır. Işıma, tozun floresan ve fosfor parlamasından kaynaklanır. Floresan parlaması, lambanın düşük basınç cıva deşarjı tarafından üretilen W radyasyonu tarafından tetiklenir. Fosfor parlaması, floresan tozunun parlamasından sonra üretilen fosfor ışıllık olarak tanımlanır. Floresan tozu, fosfor ışıllık sayesinde "karanlık periyot" olarak tanımlanan ve floresan lambaların alternatif gerilim kaynağından (50 Hz veya 60 Hz) beslenmesinden kaynaklanan sürede ışımaya devam eder. Lambayı besleyen anlık gerilim belirli bir noktanın altında iken, elektrotlar arasında ark oluşmaz, akım tüp boyunca akmaz ve W radyasyonu yayılmaz. Bu durumda lamba fosfor ışıllık sayesinde ışık yaymaya devam eder.

Floresan lamba elektrotları deşarj tüpünün içerisinde serbest elektronlar üretilmesine olanak tanır. Elektrotlar tungsten telden üretilmiştir ve iki ya da üç kez yayıcı madde ile kaplanırlar. Elektrot malzemesinin buharlaşmasını ya da püskürmesini engellemek için elektrotlar, elektrotlardan elektriksel olarak izole edilmiş metal ekran ile sarılır. Bu metal ekranın varlığı elektrot yakınında deşarj tüpü kararması olarak kendini gösterir.

Deşarj tüpü dolgu gazı az miktar cıva ve yardımcı gaz içerir. Lamba elektrotlarına bir gerilim uygulandığında, tüpte serbest elektronlar oluşur. Bu serbest elektronlar cıva atomlarını uyarır ve UV radyasyonunun deşarjını sağlar.

Yardımcı gaz UV radyasyonunun deşarjı için gereklidir ve efektif başlangıç gerilimini azaltarak lambanın yanmasına yardımcı olur.

Duyar tüpün her iki ucunu kapatır ve armat re monte edilmesini sağlar. Duyar farklı  ekil ve boyutlardadır. İki ya da tek pine sahiptirler. Tek pinli duylar sadece soğuk ba lamaya imkan verirken, iki pinli duylar hızlı ba lamalı lambalarda olduğu gibi ba lamadan önce elektrotların  n ısınmasına olanak sağlar.

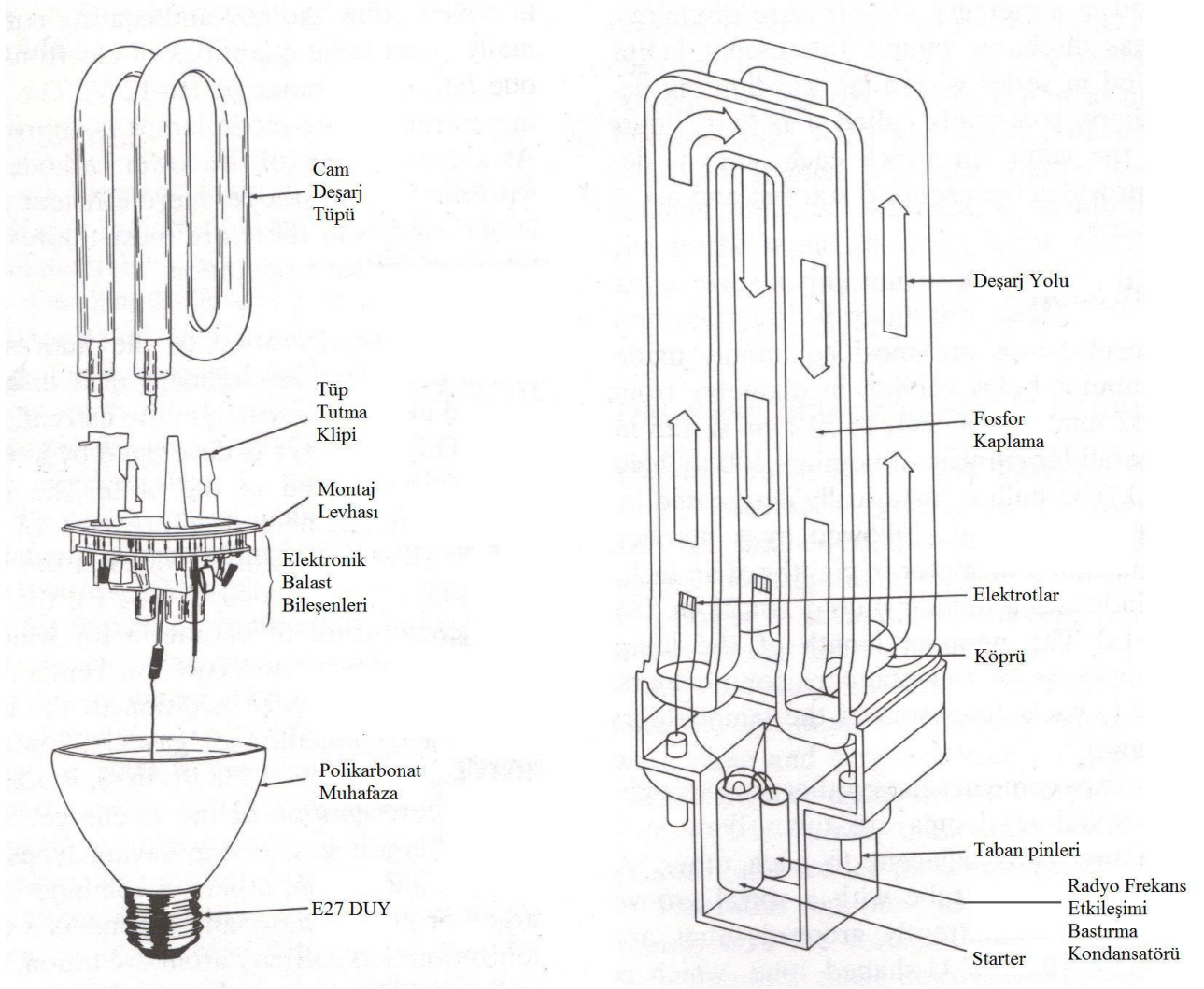
2.2 Kompakt Floresan Lambalar

Adından da anlaşıldığı üzere, kompakt floresan lambalar yukarıda anlatılan klasik floresan lambanın kompakt versiyonudur. Kompakt floresanlar 20 cm ve altındaki boyutlarda piyasada bulunur. G  leri genelde 7 ile 40 W arasında değişir. Kompakt floresanlar, klasik floresan ve akkor filamanlı lambalar ile kar ıla tırılabilir seviyede aydınlatma sağlarlar (Osram, 1993).

Elektronik balast devresi haricinde, kompakt floresanın fiziksel yapısı klasik floresanla aynıdır ve deşarj tüpü, floresan tozu, elektrotlar, gaz dolgusu ve duydan oluşur. Kompakt floresan boyutunu azaltmak için, klasik floresan lambalara göre deşarj tüpü uzunluğu belirgin oranda d   r lm  t r. T p uzunluğundaki d    e karşılık lambanın     akısını sabit tutabilmek ve t p boyunca elektrik alan dayanıklılığını arttırmak için t p çapı k   lt lm  t r. Lamba boyutunu daha da düşürmek için deşarj tüpü tam ortadan ikiye katlanmı tır. Tüpü katlamak aynı zamanda her iki ucun tek bir muhafaza ile kapatılmasına olanak sağlamıştır. Böylece starter, duy ve bazı uygulamalarda balast aynı muhafazada birle tirilmi  olur. Kendinden balastlı kompakt floresanın kısımları  ekil 2.2’de görülmektedir.

Kompakt floresanlar birçok şekilde bulunabilirler. Tek sonlu iki tüplü tipte tüpler, U şeklinde olup her iki son da elektrotlar vardır. T p sayısı lamba gücüne göre değişiklik gösterebilir. İki tüplü ve 4 tüplü kurulumların t p çapı genelde 1.27 (T4) cm ve 1.58 (T5) cm’dir ve balasta bağlanmaları için iki kontaklı duya sahiptirler. Diğer  ekiller kare, k re, reflektörlü ve simit şeklidir. Tek parça kompakt floresanlar ise lamba kısmı ve balast monte edilmiş Edison duya sahiptir.

Kompakt floresanların yüksek verimliliklerinin sebebi, nadir toprak fosforlarının floresan tozu içerisinde bulunmasıdır. Bu toprak fosforları sayesinde küçük çaplı tüplerinde, yüksek güç yoğunluğuna sahip kompakt floresanlardan yüksek     akısı elde edilir. Klasik halofosforların kompakt floresanlarda kullanılması, kompakt floresanların verimlerinin hızlı bir şekilde d  mesine neden olur. Kompakt floresanlarda kullanılan nadir toprak fosforları m kemm l renk geriverim özeliklerine sahiptir. Farklı renk sıcaklıkları bu fosforların kombinasyonlarından elde edilir. Bu renk sıcaklıkları Kelvin cinsinden 2700 K sıcak ‘‘akkor’’ ’dan 4100 K soğuk ‘‘mavimsi’’ rene kadar değişiklik gösterebilir. 3500 K renk



Şekil 2.2 Kendinden balastlı ve starterli kompakt floresanın kısımları (Block, 1993)

sıcaklıklı kompakt floresanlar klasik floresan lamba gibi doğal beyaz ışık üretirler. Kompakt floresanın ürettiği ışık, renk geriverim indeksi ile ölçülür ve ölçeği 100'dür. Renk geri verim indeksi renklerin ışık altında ne kadar "gerçek" veya "doğal" olduğunu gösterir. Örneğin, klasik bir akkor filamanlı lambanın renk sıcaklığı 2800K ve renk geriverim indeksi 93'dür (Sasaki, 1994). Standart kompakt floresanlar için renk sıcaklıkları, renk geriverim indeksleri ve lümen eşdeğerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Nadir toprak fosforlarının çevresel etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bu fosforlar zehirlidir ve özel yöntemlerle ayrıştırılmaları gerekir.

Çizelge 2.1 Kompakt floresan lambaların renk sıcaklık seçenekleri

Renk Sıcaklığı	Renk Geriverim İndeksi	Karşılıkları
2700K	82	Soğuk beyaz, akkor, Beyaz yüksek basınç sodyum (HPS)
3000K	85	Sıcak beyaz, akkor, halojen, 3000K floresan, yüksek yoğunluklu deşarj lambaları
3500K	85	Halojen, 3000K floresan lambalar
1100K	85	Soğuk beyaz, metal halide, 4100K floresan ve yüksek yoğunluklu deşarj lambaları
5000K	85	C/D50 ve diğer yüksek renk sıcaklıklı lambalar, yüksek yoğunluklu deşarj lambaları

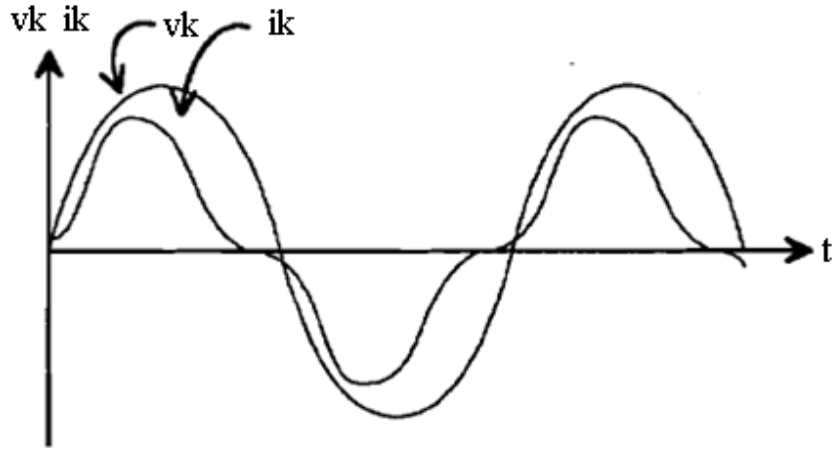
2.2.1 Floresan Lambalarda Kullanılan Balastlar

Floresan lambalarda elektromanyetik ve elektronik olmak üzere iki tip balast kullanılır. Balast lambanın başlangıç gerilimini sağlar, lamba tarafından tüketilen akımı sınırlar ve kaynak geriliminde meydana gelen değişiklikleri dengeler (Weiss, 1989). Balastlar lamba içinde ya da dışında konumlandırılmalarına göre entegre ve adaptör balast olarak adlandırılır. Aşağıda elektromanyetik ve elektronik balastlar detaylı olarak tanımlanmıştır.

2.2.1.1 Elektromanyetik Balastlar

Klasik ve kompakt floresanlarda kullanılan elektromanyetik balastlar lamba ile seri bağlı tel sarımlı bobinlerdir (Pileggi, 1993). Bu tip balastlar, kaynak frekansında lamba ile seri bağlı yüksek empedanslı yük gibi davranırlar. Endüktif karakteristiklerinden ötürü, lambanın aktif gücünün yaklaşık %15 ile % 25'ine karşılık gelen gücü ısıya dönüştürürler. Ek olarak bu tür balastların çoğu düşük distorsiyon güç faktörüne sahiptirler.

Elektromanyetik balastlar, harmonik akımlarının üretim ve sınırlandırma etkisini aynı anda gösterirler. Balastın nonlineer manyetik karakteristiğinden ötürü harmonik akımları ortaya çıkarken, şebekeden floresan lambaya akan harmonik akımları balastın endüktif karakteristiği nedeniyle sınırlanır. Elektromanyetik balastlı bir floresan lambanın tipik kaynak gerilim ve akımı Şekil 2.3'de görülmektedir.



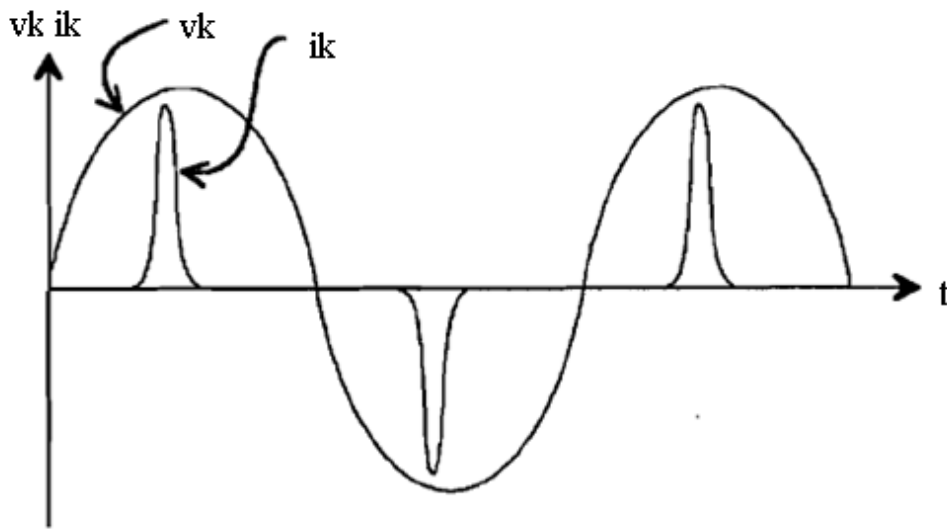
Şekil 2.3 Elektromanyetik balastlı floresan lambanın kaynak akım ve gerilim dalga şekli (Sasaki, 1994)

2.2.1.2 Elektronik Balastlar

Elektronik balastlar lambayı besleyen yüksek frekanslı AC gerilim üretmek için yarı iletken elemanları kullanırlar (Sasaki, 1994). Balastı besleyen hat gerilimi tam köprü dalga doğrultucu ve filtre kondansatörü kullanılarak DC gerilime dönüştürülür. Sonra bu gerilim transistörler yardımıyla yüksek frekanslı AC gerilime dönüştürülür. 50/60 Hz kaynak akım frekansı ile lambayı besleyen elektromanyetik balastlardan farklı olarak, elektronik balastlar inverter yardımıyla lambaya 25 ile 50 kHz frekanslı akım sağlarlar.

Elektronik balast kullanımının elektromanyetik balast kullanımına göre birçok avantajı vardır (Sasaki, 1994). Elektromanyetik balastlı lambada, 50/60 Hz frekanslı gerilim pozitif yarı periyottan negatif yarı periyoda geçtiğinde tüp içerisindeki akım yön değiştirir ve cıva deşarjı çoğu elektronlarını ve iyonlarını kaybeder. Bu etki, 50/60 Hz AC gerilim kaynağı tarafından beslenen tüp gazının iyonsuzlaştırılması olarak tanımlanır. Bu etkiden ötürü deşarjın periyodik olarak yeniden ateşlenmesi gerekir. Yeniden ateşlenme balasttan ek güç çekilmesi anlamına gelir. Elektronik balastta ise, 10 kHz'in üzerinde anahtarlama frekansı ile enerjilendirilen floresan lambada tüp içerisinde oluşan deşarjın yeniden ateşlenmesine gerek yoktur. Elektronik balastın elektromanyetik balasta göre yüksek anahtarlama frekansından ötürü, deşarj tüpündeki gazda fark edilebilir bir de-iyonizasyon görünmez ve akımın yön değiştirmesinden sonra deşarj için yeterli sayıda elektron taşıyıcı mevcut olur. Böylece deşarjın yeniden ateşlenmesine gerek kalmaz. Deşarj tüpü tarafından üretilen ışık akısında %10'luk bir artış olur. Elektronik balast kullanımının elektromanyetik balast kullanımına göre diğer avantajları boyutun ve ağırlığın azalması, etkinlik faktörü olarak da tanımlanan lamba verimliliğinin (lümen/watt) ve lamba ömrünün artmasıdır. Elektronik balast kullanımının

elektromanyetik balast kullanımına göre dezavantajları da vardır. Elektronik balast AC gerilimi DC gerilime çevirmek için köprü diyot ve filtre kondansatör kombinasyonu kullandığı için, şebekeye yüksek seviyede akım harmonikleri enjekte eder. AC şebeke geriliminin harmonik bileşenler içermesine neden olur. Doğrultucu filtre kondansatörü kombinasyonunun düşük iletim süresi, tek harmonikler bakımından zengin akım dalga şekline ve yüksek tepe faktörüne neden olur. Elektronik balastlı bir floresan lambanın tipik besleme gerilim ve akım dalga şekli Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Elektronik balastın bir diğer dezavantajı, balast inverterinin yüksek anahtarlama frekansının neden olduğu radyo frekans karışmasıdır.



Şekil 2.4 Elektronik balastlı floresan lambanın kaynak akım ve gerilim dalga şekli (Sasaki, 1994)

2.2.2 Kompakt Floresan Lamba Elektronik Devresi Çalışma Prensipleri

Elektronik kontrol devresi lamba gerilim ve akımını düzenler. Şekil 2.5 Luxar marka 11W gücündeki kompakt floresan lambanın elektronik devresini göstermektedir. Bu devre kompakt floresanların elektronik devre işleyişini anlatmak için kullanılacaktır.

2.2.2.1 AC Gerilimin Doğrultulması

AC Kaynak gerilimi, köprü doğrultucu ve C4 filtre kondansatörü yardımı ile doğrultulur. F1 devreyi koruyan sigortadır ve çoğu kompakt floresan modelinde bulunmaz. L2 endüktansı parazit bastırıcı olarak çalışır. (inverterde üretilen yüksek frekanslı sinyallerin şebekeye geçmesini önler). D1, C2, R6 ve diyak başlatma bazında devrededir. D1, D3, R1, R3 koruma devresi olarak çalışır (Vitanza, 1999).

3. HARMONİKLER VE HARMONİKLERLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

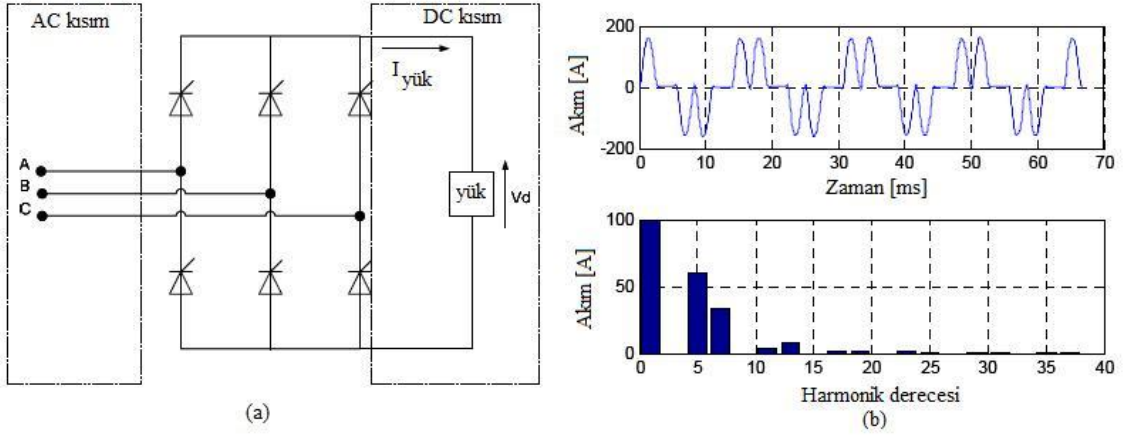
Günümüzde güç kalitesi üzerine yapılan araştırmaların çoğu, güç sistem harmonikleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Son yıllarda güç elektroniği teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak harmonik ölçüm ve analiz teknikleri sürekli olarak gelişmektedir. Genel olarak, endüstriyel ticari ve konut alanlarında kullanılan yarı iletken güç elektroniği bileşenleri giderek şebekeye bağlı olan yükün daha büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Reid 1996). Bu artış harmonik gerilim ve akımların artışı ile ilgili kaygıyı arttırmaktadır. Çünkü artış trendi dikkate değerdir ve izin verilen bozulma sınırını aşmaktadır. Bu bölümde genel olarak harmonikler incelenecektir.

3.1 Güç Sistem Harmonikleri

Güç sistemi cihazları, 50/60 Hz frekanslı sinüsoidal alternatif gerilim ve akımda çalışmak üzere tasarlanırlar. Enerji şirketleri son kullanıcıya kaliteli enerji sunmaya çalışmaktadır. İdeal durumda, tüketici yükünü besleyen akımın ve şebeke geriliminin saf sinüsoidal şekle sahip olması gerekir. Bu ideal durum sadece tüketici yükünün lineer olması durumunda geçerlidir. Gerçekte şebekeden çekilen akım, gerilimin nonlineer fonksiyonudur ve 50 Hz sinüsoidal akım dalga şekli üzerine periyodik bozulmalar ekler. Bu bozulmalar (ör:150 Hz, 250 Hz, 350 Hz) gibi temel frekansın çeşitli katlarında sinüsoidal bileşenlere ayrılabilir. Bu bileşenler, harmonikler olarak adlandırılır (Dugan vd., 1996). Harmonikler, temel frekans bileşenine eklenerek dalga şekli bozulmalarına neden olur. Kaynak gerilimi ile doğrusal ilişkisi olmayan akım dalgaları çeken yüklere, nonlineer yükler denir. Kaynak gerilimi ile doğrusal ilişkisi olmayan dalga şekilli akım çeken yükler, harmonik kaynakları olarak tanımlanır.

3.1.1 Harmonik Kaynağı Olarak Doğrultucular

Günümüzde doğrultma prensibi ile çalışan (AC DC dönüşüm) nonlineer güç elektroniği yükleri en yaygın harmonik kaynaklarının başında gelmektedir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi DC kısım tristör köprüsü yardımıyla oluşturulduğu için harmonikler AC kısma yansır ve AC akım dalga şekli aşırı derecede bozulur. Şekil 3.1 6 darbeli tristör köprüsünün temel kurulumunu, AC akım dalga şeklini ve akım spektrumunu göstermektedir.



Şekil 3.1 Üç fazlı doğrultma (Nassif, 2009)

(a) 6 darbeli tristör köprüsü (b) AC kısım akımı ve akım spektrumu

6 darbeli diyot köprüsü tipik akım spektrumu şu harmonikleri içerir:

$$n=6k\pm 1 \quad (3.1)$$

Burada n harmonik derecesi, k 1,2,3... gibi tamsayıdır.

3.1.2 Harmoniklerin Matematiksel Analizi

Güç sistemleri saf sinüzoidal gerilim ve akım dalga şekilleri ile beslenmek ve işletilmek üzere tasarlanırlar. Gerçekte ideal kaynak koşullarından sapmalar görülür. Nonlineer yükler, kaynak gerilimine göre lineer olmayan dalga şekilli akımlar çeker. Bu akımdaki bozulmalar, matematiksel olarak temel frekansın katlarında kendini tekrarlayan sinüs dalgaları olarak tanımlanabilir (IEEE vd., 1996).

Harmonikler, sürekli hal nonsinüzoidal gerilim ve akım dalga şeklini tanımlamanın matematiksel bir yoludur (Nassif, 2009). Periyodik olduklarında, bozulmuş gerilim ve akım dalga şekilleri Fourier serileri olarak ifade edilebilir. Periyodik $f(t)$ fonksiyonu ω temel açısal frekansında şu şekilde tanımlanır (Nassif, 2009).

$$f(t)=a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} [a_h \cos(h\omega t) + b_h \sin (h\omega t)] \quad (3.2)$$

Burada açısal frekans $\omega=2\pi f=2\pi/T$, T bir temel frekans periyodudur. a_0 , a_h , b_h katsayıları şu şekilde tanımlanır.

$$a_0=\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t)d(\omega t), \quad (3.3)$$

$$a_h=\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t)\cos(h\omega t)d(\omega t), \quad (3.4)$$

$$b_h = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega t) \sin(h\omega t) d(\omega t), \quad (3.5)$$

$f(t)$ 'nin efektif değeri (ortalama karesel değeri) şu şekilde tanımlanır:

$$RMS = \sqrt{a_0^2 + \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{\sqrt{a_h^2 + b_h^2}}{\sqrt{2}} \right)^2} \quad (3.6)$$

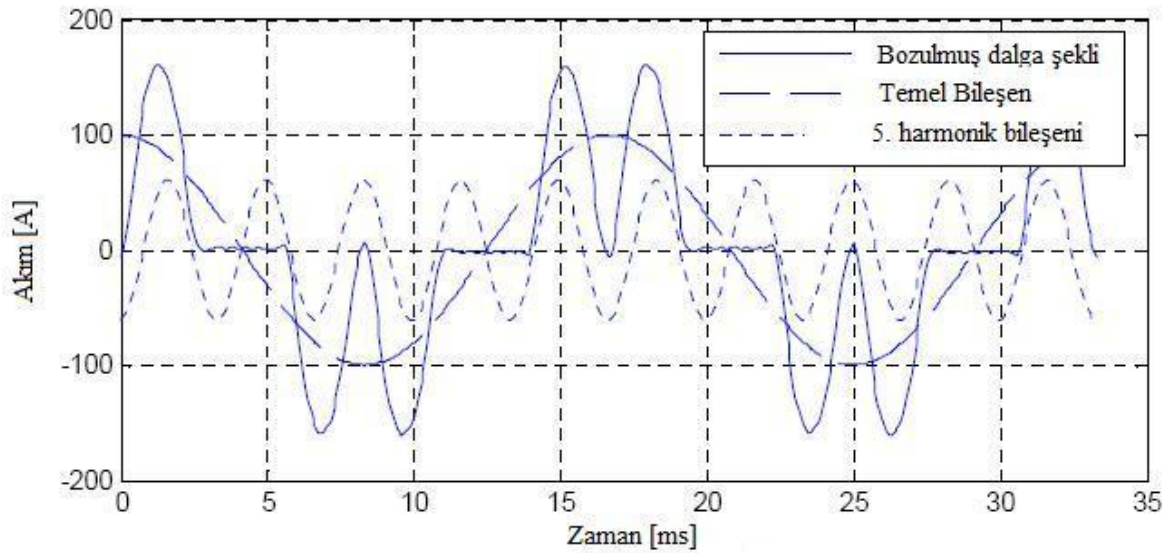
Temel frekans bileşeni kosinüs fonksiyonu olarak tanımlandığında, harmonik içeren bileşke dalga şekilleri çift simetri gösterir. f fonksiyonu x 'in herhangi bir değeri için $f(-x)=f(x)$ 'i sağlıyorsa, çift fonksiyondur.

f fonksiyonu x 'in herhangi bir değeri için $f(x)=-f(-x)$ 'i sağlıyorsa, tek fonksiyondur ve fonksiyonda sadece sinüslü terimler vardır. Sonuç olarak fourier serisi şu şekilde basitleştirilebilir.

$$a_h = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2\pi h t}{T}\right) dt, \quad (3.7)$$

$$b_h = 0 \quad (3.8)$$

Harmonik bileşenlerin saf sinüsoidal dalga şeklindeki temel bileşenle birleşmesi ile bozulmuş dalga şekli meydana gelir. Şekil 3.2 60 Hz frekanslı güç sisteminde harmonik kaynağı tarafından üretilen akım dalga şeklini göstermektedir. Şekilde temel bileşen, 5. harmonik bileşeni ve bileşke akım dalga şekli görülmektedir.



Şekil 3.2 Elektrik güç sisteminde tipik bozulmuş akım dalga şekli (Nassif, 2009)

3.1.3 Harmonik İndisleri

Dalga şekli harmonik bozulmalarının bir ölçütü olarak kullanılan en yaygın indeks, toplam harmonik distorsiyonu (THD)'dur. THD gerilim ve akım dalga şekillerinin harmonik bileşenlerini temel frekans bileşenine göre derecelendirir. Bu tez çalışmasında akım ve gerilim THD' sini belirlemek için, IEEE tanımı kullanılmıştır (IEEE Std, 1993).

$$THD_V(\%) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (3.9)$$

$$THD_I(\%) = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (3.10)$$

Burada V_1 ve I_1 temel bileşenin efektif (rms) değeri, V_h ve I_h h'ıncı derece harmonik bileşeninin efektif değeridir.

Akım için Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD_I), temel harmonik akımına göre akım harmonik bozulmasının bir ölçüsü olarak tanımlanır. Bu indeks bazı durumlarda tek bir tüketici tarafından şebekeye enjekte edilen harmonik enjeksiyonlarının ölçülmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu tür durumlar için toplam talep distorsiyonu (TTD) olarak belirtilen bir indeks tanımlanmıştır (IEEE Std, 1993).

$$TTD(\%) = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad (3.11)$$

Burada I_L besleme sisteminin ortak noktasından çekilen maksimum yük akımıdır. On iki ay öncesinden başlayarak hesaplamaların yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır.

IEEE std 519-1992'ye göre, 69' kV'dan küçük gerilim seviyeleri için, THD_V 'nin standart limiti %5'dir. Akım için Toplam Talep Distorsiyonun (TTD) standart limiti, bağlantı noktasındaki kısa devre akım seviyesinin maksimum yük akımına oranına (I_{sc}/I_c) bağlı olarak belirlenir. 120 V ve 69 kV arasındaki gerilim seviyeleri için akım TTD'si limiti, I_{sc}/I_c oranı 20 nin altında ise %5, 1000'in üstünde ise %20 olarak belirlenmiştir. 20 ile 1000 arasındaki oranlar için TTD limiti %5 ile %20 arasında değişmektedir. Akım ve gerilim ile ilgili olarak kullanılan harmonik standartları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyon sınırları (IEEE Std, 1993)

$U_n \leq 69\text{kV}$						
I_K''/I_L	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$n \geq 35$	TTD (%)
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 < U_n \leq 161\text{kV}$						
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$U_n > 161\text{kV}$						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.5	0.22	4.0

Çizelge 3.2 IEEE'nin Gerilim için Harmonik Distorsiyon Sınırları (IEEE Std, 1993)

Bara gerilimi (U_n)	Tekil harmonik büyüklüğü (%)	(Toplam Harmonik Distorsiyonu) THD_{vn}
$U_n \leq 69\text{kV}$	3.0	5.0
$69 < U_n \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$U_n > 161\text{kV}$	1.0	1.5

Sistemde harmonikler bulunduğunda, bir fazlı sistem için toplam güç faktörü (PF) şu şekilde hesaplanır (IEEE Working Group, 1996; IEEE Working Group, 1996) .

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{V_{rms} \times I_{rms}} \quad (3.12)$$

Burada

$$P_H = \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h, \quad (3.13)$$

θ_h harmonik gerilimi ve akımı arasındaki açısal fark olarak tanımlanır.

THD_v < 5% ve THD_i > 40% olduğunda,

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{S} = DF \times DPF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_1^2}} \times DPF \quad (3.14)$$

Burada Distorsiyon Güç Faktörü (DPF), $DPF = P_1/S_1 = \cos(\theta_1)$ olarak tanımlanan 50/60 Hz güç faktörü ve P ve S ise sırasıyla harmonikleri içeren toplam aktif güç ve görünür güç ve DF distorsiyon faktörü olarak tanımlanır.

IEEE Std 519-1992'de harmoniklerle ilgili tanımlanan diğer indisler, telefon etkileşim faktörü (TEF) ve transformatörler için K faktörüdür. TEF telefon parazitini belirlemek için kullanılırken, K transformatör faktörü, harmoniklerin kayıplar üzerindeki etkisini tanımlamak ve transformatörleri derecelendirmek için kullanılır (Nassif, 2009).

3.1.4 Güç Sistemindeki Harmonik Kaynakları

Yarı iletkenlerin ticari olarak kullanılmasından önce, başlıca harmonik kaynakları, ark fırınları, floresan lambalar ve toplam etkileri az boyutta olmakla birlikte elektrik makineleri ve transformatörlerdi (Nassif, 2009). Güç elektroniği cihazlarının artan kullanımı araştırmacıların harmonik bozulma üzerine yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Günümüzde tipik harmonik kaynakları ayarlanabilir hız sürücüler (ASD'ler), kişisel bilgisayarlar (PC), kompakt floresan lambalar (KFL), elektronik balastlı floresan lambalar, televizyonlar ve AC/DC dönüştürücü kullanan diğer cihazlardır. Genel harmonik kaynakları aşağıda incelenmiştir. (Nassif, 2009).

3.1.4.1 Güç Elektroniği Cihazları

Yüklerde anahtarlamalı güç elektroniği cihazları kullanmanın ana nedeni, temel frekans periyodunun belirli bir kısmında akım çekebilme kabiliyetine sahip olmaktır. Anahtarlama özelliği, yük verimliliği ve denetlenebilirliğinde de artış sağlar. Yük için faydalı olmalarına rağmen, bu etki güç sistemi için zararlıdır. Temel güç elektroniği tabanlı harmonik kaynakları, tek fazlı dönüştürücüler, 3 fazlı dönüştürücüler ve bazı AC iletim sistemleri (FACTS) cihazlarıdır. Doğrultucu kavramı farklı işlevlerdeki geniş cihaz yelpazesini kapsar. Örneğin tek faz dönüştürücüler bilgisayarlarda, televizyonlarda, elektronik balastlı deşarj lambalarında vb. kullanılan AC/DC dönüştürücülerdir.

3.1.4.2 Ark Prensibiyle Çalışan Cihazlar

Elektrik arkının fiziksel doğasından ötürü, gerilim ve akım arasındaki nonlineer ilişki sonucu harmonikler oluşur. Bu kategorideki ana harmonik kaynakları elektrik ark fırınları, manyetik balastlı deşarj prensibiyle çalışan aydınlatma elemanları ve kaynak makineleridir.

3.1.4.3 Elektromanyetik Doyumlu Cihazlar

Elektromanyetik doyumlu cihazlardaki harmonikler, manyetik çekirdekteki elektromanyetik doymadan kaynaklanan nonlinear karakteristiğın ürünleridir. Bu olgu daha çok güç transformatörlerinde görülür.

3.1.5 Harmoniklerin Sistem Bileşenlerine Etkile ri

Güç sistemlerinde her bir bileşenin harmoniklere karşı farklı hassasiyetleri vardır. Bu nedenle sistem harmonikleri her bir sistem bileşenini farklı etkiler. Harmonik bozulmanın etkileri şu şekilde özetlenebilir.

3.1.5.1 Kablo Zorlanmaları

Sistem rezonansının bir parçası olan kablolar, gerilim zorlanması ve koronaya maruz kalır. Bu etkiler kabloda dielektrik hataya neden olur. Harmonik akımlarına maruz kalan kablolarda ısınma görülür.

İletkenden nonsinüsoidal akım akmasıyla kabloda ek ısınma meydana gelir. Ek ısınma deri etkisi olarak bilinen etkiden kaynaklanır. Deri etkisi frekansın, iletken boyunun ve iletkenler arası mesafenin bir fonksiyonudur. Bu etki nedeniyle özellikle uzun iletkenlerde, etkin AC direnç R_{AC} , DC direnç üzerine çıkar. Yüksek dereceli harmonik akımlarının aktığı kabloda, eşdeğer R_{AC} artar ve $I^2 R_{AC}$ kayıplarının artmasına neden olur.

3.1.5.2 Kondansatör Ömründe Azalma

Güç sistemlerinde kondansatörlerin kullanılmasının doğurduğu bir etki, rezonans oluşma ihtimalidir. Rezonans etkisi, sistemin görece daha büyük akım ve gerilim ile yüklenmesine neden olur.

Kondansatör grubu reaktansı frekans ile düşer. Böylece kondansatörler yüksek frekanslı harmonik akımlarına daha düşük kapasitif reaktans gösterirler. Sonuç olarak, harmonikler sebebiyle kondansatörlerde ısınma ve dielektrik zorlanmalar artar. Transformatör ve reaktör gibi nonlinear karakteristikli manyetik bileşenlerin devamlı devreye girip çıkmaları, kondansatörün yüklenmesini arttıran harmonik akımlarına sebep olur. IEEE Std. 18-1992 kondansatör grupları için gerilim, akım ve reaktif güç sınırlarını gösterir. Bu sınırlar maksimum izin verilen harmonik seviyelerinin belirlenmesi için kullanılabilir. Harmoniklerin neden olduğu sıcaklık ve gerilim zorlaması kondansatör ömrünü kısaltır.

3.1.5.3 Elektrik makinelerindeki Kayıplar ve Titreşim Momenti

Dönen makinelerde harmonikler nedeniyle kayıplar artar ve aşırı ısınma meydana gelir

(Roesler vd., 1987). Ayrıca yüksek duyulabilir sese neden olan titreşim momenti açığa çıkar (Nassif, 2009).

3.1.5.4 Transformatörlerin Aşırı Isınması

Transformatörlerde, yük akımının harmonik bileşenlerinin meydana getirdiği ek ısı kayıpları görülür. Sıfır-sequence harmonik akımlarının dolaşımı nedeniyle üçgen bağlı sargılar aşırı yüklenir. (Nassif, 2009; Fuchs vd., 1987).

3.1.5.5 Telefon Etkileşimi

Harmonik etkiler, iletişim sistemi performansını da düşürür. Düşüş, güç sistem harmoniklerinin iletişim sistem frekansı üzerindeki etkisinden kaynaklanır (Nassif, 2009).

3.1.5.6 Elektronik Yüklerin Devre Dışı Kalması

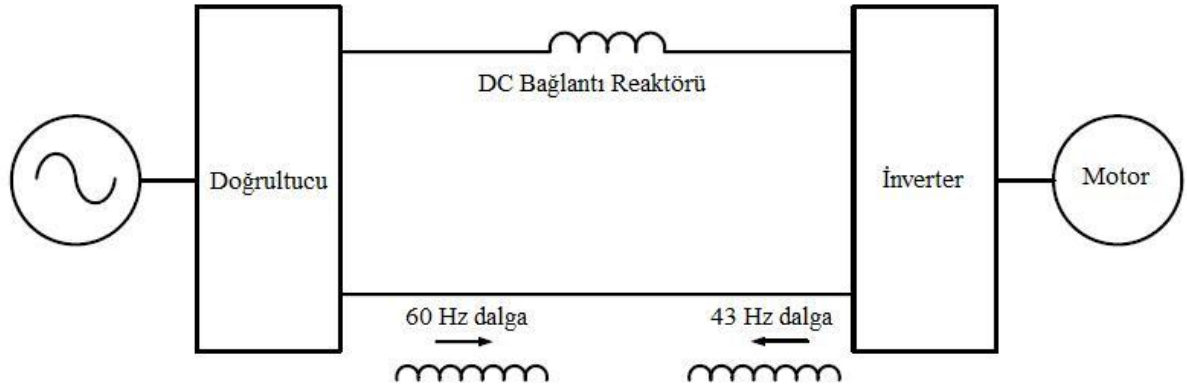
Güç elektroniği elemanları harmonik bozulma nedeniyle yanlış işleyebilir. Bu elemanlar gerilim dalga şeklinin sıfır geçişinin ve diğer özelliklerinin doğru belirlenmesi prensibine göre çalışır. Harmonik bozulma, sıfır geçişin veya fazlar arası gerilim yükselmesinin olduğu noktanın ötelenmesine neden olur. Bu ötelenmeler nedeniyle elemanlar yanlış çalışır (IEEE Std, 1993).

3.1.5.7 Ölçü Aletleri ve Cihazlarının Hatalı Çalışması

Eğer devrede, yüksek harmonik akımlarına ve gerilimlerine neden olan rezonans koşulları mevcutsa, ölçü aletleri bundan etkilenir. Normalde elektromekanik aktif ve reaktif sayaçlar gibi indüksiyon disk sürücülerini temel bileşen frekansında hatasız çalışacak şekilde imal edilirler. Fakat harmonik bozulmanın neden olduğu faz dengesizliği, bu cihazların yanlış işleyişine neden olur. Çalışmalar Baggot (1974), Downing (1974), Faucett (1945) göstermiştir ki harmonik bozulma varlığında mevcut harmonik ve dikkate alınan sayaç tipine göre pozitif ve negatif hatalar mümkündür.

3.1.6 Güç Sistem Ara Harmonikleri

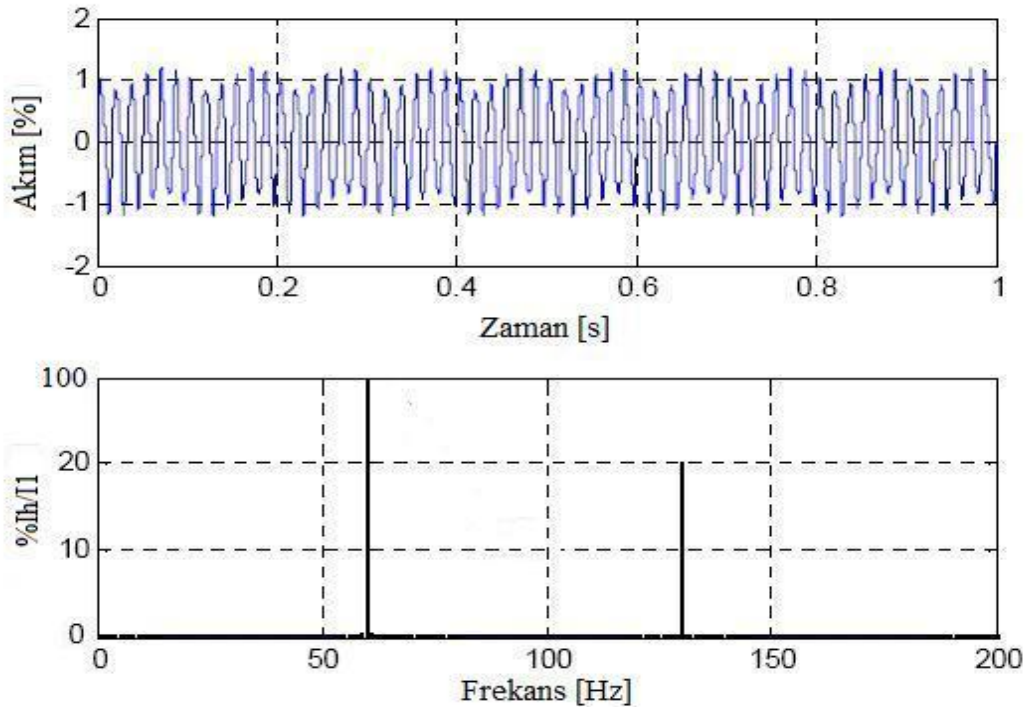
IEC-61000-2-2 güç sistemi ara harmoniklerini, güç frekansı gerilim ve akım harmonikleri arasında oluşan frekanslar olarak tanımlar. Bu frekanslar, ayrı frekanslar olarak görülebilecekleri gibi geniş bant spektrumu olarak da görülebilir (CEI/ IEC 1000-2-1, 1990). Daha güncel bir yaklaşım, ara harmonikleri temel frekansın tam sayı katı olmayan frekanslar olarak tanımlar (IEC-61000-2-2, 2000). Ara harmonik üretici yüke örnek olarak, (ASD) akım kaynaklı inverter verilebilir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi ASD 50/60 Hz giriş işaretini farklı frekanstaki çıkış işaretine çevirebilir.



Şekil 3.3 Ara harmoniklerin ASD'de oluşumu (Nassif, 2009)

Eğer motor 43 Hz'de çalışıyorsa, bu frekans DC bağlantıya inverterin darbe sayısının 43 Hz katı olarak aktarılır. Sonuç olarak, DC bağlantı akımı hem 60 Hz (kaynak geriliminden dolayı) hem de 43 Hz (motor geriliminden dolayı) frekanslı bileşenler içerir. Kaynak kısmı, dönüştürücü ile DC bağlantı akımına bağlı olduğu için, 43 Hz'in neden olduğu dalgalar kaynak tarafına ara harmonikler olarak enjekte olur. Çünkü $43 \times (\text{darbe sayısı})$ 60 Hz'in tam katı değildir. Örnek dalga şekli üzerinde ara harmoniklerin etkisini göstermek için, akım dalga şekli spektrumu ile birlikte Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu durumda görece %20 büyüklüklü 130 Hz ara harmonik, temel frekans akımı üzerine eklenmiştir.

$$i(t) = \cos(2\pi \times 60t) + 0.2 \times \cos(2\pi \times 130t) \quad (3.15)$$



Şekil 3.4 Ara harmonikler içeren örnek dalga şekli ve harmonik spektrumu (Nassif, 2009)

Harmonikler ve ara harmonikler için tanımlar ortak değildir. Fakat her ikisi de aynı kaynaktan oluşurlar ve benzer etkilere sahiptir. Farklı bir deyişle, bazı harmonik kaynakları ara harmonikler üretir ve bazı harmonik etkileri aynı zamanda ara harmonik etkisidir. Başlıca ara harmonik kaynakları statik frekans çeviriciler, cyclo çeviriciler, dalgalı yükler, ark fırınları ve ASD'lerdir (IEEE Task Force, 2007; Li, 2001). Tipik harmonik etkilerine ek olarak ara harmoniklerin burulma salınımları, gerilim ve ışık titremeleri ve kontrol sinyallerine etki etme gibi negatif etkileri de mevcuttur (Hernes vd., 2000; Mak vd.; 1982). Ara harmonikler, bozulmuş dalga şekillerinin ölçülmesini ve modellenmesini zorlaştırır (IEEE Task Force, 2007).

p_1 Darbeli doğrultucu ve p_2 darbeli inverterli ASD'lerin ara harmonik üretim karakteristikleri aşağıda verilmiştir (Cigré, 1997).

$$f_{IH} = |(p_1 m \pm 1)f \pm p_2 n f_z| \quad m=0, 1, 2, \dots \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (3.16)$$

Burada f ve f_z sırasıyla temel frekans ve sürücü işletme frekansıdır. Bu eşitlikten, ara harmonikleri kategorize eden frekansların temel bileşenin tamsayı olmayan katları olduğu sonucuna varılabilir.

4. KOMPAKT FLORESAN LAMBALARIN HARMONİK KAYNAĞI OLARAK İNCELENMESİ

4.1 Kompakt Floresan Lambaların Modellenmesi

Bu kısımda elektriksel karakteristikleri incelenmek üzere kompakt floresan lambalar, balast devre dizaynlarına göre kategorize edilmiştir. Kompakt floresanlardan kaynaklanan harmoniklerin modellenebilmesi için frekans tabanlı kompakt floresan modeli sunulmuştur.

4.1.1 Güç Faktörü ve Harmonik Bozulma

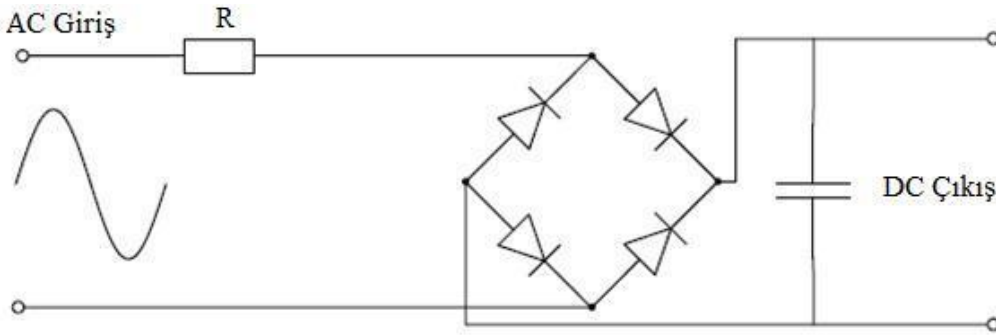
Güç faktörü bir şebekenin kullanımını belirlemek için anahtar ölçüdür. Harmonik bozulmanın olmadığı lineer sistemde güç faktörü, sadece giriş gerilim ve akım dalga şekilleri arasındaki faz farkı ile belirlenir. Fakat bozulmuş akım dalga şekline sahip nonlineer bir cihazın toplam güç faktörü, eşitlik (3.14)'de gösterildiği gibi distorsiyon faktörü (DF) ve distorsiyon güç faktörü (DPF)'nün çarpımına eşittir. Çoğu kompakt floresanın toplam güç faktörü 0,44 ile 0,70 arası, distorsiyon güç faktörü 0,82 ile 0,9 arası ve toplam harmonik distorsiyonu % 95 ile % 200 arasında değerler alır.

Güç faktörünü düzelterek DPF'yi ve harmonik seviyelerini düzenleme veya sadece harmonik seviyelerine odaklanma yollarından hangisinin seçileceği konusunda, bilimsel tartışmalar devam etmektedir. Tartışma birçok iyileştirilmiş güç faktörlü küçük cihazın fark edilebilir şekilde güç sistemine faydasının dokunup dokunmayacağı üzerine odaklanmıştır. DPF ve harmonikler iki farklı büyüklük olmasına rağmen, harmonik bileşenleri bastıran devre (filtre) aynı zamanda DPF'yi bire yakınlştırır. Bu nedenle yüksek güç faktörlü kompakt floresan tanımlanırken aynı zamanda düşük harmonik distorsiyonlu kompakt floresan da tanımlanmış olur (Wei vd., 2008).

Harmonik üretimi, maliyet ve kompakt floresan ömrü arasında belirli bir ilişki vardır. DC gerilimdeki tepe faktörü ile ölçülen dalgalanma (Tepe değerinin Temel bileşenin efektif değerine bölünmesi) tüp ömrünü etkiler. Filtre kondansatörünün kapasitesini arttırmak dalgalanmayı azaltır, fakat AC akım dalga şeklinin tepe değerini ve harmonikleri artırır. Bazı balast dizaynları harmonik içeriğini azaltır, fakat tepe faktörünü artırır. Filtreye ek yapmak veya daha karmaşık dizayn kullanmak harmonik içeriğini azaltabilir, fakat karmaşıklığı artırır ve böylece kompakt floresan maliyeti artar. Kompakt Floresanlar balast devreleri ve güç faktörünü artırma performansları ile 4 farklı kategoriye ayrılır (Wei vd., 2008).

4.1.1.1 Güç Faktörü Düzeltmesi Olmayan Balast (Basit Durum)

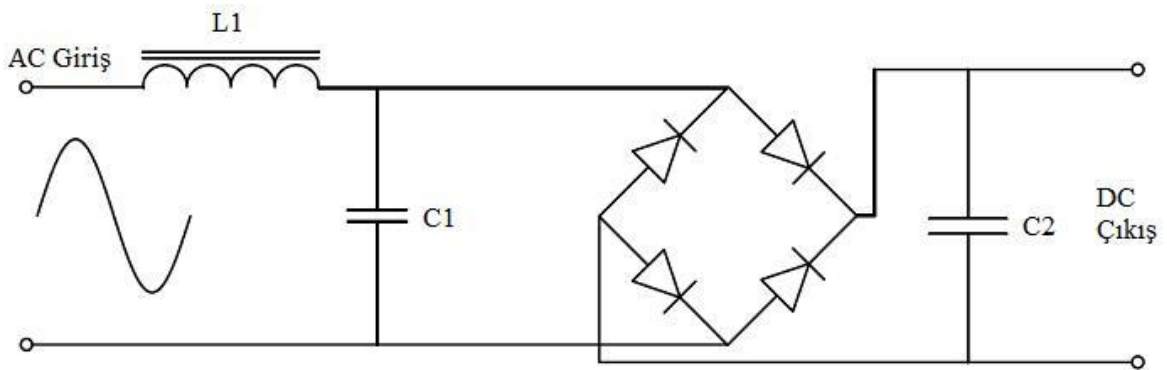
Şekil 4.1 filtresiz kompakt floresanı göstermektedir. Bu devrede güç faktöründe düzelme olmaz. Bazen AC yol üzerindeki direnç bile ihmal edilir. Kondansatör şarjını sınırlamak için kaynak empedansına güvenilir. Bu devre çok büyük harmonik akım seviyeleri barındırır. Bu seviyeler DC kondansatör ve R'nin değerine bağlıdır. Devrenin maliyeti oldukça düşüktür (Wei vd., 2008).



Şekil 4.1 Filtresiz basit kompakt floresan balast devresi (Wei vd., 2008)

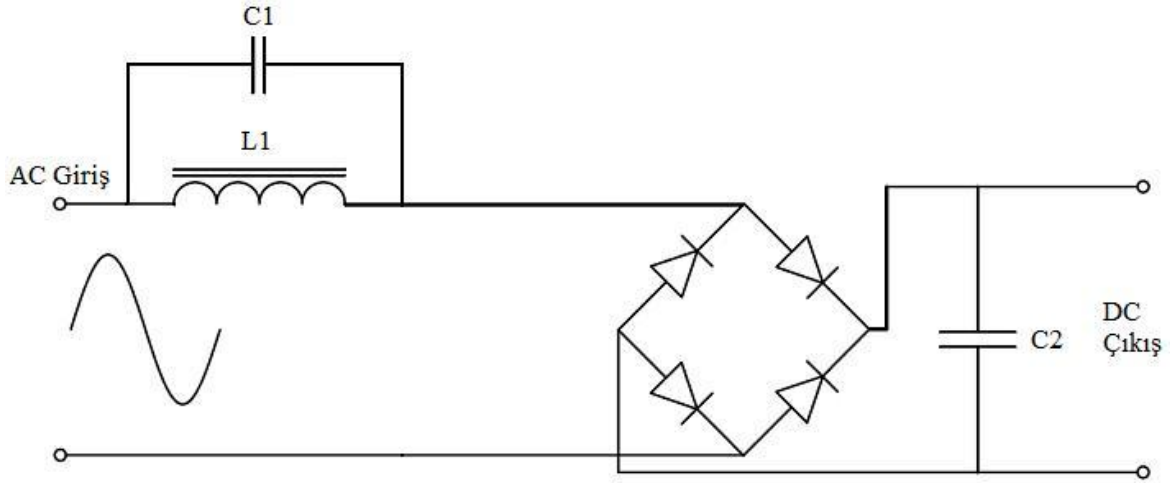
4.1.1.2 Pasif Güç Faktörü Düzeltme

Balastın güç faktörünü arttırmanın ve giriş akım dalga şeklinin harmonik içeriğini azaltmanın bir yolu pasif filtre kullanmaktır. Burada 3 Pasif filtre düzeneği tanımlanmıştır. Şekil 4.2'de seri LC elemanları ($L_1 C_1$), köprü tipi doğrultucunun önünde kullanılmaktadır. $L_1 C_1$ 'in değeri hat frekansının 2,5 ile 3 katı arasında olacak şekilde ayarlanır. C2 filtre kondansatörüdür ve kondansatörün değerine bağlı olarak neredeyse dalgasız çıktı üretir. Endüktanslı diyot köprüsü önüne yerleştirmek güç kaynağını transientlere ve şebekeden gelecek gerilim yükselmelerine karşı korur (Wei vd., 2008).



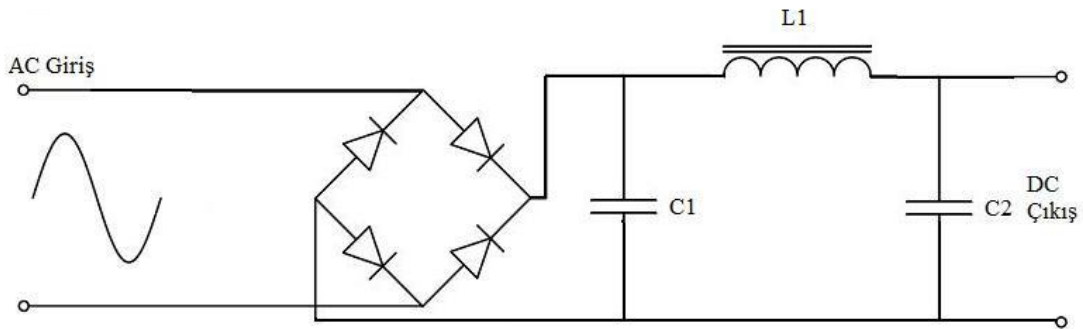
Şekil 4.2 Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 1) (Wei vd., 2008)

Şekil 4.3 Şekil 4.2'dekine benzer paralel ayarlanmış rezonans devresini göstermektedir. L_1C_1 üçüncü harmoniğe ayarlanmışlardır. Devrenin avantajı maliyet, boyut ve 3. harmoniğin azalmasıdır. Başlıca dezavantajı ise C_1 kondansatörü sebebiyle yüksek harmoniklerin neredeyse hiç azalmaması ve L_1 'in insan tarafından duyulabilir gürültü oluşturmasıdır. (Wei vd., 2008)

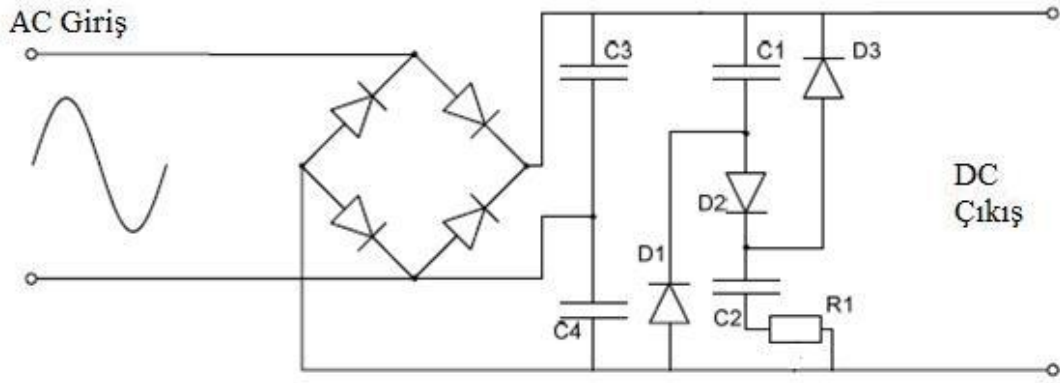


Şekil 4.3 Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 2) (Wei vd., 2008)

Şekil 4.4 Şekil 4.3'dekine benzer bir devre olup L_1C_1 köprüden sonra yerleştirilmiştir. Devrede daha küçük değerli ve dolayısıyla daha ucuz manyetik doymalı endüktans kullanılır. Bu devre güç faktörünü düzeltmede etkilidir. Fakat devrenin, harmonik bozulumunu düzeltme etkisi sınırlıdır (Wei vd., 2008).



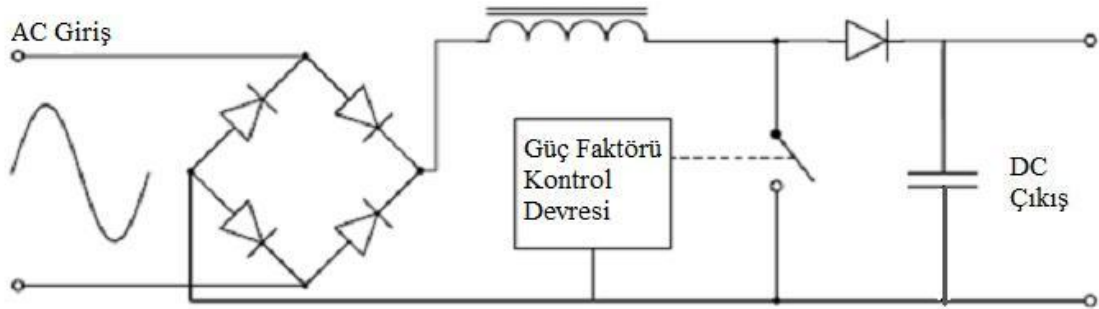
Şekil 4.4 Pasif güç faktörü düzeltmesi (Örnek 3) (Wei vd., 2008)



Şekil 4.6 Gelişmiş vadi doldurma filtreleme devresi (Wei vd., 2008)

4.1.1.4 Aktif güç faktörü kontrolü

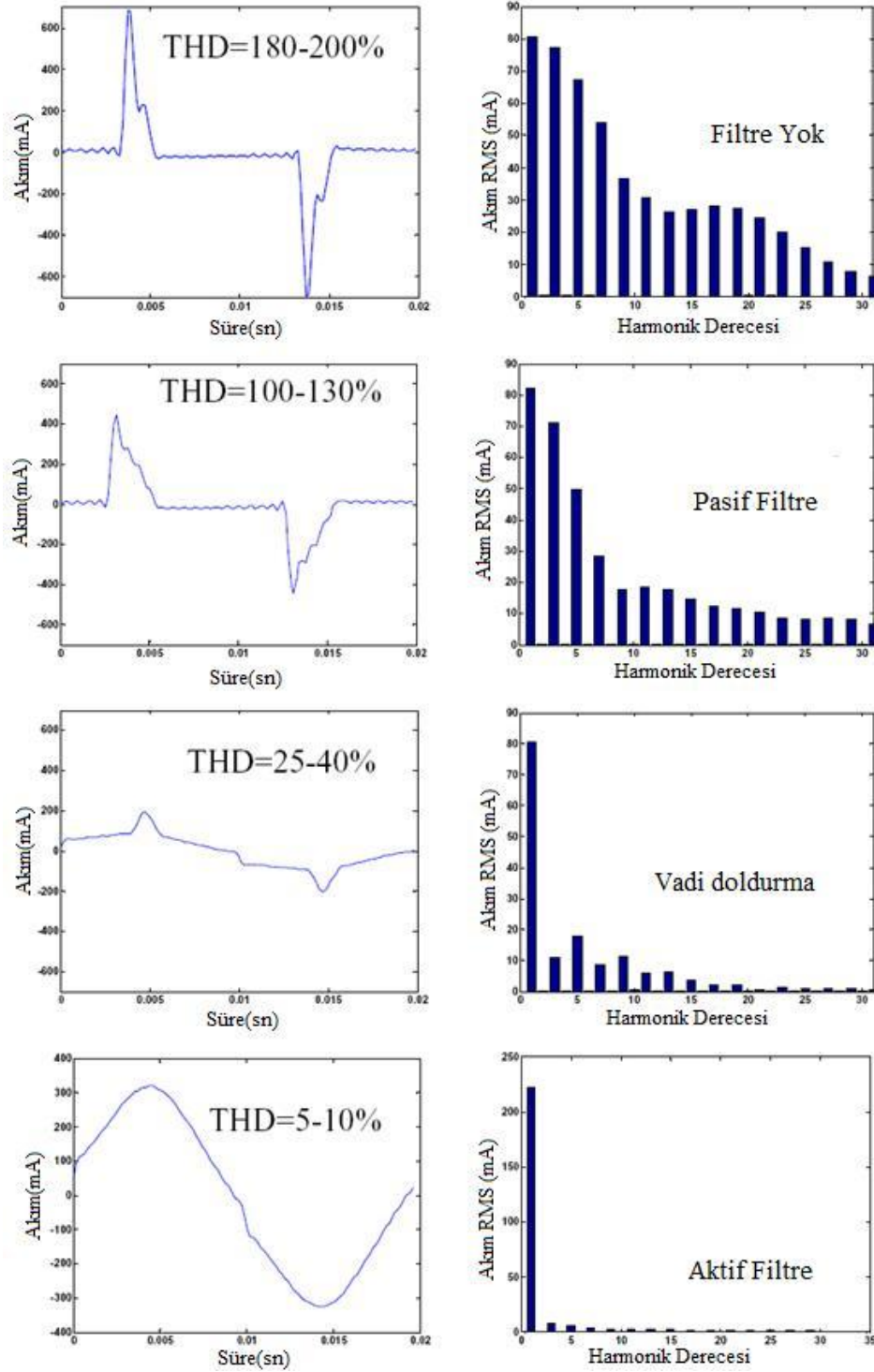
Aktif filtreleme yüksek güç faktörlü elektronik balast elde etmek için daha gelişmiş ve maliyetli bir yöntemdir. Yüksek frekans kontrollü anahtar, güç faktörünün düzeltilmesi için kullanılır. Şekil 4.7’de güç faktörünü 1’e yakınlıştırmak için sabit frekans ve işletme periyodu ile süreksiz iletim modunda işletilebilen aktif yükseltici (step up dönüştürücü) gösterilmiştir. Bu tip aktif güç kontrollü balastlardaki anahtarlama elemanını kontrol etmek için IC chip setleri üretilmiştir (Wei vd., 2008).



Şekil 4.7 Aktif filtre devresi (Wei vd., 2008)

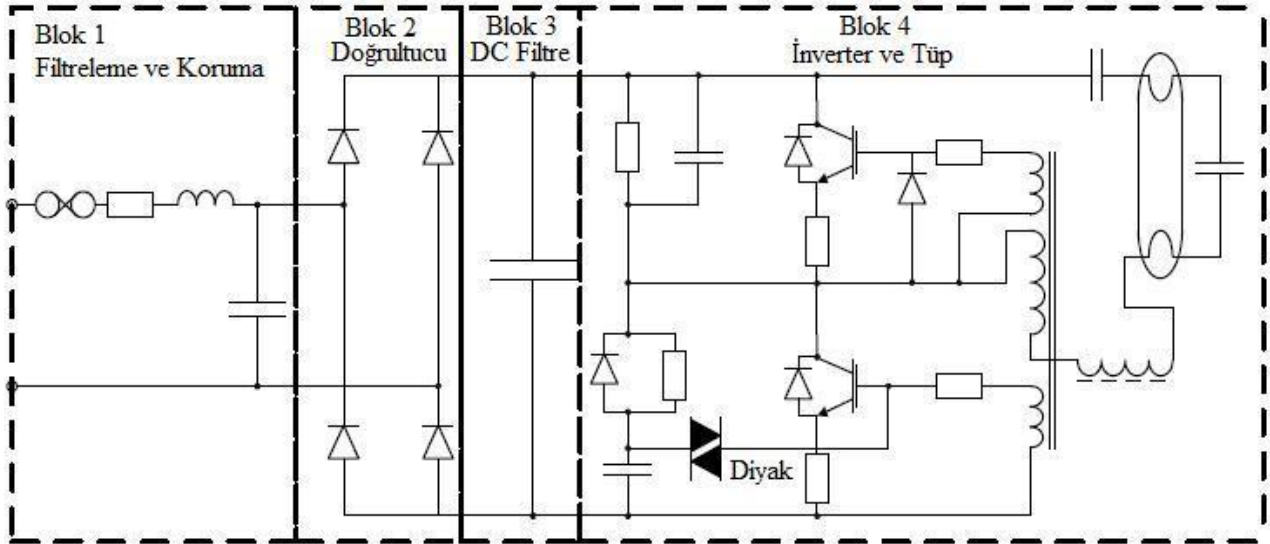
4.1.1.5 Kompakt Floresanların Akım Dalga Biçimleri

Önceki bölümde verilen dört tip balast devresi için araştırmalarda dört farklı harmonik spektrumu elde edilmiştir (Wei vd., 2008). Şekil 4.8'deki Spektrumlar incelendiğinde Kompakt Floresanların hemen hemen hiç harmonik üretmeyecek duruma getirilebileceği görülmektedir. Fakat bu devrelerin maliyeti de bir o kadar yüksektir.

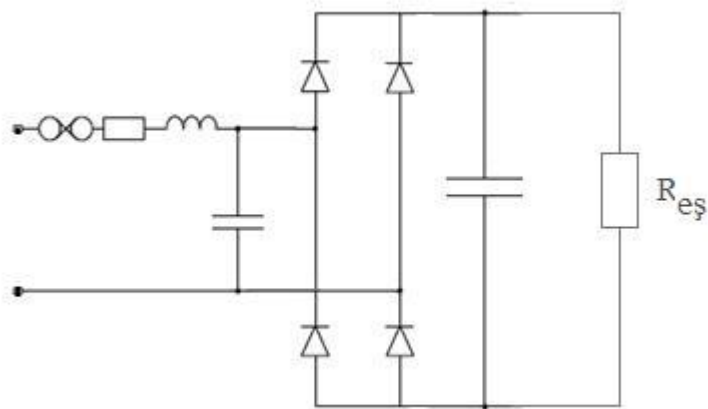


Şekil 4.8 Farklı balast devreleri için akım dalga şekilleri ve harmonik spektrumları (Wei vd., 2008)

Şekil 4.9 tipik bir kompakt floresan balastının blok diyagramını göstermektedir. İlk blok koruma, filtreleme ve akım tepe değeri sınırlama işlevini gören bileşenleri içerir. Blok 2 AC akımı DC akıma çeviren köprü tipi doğrultucudur. Blok 3, $2,8\mu\text{F}$ ve $10\mu\text{F}$ arasında değer alan filtre kondansatörüdür. Doğrultucu devresi Blok 4'deki rezonans inverter için DC giriş gerilimi sağlar. Diyak, rezonans inverteri başlatmak içindir. Rezonans inverter normal olarak 10-40 kHz'de çalışır. Bu nedenle sabit bir yük olarak modellenenebilir. Modelleme çalışmasında, AC giriş akımındaki harmonik akımlarının analizi için, Şekil 4.10'daki gibi ilk üç blok detaylı olarak gösterilmeli; rezonans inverteri ve tüp ise direnç olarak modellenmelidir. Buna uygun modelleme Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Bu tez çalışmasının 6. bölümünde gerçekleştirilen MATLAB/SIMULINK simülasyon çalışmalarında Şekil 4.10'daki model esas alınmıştır.



Şekil 4.9 Tipik kompakt floresan balast devresi (Wei vd., 2008)



Şekil 4.10 Kompakt floresan eşdeğer devresi

4.2 Kompakt Floresan Lambalarda Harmonik Azalma Etkisinin İncelenmesi

Sabit harmonik kaynakları tarafından üretilen harmonik akımları normalde ideal sinüsoidal kaynak geriliminin var olduğu varsayılarak hesaplanır. Bu yaklaşımda, akım harmonik spektrumu üzerinde kaynak geriliminin etkisi ihmal edilir. Kaynak gerilimi distorsiyonunun, güç elektroniği elemanları bulunduran cihazların harmonik akım spektrumları üzerindeki etkileri incelenerek azalma etkisi kavranabilir. Bu kısımda kondansatör filtreli köprü diyot doğrultucu içeren kompakt floresanlardaki azalma etkisi incelenecektir.

4.2.1 Giriş

Güç elektroniği elemanları içeren cihazları baz alan çoğu harmonik çalışmada, harmonik kaynakları, bozulmamış gerilim dalgasıyla beslenmeleri sonucu elde edilen tipik akım spektrumları ile modellenir (IEEE Task Force, 1996). Bu modelde, harmonik akım enjeksiyonunun sabit olduğu ve kaynak gerilimi bozulmasından etkilenmediği kabul edilir. Halbuki harmonik kaynaklarını besleyen bara gerilimi, güç sistemi boyunca yayılmış birçok harmonik kaynağı tarafından bozulur. Sonuç olarak harmonik kaynağı, bozulmamış gerilim kaynağından beslendiği duruma göre farklı harmonik akımları üretir. Gerilim kaynağındaki harmonikleri ihmal ederek sadece temel frekanslı sinüsoidal gerilim kaynağının bulunduğunu varsayarak harmoniklerin sabit akım kaynağı ile modellendiği yaklaşım, bu etkileri içermeyen ve harmonik akım distorsiyonunun yanlış hesaplanmasına neden olur.

Harmonik azalma etkisi kaynak gerilim harmoniklerinin, nonlinear yük tarafından üretilen harmonik akımları üzerindeki etkisi olarak tanımlanır. Chowdhury vd.,’de azalma ve çeşitlilik etkileri üzerinde çalışma yapılabilmesi için tek fazlı köprü diyot doğrultucunun analitik modeli çıkartılmıştır. Bu çalışmada aynı sistem empedansını paylaşan özdeş nonlinear yüklerin harmonik akımlarında 3. bileşen ve daha üstü bileşenlerde bir azalma olduğu görülmüştür. Bu referans harmonik akımlarındaki azalmanın sistem kaynak gerilimine bağlı olduğunu belirten ilk dokümandır. Staats vd., Chowdhury vd.,’ın modelini geliştirmiş ve tek fazlı güç elektroniği elemanlarından oluşan çok sayıda dağılmış cihazlar tarafından üretilen harmonik akımları üzerinde azalma ve çeşitliliğin etkisini daha gerçekçi bir sistem kullanarak test etmiştir.

Çoğu cihazın azalma etkisi değişik çalışmalarda belirtilmiştir. Bazı çalışmalarda, azalma etkisi EMTP simülasyonu ve deneysel testler yapılarak kanıtlanmıştır. Referans El-Saadany vd.,’de EMTP simülasyonu gerçekleştirilmiş ve kaynak gerilim bozulmasını arttırmanın, kompakt floresanların, tek faz köprü diyot doğrultucuların ve tek faz tristör köprü

doğrultucuların harmonik akım enjeksiyonlarını düşürdüğü kanıtlanmıştır. Referans Ahmed (2003) azalma etkisi sonucu meydana gelen tekrarlanan (iteratif) harmonik güç akışını çözmek için ampirik bir teknik sunmuştur. Prudenzi (2001)'de deneyler ile bilgisayarlardaki azalma etkisinin önemi vurgulanmıştır. Tesla ve Langella (2007) Televizyon setlerinin bozulmuş gerilim ile beslendiklerinde daha az harmonikli akım enjekte ettiklerini göstermiştir. Chenb ve Fu (1997) 'de araştırmacılar, manyetik balastlı ve elektronik balastlı tüp floresan lambalarda THD_V 'deki değişimin THD_I , güç faktörü ve verimlilik üzerinde etkisinin olduğunu kanıtlamışlardır. Kompakt floresanlardaki azalma etkisine Xu ve Nassif (2009) ve Nassif ve Acharya (2008)'de değinilmiştir. Bu çalışmalarda araştırmacılar, çeşitli tip kompakt floresan lambanın harmonik azalma etkisini karakterize etmek için deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Bu bölümün amacı, kompakt floresanlardaki harmonik azalmasıyla ilgili kapsamlı bir çalışma sunmaktır.

4.2.2 Tek Fazlı Kondansatör Filtreli Köprü Diyotlu Doğrultucu

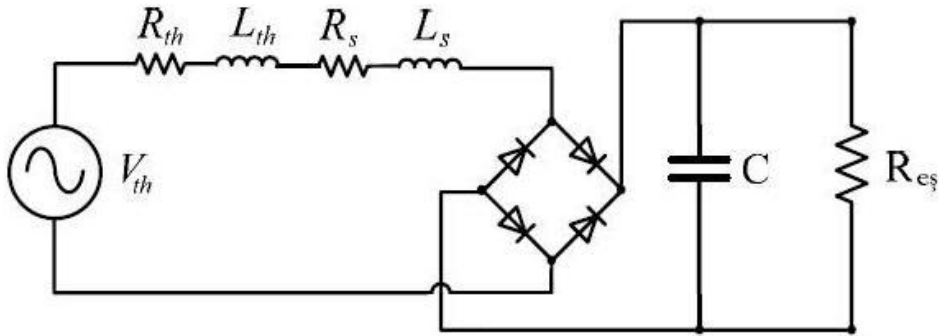
Konut ve ticari bölgeleri besleyen dağıtım sistemlerinde tek fazlı güç elektroniği yükleri en yaygın harmonik kaynaklarıdır. Kişisel bilgisayar ve televizyonlarda bulunan anahtarlamalı güç kaynakları ve kompakt floresan lambalar bu yüklere örnek teşkil eder. (Chowdhury vd., 1995; Ahmed, 2003; Nassif ve Acharya, 2008). Bu kaynaklarda Şekil 4.11'de görüldüğü gibi kondansatör filtreli köprü diyot doğrultucu kullanılır. Doğrultucu devresi diyot köprüsü, DC bağlantı kondansatörü ve eşdeğer dirençten oluşur.

V_{th} : Güç sisteminin thevenin eşdeğer gerilimi

R_{th}, L_{th} : Thevenin eşdeğer sistem empedans parametreleri

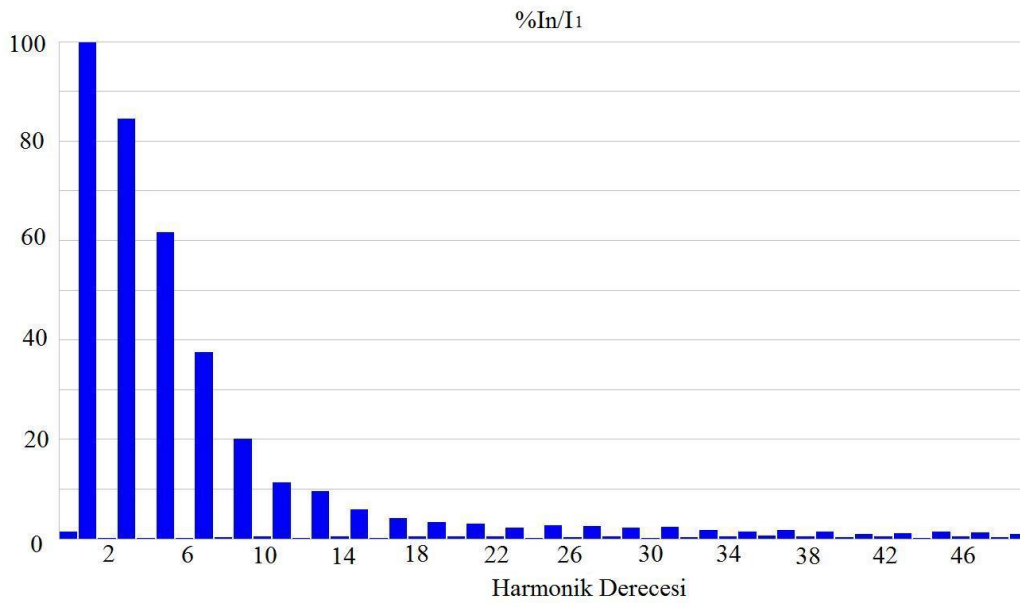
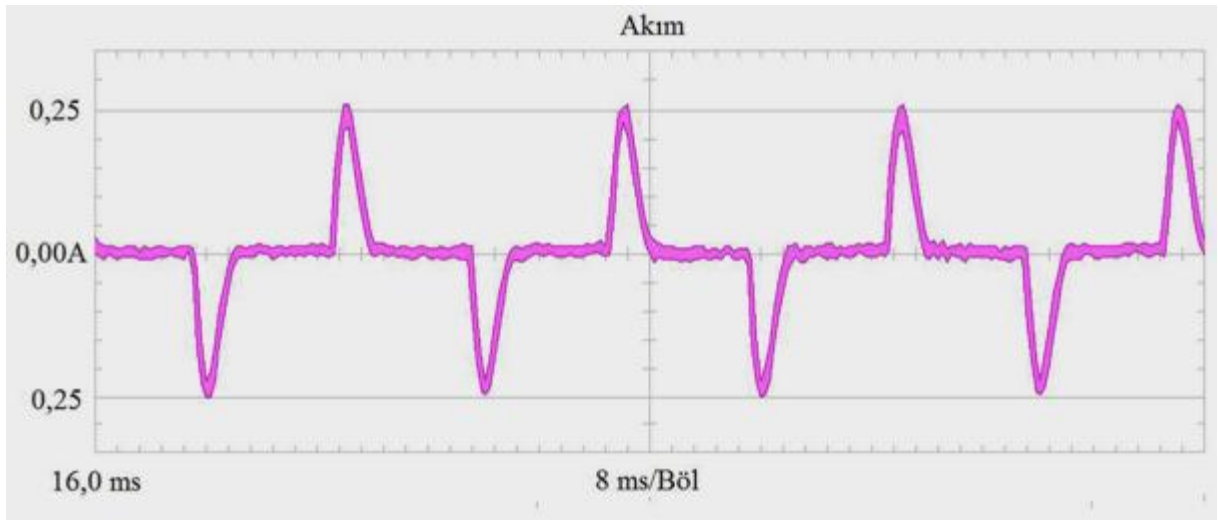
C : DC filtre kondansatörü

$R_{eş}$: inverter, kontrol devresini ve eşdeğer yükü temsil eden eşdeğer direnç

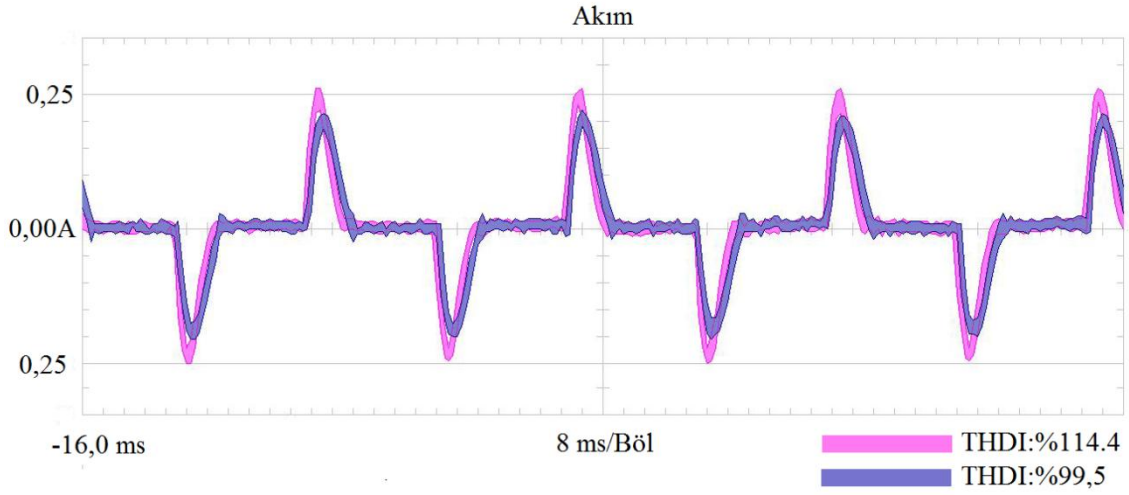


Şekil 4.11 Kondansatör filtreli köprü diyot doğrultucu devresi (Nassif, 2009)

Şekil 4.12 tipik kompakt floresan akım dalga şeklini ve karşılık gelen temel bileşene göre harmonik spektrumunu göstermektedir. Şekil 4.12 ve 4.13'deki akım dalga şekli ve harmonik spektrumu laboratuvar ortamında Fluke43B güç kalitesi ve enerji analizörü ile elde edilmiştir. Akım darbeleri, AC kaynak gerilimi doğrultucu geriliminden büyük olduğu zaman (kondansatörün şarj olduğu sürede) oluşur. Bu durumda diyotlar iletme geçer akım akar ve kondansatör şarj olmaya başlar (Ahmed, 2003). Çekilen akım küçük darbeler şeklinde olduğu için çok bozuktur ve akım spektrumu tek harmonikler bakımından zengindir. Bu durumda THD_1 %100'ün üzerindedir. Akım darbesinin genişliği doğrultucu devre parametrelerine bağlıdır. Akım dalgası genişledikçe Şekil 4.13'de görüldüğü gibi THD_1 azalır.



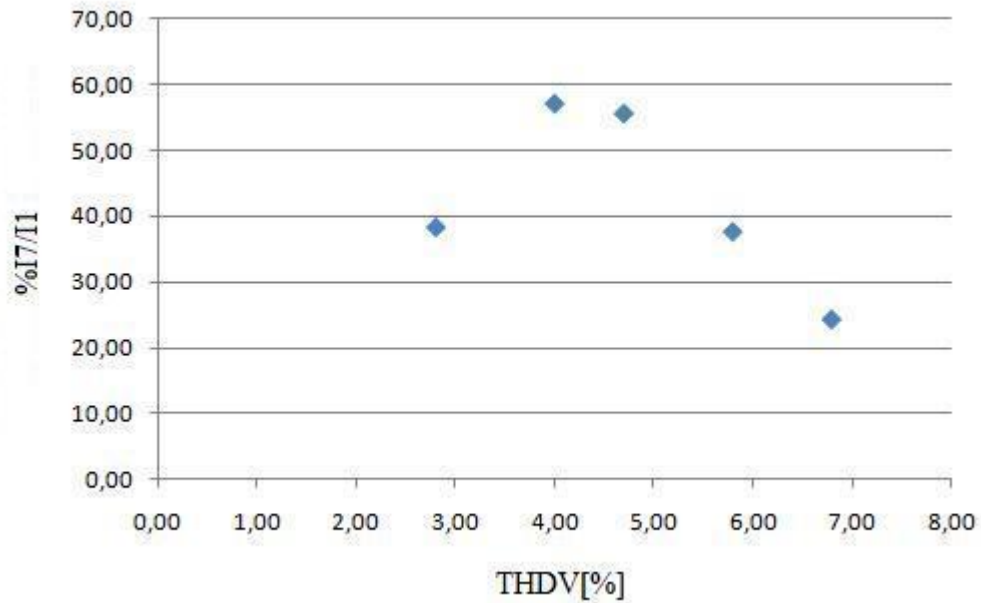
Şekil 4.12 Tipik Kompakt floresan akım dalga şekli ve harmonik spektrumu



Şekil 4.13 Farklı THD_I değerleri için kompakt floresan lamba akım dalga şekillerinin karşılaştırılması

4.2.3 Kompakt Floresanların Harmonik Azalma Etkilerinin Tanımlanması

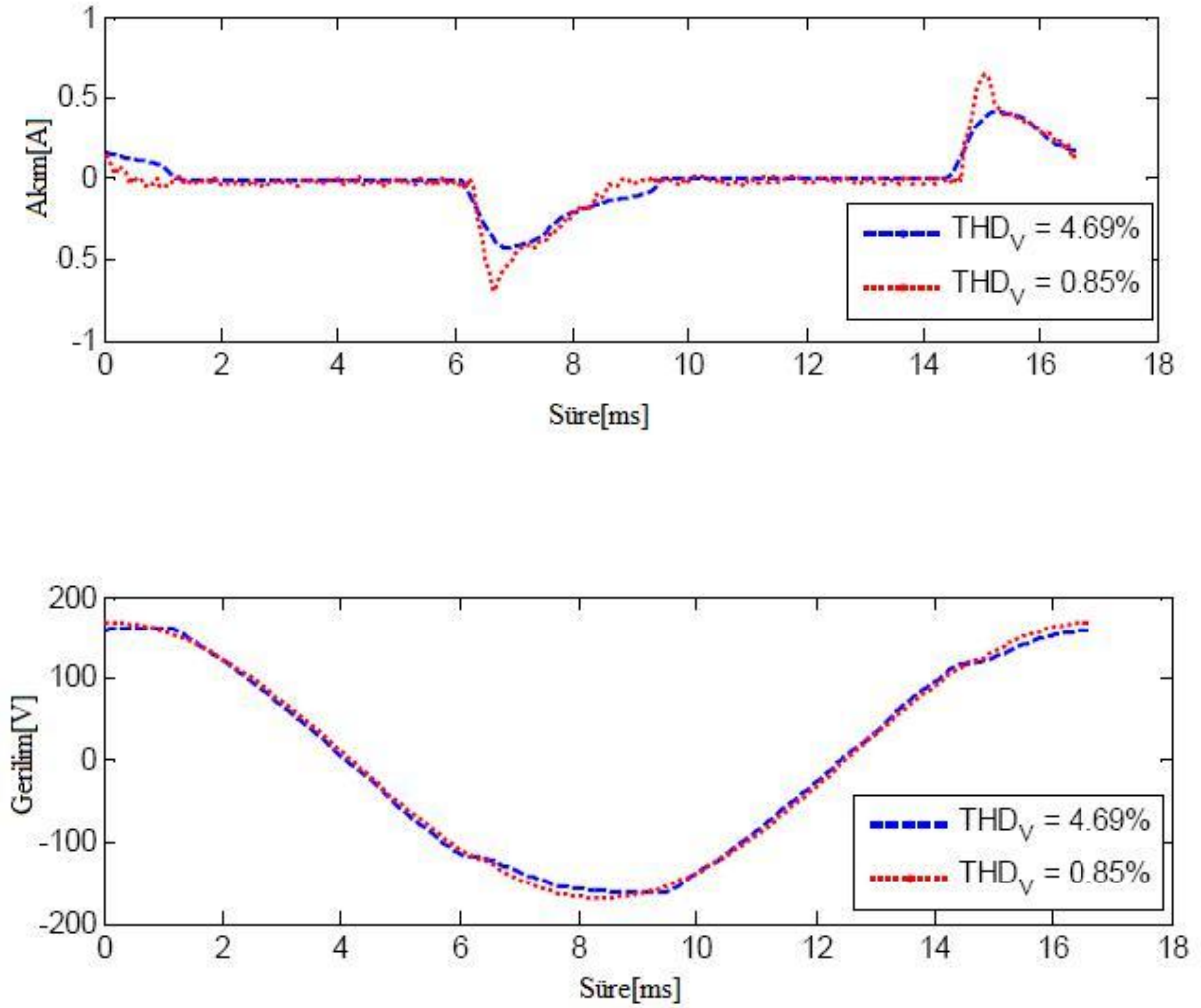
Azalma etkisi Şekil 4.14 yardımı ile tanımlanabilir. Şekil 4.14’de değişik gerilim bozulmalarına ilişkin THD_V değerlerine göre 11W gücündeki kompakt floresan lamba akımının 7. harmonik bileşeninin temel bileşene göre yüzde değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kaynak gerilimindeki bozulma arttıkça 7. harmonik akımında bir azalma meydana gelmektedir. Bu konuda daha detaylı bilgiler deneysel çalışmanın açıklandığı 5. bölümde verilmiştir.



Şekil 4.14 Farklı THD_V değerleri için 7. harmonik akımındaki değişim

4.2.4 Harmonik Azalma Etkisinin Nedenleri

Güç elektroniği tabanlı uygulamalarda, harmonik azalma etkisi gerilimdeki bozulmanın bir sonucudur (Chowdhury vd., 1995; El-Saadany ve Salama, 1998). Şekil 4.11'deki devre bu etkiyi açıklamak için kullanılabilir. Kontrollü ve kontrolsüz tek faz doğrultucular, DC kondansatörü şarj etmek için darbe akımı çekerler. Bu darbe akımı, AC gerilim kondansatör geriliminden yüksekken çekilir. Darbe akımı çekildikçe kaynak empedansında bir gerilim düşümü meydana gelir. Sonuç olarak gerilimin tepe değeri azalır. Bu azalma ortak bağlantı noktasında gerilim bozulmasına neden olur. Bu nedenle çok sayıda doğrultucunun bulunduğu güç dağıtım sistemlerinde, sistem gerilimi dalga şekillerinde düz tepeler oluşur. Kaynak gerilimi nonlineer elemanların artmasıyla düz tepeli hale geldikçe, akım darbeleri gittikçe genişler. Sonuç olarak, çoğu harmonik bileşeni genlik olarak küçülür (Nassif, 2009). Şekil 4.15 kompakt floresan lamba tarafından çekilen akımdaki bu etkiyi göstermektedir.



Şekil 4.15 Azalma etkisinin gerilim ve akım dalga şekilleri üzerinde gösterilimi (Nassif, 2009)

4.2.5 Azalma Faktörü (AF)'nün Tanımlanması

Kaynak gerilim harmonikleri ile yük akım harmonikleri arasındaki etkileşim ‘’azalma etkisi’’ olarak tanımlanır. Literatürde azalma etkisi şu şekilde tanımlanmıştır (Chowdhury vd., 1995).

$$AF_h = \frac{I_{h-N}}{N \times I_{h-1}} \quad (4.1)$$

Burada

AF_h : h'inci harmonikteki azalma etkisi

I_{h-N} : N adet paralel cihaz için h'inci harmonik akımı genliği

I_{h-1} : N=1 iken h'inci harmonik akımı genliği

Nassif (2009)'da azalma faktörü (AF) yukarıdaki tanım baz alınarak yeniden tanımlanmıştır ve bu tanım Chowdhury vd., 'de belirtilen azalma faktörünün değiştirilmiş halidir:

$$AF_h = \frac{I_{h-\text{bozulmuş}}}{I_{h-\text{baz}}} \quad (4.2)$$

Burada

AF_h : Belirli bozulmuş kaynak gerilim dalga şeklinde h'inci harmonik için akım azalma faktörü

$I_{h-\text{bozulmuş}}$: Belirli bozulmuş kaynak gerilim dalga şeklinde h'inci harmonik akımının büyüklüğü

$I_{h-\text{baz}}$: Çok az ya da hiç bozulmamış kaynak gerilim dalga şeklinde h'inci harmonik akımının büyüklüğü

AF_h 'ın sayısal anlamı şu şekilde açıklanabilir: Eğer AF_h 'ın değeri 0.6 olarak bulundu ise, bu kompakt floresanın az bozulmuş ya da hiç bozulmamış sinüsoidal kaynaktan beslenme durumuna göre %40 daha az h'inci harmonik akımı ürettiğini gösterir.

(4.1) ve (4.2)'deki indisler karşılaştırıldığında;

- (4.1)'de N tane yük paralel olarak çalıştırılır. Paydada kullanılan I_{h-1} tek bir yükün akımıdır.
- (4.2)'yi uygulamak daha kolaydır. Çünkü yüklerin eşdeğer olmasına gerek yoktur. Böylece daha esnek bir düzenek hazırlanabilir.
- (4.2) indisi kullanılarak sistem arka plan harmoniklerinin yük harmonik akımları üzerindeki etkisi daha kolay anlaşılabilir. Tez kapsamında (4.2) eşitliği baz alınmıştır.

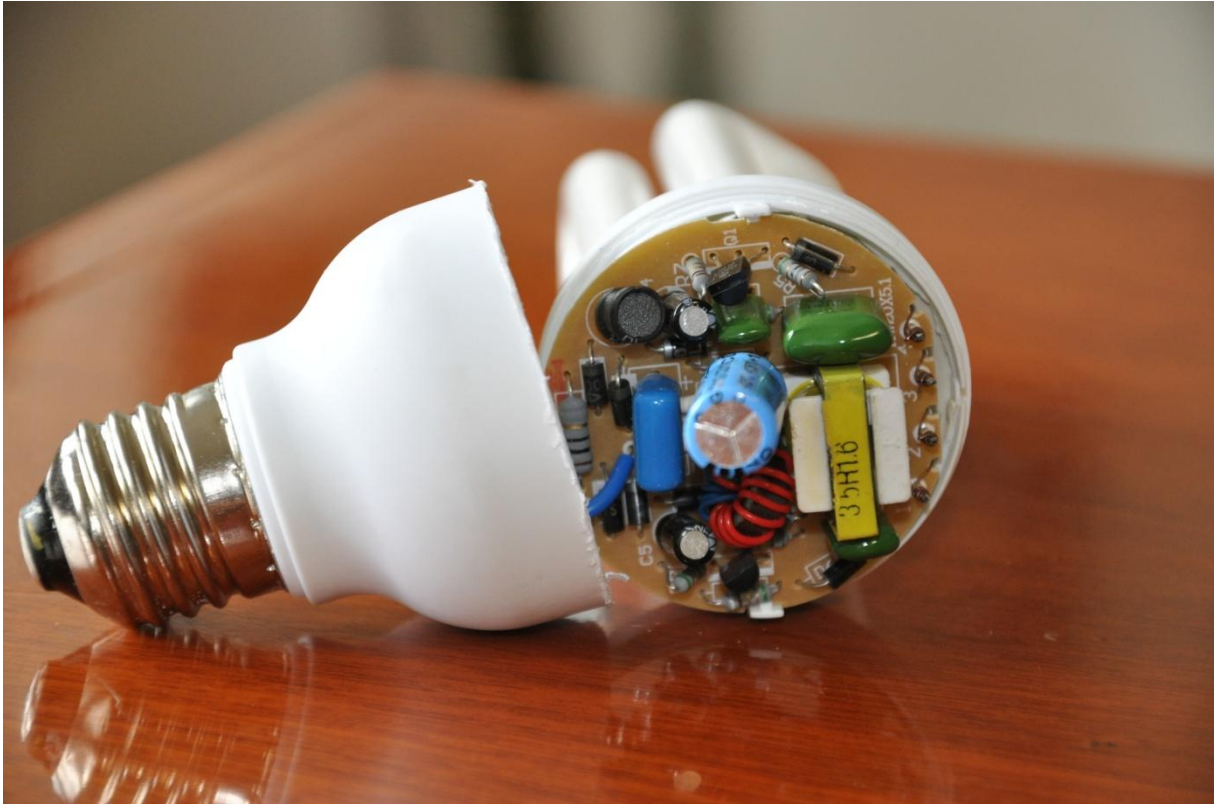
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kompakt Floresan Lambanın MATLAB/SIMULINK Modeli ve Modelin Doğrulanması

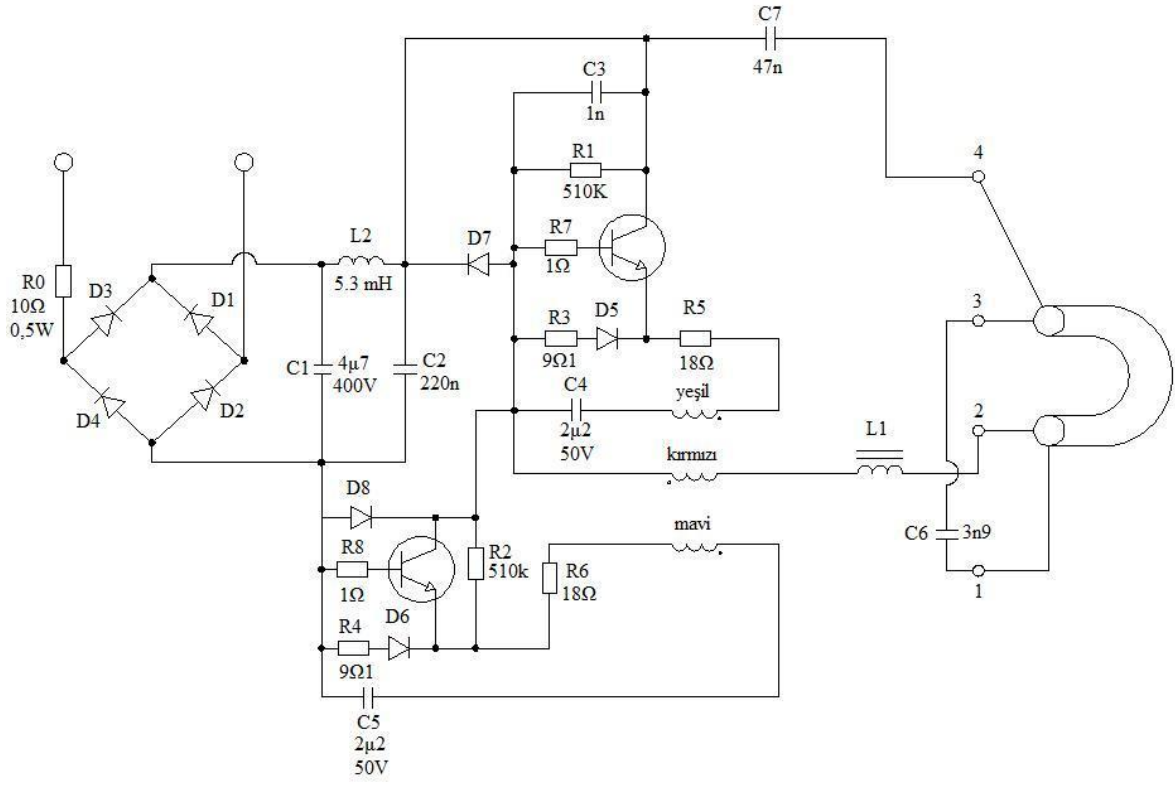
220V şebeke gerilimi ile çalışan tipik bir kompakt floresan lamba devresi, Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu devre, PHILIPS markasının 20W Economy modeline ait olup 230-240 V gerilim aralığı ve 50- 60 Hz işletme frekansı için tasarlanmıştır. Bu koşullar altında lambanın çektiği nominal akım 130 mA olup buna karşılık yaklaşık 100W’lık akkor filamanlı lambanın ürettiği ışık akısına karşılık gelen 1100 lümenlik bir ışık akısı sağlamaktadır. Ortalama lamba ömrü 6000 saattir. Lamba E27 duyu yapısına sahiptir. Tüm bu özellikleriyle akkor filamanlı lambalara ekonomik bir alternatif oluşturmaktadır. Lambanın iç yapısı Şekil 5.1’de ve lambaya ait etiket değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Modellenen kompakt floresan etiket değerleri

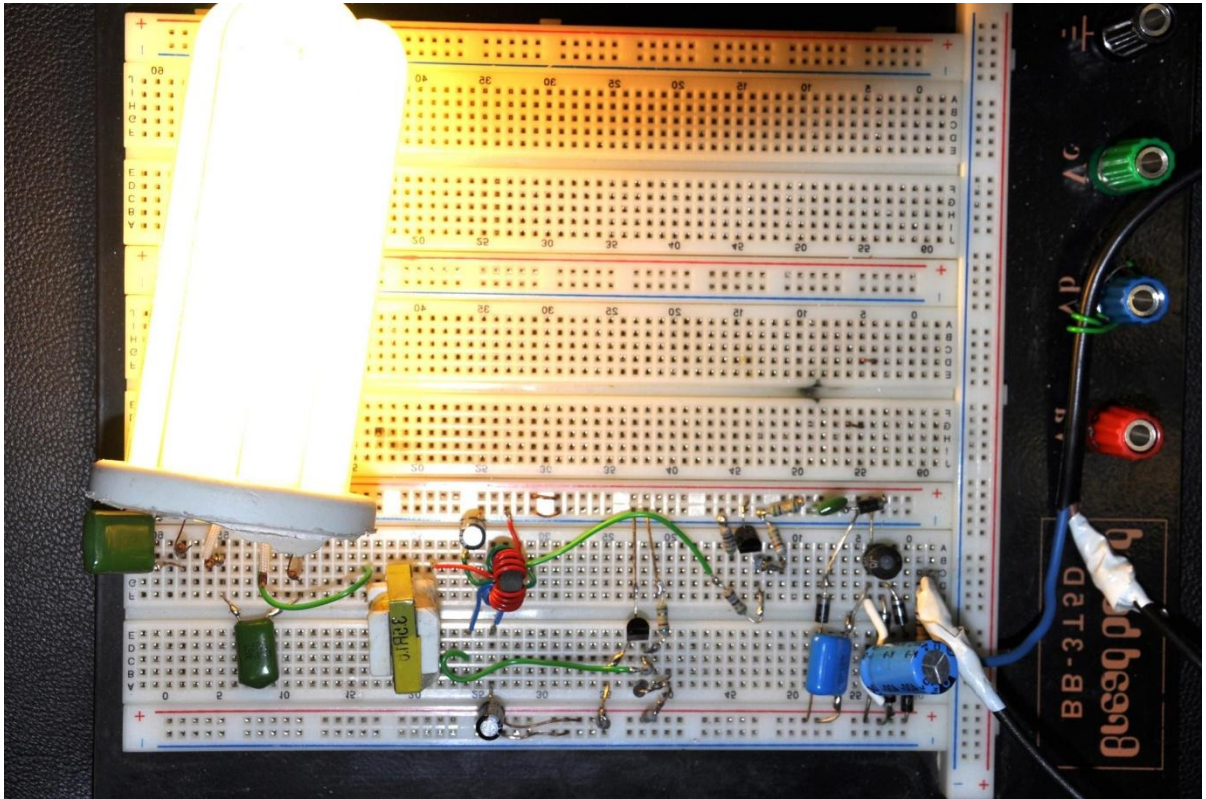
MARKA MODEL	LAMBA	ÇALIŞMA GERİLİMİ/	Nominal Akımı(mA)	GÜÇ(W)	IŞIK AKISI(lm)	IŞIK RENGİ	ÖMRÜ(saat)
PHILIPS ECONOMY	3 TÜPLÜ,E27	230-240V 50-60 Hz	130	20	1100	Sıcak Beyaz	6000



Şekil 5.1 Eş değer devresi çıkarılan lamba örneği



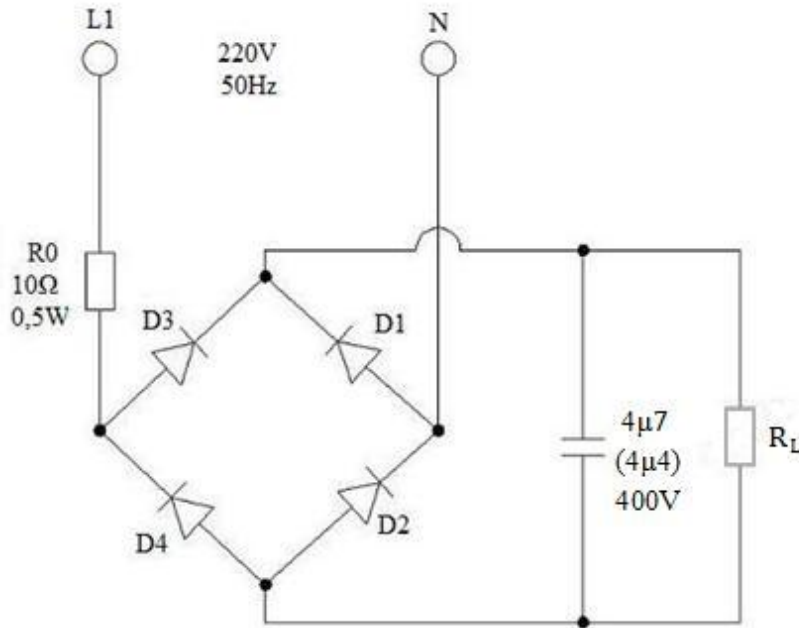
Şekil 5.2 Kompakt floresan modellemesi için kullanılan lamba devre şeması



Şekil 5.3 Modellemede kullanılacak kompakt floresan lamba devresinin fotoğrafı

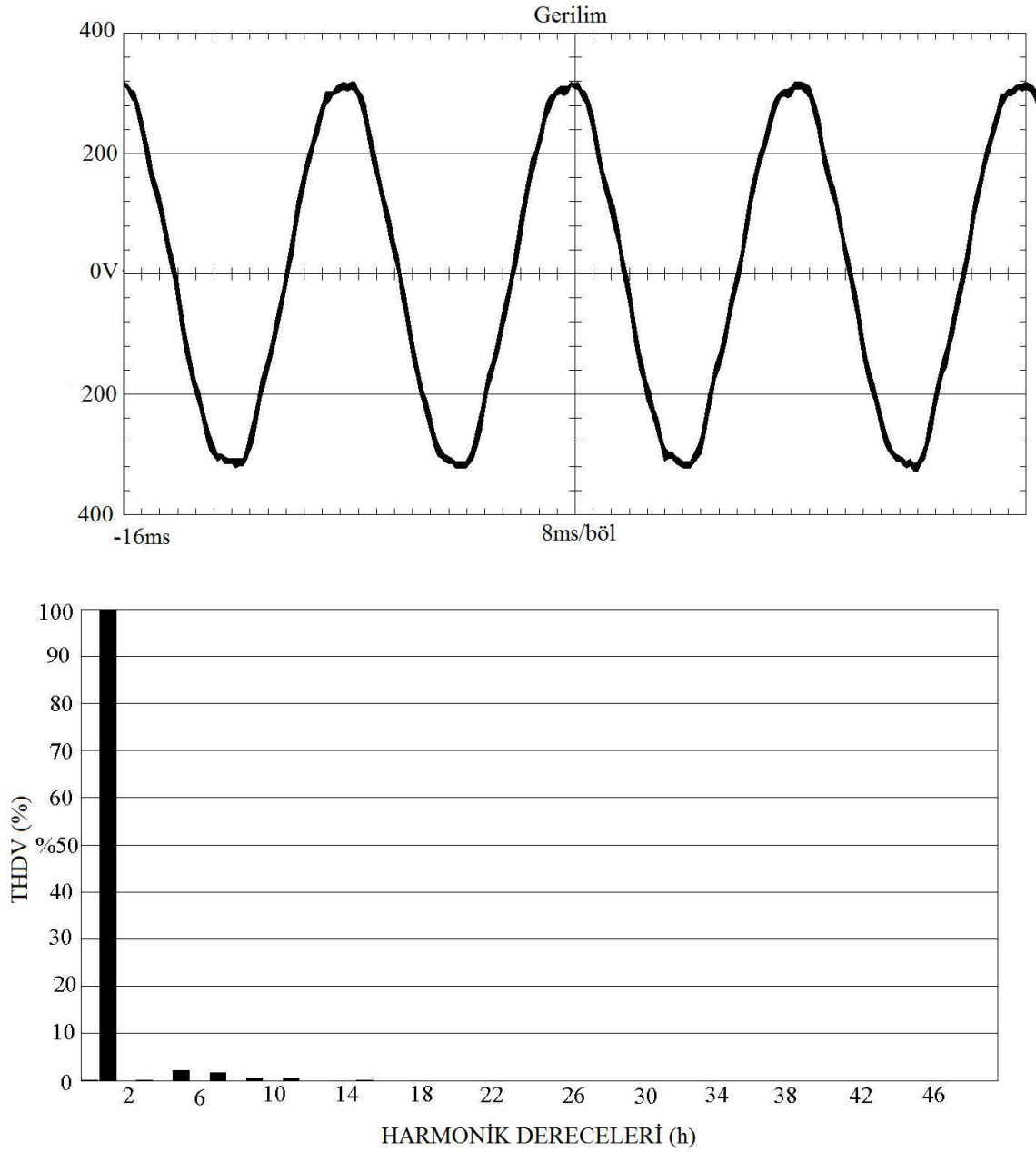
Lambanın doğru şekilde modellenebilmesi ve elektronik devre bileşenlerinin lamba performansı üzerindeki etkisinin test edilebilmesi için, lamba mevcut devre ve performansı korunarak Şekil 5.3’de görüldüğü gibi elektronik devre kurma düzeneği (board) üzerine aktarılmıştır.

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi 220 V kaynaktan beslenen tipik bir kompakt floresan devresi tek fazlı diyot köprü doğrultucu, filtre kondansatörü, yüksek frekanslı inverter ve tüpten oluşur. Rezonans inverter, normal olarak 10-40 kHz’de çalışır. Bu nedenle sabit bir yük olarak modellenenebilir. Yine yüksek frekans gerilimi ile beslenen tüp de direnç olarak modellenenebilir. AC giriş akımındaki harmonik akımlarının analizi için, ilk üç blok detaylı olarak gösterilmeli ve rezonans inverteri ve tüp direnç olarak modellenmelidir. Bunu gerçekleştirmek için kurulan devrenin şeması Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Burada modelleme için devrenin koruma, doğrultma ve DC filtre kısımları korunarak, inverter ve tüp kısmı devreden ayrılmış, seri bağlı reostalar yardımıyla eşdeğer direnç elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun için önce lambaya belirli bir gerilim uygulanmış ve lamba aktif gücü ve çektiği akım belirlenmiştir. Sonra eş değer devre aynı aktif gücü çekinceye kadar, reosta ile direnç değeri ayarlanmıştır. Ayarlanan direnç değeri multimetre yardımıyla 4150 Ω olarak ölçülmüştür. Devre şemasında doğrultucu filtre kondansatörü değeri, etiket değeri olan 4,7 μ F olarak verilmiştir. Ancak yapılan ölçümlerde kapasite değerinin 4,4 μ F olduğu anlaşılmış, deney sonuçları verilirken tablolarda bu değer kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Modelleme deneyi devre şeması (Kompakt floresan lambanın dirençli eşdeğer devresi)

Lamba ve eşdeğer devreye uygulanan gerilim dalga şekli ve spektrumu Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

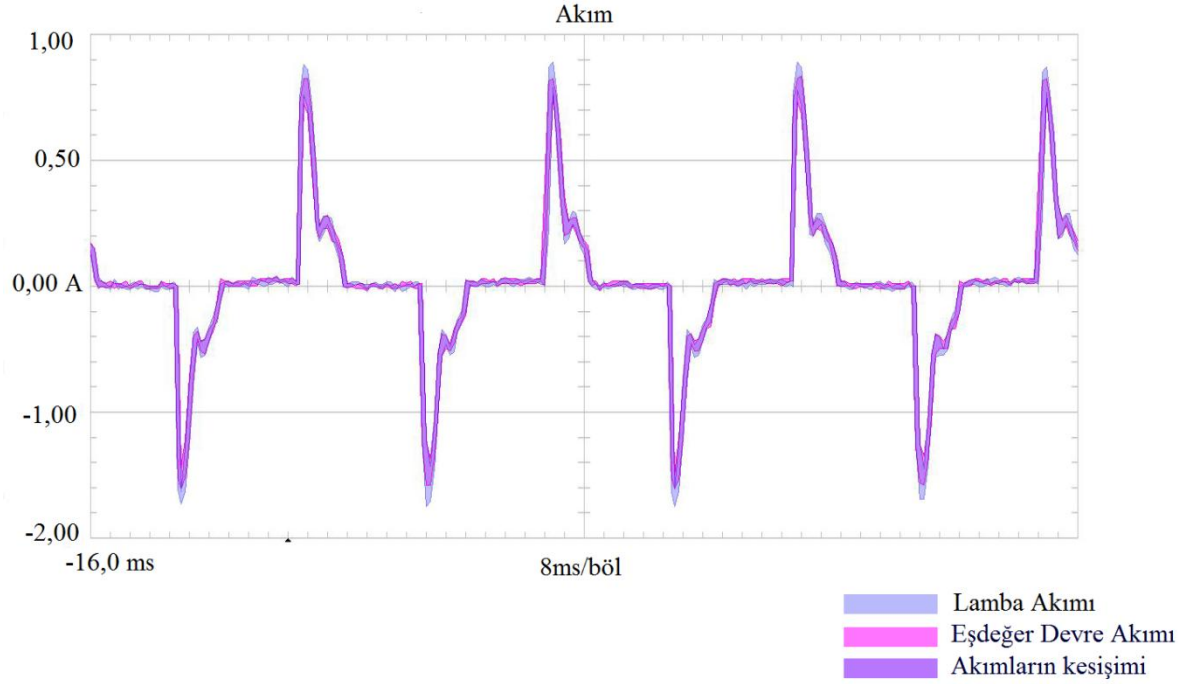


Şekil 5.5 Lamba ve eşdeğer devreye uygulanan gerilim dalga şekli ve spektrumu

Aynı aktif gücü çeken eşdeğer devre ve lambanın reaktif güç, distorsiyon güç faktörü, toplam güç faktörü değerlerinin de Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Lambaların akım dalga şekilleri Şekil 5.6’da görüldüğü gibi neredeyse aynıdır ve kondansatörün şarj başlangıç ve bitiş sürelerinin de aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 Lamba ve eş değer devrenin çalışma parametreleri

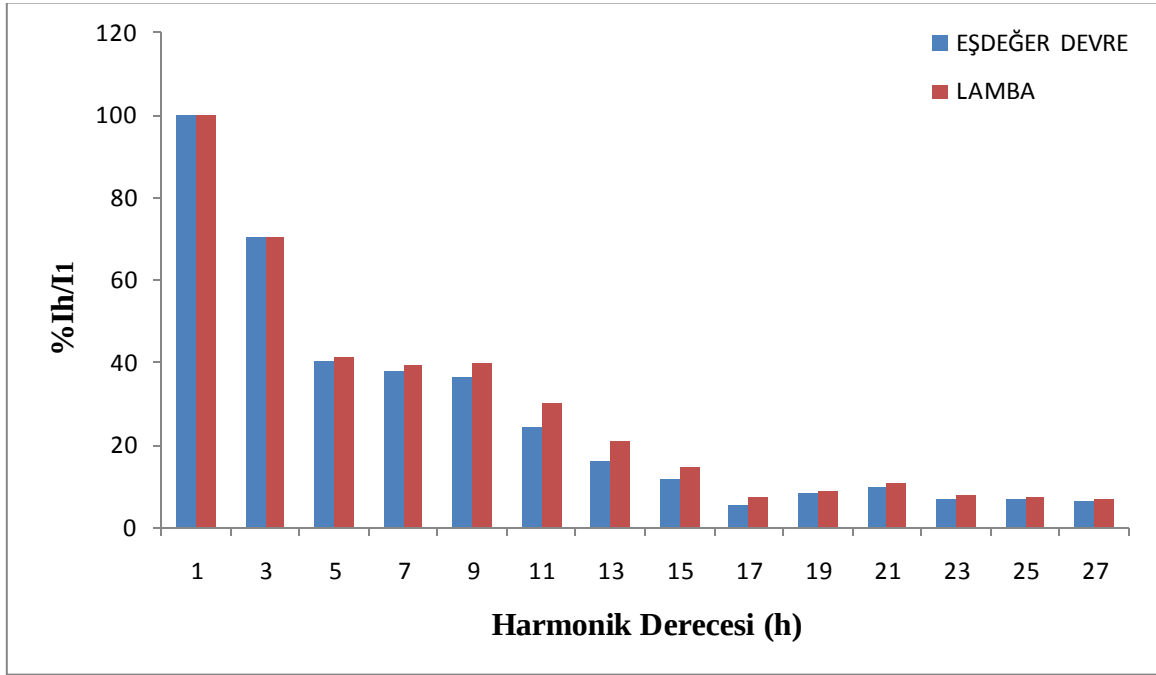
	P(W)	Q(VAR)	IRMS(A)	I_1 (A)	THD _I (%)	PF	DPF
Eşdeğer Devre	18,25	22,75	0,127	0,0887	103.8	0,63	0,93
Lamba	18,25	23,75	0,131	0,089	109.5	0,61	0,91



Şekil 5.6 Eşdeğer devre ve lamba akımlarının dalga şekillerinin karşılaştırılması

Lamba akımı THD değeri 109.5 ve eşdeğer devre akımı THD değeri 103.8 olup, %THD_I değerinde % 5.7'lik bir sapma söz konusudur. Bu sapma Şekil 5.7'deki akım spektrumunda görüldüğü gibi büyük derece (11 ve üstü) harmoniklerdeki küçük sapmalardan kaynaklanmaktadır. Eşdeğer devre, küçük dereceli (9 ve altı) harmoniklerin üretiminde lamba ile neredeyse aynı performansı göstermektedir.

Deneysel çalışmanın bu bölümünde elde edilen ölçüm sonuçları, kompakt floresan lambaların harmonikleri ile ilgili simülasyon çalışmalarında, Şekil 5.4'de verilen eşdeğer devre şemasının bu lambayı modellemek için uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.7 Eşdeğer devre ve lamba akımlarının harmonik spektrumlarının karşılaştırılması

5.2 Filtre Kondansatörünün Lamba Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

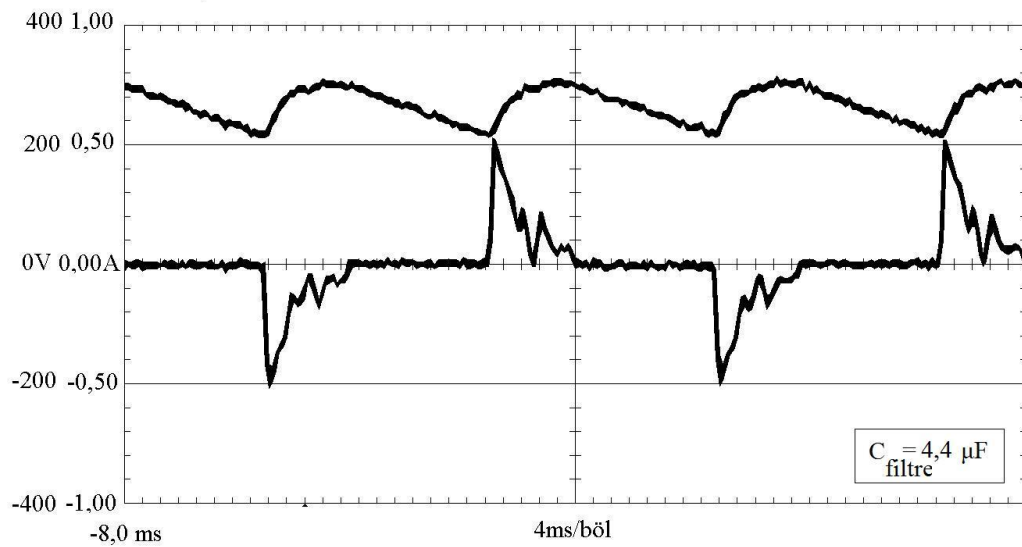
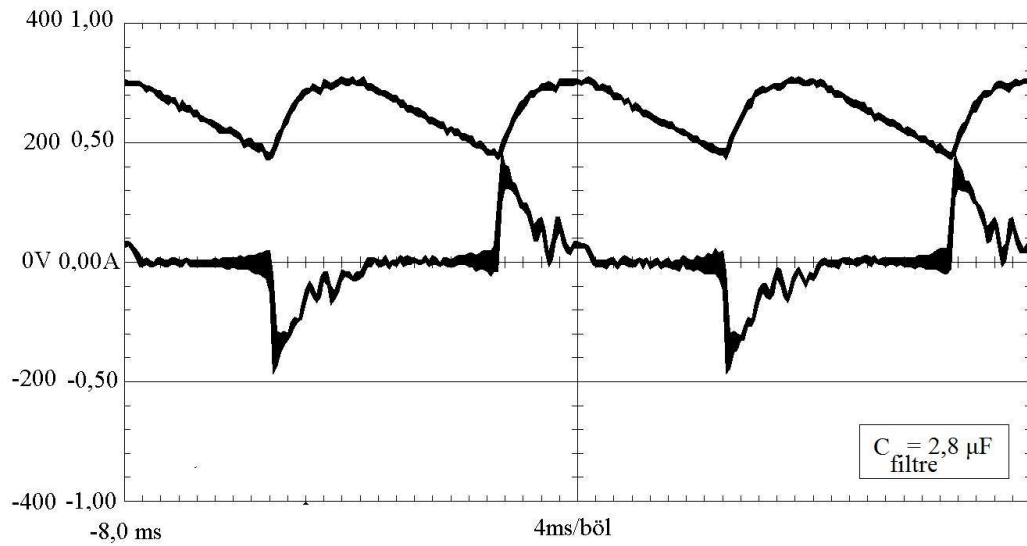
Bu kısımda Filtre kondansatörünün lamba performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi için Şekil 5.3’de görülen lamba açık devresindeki filtre kondansatörü 2.8, 4.4, 5, 5.6 ve 9.7 μF ’lık filtre kondansatörleri ile değiştirilmiş ve lambaya sabit 220 V_{rms} gerilim uygulanmıştır. Filtre kondansatöründeki değişime bağlı olarak, Filtre kondansatör çıkışındaki DC gerilimin ve lamba giriş akımının değişimi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kondansatör değeri büyükçe kondansatör DC çıkış gerilimi daha çok ideale yaklaşmakta ve Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi genliği artmaktadır. Böylece lambanın ışık akısında da belirli bir artış meydana gelmektedir. Kondansatör şarj süresi 4.8 ms’den 4.1 ms’ye kadar düşmekte ve akımın ortalama ve tepe değeri giderek artarken akım dalga şekli sivrilmektedir. Dolayısıyla aktif, reaktif ve görünür güçlerde de artış meydana gelmektedir. Kapasitif etkiden dolayı distorsiyon güç faktörü artarken, THD_1 ‘daki artıştan dolayı toplam güç faktöründe belirgin değişim görülmez.

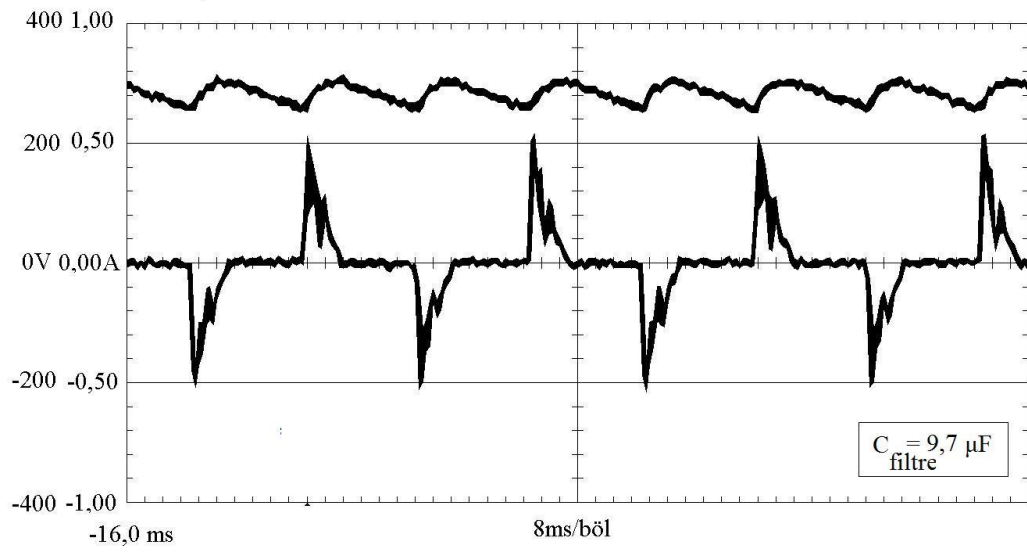
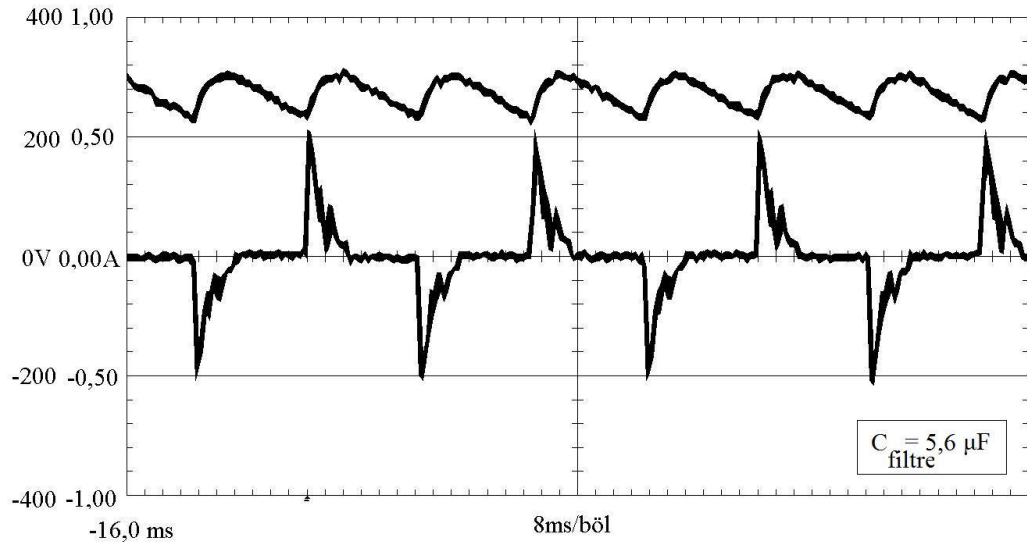
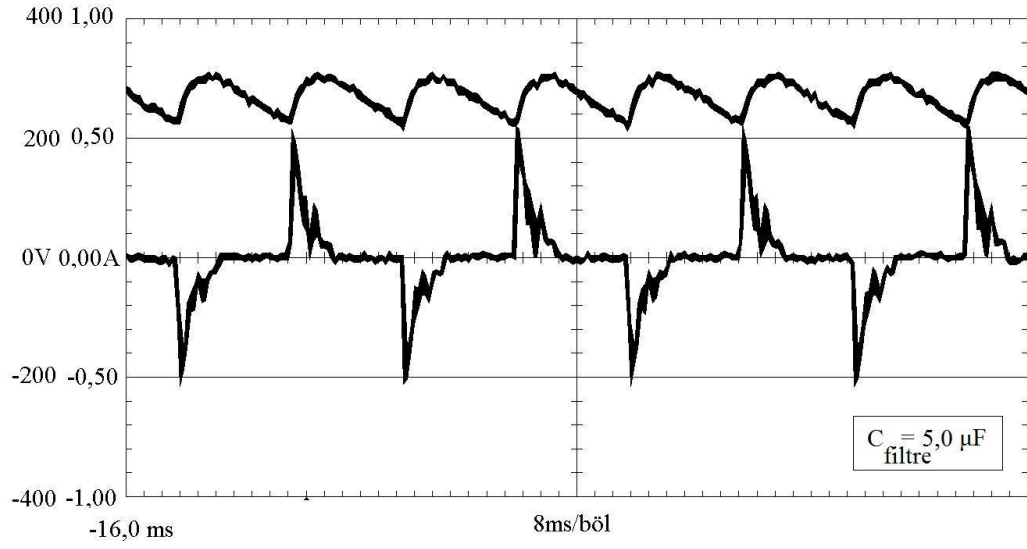
Kompakt floresan lambada köprü doğrultucu çıkışındaki filtre kondansatörünün kapasitesinin artırılması ile lambanın şebekeden çektiği akımın THD_1 değerinin artması Şekil 4.2’de verilen eşdeğer devre yardımıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir: Kondansatörün kapasitesinin artması AC şebekede lambanın kapasitifliğinin (kompanzasyon etkisinin) artmasına dolayısıyla DPF değerinin yükselmesine neden olur. Kapasitenin artmasıyla birlikte kondansatörün deşarj süresi uzar. Köprü diyot çıkışındaki DC çıkış geriliminin ortalama

değeri yükselir. Lambanın ışık sal performansı artar. Buna karşılık kapasitenin artmasıyla birlikte kondansatörün şarj süresi kısalır. Böylece AC şebekeden çekilen akımın dalga şeklindeki bozulma artar, dolayısıyla THD_I yükselir.

Çizelge 5.3 Filtre kondansatöründeki değişim ile Lamba değerlerindeki değişim

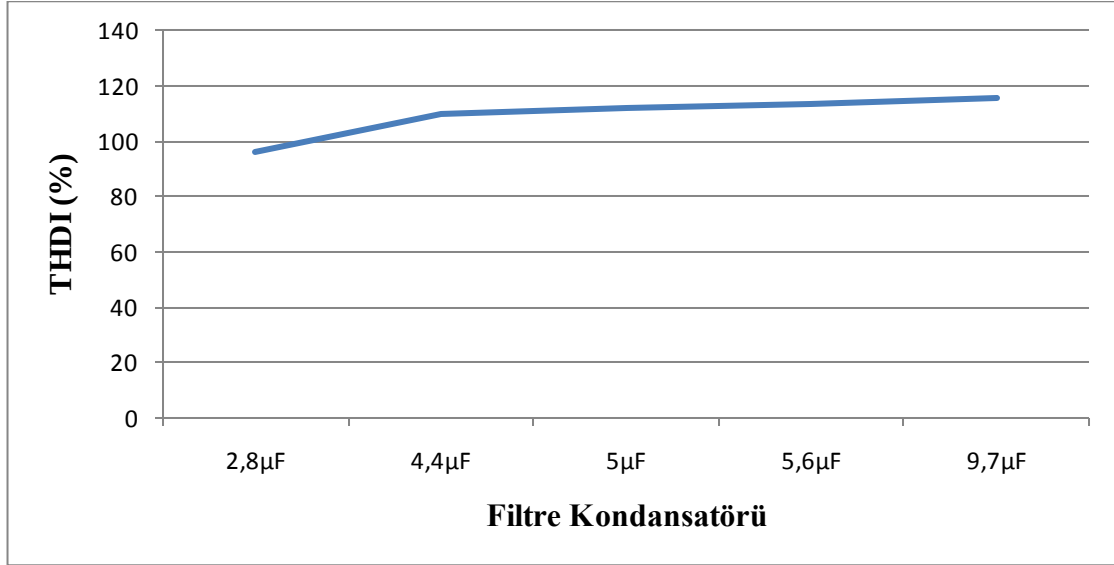
FİLTRE KONDANSATÖRÜ(μ F)	C=2,8 μ F	C=4,4 μ F	C=5 μ F	C=5,6 μ F	C=9,7 μ F
DC GERİLİM(V)	259,7	271,1	274	276,5	285,8
IRMS(A)	0.122	0.129	0.135	0.136	0.138
DPF	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96
PF	0,63	0,61	0,61	0,61	0,62
P(W)	17,25	17,75	18,25	18,5	19
Q(VAR)	21	22,75	24	24,25	24,25
S(VA)	27,25	28,75	30,25	30,5	30,75
THDI(%)	95,8	109.9	111,7	113,1	115,5





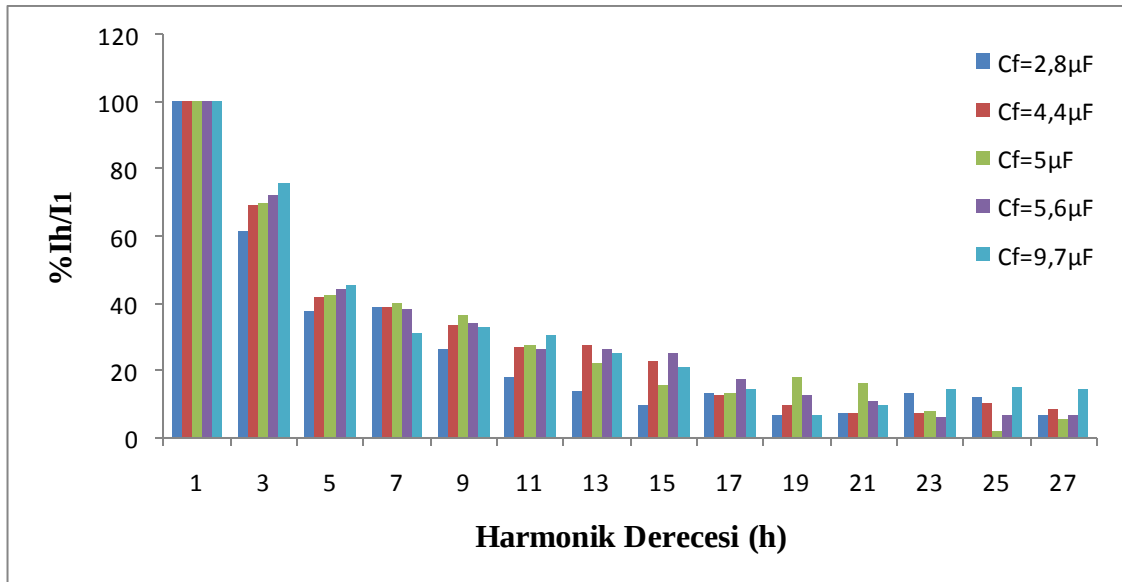
Şekil 5.8 Değişik filtre kondansatörü değerleri için lamba akımı ve kondansatör DC çıkış gerilimi

Giriş akım dalga şeklindeki daralma ve sivrilme, THD_I değerinde bir artış olduğunu gösterir. Şekil 5.9’de kondansatör değerindeki değişimle giriş akımı THD ’sindeki artış açıkça görülmektedir.



Şekil 5.9 Değişik filtre kondansatörü değerleri için % THD_I değişimi

Şekil 5.10’daki harmonik spektrumunda harmonik genliklerindeki artış görülmektedir. Bu artış küçük dereceli harmoniklerdeki (3,5) düzenli artıştan kaynaklanmaktadır. 7. ve 9. Harmonik derecelerinde belirgin bir değişim görülmezken, daha büyük harmonik derecelerinde belirli bir düzen yoktur.



Şekil 5.10 Filtre kondansatöründeki değişime bağlı harmonik spektrumu

5.3 Kaynak Harmoniklerinin Kompakt Floresanlar Üzerine Etkileri

Elektrik şirketleri müşterilerine saf ve sabit sinüsoidal gerilimler sunmaya uğraşmalarına rağmen, dalga şekil bozulmaları, düşük gerilimler ve güç kesintileri artan bir şekilde oluşmaktadır. Bu arızalarla ilgili son kullanıcı şikayetleri de sürekli artmaktadır. Sonuç olarak kompakt floresan lambalar gerilimin saf sinüsoidal olmadığı yerlere monte edilecektir. Bu nedenle kompakt floresan lambaların performansının kaynak harmonik seviyesine bağlı olarak incelenmesi gerekmektedir.

5.3.1 Test Edilen Kompakt Floresan Lambalar

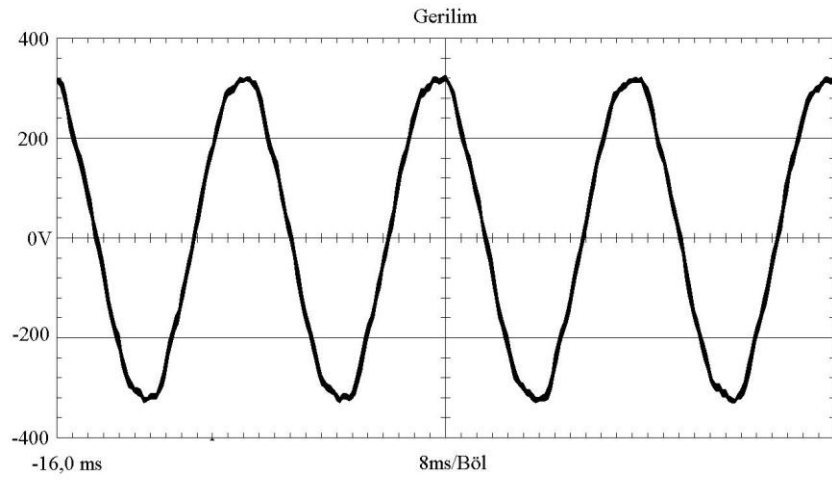
Çizelge 5.4, üzerinde çalışılan kompakt floresan lambaların özelliklerini göstermektedir. Örnekler piyasada bulunabilecek eşdeğer özellikli spiral tüplü kompakt floresan lambaları içermektedir. Lambalar pasif filtreli kendinden elektronik balastlı olarak sunulmuştur. Deneyde kullanılan lambalar farklı firmaların imal ettiği farklı markalarda olup tümünün çalışma gerilimleri AC 220V ve güçleri 15W olacak şekilde seçilmiştir.

Çizelge 5.4 Deneyde kullanılan kompakt floresanlar

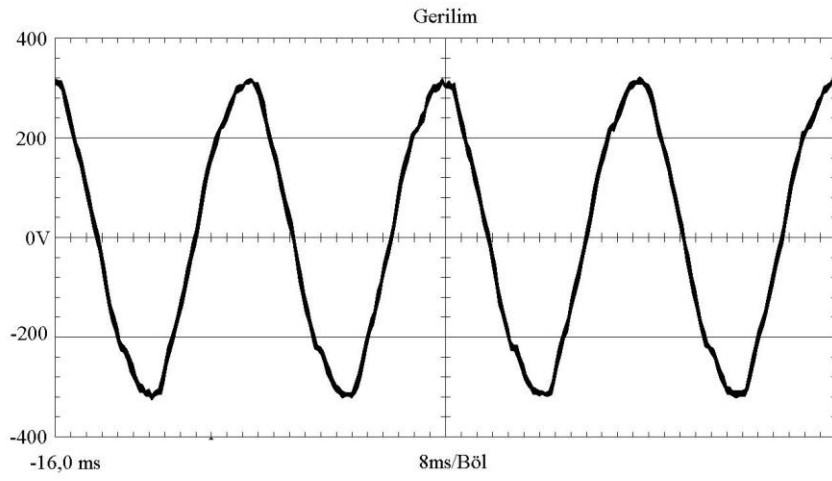
ÖRNEK	LAMBA	GÜÇ(W)	BALAST	IŞIK AKISI	IŞIK RENGİ	FİLTRE KONDANSATÖRÜ
1	Spiral,E27	15	Elektronik, Pasif filtre	975	6500K	4.7 μ F
2	Spiral,E27	15	Elektronik, Pasif filtre	900	6500K	5.6 μ F
3	Spiral,E27	15	Elektronik, Pasif filtre	900	6500K	4.7 μ F

5.3.2 Kompakt Floresan Lambalara Uygulanan Gerilim Dalga Şekilleri

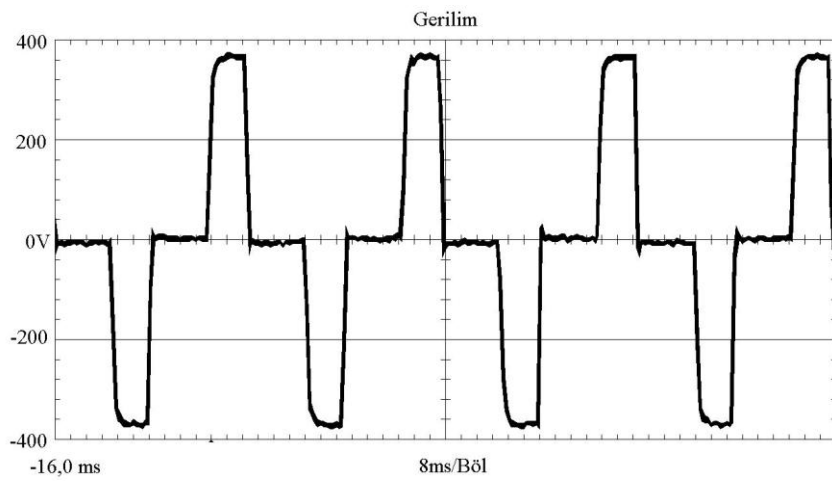
Tüm test koşullarında gerilim AC 220 V olup, Frekans 50 Hz'dir. Nonsinüsoidal gerilim dalga şekilleri Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan kompakt floresan lambalara THD_V değeri farklı olan üç ayrı gerilim uygulanmıştır. Şekil 5.11'de gösterildiği gibi, gerilimlerin THD_V değerleri sırasıyla %2.7, %4.3 ve %67'dir. $THD_V = \%2.7$ ve $THD_V = \%4.3$ olan gerilimler AC dağıtım şebekesinden elde edilmiş gerilimlerdir. Buradaki amaç kompakt floresan lambaların harmonik akımları üzerinde şebeke geriliminin THD_V değerinin değişiminin etkisini belirlemektir. $THD_V = \%67$ olan gerilim şebekede karşılaşılmaması mümkün olmayan çok bozuk bir gerilim olup, uzak doğu ülkelerinin imalatı olan bir kesintisiz güç kaynağı (UPS) çıkışından elde edilmiştir. $THD_V = \%67$ olan gerilim uygulanması ile UPS gerilimi ile çalışan kompakt floresan lambaların harmonik akımlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Deneyde harmonik akım ve gerilim ölçümleri Fluke 43B ile yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

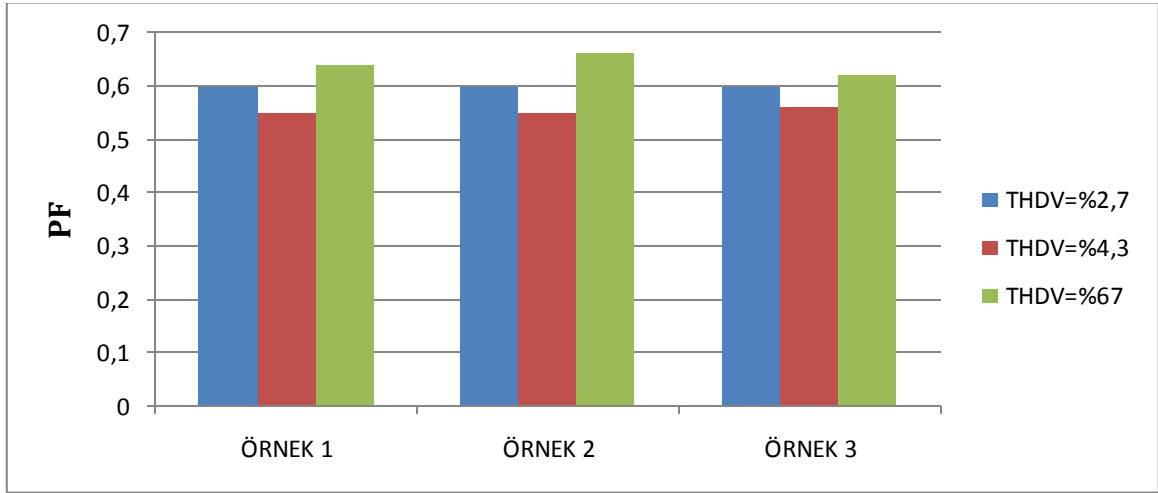
Şekil 5.11 Test gerilimlerinin dalga şekilleri (a) $THD_V = \%2.7$ (b) $THD_V = \%4.3$ (c) $THD_V = \%67$

5.3.3 Deney Sonuçları

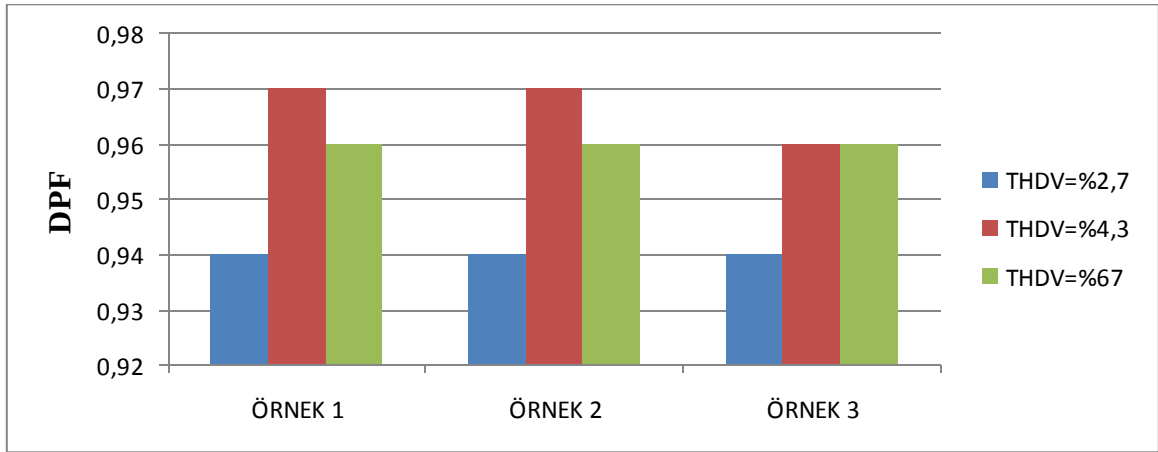
Örneklerin hepsi pasif filtreli elektronik balastlı olup filtre kondansatörü etiket değerleri örnek 1, 2, 3 için sırasıyla 4,7, 5,6, 4,7 μF olarak değişmektedir. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, THD_V ’nin belirli bir değerine kadar toplam güç faktörü azalırken, THD_V ’nin çok yüksek değerlerinde toplam güç faktörü 0,62 değerine kadar artmaktadır. Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi, aktif güçte de toplam güç faktörüne benzer bir değişim görülürken, distorsiyon güç faktörü ve reaktif güçte ise bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Şekil 5.13’de görüldüğü gibi THD_V ’deki nispeten ufak artış ile distorsiyon güç faktöründe büyük bir artış görülürken, THD_V ’nin çok yüksek değerlere ulaşmasıyla birlikte örnek 1 ve 2’nin distorsiyon güç faktörlerinde belirli bir azalma söz konusudur. Örnek 3’de ise THD_V artmasına rağmen distorsiyon güç faktörü sabit kalmaktadır. Şekil 5.14’de THD_V ‘deki artışa karşılık THD_I ‘daki değişim görülmektedir. THD_V ’nin ($\text{THD}_V > 5\%$) çok yüksek değerlerinde THD_I ’daki artışa rağmen, toplam güç faktöründe de bir artış olmaktadır.

Çizelge 5.5 THD_V ’deki değişim ile örnek lambaların aktif, reaktif, görünür güçleri ile toplam ve distorsiyon güç faktörlerindeki değişim

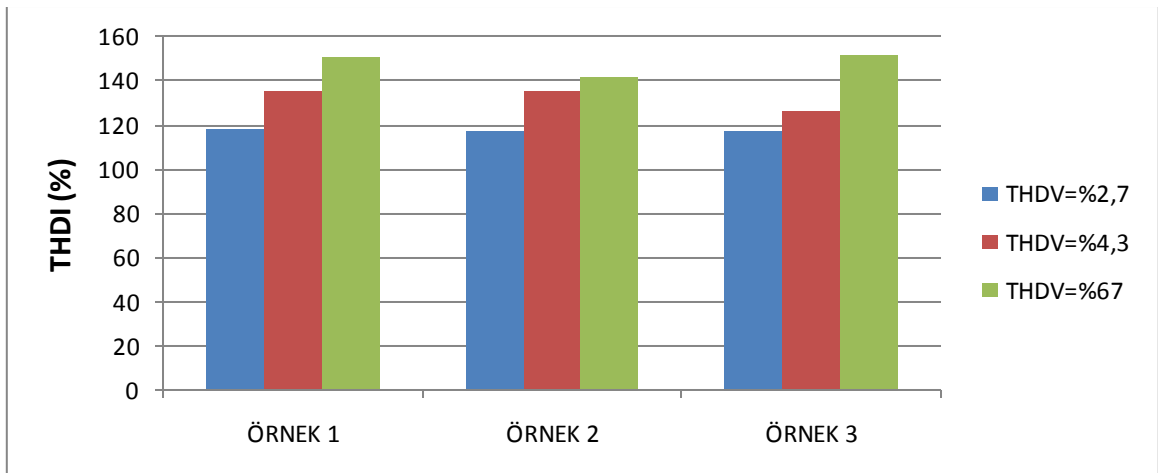
	ÖRNEK1			ÖRNEK2			ÖRNEK3		
THD_V	2,7	4,3	67	2,7	4,3	67	2,7	4,3	67
S(VA)	80	85	82	86	89	90	80	84	92
P(W)	12	11,5	13	12,75	12,25	15	12	11,75	14,25
Q(VAR)	16,25	17,75	15,75	17,25	18,5	17	16	17,25	18
$\text{COS}\varnothing$	0,94	0,97	0,96	0,94	0,97	0,96	0,94	0,96	0,96
PF	0,6	0,55	0,64	0,6	0,55	0,66	0,6	0,56	0,62



Şekil 5.12 Örnek kompakt floresanların THD_V 'deki değişim ile toplam güç faktörü (PF) değişimi

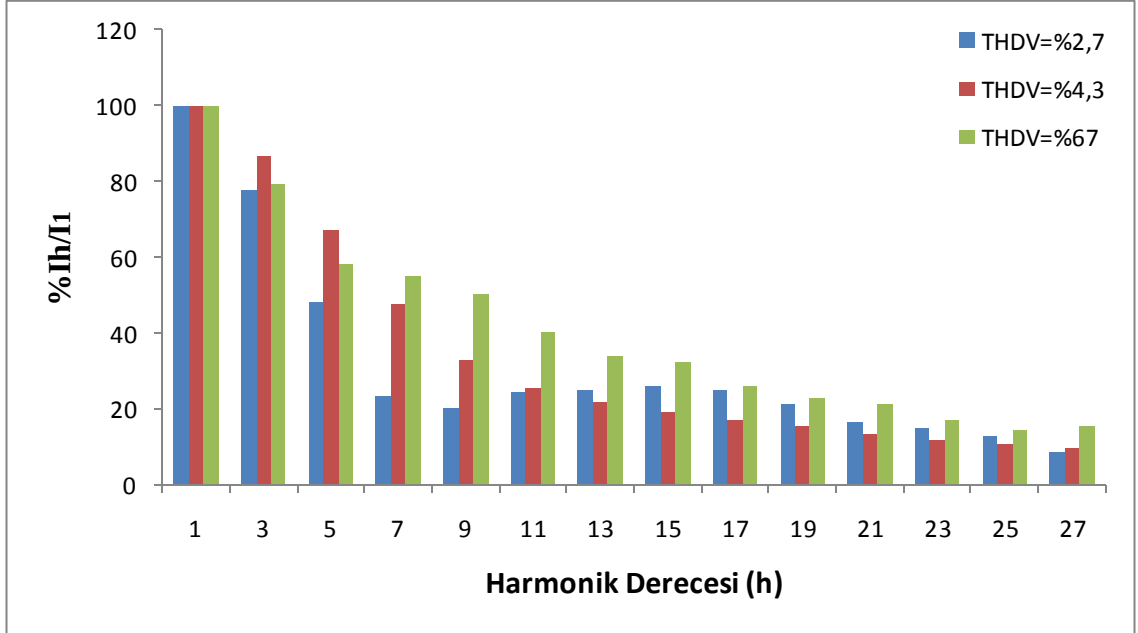


Şekil 5.13 Örnek kompakt floresanların THD_V 'deki değişim ile distrosiyon güç faktörü (DPF) değişimi

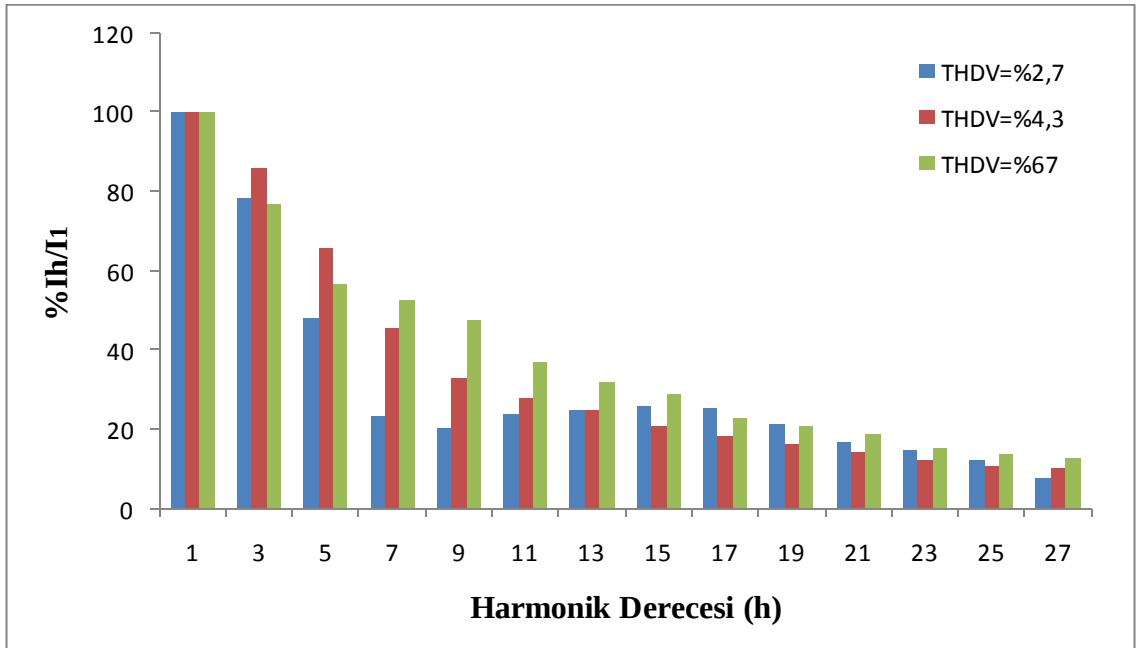


Şekil 5.14 Örnek kompakt floresanların $\%THD_V$ 'deki değişim ile $\%THD_I$ değişimi

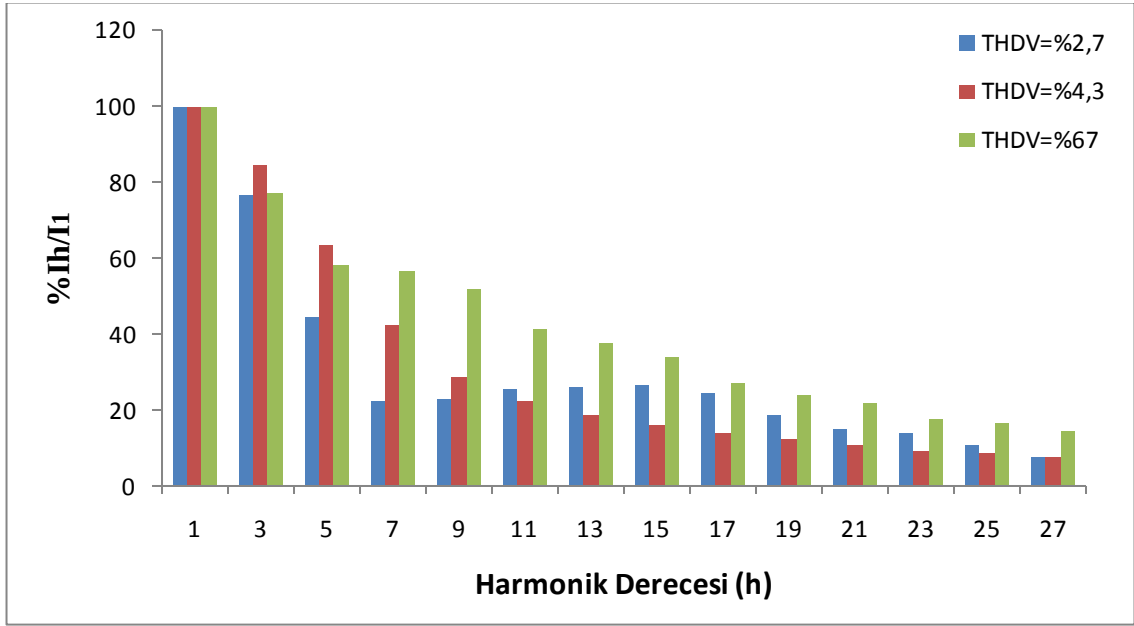
Şekil 5.15, 5.16, 5.17’de %THD_V ‘deki değişim ile örnek lambaların akım spektrumlarındaki değişim görülmektedir. Örnek 1, 2 ve 3 için 7, 9, 11. harmoniklerde artış THD_V’ye bağlı olarak sürekli iken, daha büyük dereceli harmoniklerde THD_V’nin belirli değerine kadar azalma sonrada artma görülmektedir. 3 ve 5. Harmonik derecelerinde ise bunun tam tersi bir durum söz konusudur.



Şekil 5.15 %THD_V ‘deki değişim ile örnek 1’in akım spektrumundaki değişim



Şekil 5.16 %THD_V ‘deki değişim ile örnek 2’nin akım spektrumundaki değişim



Şekil 5.17 %THD_V ‘deki değişim ile örnek 3’ün akım spektrumundaki değişim

5.4 Kompakt Floresanlardaki Azalma Etkisinin Belirlenmesi

5.4.1 Deney Kurulumu

Çalışmada azalma etkisi ile ilgili Bölüm 4’de verilen (4.2) eşitliği kullanılacaktır. Bu eşitlik aşağıda (5.1)’de verilmiştir.

$$AF_h: \frac{I_{h\text{-bozulmuş}}}{I_{h\text{-baz}}} \quad (5.1)$$

Bu kısımda, kompakt floresan lambaların harmonik azalması ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Sunulan testler için, işletme ortamındaki gerçek kaynak koşulları oluşturulmuştur. Bir işletmede besleme kaynağı birkaç ayrı lamba ve cihaz devresini besler. Her bir kablonun uzunluğu ve devreye bağlı elemanlar fark edilebilir azalmaya sebep olabilir. Bu etki şu ifade kullanılarak açıklanabilir (5.2) (Nassif ve Acharya, 2008),

Bu eşitlikte,

$$V_{s-h} = Z_{s-h} I_{s-h} \quad (5.2)$$

V_{s-h} : kablo empedansı Z_{s-h} nedeniyle oluşan gerilim düşümü,

I_{s-h} : enjekte edilen harmonik akımı,

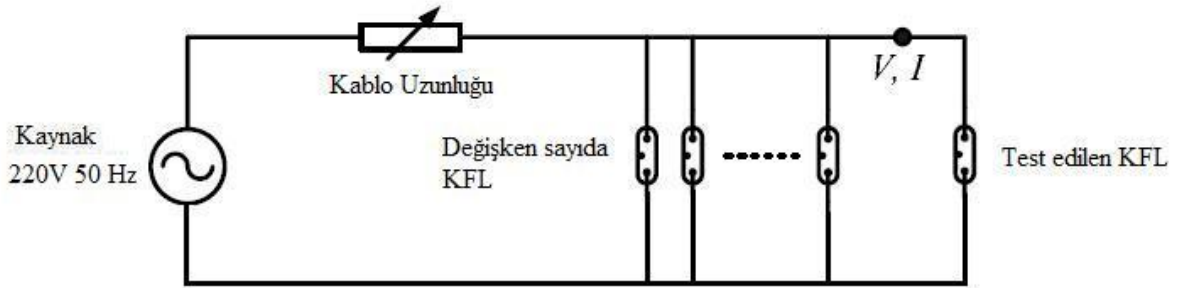
Olarak ifade edilir.

(5.2)’de görüldüğü gibi gerilim düşümü, değişen hat empedansı Z_{s-h} veya enjekte edilen

harmonik akımı I_{s-h} 'dan kaynaklanabilir. Gerçek koşulları elde edebilmek için, Şekil 5.18'deki deneysel düzenek hazırlanmıştır. Gerilimin THD 'sini değiştirmek için iki farklı düzenek uygulanmıştır.

- Besleme kablosunun uzunluğu (L) değiştirilerek kaynak empedansı Z_{s-h} değiştirilmiş olur.
- Test edilen kompakt floresan lambaya (KFL) paralel olarak birden fazla (N adet) lamba bağlanarak bu lambaların enjekte ettiği akımlar sebebiyle gerilim distorsiyonu artırılabilir. Literatürdeki çalışmalarda, incelenen KFL dışında buna paralel bağlı KFL'lar background lamps (arka plan lambaları) ve bu lambalar sebebiyle oluşan gerilim distorsiyonu da background distortion (arka plan bozulması) olarak tanımlanmıştır.

Bu kısımda, kompakt floresan lamba olarak Philips marka Genie modeli 220 V gerilimli 11 W gücünde spiral tüplü lambalar kullanılmıştır. Lambaların 6 adedi paralel bağlanarak bloklar oluşturulmuştur. Her blok bir anahtar ile devreye alınacak şekilde 4 adet blok oluşturulmuştur. Deneyde kaynak ile lamba grubu arasındaki besleme kablosunun uzunluğu değiştirilerek her bir kablo uzunluğu için lamba blokları sırayla devreye alınarak deney 6 lamba, 12 lamba, 18 lamba ve 24 lamba için tekrarlanmıştır.



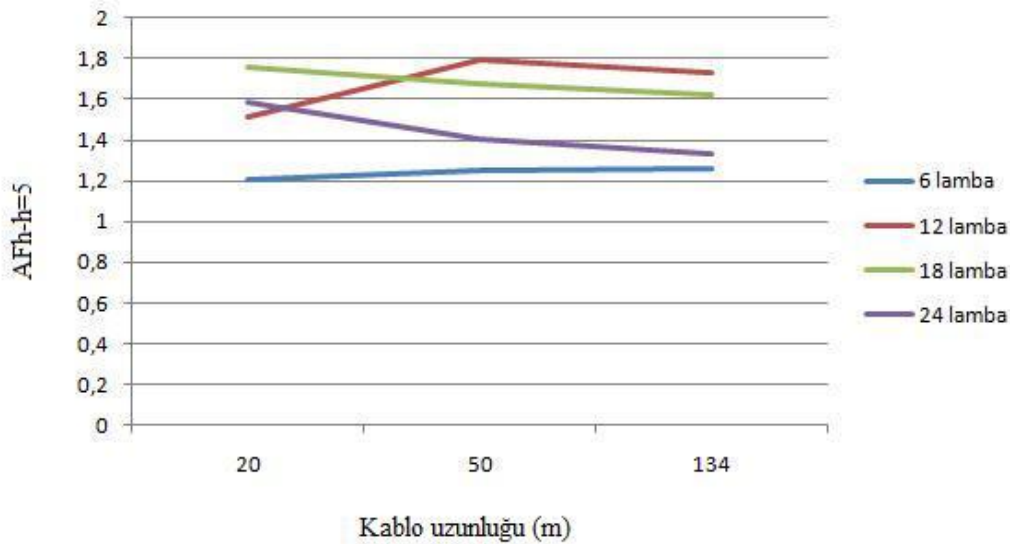
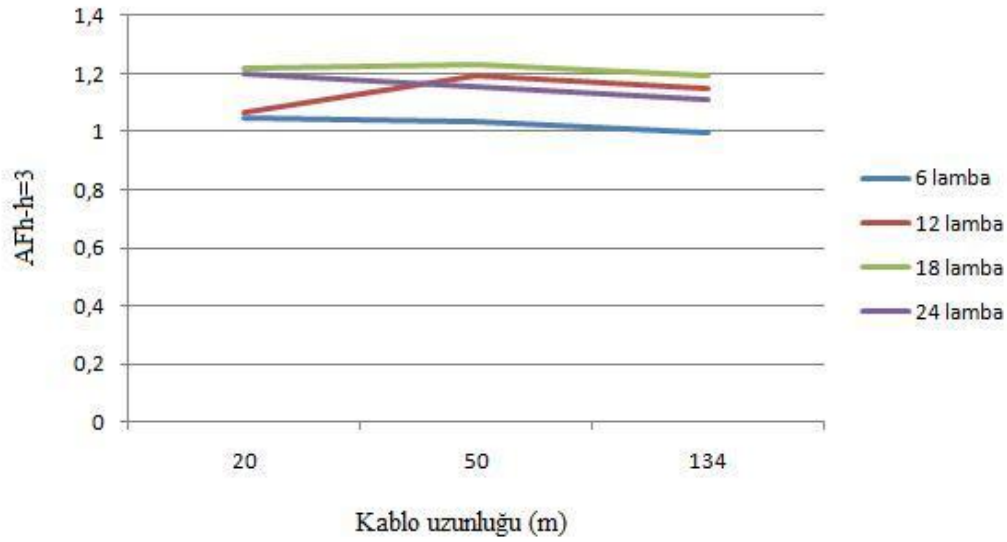
Şekil 5.18 Kablo uzunluğu ve arka plan gerilim distorsiyonundaki değişimin etkisini incelemek için deney şeması

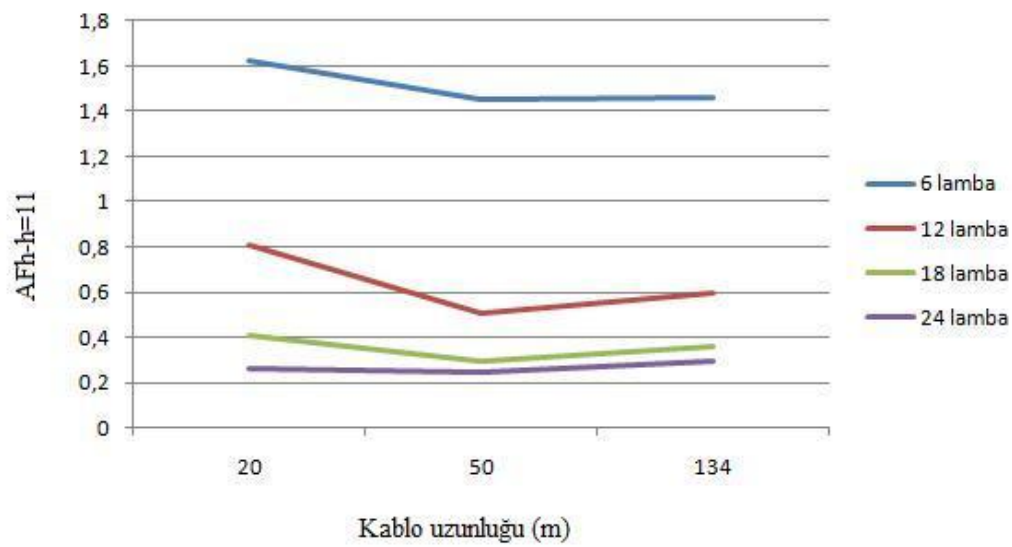
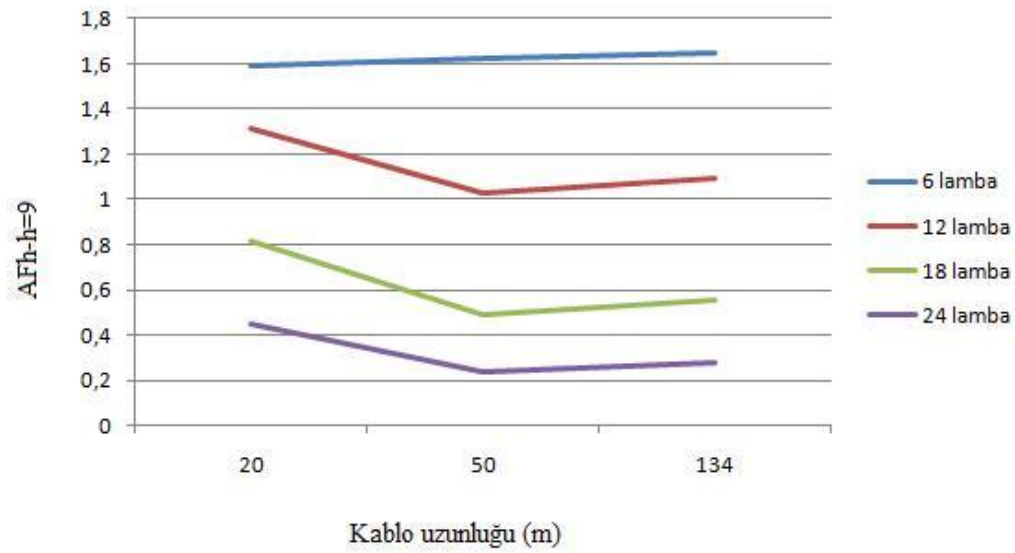
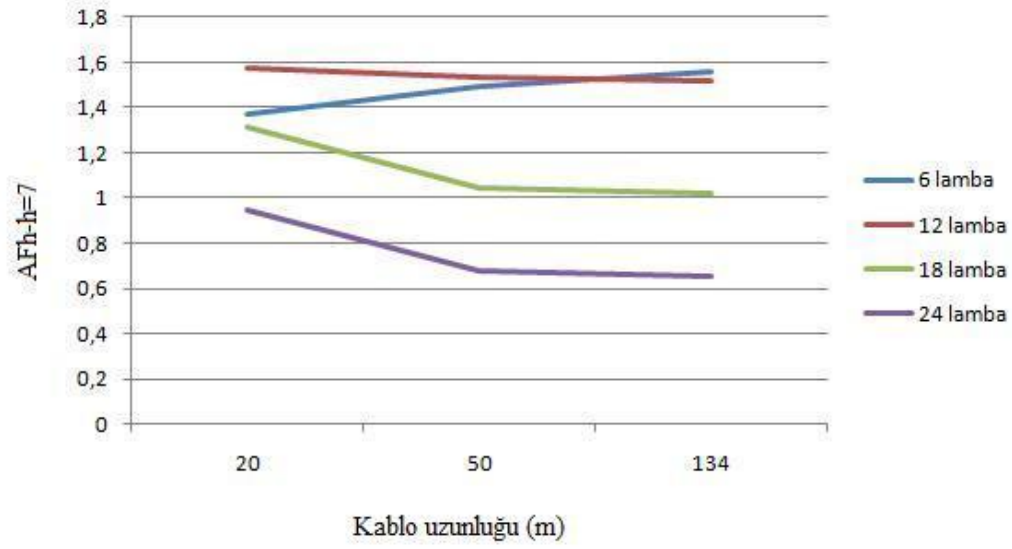
5.4.2 Kablo Uzunluğunun Etkisi

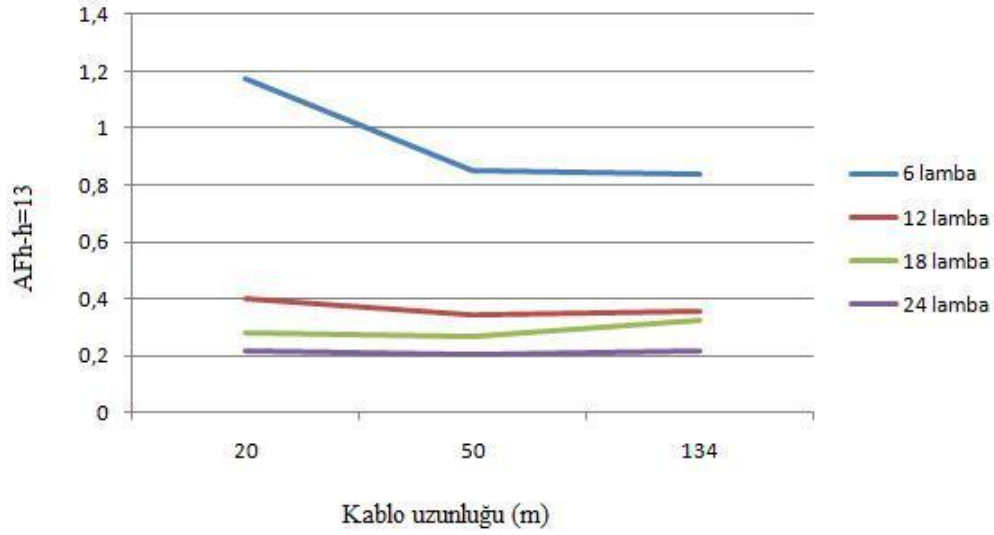
Kablo uzunluğunun etkisinin test edilmesi için gerçek konut ortamını temsil eden 20 m 1.5 mm^2 H07V-U kablunun yanında alışveriş merkezi ve fabrika gibi işletmelerdeki linye uzunluğu dikkate alınarak, 50 m ve 134 m 1.5 mm^2 H07V-U için deneyler tekrarlanmıştır.

Kablo uzunluğunu (L) değiştirmenin azalma faktörü (AF) üzerindeki etkisi Şekil 5.19'da

görülmektedir. Şekilde 3 ile 13. Harmonik arası azalma faktöründe kablo uzunluğuna bağlı değişim gösterilmiştir. Ek olarak Çizelge 5.6'da AF'deki yüzdesel artma ve azalma gösterilmiştir. Çizelge 5.6'daki sonuçlar hat uzunluğu 20 ile 134 m arasında değiştiğindeki sonuçları yansıtır. Artı değer azalma faktöründe bir artış olduğunu gösterir. Ölçüm sonuçları gösterir ki (L) arttıkça harmonik akımları azalır. Bu da kaynak gerilimindeki bozulmanın arttığı anlamına gelir. Halbuki tüm harmonik akımları düşmez. Gerçekte, düşük dereceli harmonik akımları için azalma belirgin iken, 11. harmonik ve üst dereceli harmonikler için, Çizelge 5.6'de görüldüğü gibi AF artabilir.





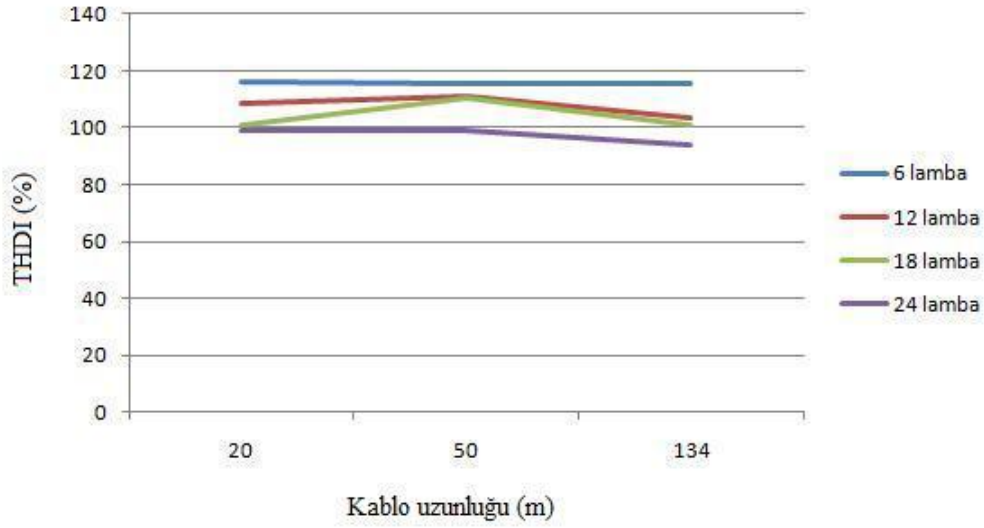


Şekil 5.19 $h=3$ 'den $h=13$ 'e kadar kablo uzunluğuna bağlı azalma faktörü değişimi

Çizelge 5.6 Kablo uzunluğunun 20m'den 134m'ye değişmesi durumunda %AF değişimi (her bir lamba grubu için)

	Arka plan bozulması			
h	6 lamba	12 lamba	18 lamba	24 lamba
3	-5,2	8,1	-2,6	-8,6
5	5,29	21,93	-13,7	-25,71
7	18,08	-5,39	-29,04	-29,56
9	6,31	-22,01	-26,22	-16,66
11	-16,22	-20,71	-4,59	2,65
13	-33,22	-4,4	4,4	0,43
15	-21,97	-1,97	-0,7	2,67
17	11,22	5,11	11,39	14,41
19	1,04	9,16	-0,62	1,66
21	9,6	5,8	-1,2	1,8

Kablo uzunluğunun THD_I üzerinde de etkisi vardır. Şekil 5.20’de THD_I üzerinde kablo uzunluğunun (L) değişiminin etkisini göstermektedir.



Şekil 5.20 Kablo uzunluğuna bağlı olarak THD_I ’daki değişim

Çizelge 5.7 kablo uzunluğunu değiştirmenin THD_I ve THD_V üzerindeki etkisini göstermektedir. Kablo uzunluğu 20 m’den 134 m’ye değiştiğinde THD_I ’daki azalma %4.8 değerine ulaşmaktadır (en yüksek arka plan bozulması oluştuğunda).

Çizelge 5.7 L’nin 20m’den 134m’ye değişmesi durumunda % THD_I ve % THD_V değişimi (her bir lamba grubu için)

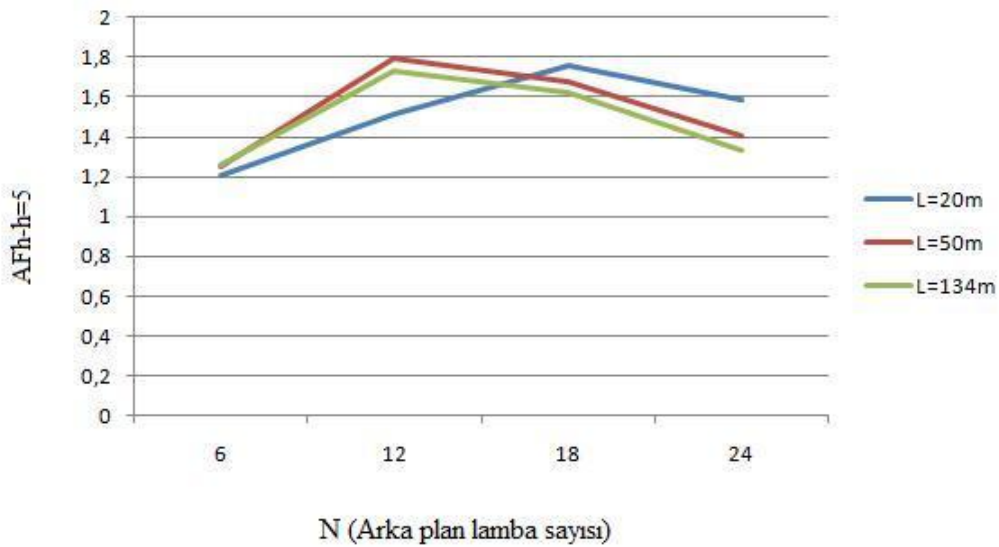
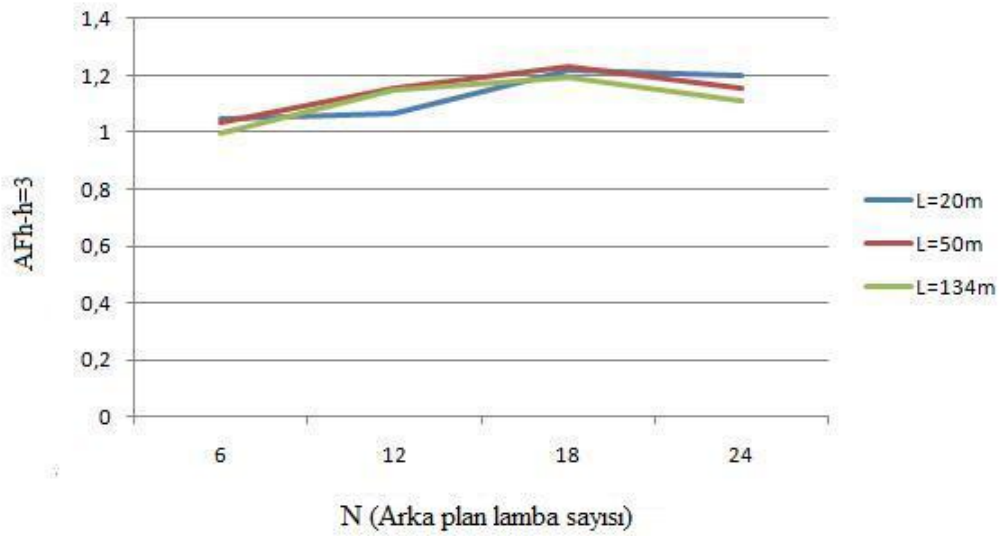
Arka plan bozulması	6 lamba	12 lamba	18 lamba	24 lamba
THD_V ’daki değişim	0%	0,3%	1,0%	1,5%
THD_I ’daki değişim	-0,8%	-4,5%	0%	-4,8%

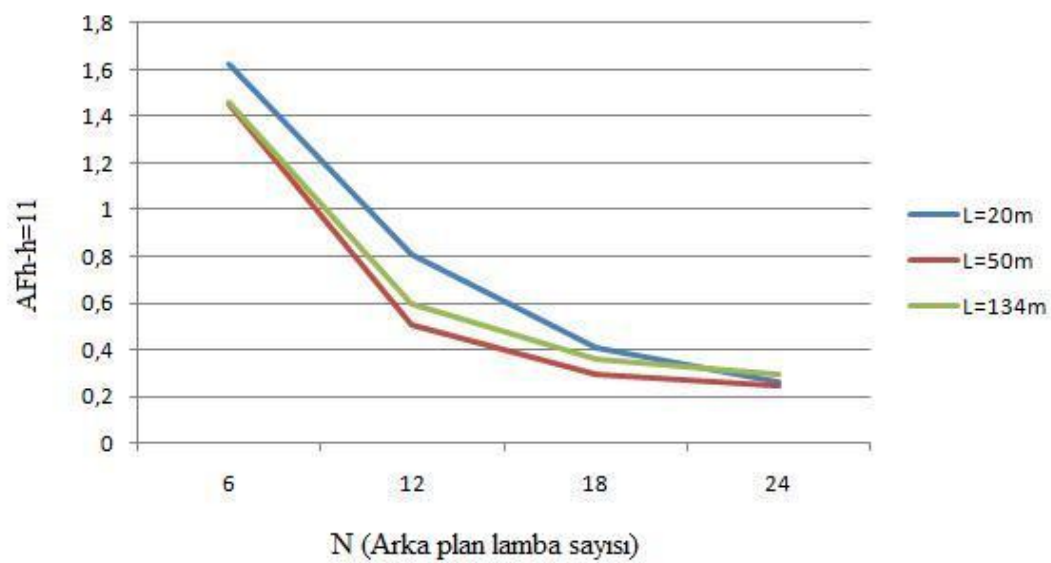
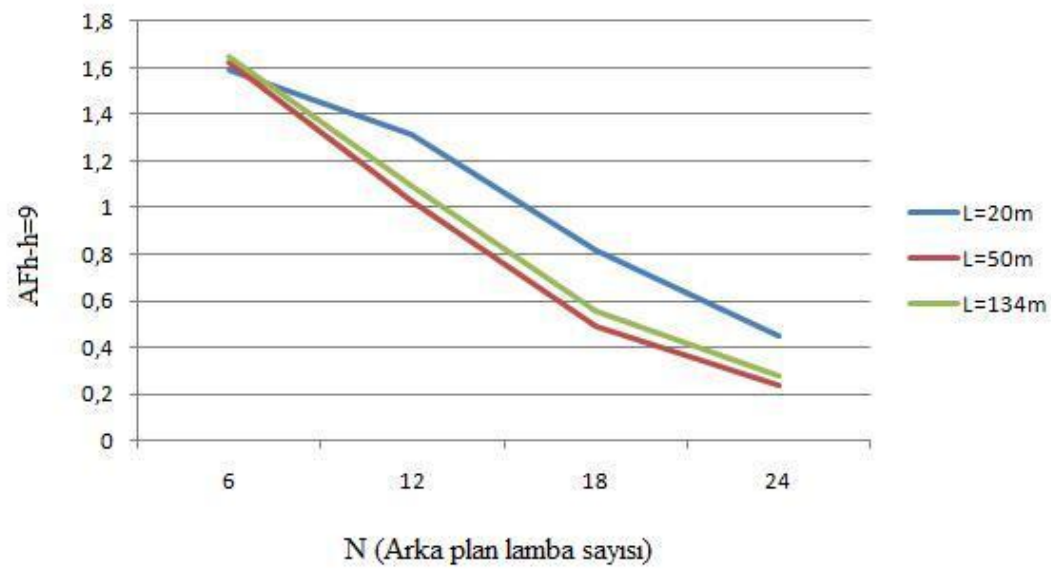
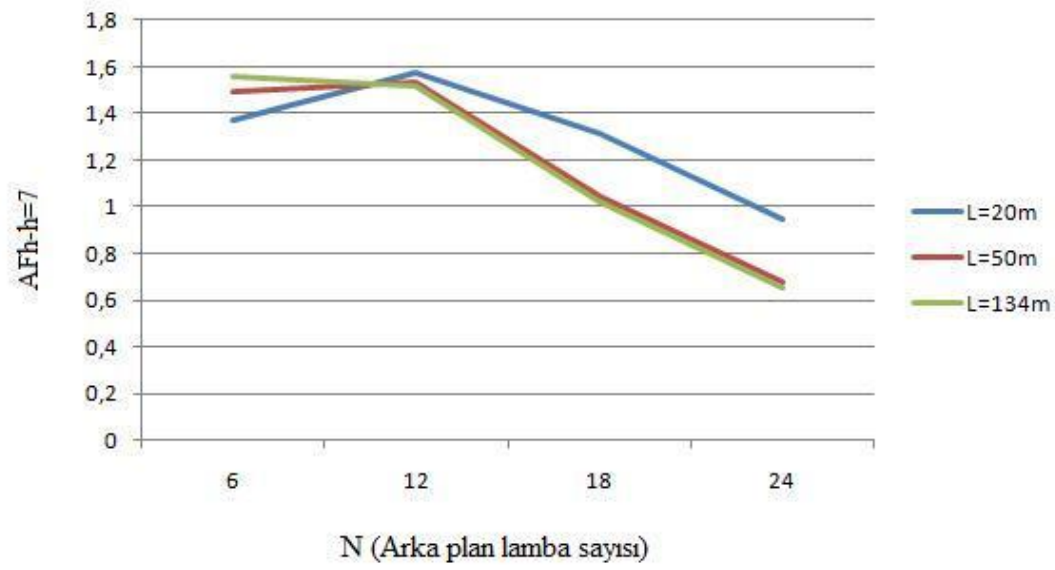
5.4.3 Arka Plan Distorsiyonunun Etkisi

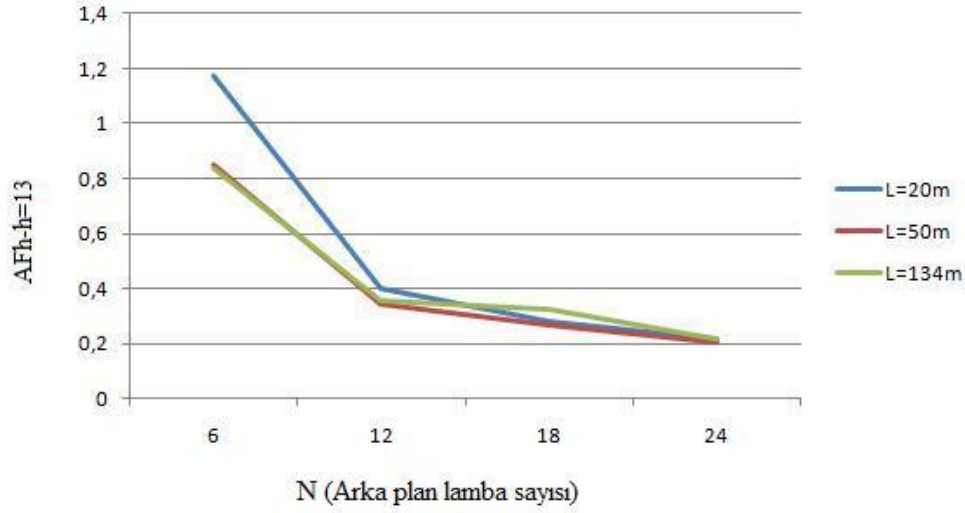
Bu kısımda arka plan distorsiyonunun etkisi incelenecektir. Arka plan distorsiyonu oluşturmak için özdeş Philips Genie 11W kompakt floresan lambalar 6, 12, 18, 24’lü gruplar halinde gruplandırılmıştır. Özdeş lambalar kullanılarak, tüm harmonik kaynakları aynı periyotta darbe akımı çekecek ve böylece azalma faktörü AF_h daha belirgin bir biçimde ortaya çıkacaktır. Lamba sayıları ortalama bir evi yansıtmaktadır. Ortalama bir IEA (International Energy Agency) evi 25 lamba içerir (IEA, 2003).

Dikkat edilmesi gereken bir unsur, deney yapılan dağıtım sisteminde nonlineer yüklerin yaygın bir biçimde kullanılmasından ötürü deneyde kullanılan gerilim dalgasının zaten bozulmuş olduğudur. Deneyler gerçekleştirilmeden önce THD_V 'nin yaklaşık % 2.7 olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.21 ve Çizelge 5.8 devredeki lamba sayısı değiştiğinde elde edilen test sonuçlarını göstermektedir. Kaynak gerilimi bozulması arttığında, tüm harmonik akımlarının azalmadığı gözlenmiştir. Düşük derece harmonik akımlarının (3. ve 5. harmonikler) arttığı, 7. derece ve üstü harmonik akımlarının ise azaldığı gözlenmiştir.







Şekil 5.21 $h=3$ 'den $h=13$ 'e kadar arka plan lamba sayısına bağlı azalma faktörü değişimi

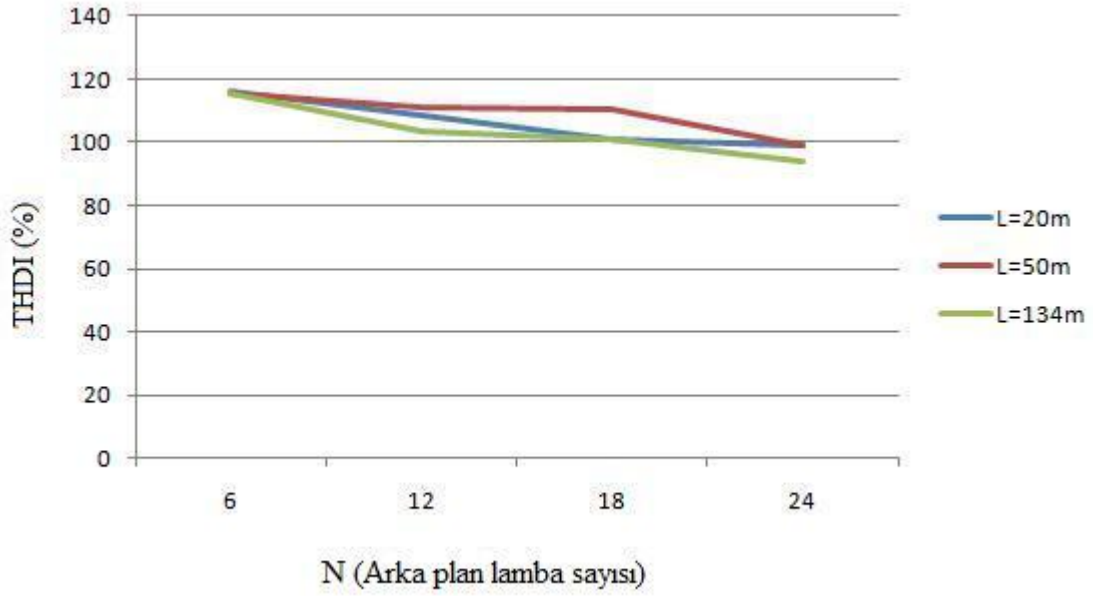
Çizelge 5.8 Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %AF değişimi (farklı kablo uzunlukları için)

h	Kablo uzunluğu		
	20m	50m	134m
3	14,16	11,3	11,46
5	31,25	12,08	5,38
7	-31,01	-54,65	-58,05
9	-71,82	-85,4	-82,99
11	-83,64	-83,09	-80,01
13	-81,65	-75,94	-73,87
15	-80,7	-76,31	-68,84
17	-66,66	-63,03	-49,23
19	-38,46	0	-34,81
21	-33,33	-50	-50

Şekil 5.22 THD_I 'nın N ile etkileşimini göstermektedir. N'in 0'dan 24'e artışıyla % THD_I ve % THD_V değişimi Çizelge 5.9'da gösterilmiştir. THD_I üzerinde arka plan lamba sayılarının etkisi belirgindir.

Çizelge 5.9 Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda % THD_I ve % THD_V değişimi (farklı kablo uzunlukları için)

Kablo uzunluğu	20m	50m	134m
THD_V 'daki değişim	1,1%	2,8%	2,6%
THD_I 'daki değişim	-17,3%	-16,1%	-21,3%



Şekil 5.22 N arka plan lamba sayısının değişmesiyle %THD_I 'daki değişim

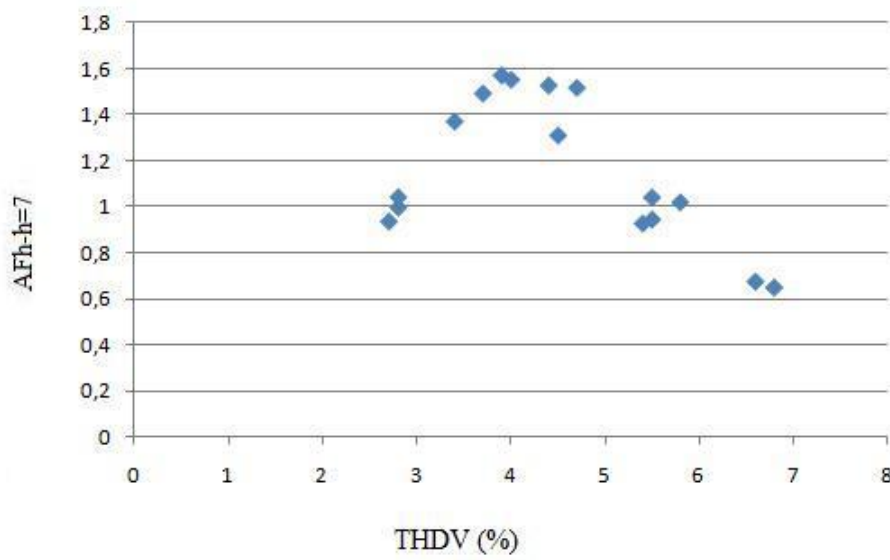
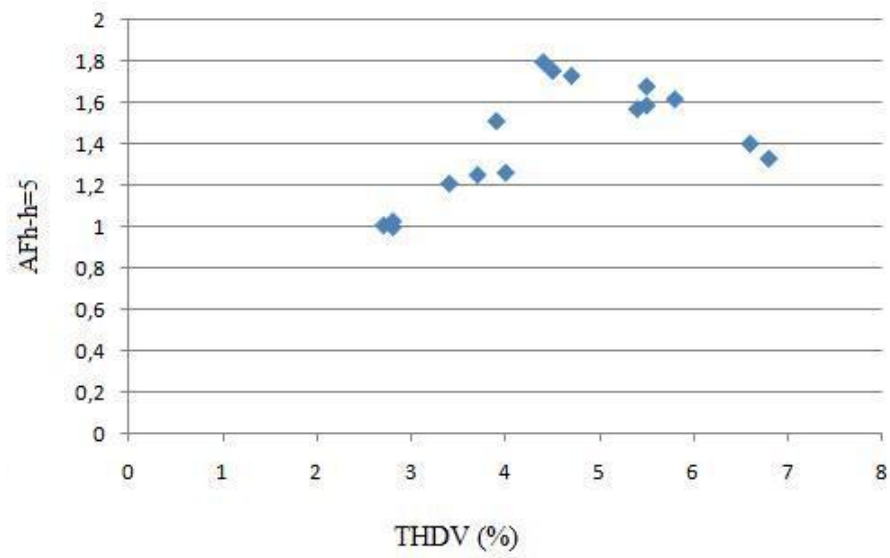
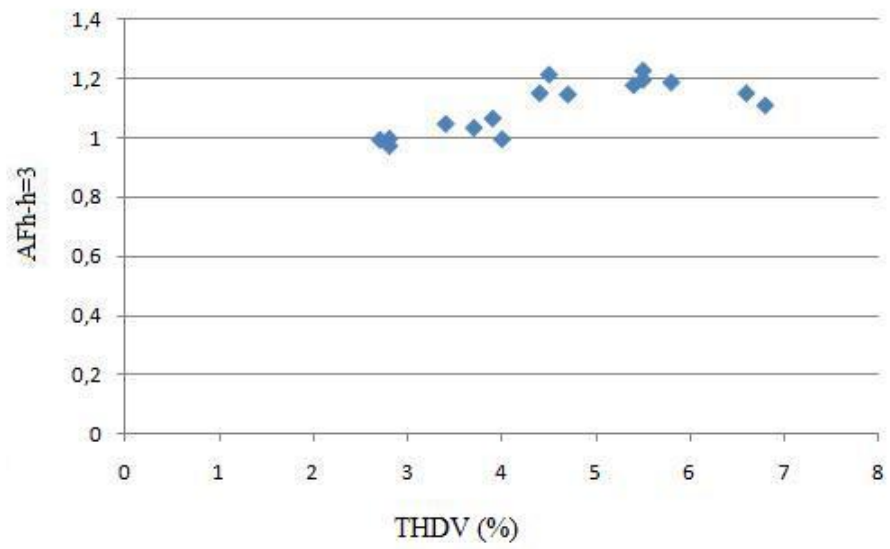
5.4.4 Kaynak THD_V'sinin Etkisi

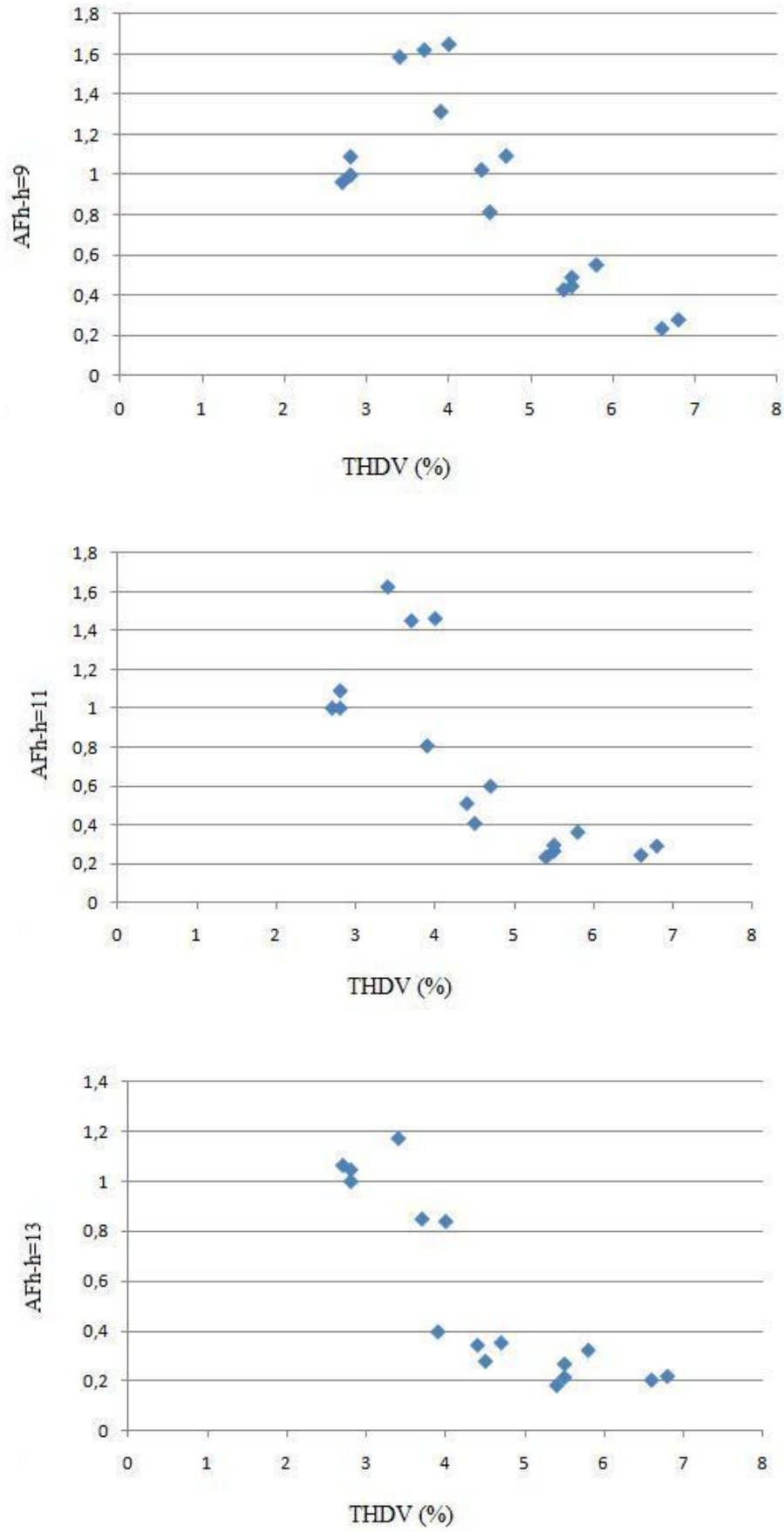
L ve N'nin bileşke etkisi THD_V üzerine yansıtılmış ve elde edilen THD_V'nin azalma faktörü üzerine etkisi Şekil 5.23'de gösterilmiştir. Hesaplanan değerler çizelge 5.10'de sunulmuştur. Şekil 5.23 'de 3. harmonik bileşeni dışında THD_V'nin %4 ve üstü değerleri için AF_h 'daki azalma açıkça görülmektedir. 3. harmonik bileşeninde ise THD_V 'nin artışıyla doğru orantılı bir artış görülmektedir.

Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi THD_V genliği arttıkça 3. ve 5. harmonik dereceleri genlik olarak artar. Fakat Şekil 5.23'de görüldüğü gibi 5. harmonikteki artış oranı THD_V %4'ün üzerine çıktığında azalmaktadır. Daha büyük dereceli harmoniklerde ise THD_V'nin artışıyla orantılı bir azalma görülmektedir.

Çizelge 5.10 %THD_V 'nin %2.7'den %6.8'e değişimi ile % AF değişimi

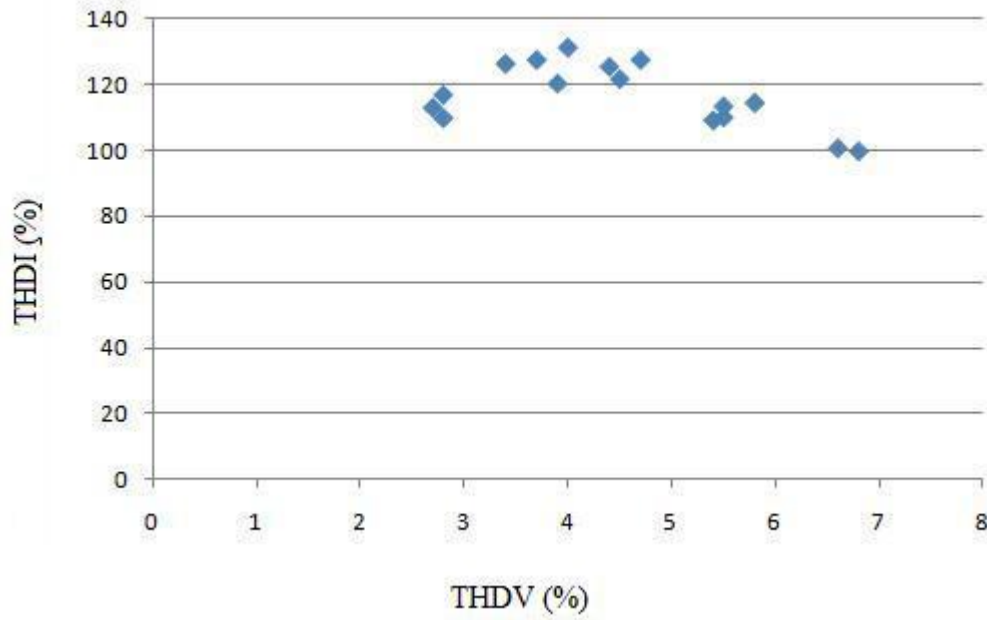
h	AF değişimi [%]	h	AF değişimi [%]
3	11,71	13	-79,39
5	32	15	-85
7	-30,55	17	-74,11
9	-70,9	19	-82,4
11	-70,81	21	-88,1





Şekil 5.23 THDV_v'nin %2.7 ile %6.8 arasında değişmesi ile azalma faktöründeki değişme

Bozulmuş gerilimin, harmonikli akım enjeksiyonu üzerindeki etkisi belirgindir. THD_V %2.7 ile %6.8 arasında değiştiğinde, THD_I 'da %11.86'lık bir azalma olur. Şekil 5.24 THD_V ile THD_I 'nın değişimini göstermektedir. Çizelge 5.7 ve 5.9 gösterir ki, THD_V ve sonuç olarak THD_I üzerinde arka plan bozulmasının etkisi, kablo uzunluğunun etkisine göre oldukça fazladır.



Şekil 5.24 THD_V 'nin %2.7 ile %6.8 arasında değişmesi ile THD_I 'da % değişme

5.4.5 Analiz Sonuçları

3 ile 13. harmonikler için AF_h değerleri Çizelge 5.11'da her bir kablo uzunluk ve arka plan seviyesi için özetlenmiştir. Çizelge 5.12'de bu kombinasyonların her biri için karşılık gelen $\%THD_V$ ve $\%THD_I$ 'yı göstermektedir. Çizelge aynı zamanda L arttıkça $\%THD_V$ ve THD_I 'deki değişimi (satırlar) ve N arttıkça $\%THD_V$ ve $\%THD_I$ 'deki değişimi (sütunlar) göstermektedir. Çizelge 5.12'den görüldüğü gibi THD_I 'deki azalma arka plan lamba sayısı değişiminde, kablo uzunluğunun değişimine göre daha çok olmaktadır. L , enjekte edilen akım bozulmasını açıkça etkilediği halde, N 'ye göre etkisi daha az belirgindir.

Çizelge 5.11 3-13.harmonikler için farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında AF_h değerleri

h=3	20m	50m	134m	h=9	20m	50m	134m
6 lamba	1,05	1,04	1,00	6 lamba	1,59	1,62	1,65
12 lamba	1,07	1,15	1,15	12 lamba	1,32	1,03	1,10
18 lamba	1,22	1,23	1,19	18 lamba	0,82	0,49	0,55
24 lamba	1,20	1,15	1,11	24 lamba	0,45	0,24	0,28
h=5	20	50	134	h=11	20	50	134
6 lamba	1,21	1,25	1,26	6 lamba	1,62	1,45	1,46
12 lamba	1,51	1,80	1,73	12 lamba	0,81	0,51	0,60
18 lamba	1,76	1,68	1,62	18 lamba	0,41	0,30	0,36
24 lamba	1,59	1,40	1,33	24 lamba	0,27	0,24	0,29
h=7	20	50	134	h=13	20	50	134
6 lamba	1,37	1,50	1,55	6 lamba	1,17	0,85	0,84
12 lamba	1,57	1,53	1,52	12 lamba	0,40	0,34	0,35
18 lamba	1,31	1,04	1,02	18 lamba	0,28	0,27	0,32
24 lamba	0,95	0,68	0,65	24 lamba	0,22	0,20	0,22

Çizelge 5.12 Farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında bağlantı noktasındaki $\%THD_V$ ve $\%THD_I$ değerleri

$THD_V(\%)$	20m	50m	134m	$\Delta THD_V(\%)$
6 lamba	3,10	2,80	3,10	0,00
12 lamba	3,40	3,60	3,70	0,30
18 lamba	3,60	4,50	4,60	1,00
24 lamba	4,20	5,60	5,70	1,50
$\Delta THD_V(\%)$	1,10	2,80	2,60	

$\Delta THD_I(\%)$	20m	50m	134m	$\Delta THD_I(\%)$
6 lamba	116,10	115,30	115,30	-0,80
12 lamba	108,20	111,30	103,70	-4,50
18 lamba	100,60	110,10	100,60	0,00
24 lamba	98,80	99,20	94,00	-4,80
$\Delta THD_I(\%)$	-17,30	-16,10	-21,30	

Kompakt floresan lambalar düşük güç faktörü ve harmonik yayıcı karakteristik göstermektedir. Bu dokümanda tipik kompakt floresanlar, tipik konutsal gerilim kaynağı ile karakterize edilmişlerdir. Örnek lambanın azalma etkisi nicel olarak değerlendirilmiştir. Kaynak kablosunun uzunluğunun ve arka plan bozulmasına neden olan lamba sayılarının değişiminin etkisi belirtilmiştir. Çalışma gerçek koşulları oluşturabilmek için tipik ev kablolarını ve IEA tarafından ev için belirtilen ortalama lamba sayısını dikkate almıştır.

THD_I üzerinde lambaların etkisi karakterize edilmiştir. Sonuç bulgular şu şekildedir.

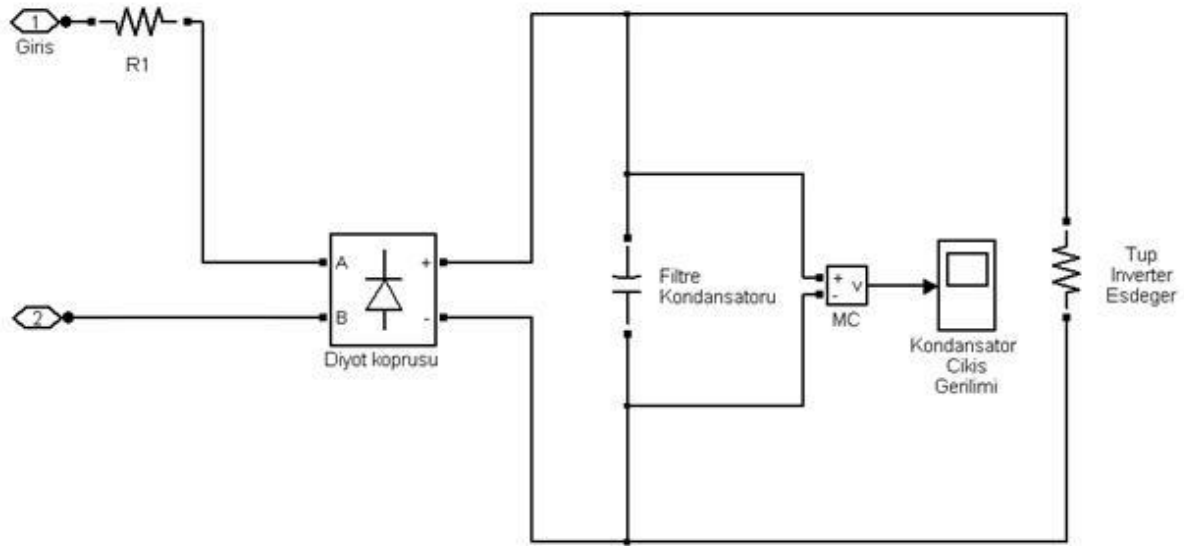
- Düşük ve yüksek derece harmonikler için azalma etkisi farklıdır. 3, 5 ve 7. harmoniklerde harmonik akımındaki artış belirli bir noktadan sonra azalmaya başlarken, 3 ve 5. Harmonik için azalma faktörü hiçbir durumda birin altına inmez. 7 ve üstü harmoniklerde arka plan bozulmasının azalma faktörü üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Kablo uzunluğunun etkisi ise sınırlıdır. Yine de bu harmonik dereceleri için her iki değişkende harmonik akımlarında sürekli bir azalmaya neden olmaktadır.
- Arka plan bozulması oluşturan lambaların THD_I üzerindeki azaltıcı etkisi kablo uzunluğuna göre daha fazladır. Kablo uzunluğu, lamba sayısı ve THD_V 'nin, THD_I ve azalma faktörü üzerindeki etkisi gibi etkiler kompakt floresan lambalar modellenirken dikkate alınmalıdır.

6. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

5. bölümde kompakt floresanın inverter ve tüp devresinin eşdeğer direnç ile modellenebileceği gösterilmiştir. Bu kısımda ise elde edilen ve Şekil 5.4’de gösterilen bu model simülasyon ortamına aktarılmıştır.

6.1 Kompakt Floresan Simülasyon Modelinin Lamba ile Karşılaştırılması

Şekil 5.4’deki devre şeması kullanılarak, Şekil 6.1’de görüldüğü gibi 4150 Ω ’luk eşdeğer direnç değeri ile lamba MATLAB/SIMULINK simülasyon ortamında modellenmiştir. Bu modele gerçek lambaya uygulanan gerilim, faz açıları da dikkate alınarak uygulanmıştır. Modelleme de baz alınan gerilim ve gerilime ait faz açıları Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.



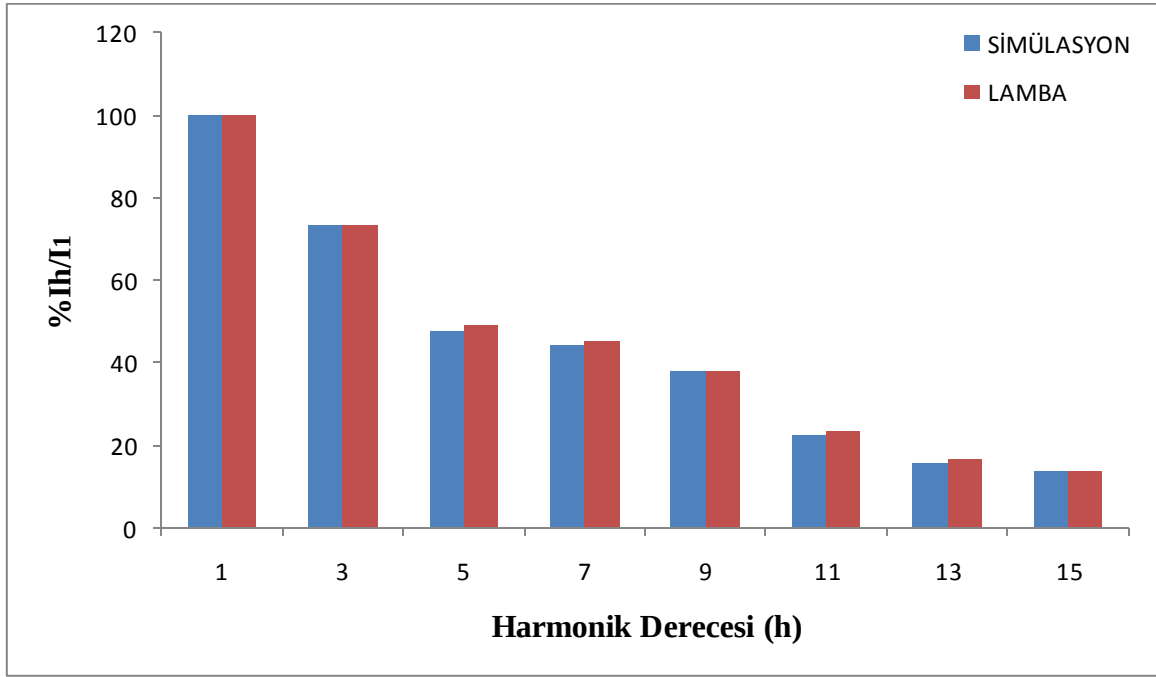
Şekil 6.1 Kompakt floresan Simülasyon Modeli

Çizelge 6.1 Simülasyon modeline ve lambaya uygulanan gerilim ve gerilimlere ait faz açıları

Harmonik Derecesi	V1	%V3	%V5	%V7	%V9	%V11	%V13	%V15
Gerilim	220V	0,8	1,6	1,8	0,8	0,4	0,2	0,4
Açı (derece)	0	150	-128	-27	164	123	130	-174

Bu durumda lambanın çektiği aktif güç 17,75 W olup, lamba akımının efektif değeri $I_{RMS}=0,136A$ ’dır. Temel bileşen akımı 0,089 A’dır. Buna karşılık simülasyon devresinin aynı besleme koşulları altında çektiği aktif güç 17,75 W olup, $I_{RMS}=0,130A$ ve temel bileşen akımı 0.0879’dur. Görüldüğü gibi aktif güç ve çekilen akım değerleri birbirine çok yakındır.

Modelleme için Şekil 6.1’de gösterilen simülasyon devresi kullanılmıştır. Bu devre 5. Bölümde elde edilen eşdeğer devrenin birebir aynısıdır. Lamba ve simülasyon devresi akım spektrumlarının karşılaştırması Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi harmonik akımları yüzdeleri birbirlerine oldukça yakındır. Böylece simülasyon modelinin kompakt floresanların harmonik modellemesi için uygun olduğu görülmektedir.

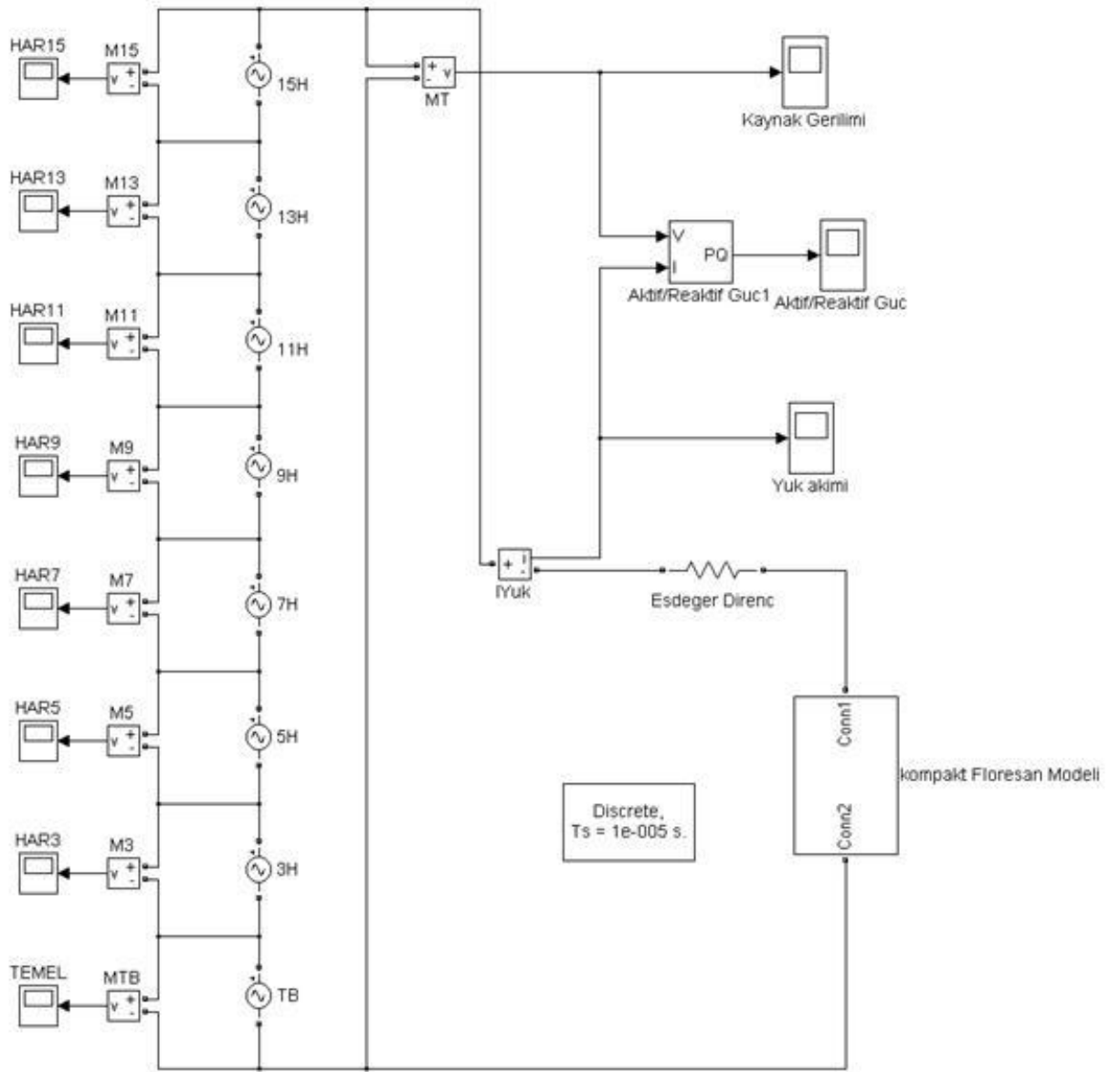


Şekil 6.2 Simülasyon modeli ile lamba akım harmonik spektrumlarının karşılaştırılması

6.2 Azalma Etkisinin Simülasyon Modeli Üzerinde İncelenmesi

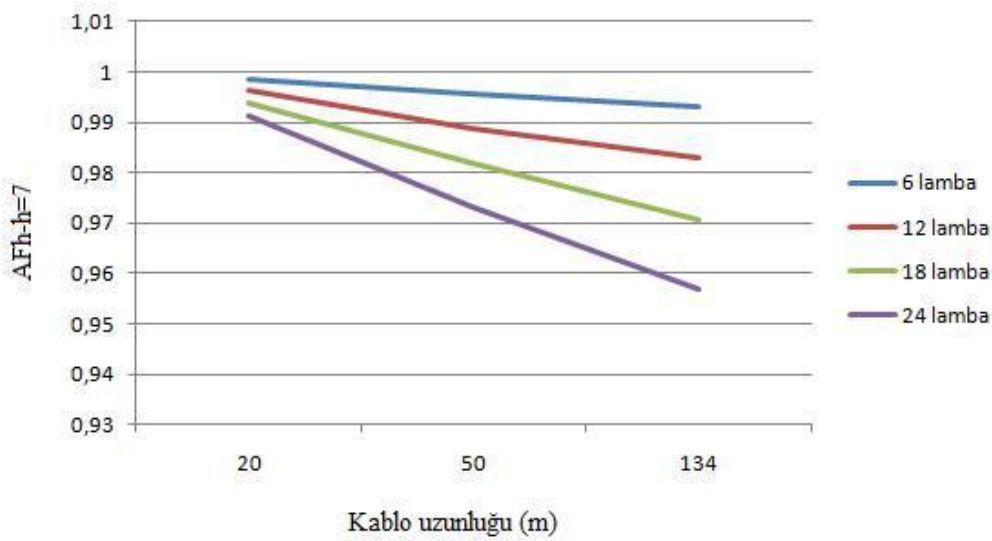
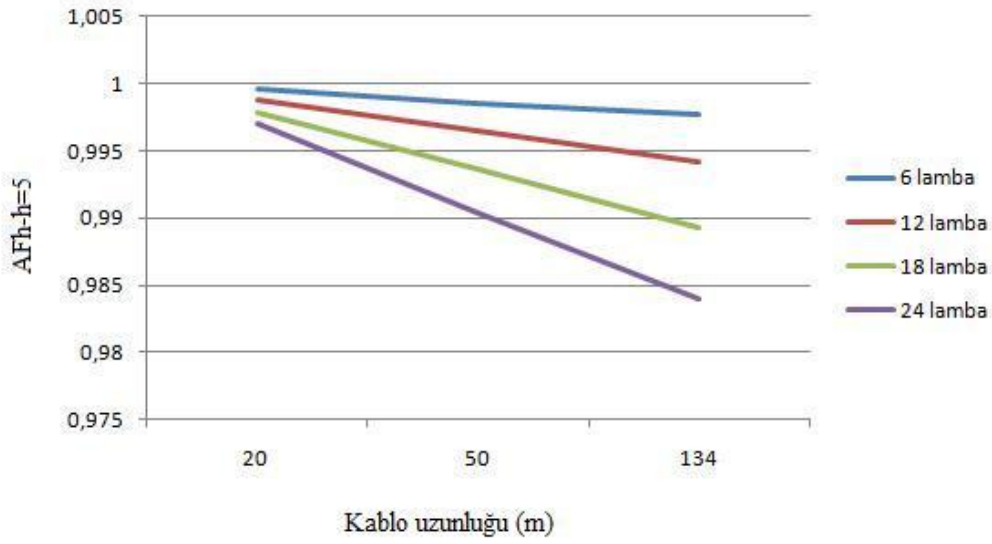
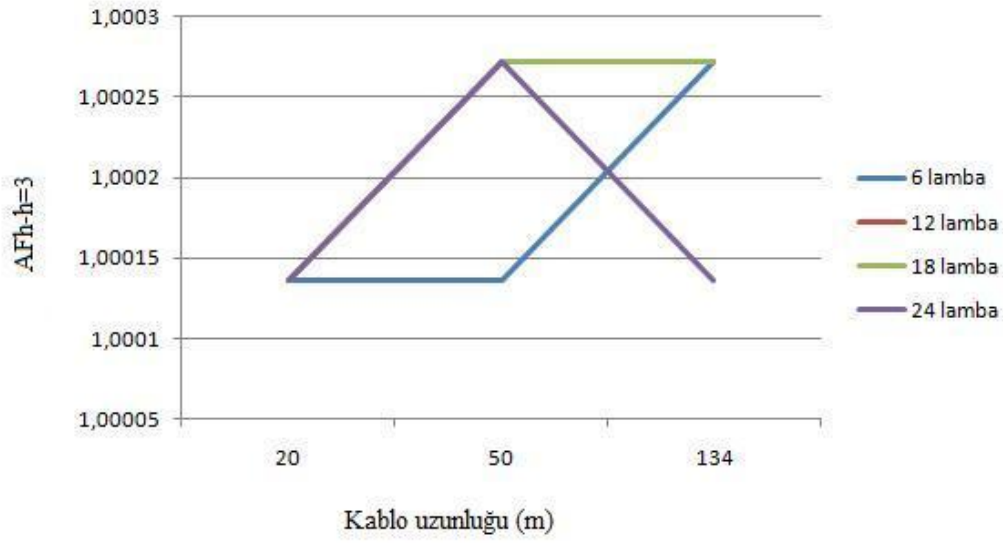
6.2.1 Kablo Uzunluğunun Etkisi

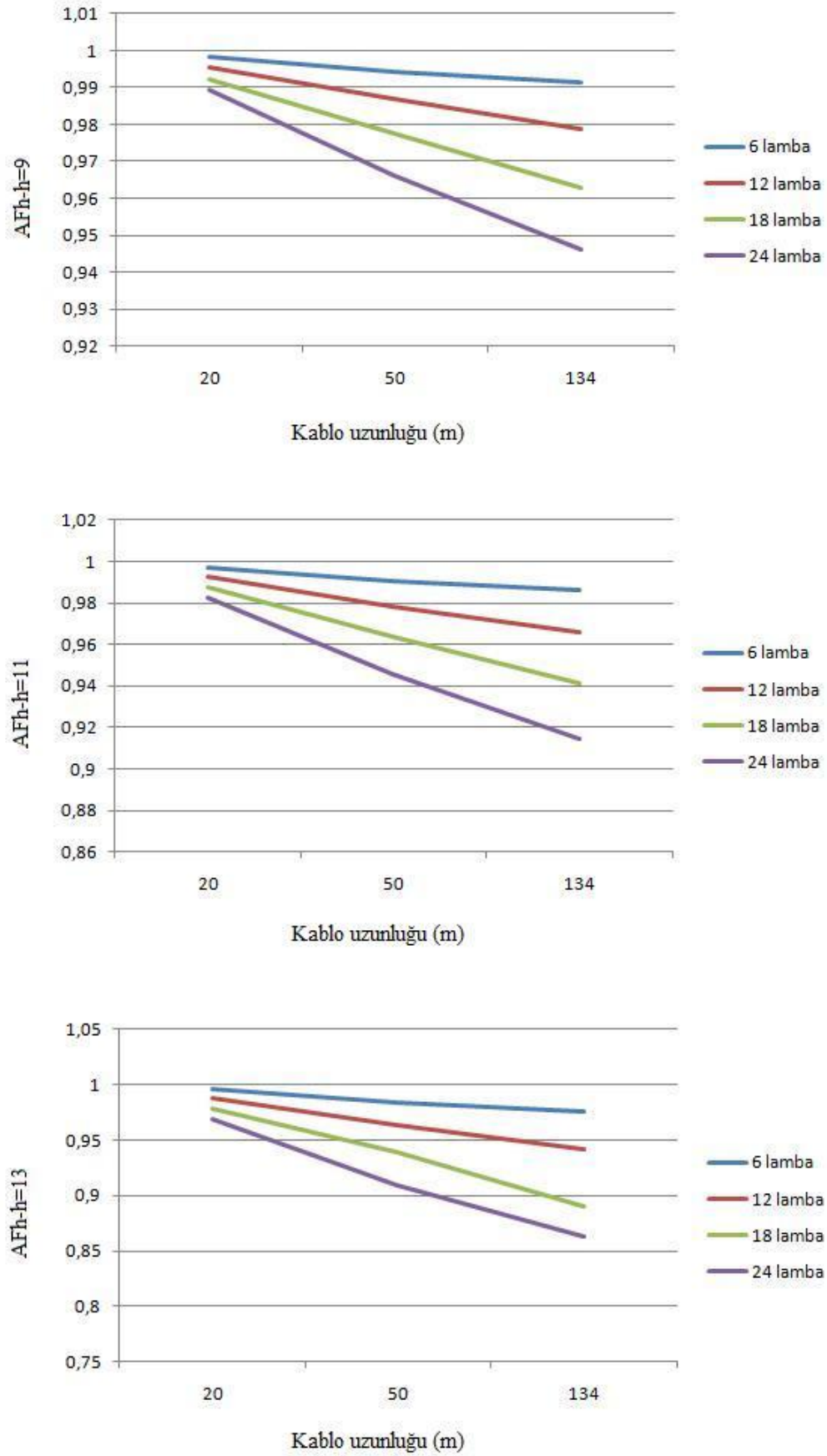
Kablo uzunluğunun azalma faktörü üzerindeki etkisinin test edilmesi için Şekil 5.18’deki düzenek, Şekil 6.3’de görüldüğü gibi simülasyon ortamında oluşturulmuştur. Kablo uzunluğunun etkisinin analizi için daha önce belirlenen 20, 50 ve 134 m uzunluğundaki kablolar, deneyde kullanılan kabloların dirençleri dikkate alınarak simülasyonda 0,47 Ω , 0,57 Ω ve 0,81 Ω eşdeğer dirençlerle modellenmişlerdir. Eşdeğer dirençlere, 6, 12, 18, 24’lü gruplar halinde kompakt floresan simülasyon model grupları bağlanarak kablo uzunluğunun azalma faktörü üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Simülasyonda kompakt floresan modellemesi için baz alınan ve Çizelge 6.1’de bileşenleri ve faz açıları verilen gerilim dalgası baz alınmıştır.



Şekil 6.3 Deney devresi simülasyon modeli

Şekil 6.4’de 3 ile 13. akım harmoniği bileşenleri için kablo uzunluğu (L) değiştirmenin AF üzerindeki etkisi görülmektedir. Ek olarak Çizelge 6.2’de AF’deki yüzdesel artma ve azalma gösterilmiştir. Çizelge 6.2’deki sonuçlar hat uzunluğu 20 ile 134 m arasında değiştiğindeki sonuçları yansıtır. Artı değer azalma faktöründe bir artış olduğunu gösterir. Simülasyon sonuçları gösterir ki (L) arttıkça sabit gerilim uygulanması durumunda 3. harmonik dışındaki harmonik akımları azalır. Harmonik akımlardaki azalma harmonik bileşeni katsayısıyla doğru orantılı olarak artmaktadır.



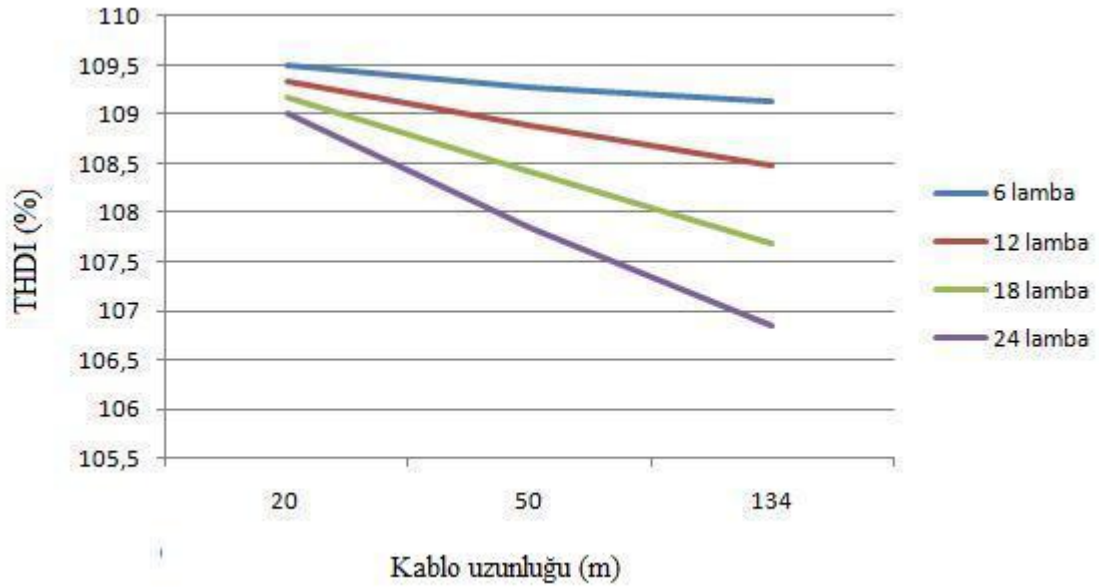


Şekil 6.4 $h=3$ 'den $h=13$ 'e kadar kablo uzunluğuna bağlı olarak azalma faktöründeki değişim

Çizelge 6.2 Kablo uzunluğunun 20m'den 134m'ye değişmesi durumunda %AF değişimi (her bir lamba grubu için)

	Arka plan bozulması			
h	6 lamba	12 lamba	18 lamba	24 lamba
3	0,01	0,01	0,01	0,01
5	-0,18	-0,46	-0,86	-1,30
7	-0,54	-1,34	-2,35	-3,47
9	-0,68	-1,69	-2,95	-4,34
11	-1,11	-2,74	-4,74	-6,9
13	-1,97	-4,63	-9,02	-11
15	-1,89	-4,41	-7,49	-10,47
17	-3,125	-7,05	-12,32	-16,69

Kablo uzunluğunun THD_I üzerinde de etkisi vardır. Şekil 6.5 THD_I üzerinde kablo uzunluğunun (L) değişiminin etkisini göstermektedir.



Şekil 6.5 Kablo uzunluğuna bağlı olarak THD_I 'daki değişim

Çizelge 6.3 kablo uzunluğunu değiştirmenin THD_I ve THD_V üzerindeki etkisini göstermektedir. Kablo uzunluğu 20 m'den 134 m'ye değiştiğinde THD_I 'deki azalma %2.16 değerine ulaşmaktadır (en yüksek arka plan bozulması oluştuğunda).

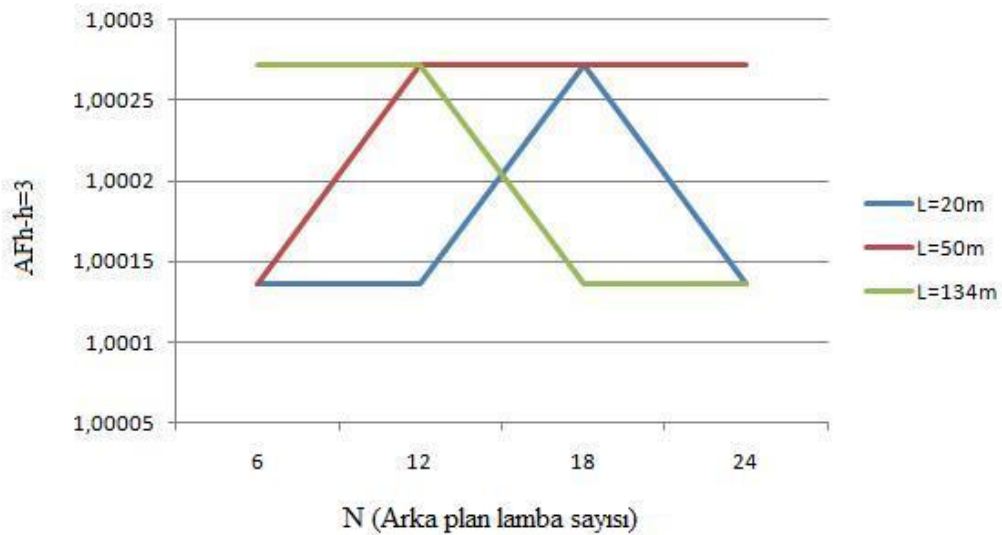
Çizelge 6.3 L'nin 20 m'den 134 m'ye değişmesi durumunda %THD_I ve %THD_V değişimi (her bir lamba grubu için)

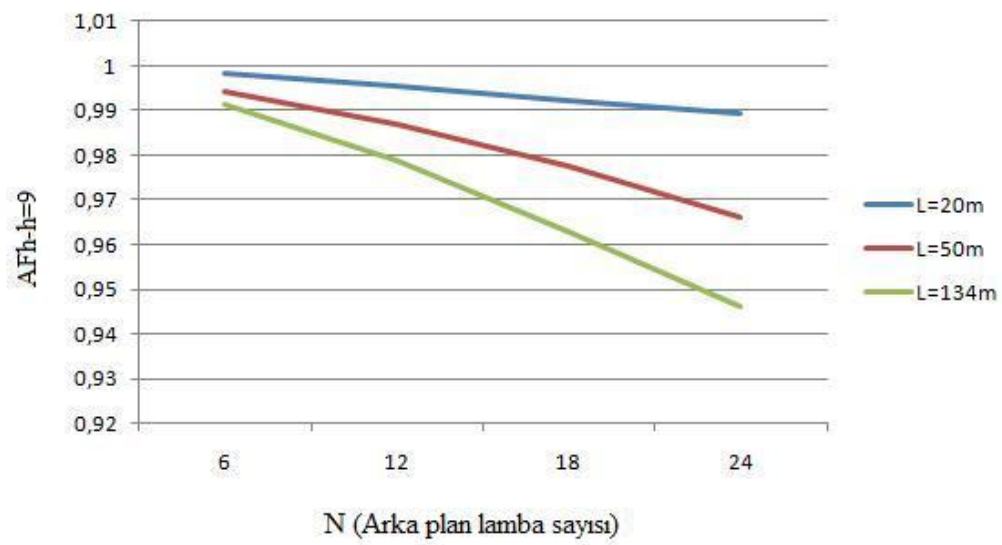
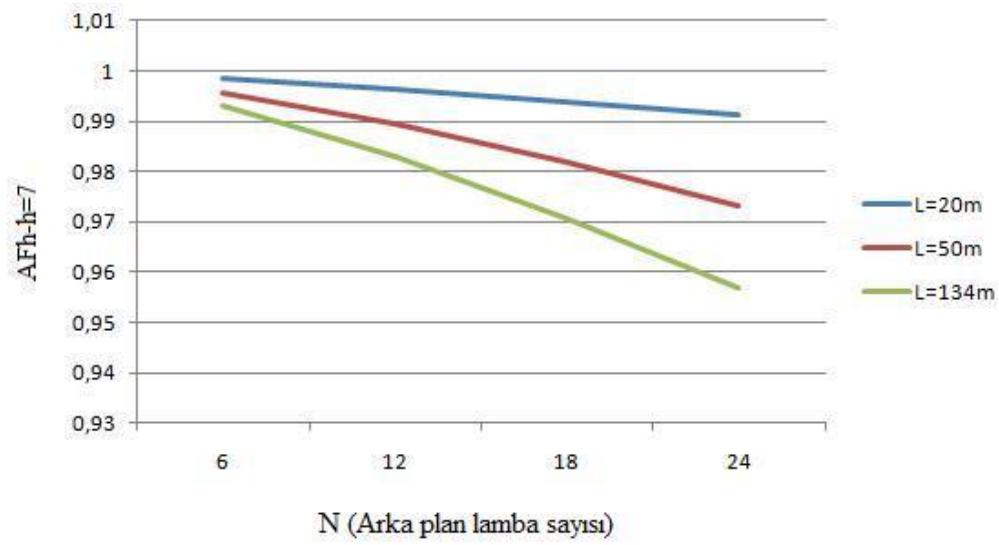
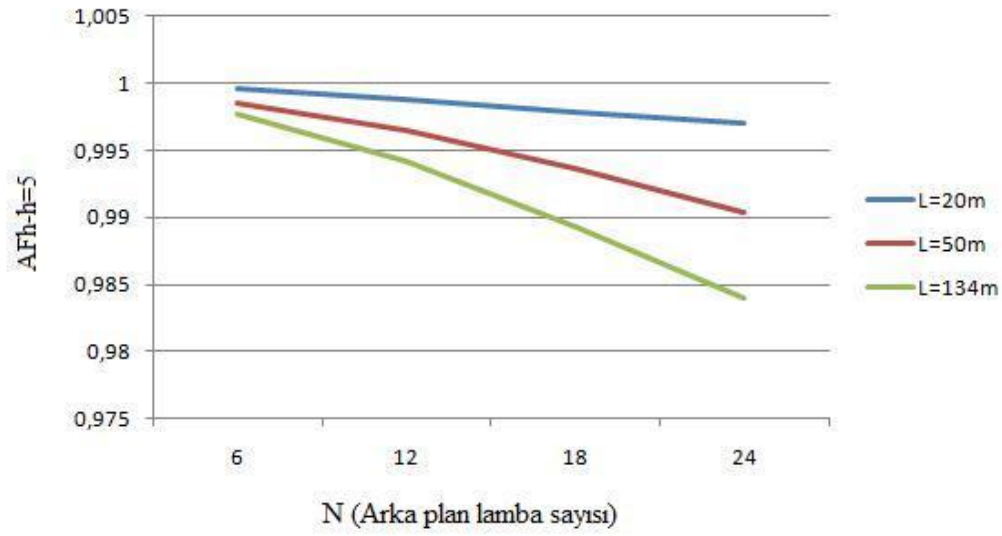
Arka plan bozulması	6 lamba	12 lamba	18 lamba	24 lamba
THD _V 'daki değişim	0,01%	0,04%	0,06%	0,1
THD _I 'daki değişim	-0,36%	-0,86%	-1,49%	-2,17%

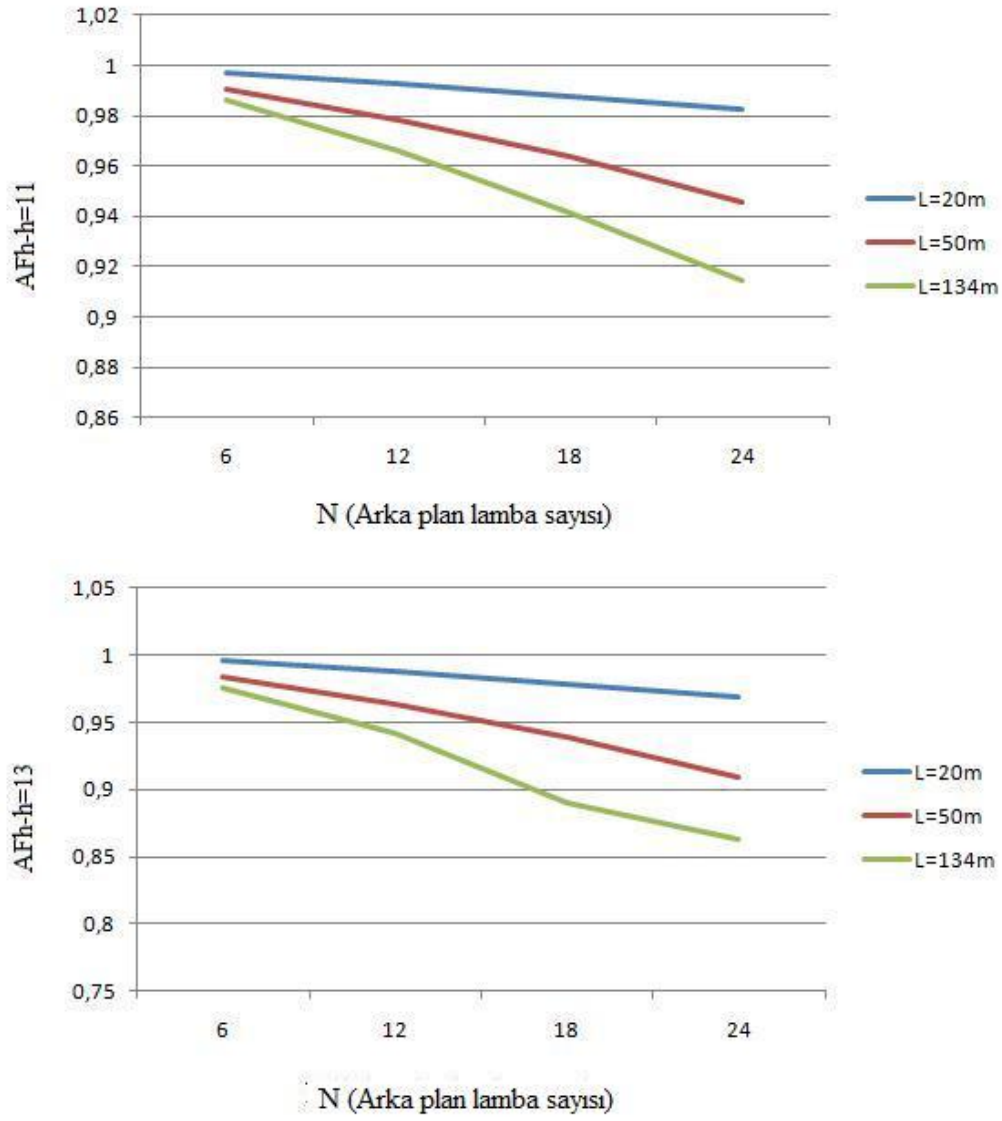
6.2.2 Arka Plan Distorsiyonunun Etkisi

Bu kısımda arka plan distorsiyonunun etkisi simülasyon ortamında incelenecektir. Arka plan distorsiyonu oluşturmak için Philips Economy 20 W kompakt floresan lambanın deneyler sonucu elde edilen eş değer devresi simülasyon ortamına aktarılmış, 6, 12, 18 ve 24'lü gruplar halinde Çizelge 6.1'de özellikleri verilen gerilim ile beslenmiştir.

Şekil 6.6 ve Çizelge 6.4 devredeki lamba sayısı değiştiğinde elde edilen test sonuçlarını göstermektedir. Kaynak gerilimi bozulması arttığında, 3. Harmonik akımları dışında tüm harmonik akımlarının dereceleri ile orantılı olarak azaldığı gözlenmiştir. 3. Harmonik akımı ise kaynak gerilim bozulmasının belirli seviyesine kadar artarken, sonra azalma eğilimi göstermektedir.







Şekil 6.6 $h=3$ 'den $h=13$ 'e kadar arka plan lamba sayısına bağlı azalma faktörü değişimi

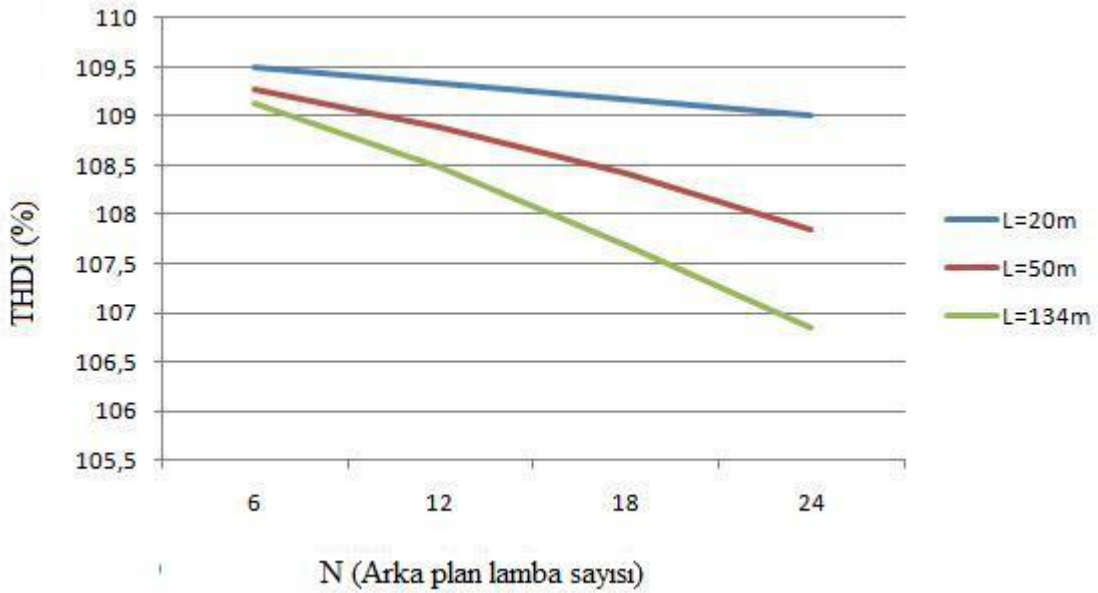
Çizelge 6.4 Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %AF değişimi (farklı kablo uzunlukları için)

h	Kablo uzunluğu		
	20m	50m	134m
3	0	0,01	-0,01
5	-0,25	-0,82	-1,37
7	-0,72	-2,25	-3,65
9	-0,92	-2,81	-4,57
11	-1,47	-4,5	-7,24
13	-2,61	-7,55	-11,58
15	-2,55	-7,23	-11,07
17	-4,34	-11,70	-17,74

Şekil 6.7 THD_I'nin N ile etkileşimini göstermektedir. N'in 0'dan 24'e artışıyla %THD_I ve %THD_V değişimi Çizelge 6.5'de gösterilmiştir. THD_I üzerinde arka plan lamba sayılarının etkisi belirgindir.

Çizelge 6.5 Arka plan lamba sayısının 0'dan 24'e değişmesi durumunda %THD_I değişimi (farklı kablo uzunlukları için)

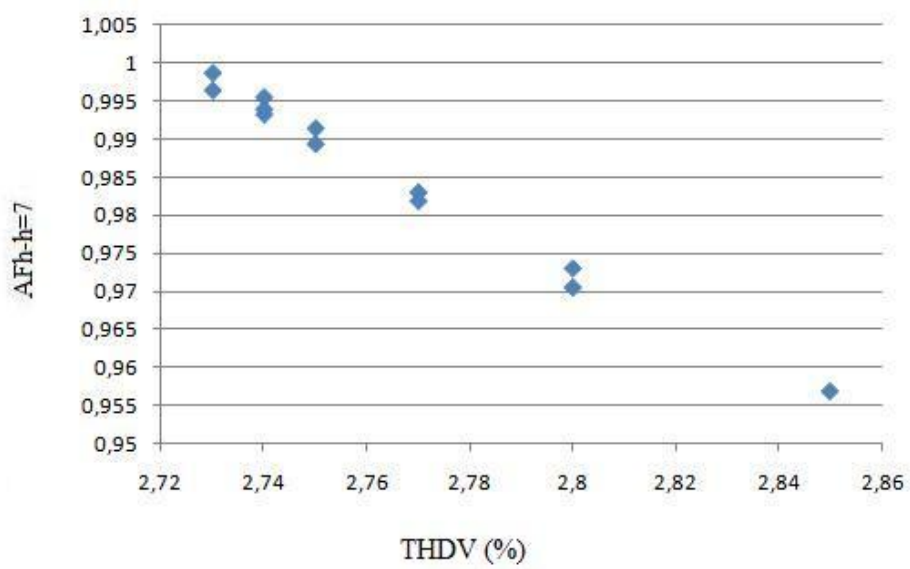
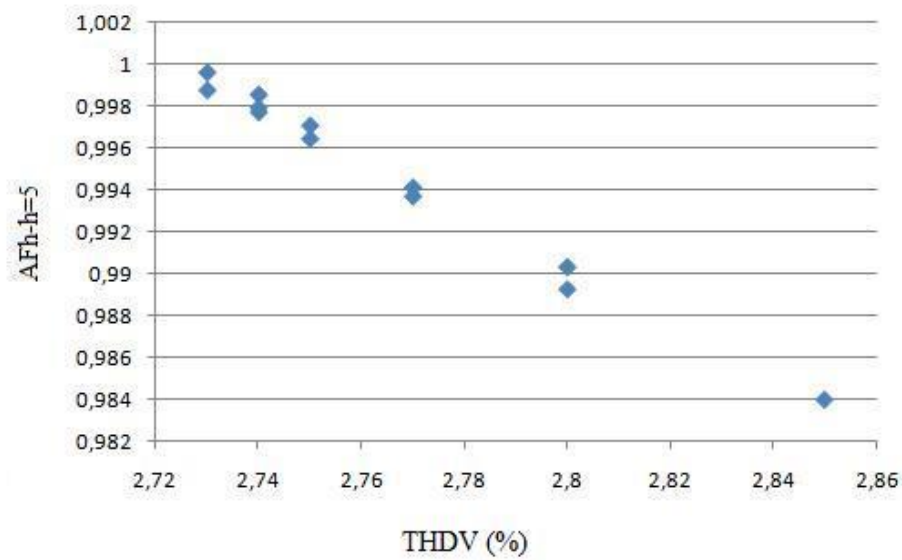
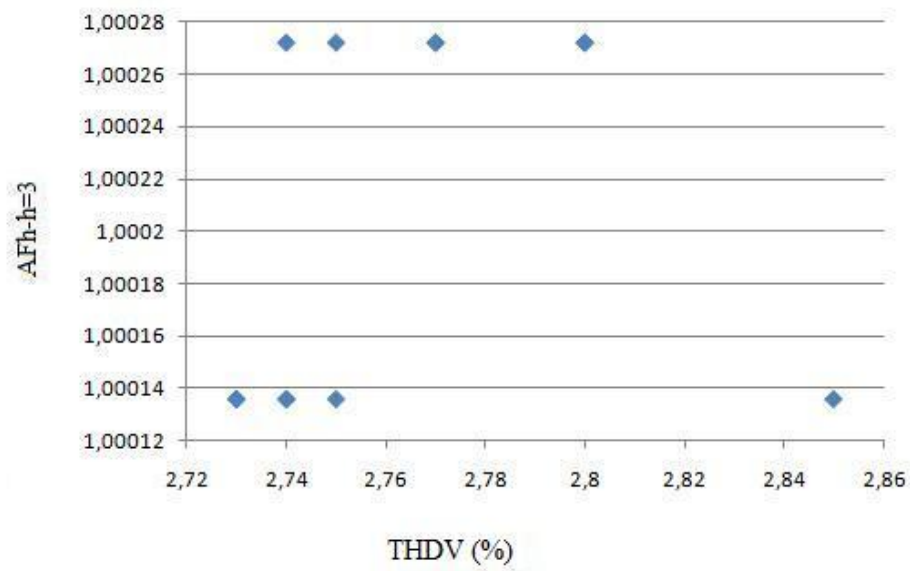
Kablo uzunluğu	20m	50m	134m
THD _V 'daki değişim	0,02%	0,06%	0,11%
THD _I 'daki değişim	-0,47%	-1,44%	-2,28%

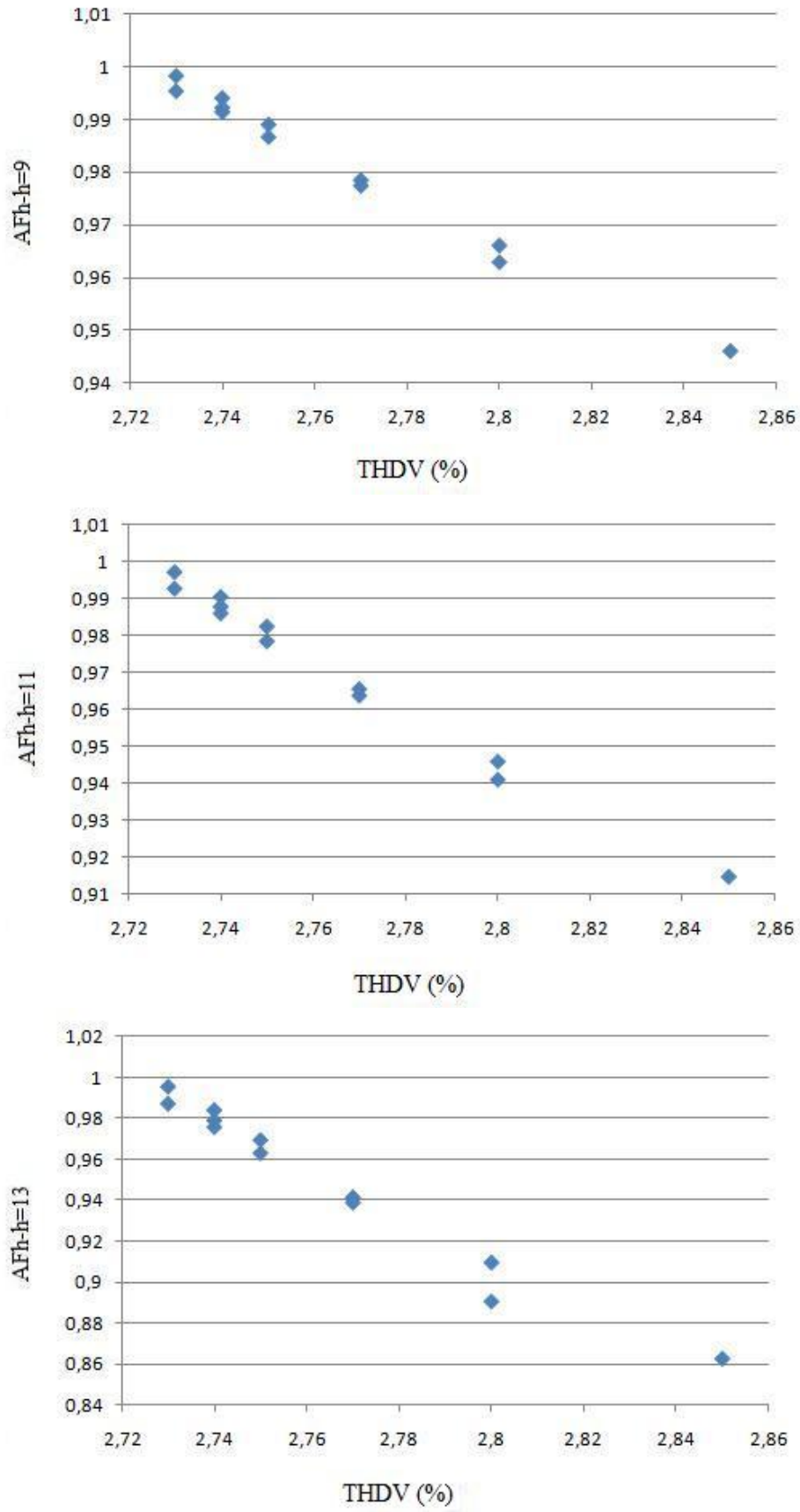


Şekil 6.7 N arka plan lamba sayısının değişmesiyle %THD_I 'daki değişim

6.2.3 Kaynak THD_V'sinin Etkisi

L ve N'nin bileşke etkisi THD_V üzerine yansıtılmış ve elde edilen THD_V'nin azalma faktörü üzerine etkisi Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Hesaplanan değerler Çizelge 6.6'da sunulmuştur. Şekil 6.8 'de 3. harmonik bileşeni dışında THD_V'nin %2,72 ile 2,86 arasında değişmesi durumunda AF_h 'daki azalma açıkça görülmektedir. 3. harmonik bileşeni ise THD_V 'nin düşük seviyedeki değişiminden etkilenmemektedir.





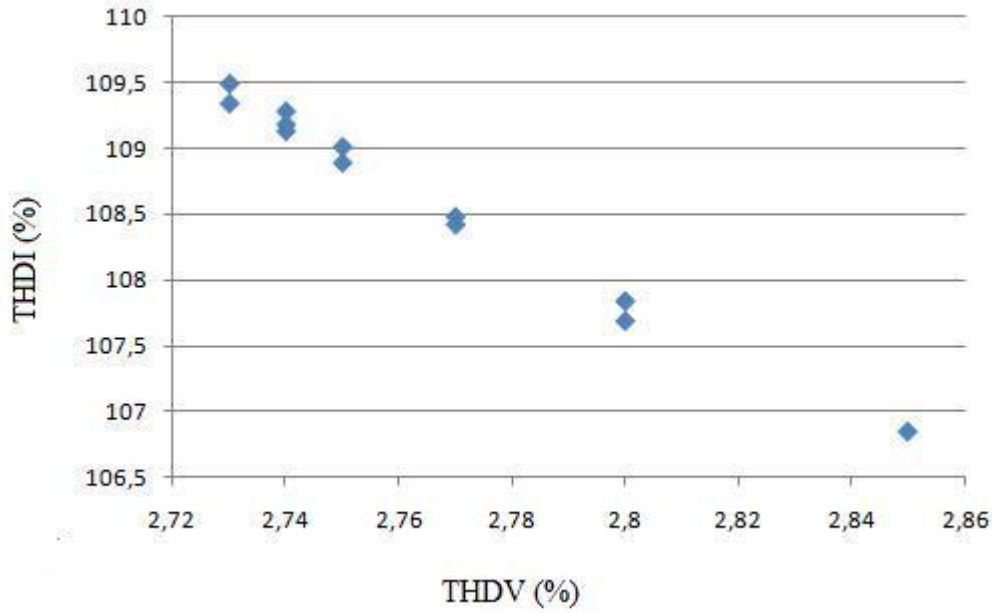
Şekil 6.8 THDV_v'nin %2.72 ile %2.86 arasında değişmesi ile azalma faktöründeki değişme

Çizelge 6.6 %THD_V 'nin %2.72'den %2.86'e değişimi ile % AF değişimi

h	AF değişimi [%]	h	AF değişimi [%]
3	0	11	-8,28
5	-1,55	13	-13,33
7	-4,18	15	-12,76
9	-5,23	17	-20,31

Bozulmuş gerilimin, harmonikli akım enjeksiyonu üzerindeki etkisi belirgindir. THD_V %2.72 ile %2.86 arasında değiştiğinde, THD_I'da yaklaşık %3'lük bir azalma olur. Şekil 6.9 THD_V ile THD_I'nın değişimini göstermektedir. Çizelge 6.3 ve 6.5 gösterir ki, THD_V 'deki artışa neden olan etkenlerin sayısına ya da uzunluklarına bağlı olarak THD_I 'da bir azalma görülmektedir.

Çizelge 6.6'den görüldüğü gibi THD_V genliği arttıkça 3. Harmonikte belirli bir değişme gözlenmezken, diğer harmoniklerde dereceleri ile orantılı bir azalma görülmektedir.

Şekil 6.9 THD_V 'nin %2.72 ile %2.86 arasında değişmesi ile THD_I 'da % değişme

6.2.4 Analiz Sonuçları

3 ile 13. Harmonikler için AF_h değerleri Çizelge 6.7'de her bir kablo uzunluk ve arka plan seviyesi için özetlenmiştir. Çizelge 6.8'de bu kombinasyonların her biri için karşılık gelen %THD_V ve %THD_I 'yı göstermektedir. Çizelge aynı zamanda L arttıkça %THD_V ve THD_I 'deki değişimi (satırlar) ve N arttıkça %THD_V ve %THD_I 'deki değişimi (sütunlar) göstermektedir. Çizelge 6.8'den görüldüğü gibi THD_I 'deki azalma arka plan lamba sayısı değişiminde, kablo uzunluğunun değişimine göre daha çok olmaktadır. L enjekte edilen akım bozulmasını açıkça etkilediği halde, N'ye göre etkisi daha azdır. Görülmüştür ki sabit kaynak

gerilimi koşulları altında, $\%THD_V$ ’deki ufak bir değişim THD_I ’da görünür bir değişime neden olmaktadır.

Çizelge 6.7 3-13.harmonikler için farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında AF_h değerleri

h=3	20m	50m	134m	h=9	20m	50m	134m
6 lamba	1,000	1,000	1,000	6 lamba	1,00	0,99	0,99
12 lamba	1,000	1,000	1,000	12 lamba	1,00	0,99	0,98
18 lamba	1,000	1,000	1,000	18 lamba	0,99	0,98	0,96
24 lamba	1,000	1,000	1,000	24 lamba	0,99	0,97	0,95
h=5	20m	50m	134	h=11m	20m	50m	134m
6 lamba	1,000	0,999	0,998	6 lamba	1,00	0,99	0,99
12 lamba	0,999	0,996	0,994	12 lamba	0,99	0,98	0,97
18 lamba	0,998	0,994	0,989	18 lamba	0,99	0,96	0,94
24 lamba	0,997	0,990	0,984	24 lamba	0,98	0,95	0,91
h=7	20m	50m	134m	h=13	20m	50m	134m
6 lamba	0,999	0,995	0,993	6 lamba	1,00	0,98	0,98
12 lamba	0,996	0,989	0,983	12 lamba	0,99	0,96	0,94
18 lamba	0,994	0,982	0,970	18 lamba	0,98	0,94	0,89
24 lamba	0,991	0,973	0,957	24 lamba	0,97	0,91	0,86

Çizelge 6.8 Farklı kablo uzunluğu ve arka plan lamba kombinasyonlarında bağlantı noktasındaki $\%THD_V$ ve $\%THD_I$ değerleri

$THD_V(\%)$	20m	50m	134m	$\Delta THD_V(\%)$
6 lamba	2,73	2,74	2,74	0,01
12 lamba	2,73	2,75	2,77	0,04
18 lamba	2,74	2,77	2,80	0,06
24 lamba	2,75	2,80	2,85	0,10
$\Delta THD_V(\%)$	0,02	0,06	0,11	

$THD_I(\%)$	20m	50m	134m	$\Delta THD_I(\%)$
6 lamba	109,49	109,28	109,13	-0,36
12 lamba	109,34	108,89	108,48	-0,86
18 lamba	109,18	108,42	107,69	-1,49
24 lamba	109,02	107,84	106,85	-2,17
$\Delta THD_I(\%)$	-0,47	-1,44	-2,28	

Kablo uzunluğunun ve arka plan lamba sayısının akım ve gerilim harmonik distorsiyonları üzerindeki azalma etkisi ile ilgili olarak yukarıda verilen simülasyon sonuçları deney sonuçlarıyla örtüşmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında, kompakt floresan lambaların enerji kalitesi üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için mevcut referans bilgileri baz alınarak öncelikle deney ortamında kompakt floresan lambanın eşdeğer devresi oluşturulmuş, bu devrenin harmonik üretim performansı aynı kaynak gerilimi koşulları altında lamba devresi ile karşılaştırılmış ve eş değer devrenin uygunluğu kanıtlanmıştır. Sonraki kısımda eşdeğer devre MATLAB/SIMULINK yazılımı ile simülasyon ortamına aktarılmış, simülasyon modeli elektriksel sonuçları, eşdeğer devre sonuçlarıyla karşılaştırılmak suretiyle uygun simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Aynı kaynak empedansını paylaşan sinüsoidal kaynaktan beslenen nonlinear yük grupları tarafından üretilen bozulmuş akım, kaynak empedansı üzerinde harmonik gerilim düşmelerine neden olmaktadır. Sonuç olarak, ortak baradaki gerilim non sinüsoidal olacaktır. Bu gerilim her yükte o yükün karakteristiğine bağlı olarak farklı akım dalgaları üretecektir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen deney ve simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi, girişinde filtre kondansatörlü doğrultucu bulunan nonlinear yüklere uygulanan gerilimin toplam harmonik distorsiyonunun (THD_V) artması halinde, nonlinear yük akımının toplam harmonik distorsiyonu (THD_I) azalmaktadır. Bölüm 5’de verilen deney sonuçlarına göre, 3. harmonik dışındaki diğer harmoniklerde THD_V ’nin %4 ve üstü değerleri için harmonik akımlarında belirli bir azalma söz konusudur. Harmonik kaynağı durumundaki lamba sayısının azalma faktörü üzerindeki etkisinin, kablo uzunluğunun etkisine göre daha fazla olduğu da kanıtlanmıştır. Bunun sebebi harmonik kaynaklarının % THD_V ’de, kaynak empedansına göre daha çok artışa neden olmasıdır. Simülasyon ortamında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Altıncı bölümdeki sonuçlardan görüldüğü gibi ideal kaynak gerilimi koşulları altında, % THD_V ’deki çok küçük bir değişim bile 5. harmonik ve üst dereceli harmonik akımlarında çok belirgin bir azalma meydana getirmektedir. 3. harmonik akımı ise deneylerde olduğu gibi yaklaşık sabit kalmaktadır. Yük gerilimi ile akım bozulması arasındaki bu etki, azalma etkisi olarak tanımlanmıştır. Nonlinear yüklerin modellenmesinde kullanılan geleneksel akım kaynağı modeli bu etkiyi kapsamaz ve simülasyon sonuçlarında harmonik bileşenleri gerçeğe oranla daha yüksek genlikte ortaya çıkar. Bu durum simülasyon modelinin başarısını düşürür.

Deneysel çalışmada, % THD_V ’deki artışın aynı elektriksel performansa sahip değişik markalı kompakt floresan lambalar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Lamba devreleri incelendiğinde benzer yapıya sahip oldukları ve bu lambaların benzer performans gösterdikleri

görülmüştür. %THD_V'nin çok yüksek değerleri için 3. ve 5. harmonik bileşenlerin genliklerinde bir azalma gözlenirken, diğer harmonik bileşenlerin genlikleri artmaktadır.

Kompakt floresan lambada doğrultucu çıkışındaki filtre kondansatörünün lamba performansı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için, diğer devre bileşenleri sabit tutularak sabit gerilim altında filtre kondansatörü değeri değiştirilmiştir. Artan kondansatör değeri ile DC gerilim efektif değeri de artarken, DC gerilim ideale yaklaşmaktadır. Böylece lamba aydınlatma seviyesi artar. Kondansatör kapasitesinin artışı lambanın kapasitif etkisinin de artmasına da sebep olduğundan distorsiyon güç faktörü artar. Akım dalga şeklinin bozulması sebebiyle THD_I değeri de yükselir. Böylece filtre kondansatörünün kapasitesinin arttırılması lambanın aydınlatma seviyesinin artışı gibi olumlu bir sonuca neden olurken, güç kalitesinin bozulması gibi olumsuz bir sonuca da neden olmaktadır.

Akkor filamanlı lambalara ve klasik floresan lambalara oranla ışıksal verimliliklerinin (lümen/watt) daha yüksek olması sebebiyle, kompakt floresan lambaların kullanımı son yıllarda teşvik edilmektedir. Bu tez çalışmasında deney sonuçlarından ve simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi kompakt floresan lambalar %100'e yakın THD_I değerleri ile sistemde önemli harmonik kaynakları olarak davranıp, güç kalitesini bozmaktadır. Gelecekte kompakt floresan lambaların kullanımının artacağı ön görüldüğünde, bu lambaların kullanımı ile bir yandan enerji tasarrufu sağlanırken diğer yandan güç kalitesi sorunları artacaktır. Bu nedenle daha etkin filtreli kompakt floresan lamba tasarımları teşvik edilmelidir.

Bu tez çalışmasında kompakt floresan lambaların sisteme enjekte ettiği harmonikler ve harmonik distorsiyonundaki azalma etkisi incelenmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, sistemde bulunan filtre kondansatörlü doğrultucu içeren diğer yüklerin kompakt floresan lambanın harmonik bileşenleri üzerindeki etkisinin araştırılması, filtre kondansatörü kapasitesinin değişiminin lambanın ömrü, ışık akısı ve ışıksal verimi üzerindeki etkisinin incelenmesi olacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmed, E.E., (2003), Assessment of Harmonic Distortions for Systems with Distributed Harmonic Sources, Ph. D. Thesis, University of Alberta.

Baggot, A.J., (1974), "The Effect of Waveshape Distortion on the Measurement of Energy Tariff Meters", International Conference sources and Effects of Power System Disturbances, Apr. 22-24.

Block J. (1993), Lighting Handbook 8th Edition, Illuminating Engineering Society of North America, New York.

CEI/IEC 1000-2-1, (1990), Electromagnetic Compability, Part 2: Environment for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Power Supply Systems.

Chen, M.T. ve Fu, C.M., (1997). "Characteristics of Fluorescent Lamps under Abnormal System Voltage Conditions", Electric Power System Research, 41 :99-107.

Chowdhury, A.H., Grady, W.M., Mansoor, A. ve Samotyj M.J., (1995), "An Investigation of Harmonic Attenuation and Diversity among Distributed Single-Phase Electronic Loads", IEEE Transactions on Power Delivery, 10(1).

Cigré 36.05/CIREN 2 CCO2 Voltage Quality Working Group and IEEE Interharmonic Task Force, et al., (1997) , "Interharmonics in Power Systems," , Jan.1997, 1:3-18

Compact Fluorescent Lamps Lighting Catalog, (1993) Osram Corporation.

Downing, W.C., (1974), "Watt-hour Meter Accuracy on Scr Controlled Resistance Loads", IEEE Transactions on Power Delivery.

Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Beaty H.W., (1996), "Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill.

El-Saadany, E.F. ve Salama, M.M.A., (1998), "Reduction of the Net Harmonic Current Produced by Single-Phase Non-Linear Loads due to Attenuation and Diversity Effects", Electrical Power & Energy Systems, 20(4): 259-268.

Faucett , M.A. ve Keener, C.A. (1945), "Effect of Harmonics on Watt-hour Meter Accuracy", Electrical World, 1:82-84

Fuchs, E.F., Roesler, D.J. ve Kovacs, K. P. (1987), "Sensitivity of Electrical Appliances to Harmonics and Fractional Harmonics of the Power System Voltage. Part I: Transformers and Induction Machines", IEEE Transactions on Power Delivery, 2(2): 437-444.

Hayes, A., Vitanza, A. ve Scollo R., (1999) "Technical Literature, Application Note-Electronic Fluorescent Lamp Ballast", STmicroElectronics, <http://eust.com>.

Hernes, M. ve Gustavsen, B. (2000), "Simulation of Shaft Vibrations Due to Interaction Between Turbine-Generator Train and Power Electronic Converters at the Visund Oil Platform.", Proceedings of the Power Conversion Conference 2002, 2-5 April Osaka 3:1381-1386.

IEEE Std 1459-2000, (2000), IEEE Trial-Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions, January 2000, New York

IEEE Std 519-1992, (1993), IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE, New York, April 1993.

IEEE Task Force on Harmonics Modelling and Simulation, (1996), "Modelling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks, Part I: Concepts, Models and Simulation Techniques", IEEE Transactions on Power Delivery 11(1).

IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations: Effects on Meter Performance and Definitions of Power, (1996), "Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads: A Discussion", IEEE Transactions on Power Delivery, 11(1):79-101.

Li, C. ve Xu, W., (2001) "On the Ambiguity of Defining and Measuring Interharmonics", IEEE Power Engineering Review.

Mak, S.T. ve Reed, D.L. (1982), "TWACS, a New Viable Two-Way Automatic Communication System for Distribution Networks. Part I : Outband Communication", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 101(8): 2941-2949.

Meyer, C. ve Nienhuis, H. (1988), Philips Technical Library, Deventer.

Nassif, A.B. ve Acharya, J., (2008), "An Investigation on the Harmonic Attenuation Effect of Modern Compact Fluorescent Lamps", Proceedings of the ICHQP 2008, Sept 28- Oct 1.

Nassif, A. (2009), Modelling, Measurement and Mitigation of Power System Harmonics, Doctor of Philosophy, University of Alberta.

Ouellette, M. (1993), "The Evaluation of Compact Fluorescent Lamps for Energy Conservation", Canadian Electrical Association, September 1993, Montreal.

Pileggi, D. ve Gentile, T., (1993), "The Effect of Modern Compact Fluorescent Lights on Voltage Distortion", IEEE Transactions on Power Delivery, 8(3): 1451-1459.

Reid, W.E. (1996), "Power Quality Issues-Standards and Guidelines", IEEE Transactions on Industry Applications, 32(3).

Roesler, D.J., Fuchs, E.F. ve Kovacks, K.P. (1987), "Sensitivity of Electrical Appliances to Harmonics and Fractional Harmonics of the Power System Voltage. Part II: Television Sets, Induction Watt-hour Meters and Universal Machines", IEEE Transactions on Power Delivery, 2(2): 445-453.

Sasaki, R.I. (1994), "The Impact of Electronic Ballast Compact Fluorescent Lighting on Power Distribution Systems", ECE Technical Reports, Purdue University School of Electrical Engineering.

IEA International Energy Agency, (2003), "Cool Appliances-Policy Strategies for Energy Efficient Homes", http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/cool_appliance2003.pdf.

IEC 61000-2-2, (2000), Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Low-Voltage Power Systems, Second Addition.

IEEE Task Force on Harmonics Modelling and Simulation, (2007), "Interharmonics: Theory and Measurement", IEEE Transactions on Power Delivery, 22(4)

Prudenzi, A. ve Grasselli, U. (2001) "IEC Std. 61000-3-2 Harmonic Current Emission Limits in Practical Systems: Needs of Considering Loading Level and Attenuation Effects", IEEE PES Summer Meeting 2001, 1:277-282

Staats, P.T., Grady, W.M., Mansoor, A., Thallam R. S., Doyle, M.T. ve Samotyj M.J., (1995), "Predicting the Net Harmonic Currents Produced by Large Numbers Distributed Single-Phase Computer Loads", IEEE Transactions on Power Delivery, 10(4): 2001-2006.

Tesla, A. ve Langella R., (2007) "Harmonic Pollution in Italian Distribution Networks in Coincidence with Important Sport Events", Electric Power System Research, 41: 99-107.

Wei, Z., Watson, N.R. ve Frater, L.P., (2008) "Modelling of Compact Fluorescent Lamps", Harmonics and Quality of Power 2008. ICHQP 2008. 13th International Conference on, 28 Sep. 2008-1 Oct. 2008, Wollengang, NSW.

Weiss, P. (1989), "Lighting the Way Towards More Efficient Lighting", Home Energy, January/February 1989 1:16-31.

Xu, W. ve Nassif, A.B., (2009), "Characterizing the Harmonic Attenuation Effect of Compact Fluorescent Lamps", IEEE Transactions on Power Delivery, 24(3):1748-1749.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.05.1983

Doğum yeri Konya

Lise 1998-2001 Bartın Davut Fırıncıoğlu Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri
Programı

Çalıştığı Kurum

2007-Devam ediyor Cedetaş Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti