

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ KALİTESİ VE FLİKER

İTÜ YÜKSEK LİSANS
DOKÜMANLARI MERKEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mustafa ATASAL

100870

100870

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ocak 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Adnan KAYPMAS

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Nejat TUNÇAY

Doç.Dr. Belgin TÜRKAY

Adnan Kaypmaz

Nejat Tunçay

Belgin Türkay

29.02.2000

ŞUBAT 2000

ÖNSÖZ

Genel olarak, ışık parlaltısındaki dalgalanmaların sebep olduğu kişiye özgü etkilenme olarak tanımlanan fliker gerek ölçülmesi ve gerekse giderilmesi zor olan bir sorundur. Bir güç sisteminde fliker sorununu çözmek için, önce sorunu ortaya koymak gerekir.

Güç kalitesi ve fliker incelendiği bu çalışmada, tez danışmanım Prof. Dr Adnan Kaypmaz'a, kaynak konusunda yardımcı olan Prof. Dr. M. Kemal Sarıoğlu'na, bilgisayarını kullanmama izin veren dayım Mehmet Şerif Kalaycı'ya ve araştırmalarımda yardımcı olan kardeşim Endüstri Mühendisi Murat Atasal'a teşekkür ederim.

Şubat 2000

Mustafa ATASAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	X
SEMBOL LİSTESİ	XIII
ÖZET	XIV
SUMMARY	XV
1. GİRİŞ	1
2. GÜÇ KALİTESİ	3
2.1 Güç Kalitesinin Önemi	3
2.2 Güç Kalitesi Nedir ?	4
2.3 Güç Kalitesini Bozan Etkenler	5
2.3.1 Geçici Olaylar	6
2.3.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	9
2.3.3 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	13
2.3.4 Gerilim Dengesizliği	14
2.3.5 Dalga Şekli Bozukluğu	15
2.3.6 Gerilim Dalgalanmaları	18
2.3.7 Güç Frekansı Değişimleri	18
3. FLİKER	20
3.1 Flikerin Tanımı	20
3.2 Gerilim - Işık Parlıltısı İlişkisi	20
3.3 Işık Parlıltısı Değişimi - Algılama	24
3.3.1 Görme Ve Algılama	24
3.3.2 Kritik Titreme (Kaynama) Frekansı	26
3.3.3 Parlıltı Değişiminin Etkileri	27
3.4 Fliker - Gerilim İlişkisi	28
4. FLİKER DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	29
4.1 Giriş	29
4.2 IEEE Fliker Standardı	29
4.3 IEC Fliker Standartları	31
4.3.1 Giriş	31
4.3.2 Tanımlar	32
4.3.3 Bağlı Gerilim Değişiminin Belirlenmesi	33

5. FLİKERMETRE	35
5.1 Giriş	35
5.2 U.I.E. Flikermetresi	37
5.2.1 Giriş	37
5.2.2 Genel Yapısı	37
5.2.3 Flikermetre'nin Analog Cevabı	39
5.2.4 Giriş Transformatörü	41
5.2.5 Gerilim Adaptörü	42
5.2.6 İç Generatör	43
5.2.7 Kare Alıcı Demodülatör	43
5.2.8 Blok 3 Filtreler	44
5.2.9 Ölçüm Aralığı Seçici	47
5.2.10 Blok 4 Kare Ve Ortalama Alma	47
5.2.11 İstatistik Analiz	48
5.2.12 Kısa Dönem Fliker Şiddet Faktörü	51
5.2.13 Uzun Dönem Fliker Şiddet Faktörü'nün Belirlenmesi	51
5.2.14 Performans Testi Ve Diğer Testler	52
6. FLİKER KESTİRİM YÖNTEMLERİ	54
6.1 Giriş	54
6.2 $P_{st} = 1$ YÖNTEMİ	54
6.3 Analitik Yöntem	56
6.3.1 Hesap Yöntemi	56
6.3.2 Şekil Faktörleri	57
6.4 Simülasyon	59
7. SINIR DEĞERLERİN BELİRLENMESİ	60
7.1 Giriş	60
7.2 Akımı 16 A Den Küçük A.G.Yükleri	60
7.2.1 Genel	60
7.2.2 Ölçüm Duyarlılığı	62
7.2.3 Besleme Gerilimi	62
7.2.4 Referans Empedans	62
7.2.5 Gözlem Periyodu	63
7.2.6 Test Koşulları	63
7.2.7 Sınır Değerler	64
7.3 Akımı 16 A Den Büyük A.G.Yükleri	64
7.3.1 Genel	64
7.3.2 Akımı 75 Ampere Kadar Olan Yüklerin Ölçüm Prosedürü	65
7.3.3 Akımı 75 Ampere Kadar Olan Yüklerin Değerlendirilmesi	66

7.3.4	Akımı 75 Amperden Büyük Olan Yüklerin Değerlendirilmesi	68
7.3.5	Alçak Gerilim Fliker Değerlendirme Diyagramı	70
7.4	Orta ve Yüksek Gerilim Yükleri	71
7.4.1	Genel	71
7.4.2	Temel Kavramlar	71
7.4.3	Genel Prensipler	75
7.4.4	OG Sistemlerindeki Dalgalanan Yükler İçin Emisyon Sınırları	80
7.4.5	YG Sistemlerindeki Dalgalanan Yükler İçin Emisyon Sınırları	84
7.4.6	Hızlı Gerilim Değişimleri İçin Emisyon Sınırları	88
7.5	Farklı Baralardaki P_{st} lerin Toplanması	90
8.	FLİKERİ SORUNUNA ÇÖZÜMLER	92
8.1	Giriş	92
8.2	Kaynağın Seçimi	92
8.2.1	Giriş	92
8.2.2	DC Ark Ocağı	93
8.2.3	AC Ve DC Ark Ocaklarının Karşılaştırılması	93
8.3	Kompasatörler	94
8.3.1	Giriş	94
8.3.2	Senkron Kompansatör/ Senkron Kondansatör	94
8.3.3	Sabit Paralel Kapasitör	96
8.3.4	Tristör Anahtarlama Kapasitörler (Doğrudan Sistem)	97
8.3.5	Tristör Kontrollü Reaktörler (Dolaylı Sistem)	98
8.3.6	Hatta Seri Kapasitör	100
8.3.7	AC Doymalı Reaktörler	101
9.	TİPİK DURUMLARDAN ÖRNEKLER	102
9.1	Haddeleme Yükü	102
9.2	Araba Parçalayıcı Yükü	103
9.3	Önerilen Çoklu Maden Taşıyıcı İncelemesi	108
9.4	Çoklu Kaynak Makinesi Yükü	110
9.5	60 Tonluk A.C. Ark Fırının Bağlanması	111
9.6	Sisteme Bağlı Ark Ocağının Kompanzasyonu	115
9.6.1	Giriş	115
9.6.2	Var Olan Durumu	116
9.6.3	Kabul Edilebilir Uygunluk Seviyeleri	116
9.6.4	Ölçüm Değerleri	117
9.6.5	Fliker Ve Gerilim Dalgalanmasına Çözüm	117
10.	SİMÜLASYON	120
10.1	Giriş	120

10.2	Modeller	120
10.2.1	Yük Modeli	120
10.2.2	Şebeke Modeli	121
10.2.3	Flikermetre Modeli	121
10.3	Referans Sistem	122
10.4	Sabit Paralel Kapasitör Bağlı Sistem	123
10.5	Hatta Seri Kapasitör Bağlı Sistem	125
10.6	Doymalı Reaktör Bağlı Sistem	126
11.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	127
	KAYNAKLAR	129
	ÖZGEÇMİŞ	131



KISALTMALAR

AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
SVC	: Statik Var Kompansatör
TCR	: Tristör Kontrollü Reaktör



TABLO LİSTESİ

	<u>SayfaNo</u>
Tablo 2.1. Güç kalitesin bozan etkenler	5
Tablo 5.1. Sinüzoidal gerilim dalgalanması için flikermetre cevabı	40
Tablo 5.2. Dikdörtgen gerilim dalgalanması için flikermetre cevabı	41
Tablo 5.3. En çok kullanılan gerilimler ve –30% ve +20% sapmaları.....	42
Tablo 5.4. Aralık seçici ve duyarlık seviyesi değerleri arasındaki ilişki.....	50
Tablo 5.5. Flikermetre performans test değerleri.....	52
Tablo 6.1. P_{st} hesabı için kullanılabilecek yöntemler.	54
Tablo 6.2. $P_{st} = 1$ değerleri	55
Tablo 7.1. Farklı durumlar için son eklerin anlamları.....	65
Tablo 7.5. AG ve OG sistemlerindeki P_{st} ve P_{lt} uyumluluk seviyeleri	71
Tablo 7.6. OG, YG, ÇYG güç sistemlerindeki P_{st} ve P_{lt} için gösterim amaçlı planlama seviyeleri.....	72
Tablo 7.7. AG ve OG güç sistemlerinde A_{st} ve A_{lt} uyumluluk seviyeleri.....	79
Tablo 7.8. OG, YG ve ÇYG güç sistemlerinde A_{st} ve A_{lt} planlama seviyeleri	79
Tablo 7.9. Dakikadaki değişim sayısına göre bağlı güç değişimi için aşama 1 sınırları.....	80
Tablo 7.10. OG fliker seviyesine OG yüklerinin kabul edilebilir global katkısının bulunması örneği.....	81
Tablo 7.11. A_{st} ve A_{lt} için OG fliker seviyesine OG yüklerinin kabul edilebilir global katkısının bulunması örneği.....	82
Tablo 7.12. OG Temel emisyon seviyeleri.....	83
Tablo 7.13. OG A_{st} ve A_{lt} cinsinden temel emisyon seviyeleri	83
Tablo 7.14. YG Temel emisyon seviyeleri.....	87
Tablo 7.15. YG A_{st} ve A_{lt} cinsinden temel emisyon seviyeleri	87
Tablo 7.16. Saatteki gerilim değişimine göre gerilim değişimi emisyon sınırları.....	90
Tablo 8.1. AC ve DC ark ocaklarının yapısal özellikleri	93
Tablo 9.1. Fliker kabul edilebilir uygunluk seviyeleri.....	116

Tablo 9.2. Gerilim değişimi kabul edilebilir uygunluk seviyeleri.....	117
Tablo 9.3. Sınırları aşan değerler	117



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. IEEE ve UIE $P_{st} = 1$ eğrileri	2
Şekil 2.2. Güç kalitesini etkileyen bazı etkenler	5
Şekil 2.3. Yıldırım düşmesi sonucu oluşan darbesel geçici olay	7
Şekil 2.4. Kapasitör anahtarlama sonucu oluşan salınımsal geçici olay	8
Şekil 2.5. Alçak frekanslı salınımsal geçici olay.....	9
Şekil 2.6. Yüksüz transformatörün neden olduğu alçak frekanslı salınımsal geçici olay	10
Şekil 2.7. Tek hat-toprak kısa devresinden kaynaklanana gerilim düşmesi	11
Şekil 2.8. Yol alan asenkron motorun neden olduğu gerilim düşmesi	11
Şekil 2.9. Tek faz-toprak kısa devresi sonucu oluşan ani gerilim yükselmesi.....	12
Şekil 2.10. Kısa süreli gerilim kesilmesi	13
Şekil 2.11. Bir besleme hattı için dengesizlik değerleri	15
Şekil 2.12. Hız ayarlamalı motor akımı ve frekans spektrumu.....	17
Şekil 2.13. Üç fazlı doğrultucu nedeni ile oluşan çentik etkisi.....	17
Şekil 2.14. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması	18
Şekil 3.1. Flikerin oluşumu	20
Şekil 3.2. Tungsten telli lambanın gerilim-ışık akısı karakteristiği.....	21
Şekil 3.3. Çeşitli lambalar için kazanç katsayısı değişimi	22
Şekil 3.4. Çeşitli lambalar için fliker test sonuçları.....	23
Şekil 3.5. Işık parıltısı ayarlayıcıların lamba kazanç katsayısına etkileri.....	24
Şekil 3.6. Sıbernetik döngü	25
Şekil 3.7. Görme performansını etkileyen bazı faktörler.....	26
Şekil 3.8. Kritik titreme (kaynama) frekansının ortalama parıltıya göre değişimi.....	27
Şekil 3.9. Gözün frekansa göre duyarlılık eğrisi	28
Şekil 4.1. IEEE fliker eğrisi	30
Şekil 4.2. Efektif gerilim şeklinin değerlendirilmesi.....	32
Şekil 4.3. Bağlı gerilim değişimi karakteristiği.....	33

Şekil 5.1. Çeşitli flikermetreler	36
Şekil 5.2. U.I.E. Flikermetre blok diyagramı.....	38
Şekil 5.3. Kare alıcı demodülatör blok diyagramı.....	43
Şekil 5.4. Blok 3 yüksek geçiren filtre bode diyagramı.....	45
Şekil 5.5. Blok 3 yüksek geçiren filtre bode diyagramı.....	46
Şekil 5.6. Blok 3 ağırlık filtresi bode diyagramı	47
Şekil 5.7. Blok 4 alçak geçiren filtre bode diyagramı	48
Şekil 5.8. İstatistik analiz giriş değerleri.....	49
Şekil 5.9. Olasılık dağılımı.....	49
Şekil 5.10. Olasılık yoğunluğu.....	50
Şekil 5.11. Birikimli olasılık değerleri.....	50
Şekil 6.1. $P_{st} = 1$ eğrileri.....	56
Şekil 6.2. Dik dörtgen ve sinüzoidal gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F...57	
Şekil 6.3. Çift adımlı ve rampa gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F.....	58
Şekil 6.4. Dikdörtgen ve üçgen gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F.....	58
Şekil 6.5. Farklı cephe zamanlarına sahip motor yol alma gerilim karakteristikleri	
 için şekil faktörü, F.	59
Şekil 7.1. Test devresi.....	61
Şekil 7.2. Alçak gerilim yüklerinin fliker değerlendirme prosedürü diyagramı	70
Şekil 7.3. Bütün sistemi kapsayan zaman/yer istatistiği ile temel gerilim kalitesi	
 kavramlarının gösterimi.....	73
Şekil 7.4. Bütün sistem içindeki bir bölgeye ilişkin zaman istatistiği ile temel gerilim	
 kalitesi kavramlarının gösterimi.....	74
Şekil 7.5. Değerlendirme prosedürü diyagramı.....	77
Şekil 7.6. S_{fYG} in belirlenmesi, ilk yaklaşım	85
Şekil 7.7. S_{fYG} in belirlenmesi, ikinci yaklaşım	85
Şekil 7.8. Kalıcı durum ve dinamik gerilim değişimleri diyagramları.....	89
Şekil 7.9. Kalıcı durum ve dinamik gerilim değişimleri.....	89
Şekil 7.10. Elektriksel olarak uzak baralardan beslenen iki ark ocağı örneği	90
Şekil 8.1. AC üç faz ark ocağı prensip şeması.....	92
Şekil 8.2. DC ark ocağı prensip şeması	93
Şekil 8.3. AC ve AC ark ocakları fliker ölçümleri.....	94
Şekil 8.4. Senkron kompensatör.....	95
Şekil 8.5. Sabit paralel kapasitör	97

Şekil 8.6. Tristör anahtarlama kapasitör	98
Şekil 8.7. Tristör kontrollü reaktör	99
Şekil 8.8. Hatta seri kapasitör	100
Şekil 9.1. Haddeme yükünün etkisi örneği	102
Şekil 9.2. Taşıyıcı tepkin güç seviyesi profili örneği	108
Şekil 9.3. Üç kaynak makinasının dalga şekilleri.....	110
Şekil 9.4. Normal şebeke konfigürasyonu	111
Şekil 9.5. Baralar kupajlı	113
Şekil 9.6. “n-1” şebeke konfigürasyonu	114
Şekil 9.7. SVC siz çalışma	115
Şekil 9.8. İÇDAŞ Tek hat şeması.....	116
Şekil 9.9. TCR ve SVC kurulduktan sonraki İÇDAŞ tek hat şeması.....	118
Şekil 10.1. Fliker için yük modeli	121
Şekil 10.2. Fliker için şebeke modeli.....	121
Şekil 10.3. Gerilim adaptörü modeli.....	122
Şekil 10.4. Basitleştirilmiş flikermetre modeli.....	122
Şekil 10.5. Referans durum.....	123
Şekil 10.7. Referans sisteme SVC bağlanması	124
Şekil 10.8. Referans sistem ve SVC bağlı sistem ani fliker şiddetleri	124
Şekil 10.9. Referans sisteme hatta seri kapasitör bağlanması.....	125
Şekil 10.8. Referans sistem ve hatta seri kapasitör bağlı sistem ani fliker şiddetleri.....	125
Şekil 10.11. Referans sistem ve doymalı reaktör bağlı sistem ani fliker şiddetleri	126

SEMBOL LİSTESİ

$\Delta U(t)$	: Gerilim değişim karakteristiği
$\Delta U_{\max}$	: Maksimum gerilim değişimi
ΔU_c	: Kalıcı durum gerilim değişimi
$d(t)$	: Bağlı gerilim değişimi karakteristiği
$d_{\max}$	: Bağlı maksimum gerilim değişimi
dc	: Bağlı kalıcı durum gerilim değişimi
P_{st}	: Kısa dönem fliker şiddet faktörü
P_{lt}	: Uzun dönem fliker şiddet faktörü
tf	: Fliker etki zamanı
T_{pstYO}	: YG/OG P_{st} transfer katsayıları
T_{pltYO}	: YG/OG P_{lt} transfer katsayıları
C_{pstYG}	: YG P_{st} uyumluluk seviyeleri
C_{pltYG}	: YG P_{lt} uyumluluk seviyeleri
L_{pstYG}	: YG P_{st} planlama seviyeleri
L_{pltYG}	: YG P_{lt} planlama seviyeleri
E_{psti}	: i yükünün P_{st} emisyon seviyeleri
E_{plti}	: i yükünün P_{lt} emisyon seviyeleri
G_{pstOG}	: Lokal yüklerin OG şebekesi P_{st} maksimum global katkısı.
G_{pltOG}	: Lokal yüklerin OG şebekesi P_{lt} maksimum global katkısı.
B_{pstOG}	: OG sistemi arka plan P_{st} .
B_{pltOG}	: OG sistemi arka plan P_{lt} .
F_{OG}	: OG eşzamanlılık faktörü.

GÜÇ KALİTESİ VE FLİKER

ÖZET

Bu çalışmada güç kalitesi ve fliker incelenmiş; flikerin ölçülmesi, sınırların belirlenmesi ve çözüm yöntemleri tartışılmıştır.

Giriş bölümünden sonraki iki bölümde güç kalitesinin önemi ve güç kalitesinin tanımı tartışılırken güç kalitesini bozan etkenler ve bunların sınıfları üzerinde durulmuştur. Flikerin tanımı yapılmış ve fliker ile algılama ve fliker ile gerilim değişimi arasındaki ilişki incelenmiştir.

Bölüm dört de fliker değerlendirme yöntemleri incelenmiş ve fliker için temel kavramlar verilmiştir.

Bölüm beşte flikermetreler incelenirken özellikle IEC flikermetresi üzerinde durulmuştur. Bölüm altıda fliker kestirim yöntemleri verilmiştir.

Bölüm yedide fliker için sınır değerlerin nasıl bulunabileceği incelenmiştir. Burada yöntemler öncelikle alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilime göre sınıflandırılmıştır. Alçak gerilim için sınır değerler akımına göre de sınıflandırılmıştır.

Bölüm sekizde fliker sorununa çözümler aranmıştır. Bu bölümde en önemli fliker kaynağı olan ark ocakları incelenmiştir. Öncelikle AC ark ocağına alternatif olarak DC ark ocağı önerilmiştir. Ardından çeşitli kompanzasyon sistemleri incelenmiştir.

Bölüm dokuzda fliker değerlendirmesi ve çözümü ile ilgili örnekler verilmiştir. Bu bölümde gerçek hayattan bir sorun incelenmiş ve bu sorunun nasıl çözüldüğü açıklamıştır.

Bölüm onda fliker ölçümü ve fliker çözüm yöntemleri ile ilişkin modeller oluşturulmuş ve simülasyonlar yapılmıştır. Bu bölümde kompanzasyon sistemlerinin fliker üzerine etkileri incelenmiştir.

POWER QUALITY AND FLICKER

SUMMARY

In this study power quality and flicker are examined; flicker measurement, flicker limits and solutions are discussed.

After the introduction, in section two and three the import of power quality and definition of power quality is discussed. Attention is given on factors that distorts the power quality. Flicker is defined and relation between flicker and perception and flicker and voltage change are examined.

In section four, flicker evaluation methods are examined and main definitions for flicker are given.

In section five, flickermeters are examined and attention is given IEC flickermeter. In section six flicker prediction methods are given.

In section seven assessment of flicker limits is examined. In this section method are categorised for low voltage, medium voltage and high voltage. Limits for low voltage are also classified according to current.

In section eight solutions of flicker are studied. In this section arc furnaces which is most important flicker source, are examined. Firstly DC arc furnace proposed to use instead of AC arc furnace. Then different compensation systems are studied.

In section nine examples about assessment of flicker limits and solutions are given. In this section real life problem is examined and solution of this problem is given.

In section ten models of flicker measurement and solution are designed and simulated. In this section the effect of compensation systems on flicker is examined.

1. GİRİŞ

Bir güç kalitesi sorunu olan fliker, diğer güç kalitesi sorunlarından frekans, genlik gibi özellikleri ile ayrılabilir. Ancak flikeri ilginç kılan insan ile ilişkisidir.

Genel olarak güç kalitesi sorunları enerji sistemine bağlı cihazlar ile ilgilidir. Yüksek miktarda güç kalitesi bozulması cihazın istenildiği gibi çalışmasını engeller. Örneğin bir güç sisteminde ani gerilim yükselmesi durumunda o anda sistemden enerji çeken cihaz zarar görür. Gerimin yükselme miktarına göre cihazın izolasyonu zayıflayabilir veya tamamen bozulabilir.

Ancak fliker için bu durum farklıdır. Bir enerji sisteminde flikerin var olması durumunda o enerji sistemine bağlı aydınlatma aygıtlarının kullanıldığı ortamlarda bulunana insanlar etkilenir. Bu etkilenme flikerin dozuna göre yalnız hissetme düzeyinde olabileceği gibi rahatsız olma düzeyine de çıkabilir.

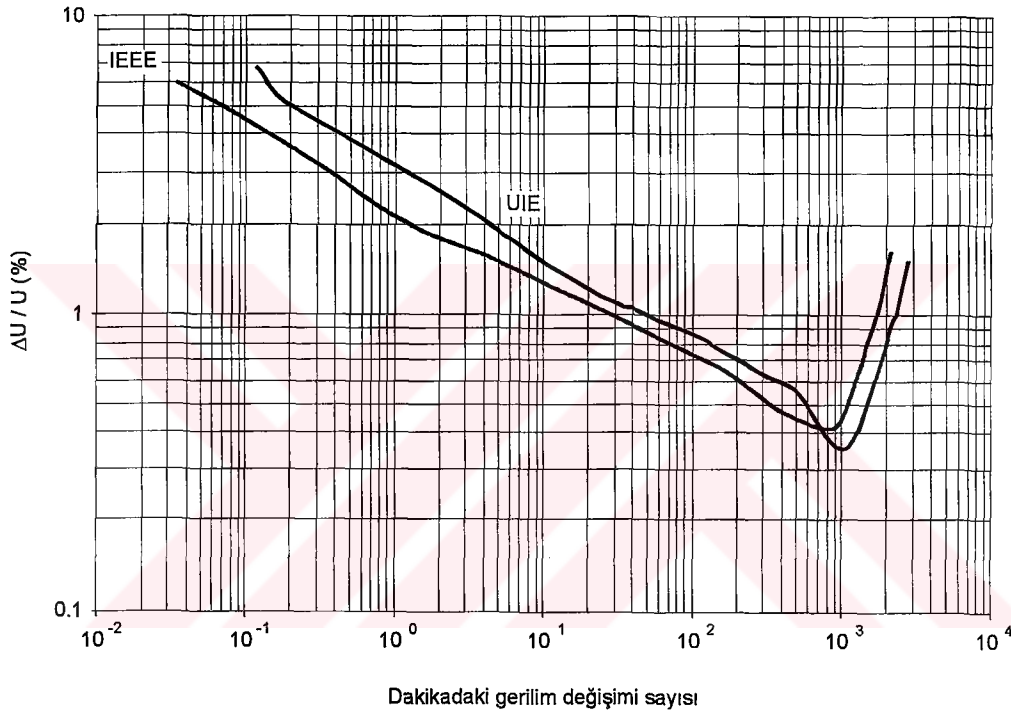
Flikerin insan üzerindeki etkisi bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelere göre rahatsızlık miktarı artabilir veya azalabilir. Flikerin insan üzerindeki etkisi flikerden etkilenen insanlara, bu insanların bulundukları ortama veya yaptıkları işlere göre değişir. Örneğin sürekli gözle kontrole dayana bir işi yapan insanın flikerden etkilenme miktarı beden gücüne dayana bir işi yapan insanın etkilenme miktarından fazladır.

Flikerin insan üzerinde yaptığı etkinin sonuçları da değişkendir. Evlerde veya ofislerde fliker etkisi sonucu performans düşüklüğü oluşurken tehlikeli işlerin yapıldığı sanayi kuruluşlarında önemli kazaların oluşmasına neden olacak dikkat dağılmaları gözlenebilir. Örneğin bir fabrikadaki vinç operatörünün dikkatinin dağılması büyük maddi ve manevi kayıplı kazalara neden olabilir.

Flikeri ilginç kılan sadece güç kalitesi sorunları içerisindeki farklı yeri veya insan faktörü ile doğrudan ilişkisi sonucu etkisinin değişkenliği değildir. Bunlarla birlikte fliker değerlendirme yöntemleri de diğer güç kalitesi sorunlarından farklıdır. Örneğin ani gerilim yükselmesi yükselme zamanı, tepe değeri ve yarı değer süresi ile karakterize edilir. Bu karakteristik değerlere göre ani gerilim yükselmesinin kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmayacağı değerlendirilir ve bu değerlendirme

sonucuna göre gerekli önlemler alınır. Ancak fliker için genel kabul görmüş bir yöntem yoktur. Farklı ülkelerde farklı yöntemler uygulanır.

Genellikle fliker için temel değerlendirme değişkeni olarak kısa dönem fliker şiddet faktörü, P_{st} kullanılır. Ancak P_{st} değerinin nasıl elde edileceği konusunda farklı yöntemler geliştirilmiştir. Kısa dönem fliker şiddet faktörünün elde edilmesinde kullanılan temel yöntem $P_{st} = 1$ eğrisidir. Ancak bu eğride farklı kurumalar tarafından farklı olarak verilmiştir [1]. Aşağıdaki şekilde IEEE ve UIE $P_{st} = 1$ eğriler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. IEEE ve UIE $P_{st} = 1$ eğrileri

Bu eğrilerden de görüleceği gibi yaklaşım benzer olmakla birlikte farklılıklar vardır.

Kısa dönem şiddet faktörünü bilinmesi bütün sorunları çözmez. Hangi P_{st} değerlerinin kabul edilebilir olup olmadığı da bilinmelidir. Bu da fliker sınır değerlerinin belirlenmesi gerekliliğini doğurur.

Fliker şiddetinin kabul edilebilir sınırın üstünde çıkması durumunda bu sorunun giderilmesi gerekir. Bunun içinde çeşitli yöntemler kullanılır. Ancak bu yöntemlerin ne kadar etkin olduklarını anlamak için öncelikle flikeri diğer güç kalitesi sorunlarından ayırmak, flikeri anlamak, fliker değerlendirme yöntemlerini incelemek ve sınır değerleri belirleyebilmek gerekir. Bu çalışmanın da hedefi bunlardır.

2. GÜÇ KALİTESİ

2.1 Güç Kalitesinin Önemi

Gerek üreticilerin ve gerekse tüketicilerin güç kalitesine olan ilgilerinin giderek artması bu kavramın çeşitli güç sistemi bozukluklarını bir çatı altında toplayan anahtar bir kavram olmasına neden olmuştur. Gerçekte bu kavramı oluşturan öğeler yeni değildir. Yeni olan bu kavramlara ayırık konular olarak değil bir sistem mantığı ile bakılmasıdır.

Güç kalitesi kavramına olan ilginin artmasına dört temel neden gösterilebilir.

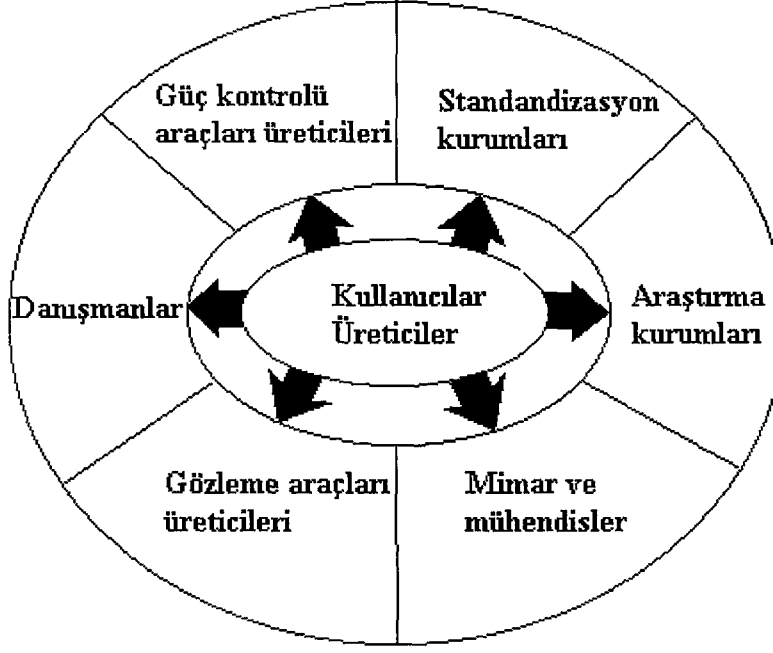
Yükler eskiye oranla güç kalitesine daha duyarlıdır. Birçok yeni yük biçimi mikroşlemci kontrollü güç elektroniği elemanları içermektedir. Bu elemanlar güç bozukluğu türlerinden etkilenebilirler.

Güç sistemlerinin daha verimli kullanılmasına verilen önem hız ayarlamalı motorlar gibi uygulamaların artmasını hızlandırmıştır. Bu da güç sistemlerindeki bir bozukluk türü olan harmonik seviyesinin artmasına neden olmuştur.

Kullanıcıların güç kalitesi hakkında bilgi düzeylerinin artması üreticilerden daha kaliteli güç istemelerine neden olmuştur.

Elektrik şebekesine bağlı olan kullanıcıların sayısı ve çeşidi zamanla artmaktadır. Bundan dolayı bir bileşendeki bozulma diğer bileşenlere olan etkilerinden ötürü önemlidir.

Bu sebeplerin arkasında yatan temel neden olarak kullanıcıların daha hızlı ve daha verimli üretim yapmayı istemeleri ve üreticilerinde buna destek vermelerinin kendi yararlarına olduğunu bilmeleri gösterilebilir. Şekil 2.1.'de güç kalitesi tarafları arasındaki ilişki gösterilmiştir.

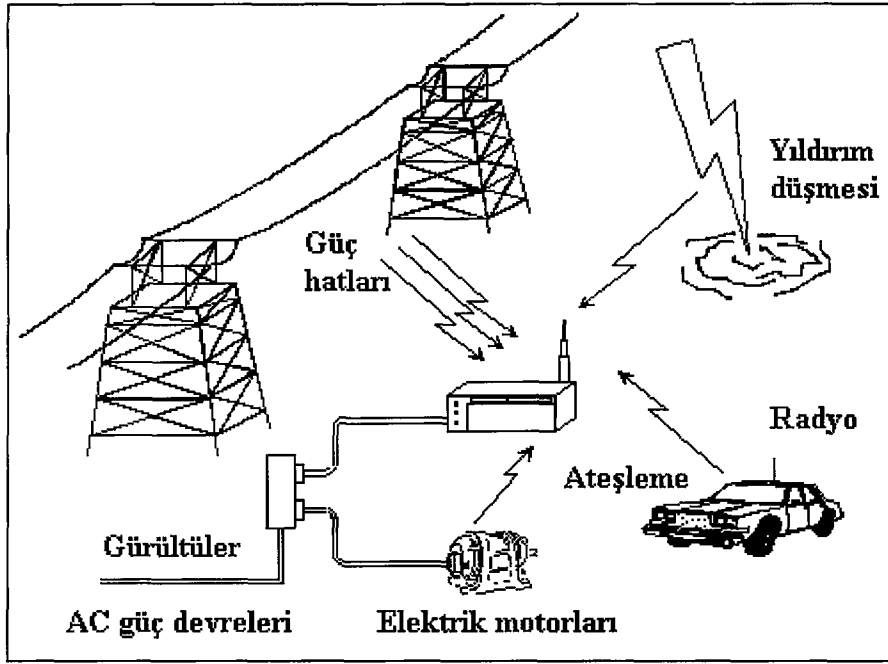


Şekil 2.1. Güç kalitesini etkileyen taraflar

2.2 Güç Kalitesi Nedir ?

Güç kalitesi tanımı yapılan incelemenin türüne veya kim tarafından yapıldığına göre değişebilir. Örneğin elektrik üreticisi için güç kalitesi enerjinin güvenilir biçimde iletilmesi olarak tanımlanabileceği gibi elektrikli aletler üreticisi için güç kalitesi üretilen aletin öngörülen şekilde çalışması için gerekli olan elektrik biçimidir. Ancak elektrik üretimi kullanıcılar için yapıldığından kullanıcının bakış açısı temel alınmalıdır. Bu sebeple güç kalitesi sorunu “Kullanıcı aletlerinin yanlış veya hiç çalışmamasına neden olacak gerilim, akım ve frekanstaki değişimler” olarak tanımlanabilir.

Enerji üretim sistemleri ancak üretilen enerjinin gerilimine etkide bulunabileceği düşünüldüğünde güç kalitesi kavramı üzerinde yapılan belirlemelerin büyük çoğunlukla sistem gerilimi hakkında olduğu görülür. Her ne kadar kısa devre olayında olduğu gibi büyük akım değişiklikleri gerilimde de önemli farklılaşmalara neden olsa da temel ölçüt gerilim olmalıdır. Şekil 2.2.’de güç kalitesini bozan bazı etkiler gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Güç kalitesini etkileyen bazı etkenler

2.3 Güç Kalitesini Bozan Etkenler

Güç kalitesini bozan etkenler tipik değerleri ile Tablo 2.1.'de ki gibi sınıflandırılabilir [2].

Tablo 2.1. Güç kalitesin bozan etkenler

SINIF	FREKANS SPEKTRUMU	SÜRESİ	GERİLİM TEPEDEĞERİ
Geçici Olay			
Darbesel			
Nano saniye	5 ns yükselme	< 50ns	
Mikro saniye	1 μ s yükselme	50 ns – 1ms	
Mili saniye	0.1 ms yükselme	> 1 ms	
Salınımsal			
Düşük frekans	< 5 kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 p.u.
Orta frekans	5 – 500 kHz	20 μ s	0 – 8 p.u.
Yüksek frekans	0.5 – 5 MHz	5 μ s	0 – 4 p.u.
Kısa Süreli Değişimler			
Ani			
Düşme		0.5 – 30 periyod	0.1 – 0.9 p.u.
Yükselme		0.5 – 30 periyod	1.1 – 1.8 p.u.

Kısa süreli			
Kesilme		0.5 – 3 s	< 0.1 p.u.
Düşme		30 periyod – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
Yükselme		30 periyod – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
Geçici			
Kesilme		3 s – 1 dakika	< 0.1 p.u.
Düşme		3 s – 1 dakika	0.1 – 0.9 p.u.
Yükselme		3 s – 1 dakika	1.1 – 1.2 p.u.
Uzun Süreli Değişimler			
Kalıcı kesilme		> 1 dakika	0.0 p.u.
Düşüklük		> 1 dakika	0.8 – 0.9 p.u.
Yükseklik		> 1 dakika	1.1 – 1.2 p.u.
Dengesizlik		Kalıcı durum	0 – %0.1
Dalga şekli bozukluğu			
Doğru akım bileşeni		Kalıcı durum	0 – %0.1
Harmonikler	0 – 100.H	Kalıcı durum	0 – %20
Ara harmonikler	0 – 6 kHz	Kalıcı durum	0 – %2
Çentik etkisi		Kalıcı durum	
Gürültü	Geniş band	Kalıcı durum	0 – %1
Gerilim dalgalanması	< 25 Hz	Kesikli	0.1 – %7
Güç frekansı değişimleri			

2.3.1 Geçici Olaylar

Geçici olaylar güç sistemlerindeki değişikliklerin analizinde istenmeyen fakat kısa süreli olan olayları ifade etmek için kullanılır. Güç sistemlerinin RLC tipindeki devre yapısından ötürü meydana gelen sönümlü salınımlar geçici olay olarak güç mühendislerinin en çok duyduğu kelimelerdir.

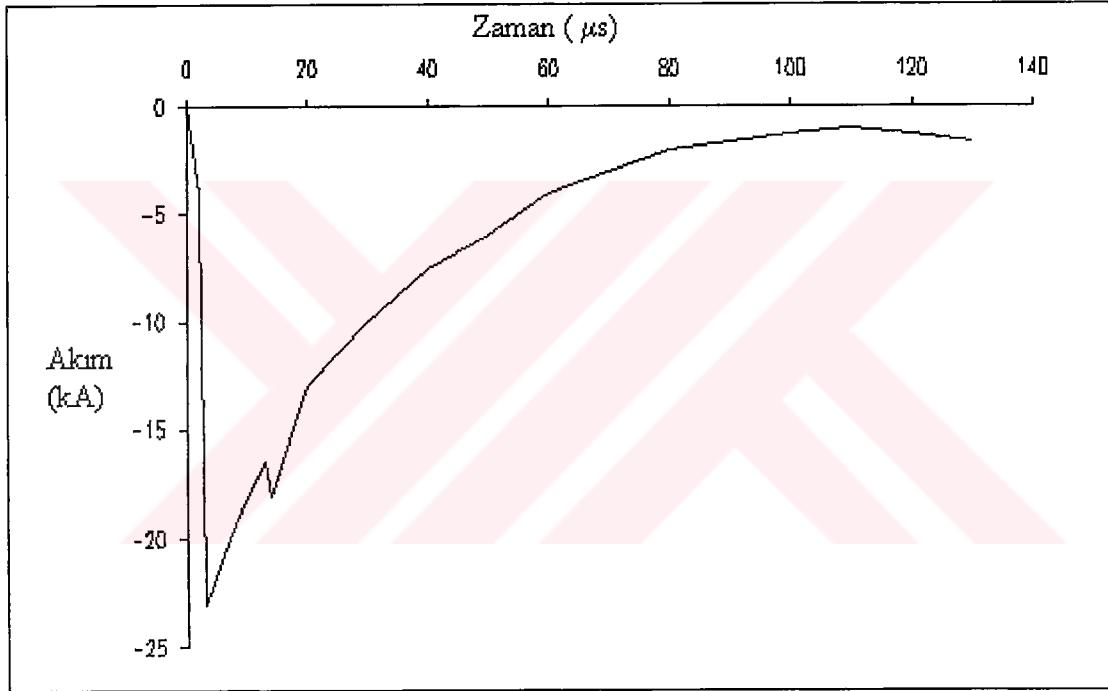
Yaygın olarak kullanılan şekli ile geçici olaylar bir sistemin bir kalıcı durumdan diğerine geçişi sırasında meydana gelen değişikliklerdir. Ancak bu tanım güç sistemlerinde meydana gelen bütün alışılmamış olaylar için kullanılabileceği için sınıflandırmaya, sırlamaya ve açıklamamaya ihtiyaç vardır.

Genel olarak geçici olaylar darbesel geçici olaylar ve salınımsal geçici olaylar olarak iki kategoriye ayrılabilir.

2.3.1.1 Darbesel Geçici Olaylar

Darbesel geçici olaylar akımda, gerilimde veya her ikisinde meydana gelen ani ve tek kutuplu (pozitif veya negatif) değişikliklerdir. Darbesel geçici olaylar genelde yükselme veya alçalma zamanları ile karakterize edilirler. Örneğin $1.2 \times 50 \mu s$ 2000V olarak ifade edilen darbesel geçici olayda gerilimin sıfır değerinden 2000V olan tepe değerine $1.2 \mu s$ de çıktığı ve $50 \mu s$ de sonunda da tepe değerinin yarısına düştüğü ifade edilir.

Darbesel geçici olayların büyük bir çoğunluğu yıldırım olaylarıdır. Şekil 2.3'de yıldırım olayından dolayı meydana gelen tipik bir darbesel geçici olay gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Yıldırım düşmesi sonucu oluşan darbesel geçici olay

Darbesel geçici olaylar sırasında oluşan gerilim ve akımların frekansı yüksek olduğundan dalga biçimleri hızlı bir şekilde değişir. Bu akım ve gerilimlerin incelemesi için güç sisteminin farklı noktalarda yapılan analizlerin farklı sonuçlar verdiği görülür. Aynı zamanda bu gerilim ve akımlar güç sisteminin doğal frekansından da yüksek olduklarından salınımsal geçici olaylara da neden olurlar.

2.3.1.2 Salınımsal Geçici Olaylar

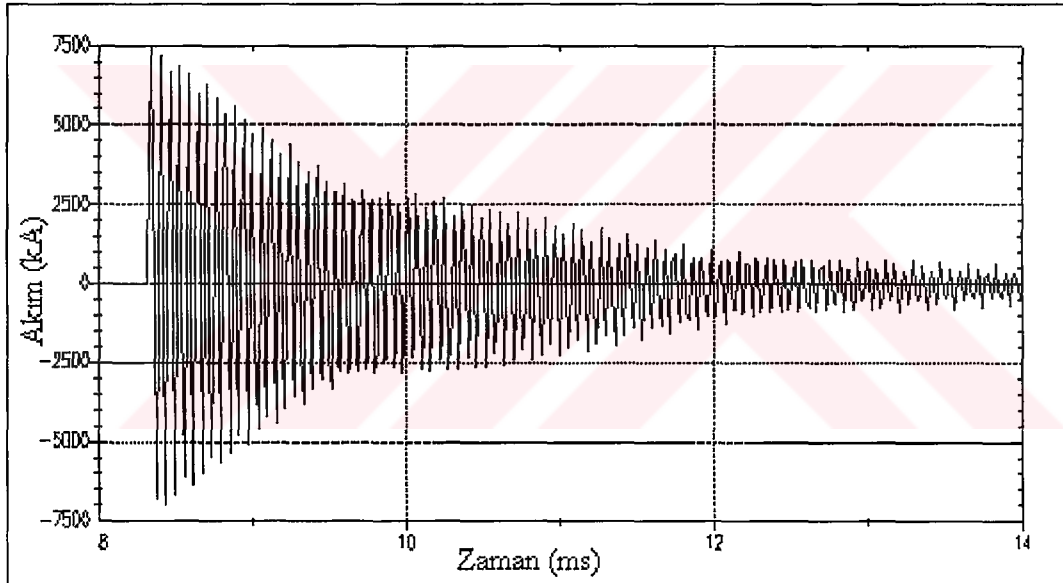
Salınımsal geçici olay akımda, gerilimde veya her ikisinde meydana gelen ani ve çift kutuplu yani hem pozitif ve hem de negatif değerler alan değişikliklerdir. Salınımsal geçici olaylar frekans spektrumu, devamlılık süresi ve tepe değeri ile ifade edilirler.

Salınımsal geçici olaylar frekans spektrumuna göre düşük frekanslı, orta frekanslı ve yüksek frekanslı olarak üçe ayrılır.

Temel frekans değeri 500 kHz ve üzeri ve tipik süresi μs 'ler cinsinden ifade edilen salınımsal geçici olaylar yüksek frekanslı salınımsal geçici olay olarak adlandırılır. Bu tip salınımlar genelde yerel sistemlerin darbesel geçici olaylara verdiği cevabın sonucudur.

Temel frekans değeri 5 ve 500 kHz arasında olan ve tipik süresi $10 \times \mu s$ 'ler cinsinden ifade edilen salınımsal geçici olaylar orta frekanslı salınımsal geçici olay olarak adlandırılır. Bu tip salınımlar genelde kapasitör anahtarlama sonucu oluşur.

Şekil 2.4.'de kapasitör anahtarlama sonucu oluşan salınımsal geçici olayda 10 kHz'in katları frekansında olan akımın aldığı değer gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kapasitör anahtarlama sonucu oluşan salınımsal geçici olay

Kablo anahtarlama ve darbesel geçici olaya karşı sistemin cevabı da orta frekanslı salınımsal geçici olaylara neden olabilir.

Temel frekans değeri 5 kHz'den az olan ve tipik süresi 0.3 ms ile 50 ms arasında değişen salınımsal geçici olaylara düşük frekanslı salınımsal geçici olaylar denir.

Bu kategoriye dahil olaylara dağıtım sistemlerinde rastlanır ve çok çeşitli nedenlerde kaynaklanabilir. Genellikle kapasitörlerin devreye alınması sırasında 300 ile 900 Hz arasında frekansa sahip geçici olaylar oluşur. En yüksek tepe değeri 2.0 p.u.'ya ulaşabilirse genelde 1.3 ile 1.5 p.u. arasında olup süresi sistemin yapısına bağlıdır.

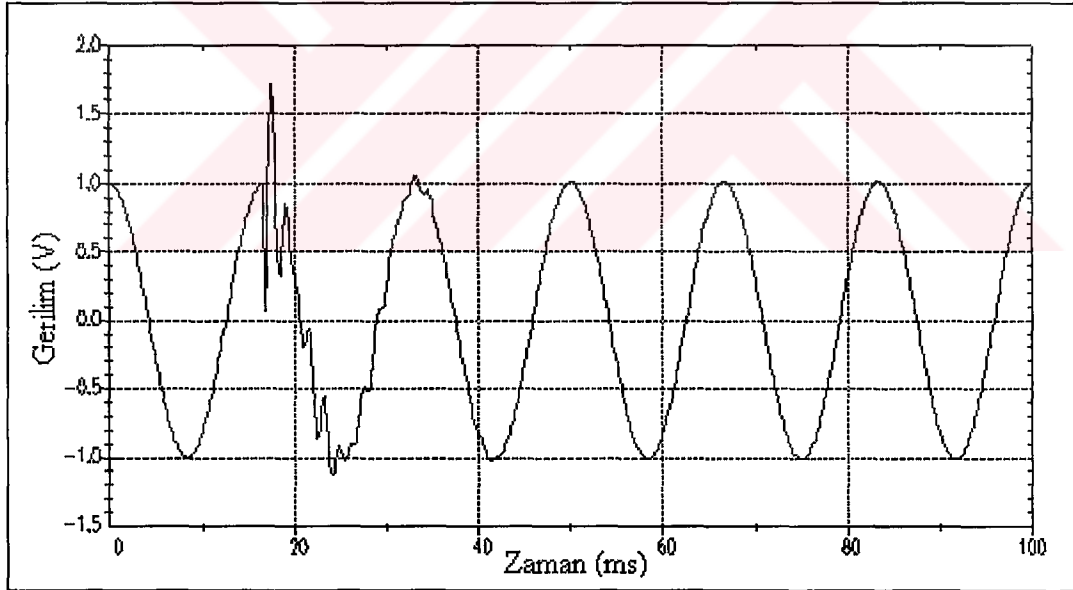
Şekil 2.5. kapasitörün devreye alınması sırasında oluşan salınımsal geçici olayı göstermektedir.

Dağıtım sistemleri içinde temel frekansı 300 Hz'den az olan salınımsal geçici olaylarda olabilir. Bunlar genellikle transformatörlerin devreye alınması sırasında oluşur. Şekil 2.6.'de bu tip bir salınımsal geçici olay gösterilmektedir.

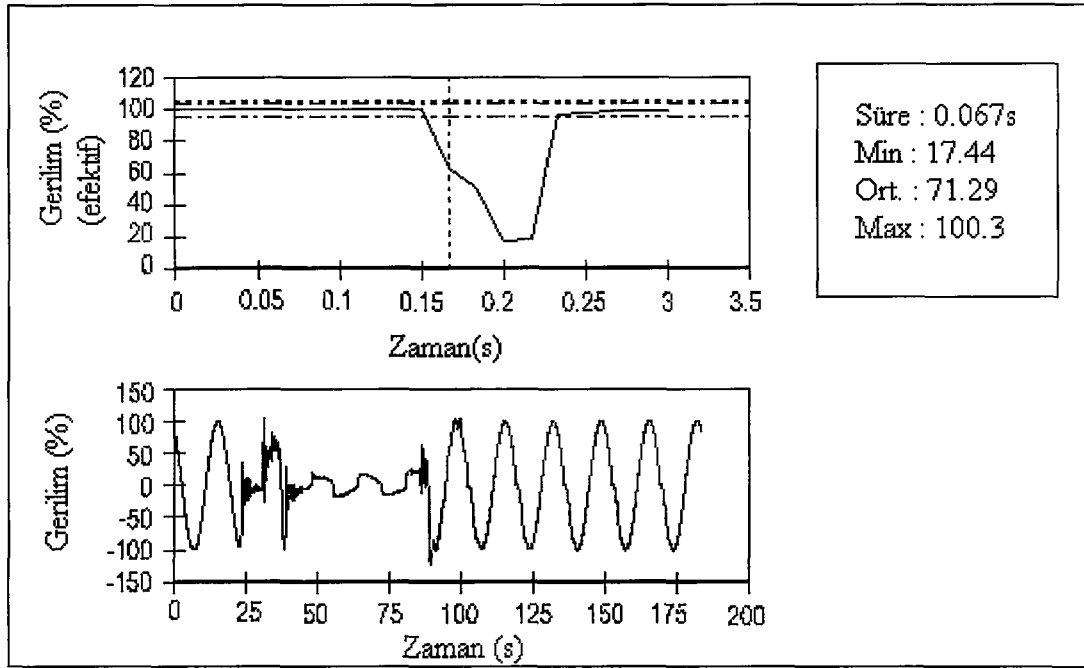
2.3.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Bu kategoriye giren geçici olaylar sürelerine göre ani, kısa süreli ve geçici olarak sınıflandırılabilir.

Güç sistemlerindeki hatalar, yol verme akımları yüksek olan yüklerin devreye alınması ve dağıtım sistemindeki bağlantı kopuklukları kısa süreli gerilim değişimlerinin nedeni olarak gösterilebilir. Sistem durumuna ve hatanın yerine göre bu tür durumlar sadece gerilim düşmesine değil gerilim yükselmesine ve gerilim kesilmesine de neden olabilirler.



Şekil 2.5. Alçak frekanslı salınımsal geçici olay

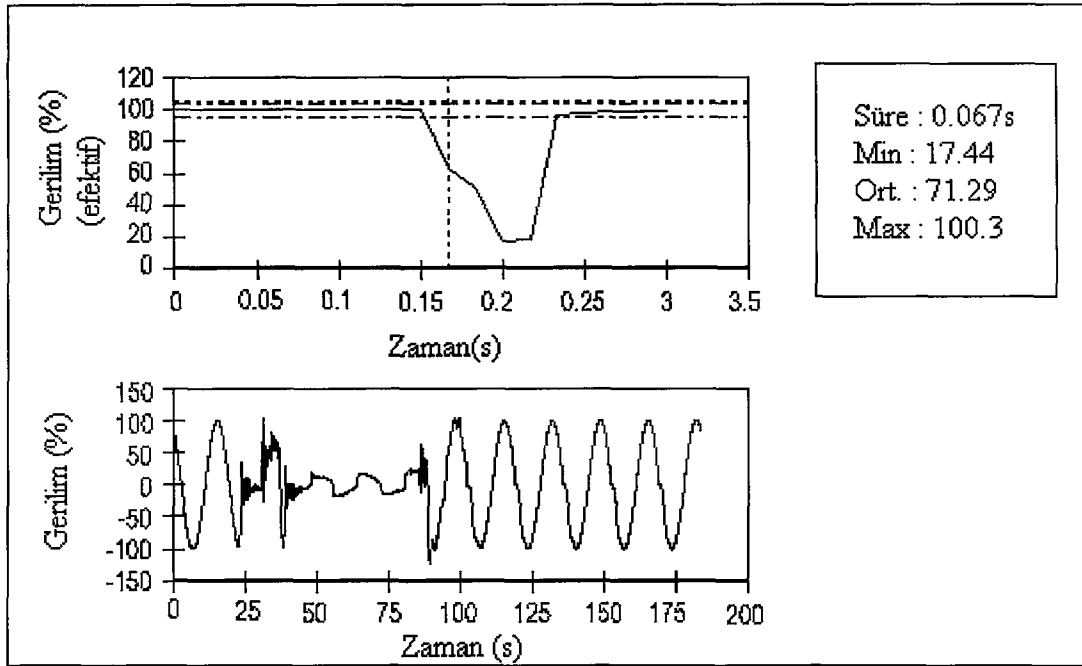


Şekil 2.6. Yüksüz transformatörün neden olduğu alçak frekanslı salınımsal geçici olay

2.3.2.1 Gerilim Düşmesi

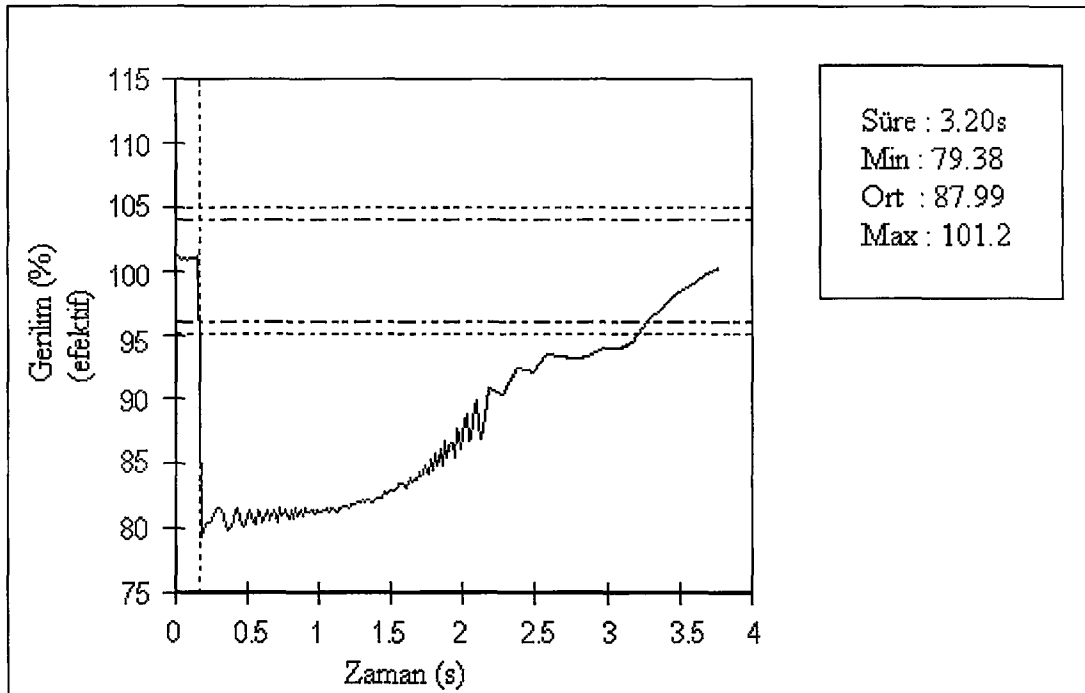
Gerilim düşmesi güç sistemi frekansındaki gerilimin efektif değerinin 0.5 periyod ile bir dakika arasındaki bir süre boyunca 0.1 p.u. ile 0.9 p.u. arası bir değere düşmesidir.

Gerilim düşmesinin nedeni sistem hataları olsa da ağır yüklerin devreye alınması veya büyük güçlü motorlara yol verilmesi de olabilir. Şekil 2.7.'de tekhat-toprak kısa devresi sonucu aynı sisteme bağlı diğer bir besleme hattında oluşan gerilim düşüklüğü gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tek hat-toprak kısa devresinden kaynaklanana gerilim düşmesi

Asenkron motorlar kalkışları sırasında tam yüklendikleri zamanki akımlarının 6 ile 10 katı arasında akım çekerler. Eğer asenkron motor akımının tepe değeri bağlı olduğu noktadaki sistemin kısa devre gücüne göre yüksek ise gerilim düşmesi olur. Gerilim hızlı bir biçimde %80'ine kadar düşer ve yavaşça eski değerine döner. Şekil 2.8.'da motor kalkışı sırasında meydana gelen gerilim düşmesi gösterilmiştir.

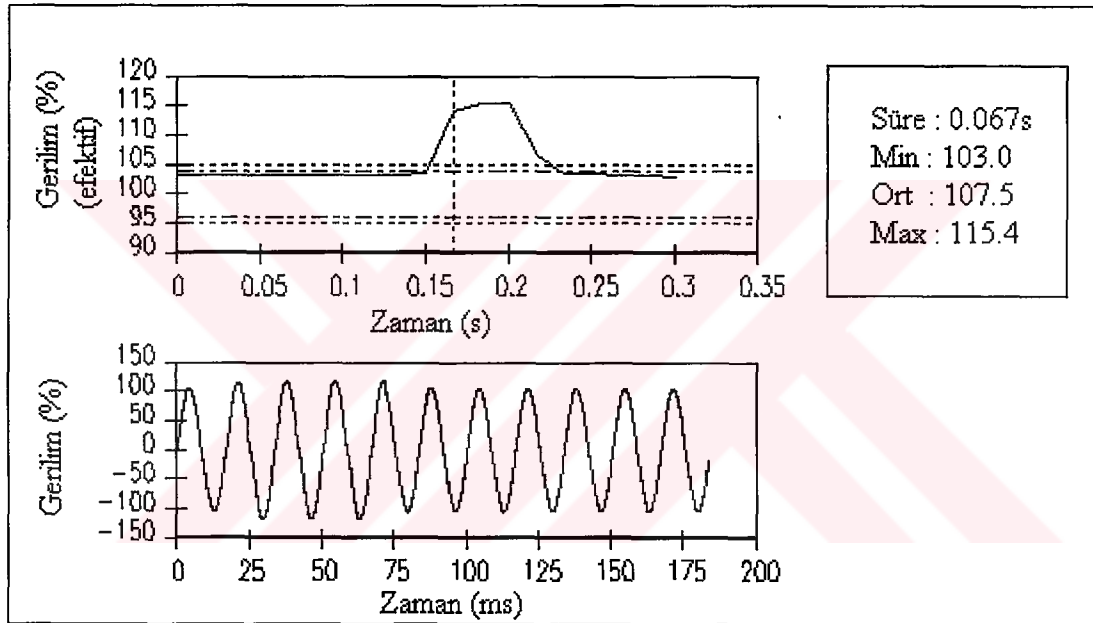


Şekil 2.8. Yol alan asenkron motorun neden olduğu gerilim düşmesi

2.3.2.2 Gerilim Yükselmesi

Gerilim yükselmesi güç sistemi frekansındaki gerilimin efektif değerinin 0.5 periyod ile bir dakika arasındaki bir süre boyunca 1.1 p.u. ile 1.8 p.u. arası bir değere yükselmesidir.

Gerilim yükselmesi gerilim düşmesinde olduğu gibi sistem hatası ile ilişkilidir. Gerilim yükselmesine tek faz – toprak kısa devresi sırasında hatasız olan fazda rastlanır. Gerilim yükselmesi büyük yüklerin anahtarlanması veya büyük kapasitörlerin devreye alınmasında oluşabilir. Şekil 2.9.'de tek faz – toprak kısa devresi sonucu oluşan gerilim yükselmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Tek faz-toprak kısa devresi sonucu oluşan ani gerilim yükselmesi

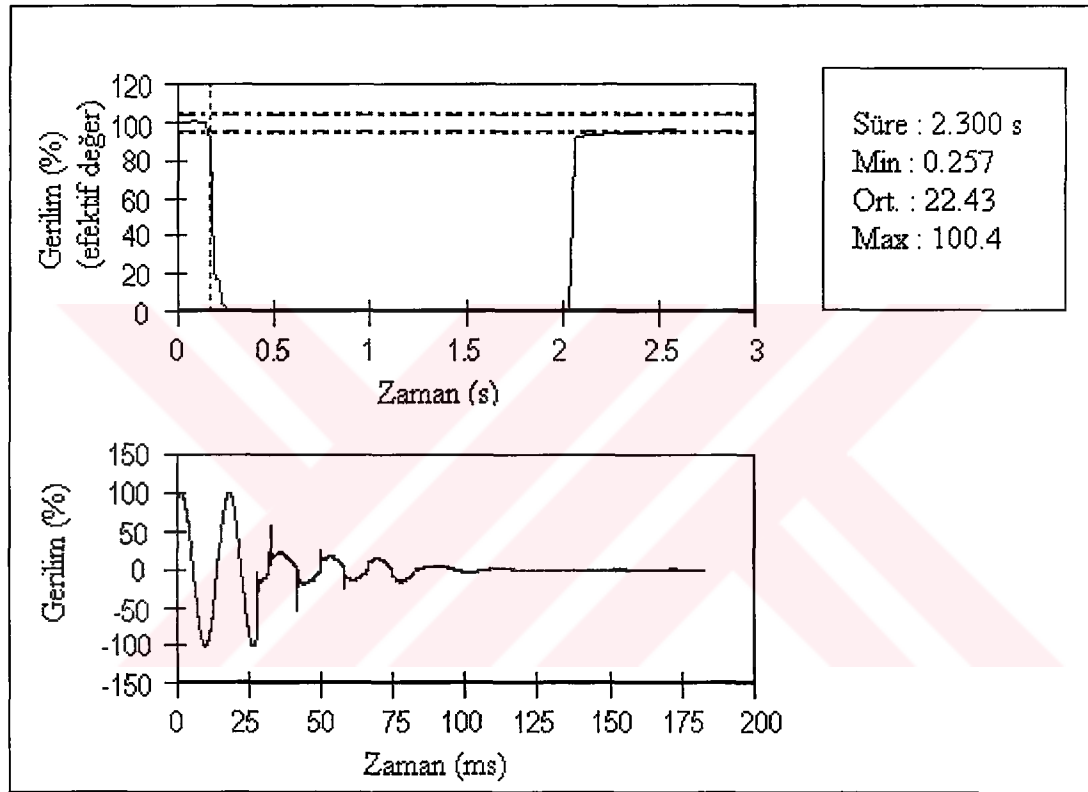
Gerilim yükselmeleri efektif değerlerinin tepe değeri ve süreleri ile karakterize edilir. Hata sırasındaki gerilim düşmesinin değeri hata yerine, sistem empedansına ve topraklama sistemine bağlıdır.

2.3.2.3 Gerilim Kesilmesi

Gerilim kesilmesi besleme geriliminin 1 dakikayı geçmeyen bir süre boyunca 0.1 p.u.'nun altına düşmesi sonucu oluşur. Gerilim kesilmesi güç sistemi hataları, alet hataları veya kontrol sistemlerinin yanlış çalışması sonucu oluşabilir. Gerilim kesilmeleri gerilimin efektif değerinin %10'un altına düştüğü bilindiği için süreleri ile karakterize edilir. Dağıtım sistemindeki hatalardan dolayı oluşan gerilim kesilmesinin süresi koruma cihazlarının çalışma süreleri ile belirlenir. Ani tekrar

kapamalar kalıcı olmayan hatalarda bu süreyi 30 periyodun altında tutar. Gecikmeli tekrar kapamalar geçici gerilim kesilmelerine neden olabilirler. Kontrol sistemlerinin yanlış çalışması veya bağlantı kayıpları düzenli olmayan kesintilere neden olabilirler.

Gerilim kesilmeleri besleme sistemindeki bir hatadan meydana geliyorsa gerilim düşmesi ile tahmin edilebilir. Gerilim düşmesi hatanın oluşumu ile koruma cihazlarının devreye girmesi arasında gözlenir. Şekil 2.10.'da kısa süreli gerilim kesilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Kısa süreli gerilim kesilmesi

2.3.3 Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Uzun süreli gerilim değişimleri 1 dakikadan uzun süren güç frekansındaki efektif değer değişimlerini ifade eder. Uzun süreli gerilim değişiklikleri aşırı gerilim, düşük gerilim ve kalıcı gerilim kesintisi olabilir.

Aşırı gerilim ve düşük gerilime sistem hataları değil sistemdeki yük değişiklikleri ile anahtarlamalar neden olur. Bu tür değişiklikler genelde efektif değer – zaman grafiklerinde gösterilir.

2.3.3.1 Aşırı Gerilim

Aşırı gerilim, geriliminin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca güç frekansındaki efektif değerinin %110'unu aşacak kadar yükselmesidir. Genelde yük anahtarlamaları sonucunda oluşur. Aşırı gerilimin oluşmasına sistemin gerilim ayarlamaları için yeterince güçlü olmaması veya kontrol sistemlerinin yetersiz olması neden olur. Transformatör gerilim kademelerinin yanlış ayarlaması da neden olabilir.

2.3.3.2 Düşük Gerilim

Düşük gerilim, geriliminin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca güç frekansındaki efektif değerinin %90'ın altına düşmesidir.

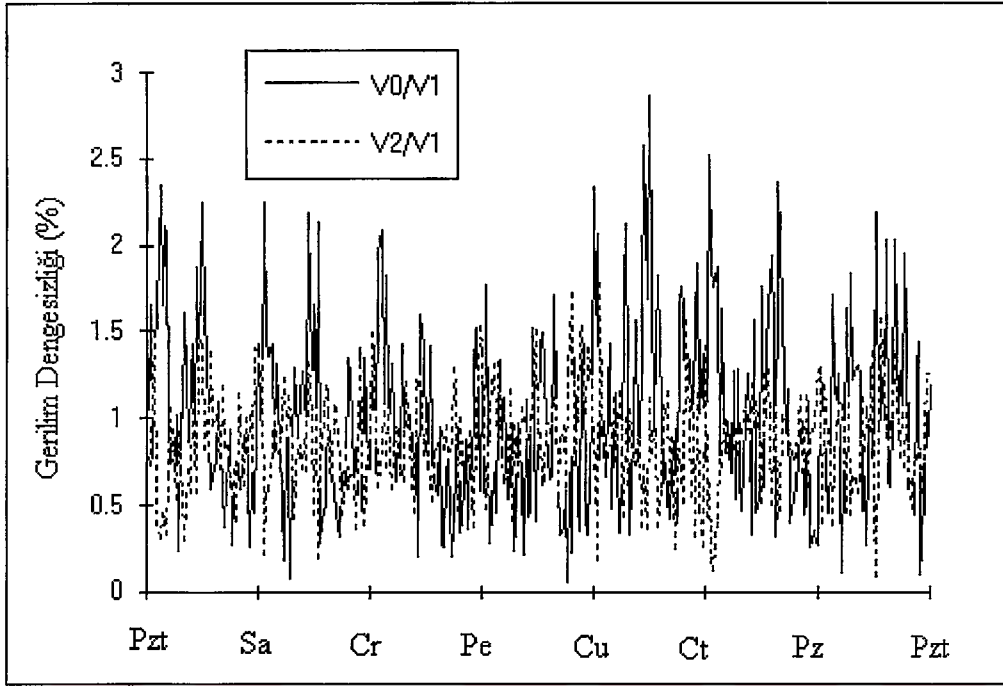
Düşük gerilime neden olaylar yüksek gerilime neden olayların tersidir. Yük anahtarlaması, kapasitörlerin devreden çıkarılması gibi olaylar, gerilim düzenleyici araçların sistemi tekrar eski gerilim seviyesine getirmesine kadar geçen sürede düşük gerilime neden olurlar. Aşırı yüklenmiş devrelerde düşük gerilime neden olabilirler.

2.3.3.3 Kalıcı Gerilim Kesintileri

Kalıcı gerilim kesintisi, gerilimin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca efektif değerinin sıfıra düşmesidir. Bir dakikayı aşan kesintiler genelde sistem bakımına neden olurlar.

2.3.4 Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği simetrik bileşenler dönüşümü kullanılarak tanımlana bilir. Sıfır veya negatif bileşen değerinin pozitif bileşen değerine bölünmesi ile elde edilen oransal değer dengesizliğin oranını gösterir. Şekil 2.11. bir hafta boyunca yapılan incelemelerin sonucu gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Bir besleme hattı için dengesizlik değerleri

Yüzde ikiden az gerilim dengesizliğinin temel nedeni üç fazlı sistemlerdeki tek fazlı yüklerdir. Gerilim dengesizliğinin diğer bir nedeni de üç fazlı kapasitörlerde tek faz sigortasının atmasıdır. Yüzde beşten fazla değerdeki gerilim dengesizlikleri tek faza kalmadan dolayı oluşabilir.

2.3.5 Dalga Şekli Bozukluğu

Dalga şekli bozukluğu temel frekanstaki sinüzoidal şeklin bozulması olarak tanımlanır ve spekturumsal olarak karakterize edilir. Beş çeşit temel dalga şekli bozukluğu vardır. Doğru akım bileşeni, harmonikler, araharmonikler, çentik etkisi ve gürültü.

2.3.5.1 Doğru Akım Bileşeni

Güç sistemlerinde doğru akım bileşeni yarım dalga doğrultucular gibi yüklerden dolayı oluşur. Örneğin akkor telli lambaların ömrünü uzatmak için kullanılan diod içeren devreler bu sonucu doğurur. Alternatif akım şebekelerinde doğru akım bileşeni transformatörlerin normal çalışma durumlarında doymaya geçmelerine neden olabilirler. Bu da normalin üstünde ısınmaya dolayısıyla da transformatörlerin kayıplarının artmasına ve ömürlerinin azalmasına neden olur. Doğru akım bileşeni aynı zamanda toprak bağlantılarının ve diğer bağlantıların aşınmasına da neden olurlar.

2.3.5.2 Harmonikler

Harmonikler besleme sisteminin normal çalışma frekansının (temel frekans) tam sayı katlarındaki sinüs biçimli gerilim ve akımlardır. Bozulmuş dalga biçimi temel frekans ve harmoniklerine ayrılabilir. Harmonikler güç sistemine bağlı bulunan lineer olmayan elemanlardan dolayı oluşur.

Harmonik seviyeleri her bir harmonik frekansının modülü ve fazı için teker teker belirtilir. Aynı zamanda harmoniklerin seviyesi için tek bir efektif değer olarak toplam harmonik seviyesi kullanılır. Şekil 2.12.'de hız ayarlamalı motor akımı ve frekans spektrumu gösterilmektedir.

2.3.5.3 Ara Harmonikler

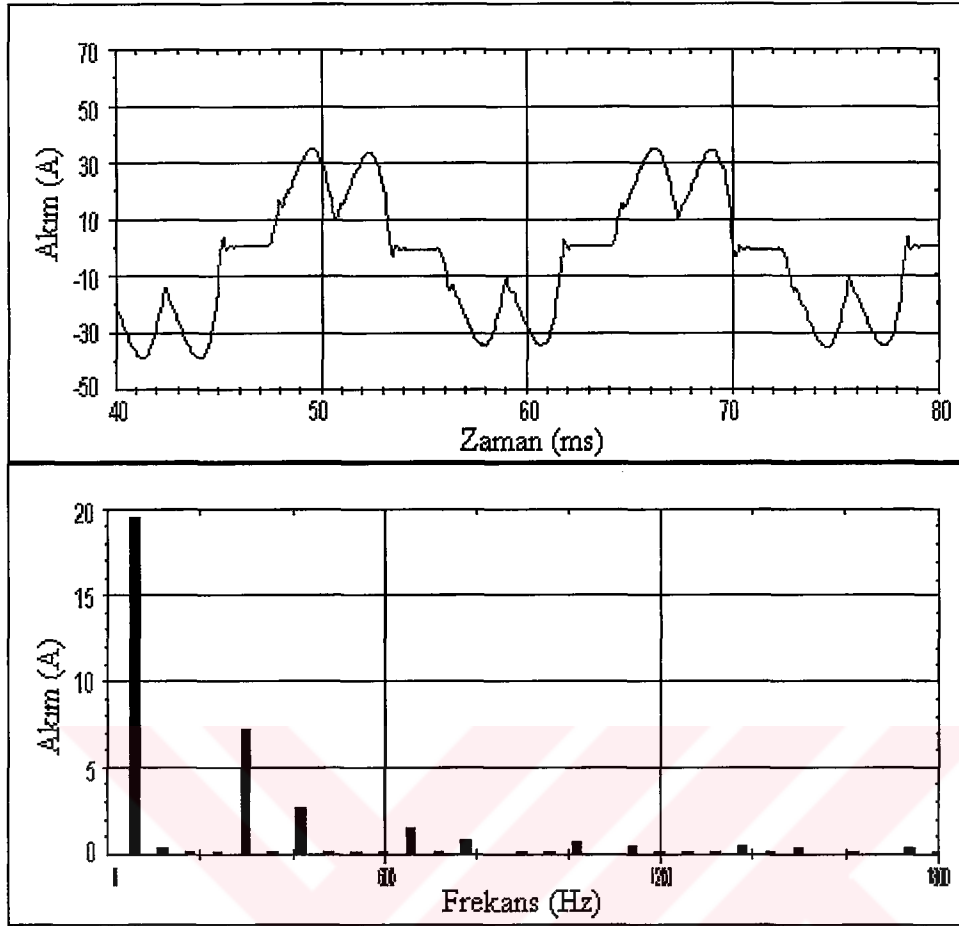
Ara harmonikler besleme sisteminin temel frekansının tam katları olmayan frekans spektrumuna sahip gerilim ve akımlardır. Ara harmoniklerin ayrı frekanslarda veya geniş bant spektrumunda bulunabilirler.

Araharmoniklerin tüm gerilim sınıflarındaki şebekelerde bulunmaları mümkündür. Ara harmoniklerin temel kaynağı statik frekans çeviricileri, ark fırınlarıdır.

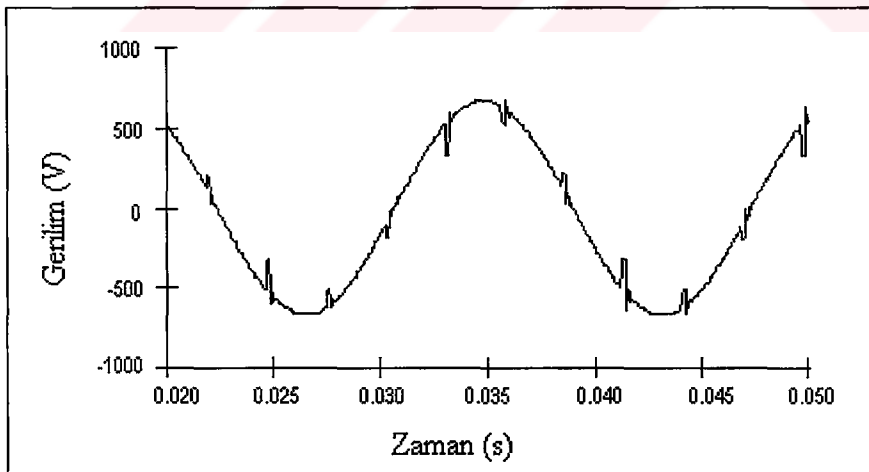
2.3.5.4 Çentik Etkisi

Çentik etkisi güç elektroniği aletlerinin normal çalışma şartlarında bir fazdan diğerine geçmeleri sırasında oluşan periyodik gerilim bozulmalarıdır.

Çentik etkisi periyodik olduğundan harmonik spektrumu ile karakterize edilebilmesine rağmen genelde özel bir durum olarak değerlendirilir. Bunun nedeni çentik etkisi ile ilişik olan harmonik frekansının yüksek olması nedeni ile harmonik analizi için kullanılan aletler tarafında algılanamıyabilmesidir. Şekil 2.13.'de üç fazlı doğrultucu tarafından oluşturulan çentik etkisi gösterilmiştir. Çentik etkisi sırasında kısa süreli bir kısa devre oluşur ve gerilim, sistemin izin verdiği miktarda azalır.



Şekil 2.12. Hız ayarlamalı motor akımı ve frekans spektrumu



Şekil 2.13. Üç fazlı doğrultucu nedeni ile oluşan çentik etkisi

2.3.5.5 Gürültü

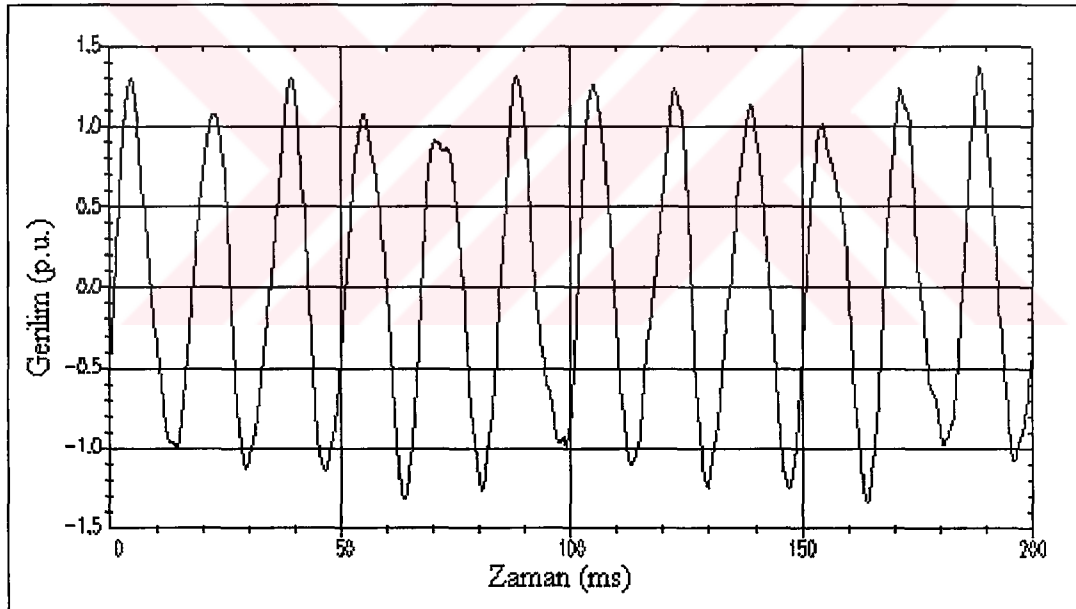
Gürültü güç sistemlerinde bulunana 200 kHz'den küçük bir frekans spektrumuna sahip işaretler olarak tanımlanır.

Güç sistemlerindeki gürültüler güç elektroniği aletleri ve kontrol devreleri gibi sisteme bağlı elemanlardan kaynaklanabilir. Gürültü sorununu önemli hale getiren neden bu işaretleri gerektiği gibi güç sistemlerinden uzaklaştıramayan yetersiz topraklama sistemleridir. Genel olarak gürültü harmonik veya geçici olay olarak sınıflandırılmayan bozulmaları içerir. Gürültü mikroişlemciler veya programlanabilir kontrolörlerin çalışmasını bozabilir. Bu sorun filtre kullanımı ile azaltılabilir.

2.3.6 Gerilim Dalgalanmaları

Gerilim dalgalanmaları normalde 0.9 p.u. ile 1.1 p.u. seviyesini aşmayan rastlantısal veya sistematik gerilim değişiklikleridir.

Gerilim dalgalanmasının çeşitli biçimleri tanımlanabilir. Fliker (kırpışma - flicker) da bu sınıfta bir bozulmadır. Şekilde 2.14.'de ark ocağı tarafından oluşturulan gerilim dalgalanması gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Ark ocağının neden olduğu gerilim dalgalanması

2.3.7 Güç Frekansı Değişimleri

Güç frekansı değişimleri, sistemin temel frekansının anma frekansından sapması olarak tanımlanır.

Güç sistemi frekansı besleme sistemindeki senkron generatörlerin dönme hızları ile orantılıdır. Yük ve üretim arasındaki dinamik dengeden dolayı frekansta değişimler

olur. Frekans değişlerinin miktarı ve süresi yük karakterine ve generatör kontrol sistemlerinin yük değişimine verdiği cevaba göre değişir.

İzin verilen sınırların dışına taşan frekans değişimlerine şebeke grubundaki hatalar, büyük güçlü yük bloklarını bağlantı kesmeleri veya önemli miktarda güç üreten generatörlerin devre dışı kalmaları neden olabilir.

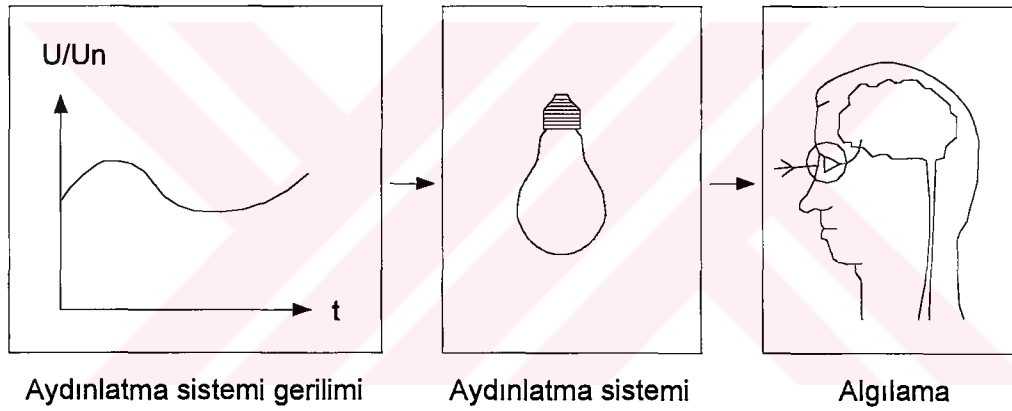


3. FLİKER

3.1 Flikerin Tanımı

Genel olarak ışık parıltısındaki dalgalanmaların sebep olduğu kişiye özgü etkilenme olarak tanımlanan fliker gerek ölçülmesi ve gerekse giderilmesi zor olan bir sorundur. Bir güç sisteminde fliker sorununun varlığının anlaşılması için iki belirleyici etken vardır.

1. Aydınlatma aygıtlarının beslendiği sistemdeki gerilim değişimi (dalgalanma).
2. Işık parıltısındaki değişiminin insanı rahatsız edecek seviyeye ulaşması.



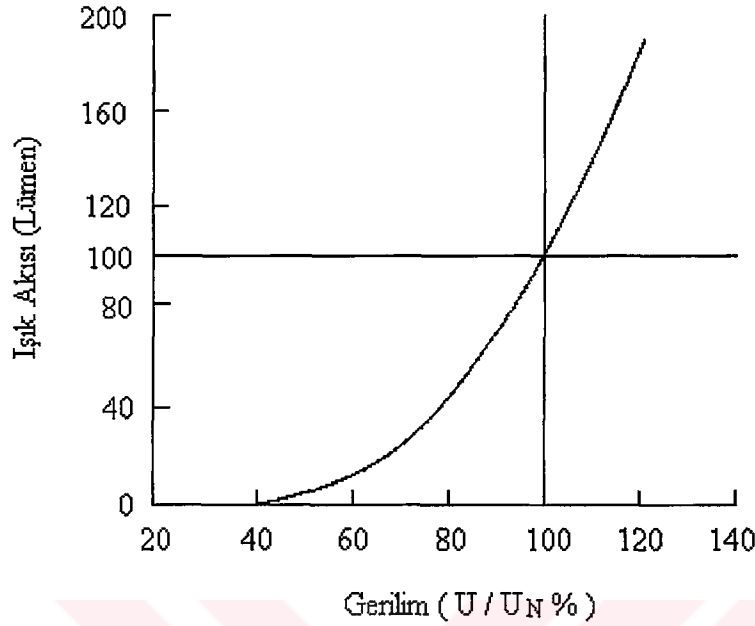
Şekil 3.1. Flikerin oluşumu

Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi gerilim değişimi sonucu parıltı değişiminin olması ve bu parıltı değişiminin insan tarafından algılanması gerekir. Bundan dolayı flikeri sorunu için gerilim, ışık parıltısı ve algılama arasındaki ilişki önemlidir.

3.2 Gerilim - Işık Parıltısı İlişkisi

Fliker ışık parıltısı kavramı kullanılarak tanımlanır. Bu alışıla gelen gerilim, akım veya frekans kullanılarak yapılan güç kalitesi tanımlarından farklıdır. Tanıma bakılarak yapılan bir incelemede flikerin, bir güç kalitesi sorunundan çok, bir aydınlatma sorunun olduğu yanlışına varılabilir. Gerçekten de aydınlatma için kullanılan armatürün yapısına göre parıltının şiddeti veya etkileyiciliği değişebilir. Fliker hakkındaki bu düşüncenin yanlışlığı ancak armatür gerilim ile ışık akısı

arasındaki ilişki incelendiğinde görülür. Şekil 3.2. 'de akkor telli lambanın gerilim – ışık akısı ilişkisi gösterilmiştir [3].



Şekil 3.2. Tungsten telli lambanın gerilim-ışık akısı karakteristiği

Şekil 3.2.'de gösterilen ilişki, yaklaşık olarak, aşağıdaki biçimde formüle edilebilir.

$$\Phi = \left(\frac{U}{U_N} \right)^n \quad (3.1)$$

Φ : Lambanın ışık akısı

U : Lambanın gerilimi

U_N : Lambanın anma gerilimi

Eşitlik 3.1'de “n” lambanın anma gerilimi, gücü gibi yapısal özelliklerine göre değişebilir.

EPRI (Güç Elektroniği Uygulamaları Merkezi) çeşitli modern aydınlatma aygıtları üzerinde fliker incelemesi yapmıştır [1]. Bu inceleme sonucunda lambaların kazanç katsayılarının gerilim dalgalanması sonucu meydana gelen fliker üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu incelemede ara harmonikler ve kaymış fazlı harmoniklerinde akkor telli lambalarla kıyaslandıklarında daha düşük kazanç katsayısına sahip olan flüoresan lambalarda da flikere neden oldukları gözlenmiştir.

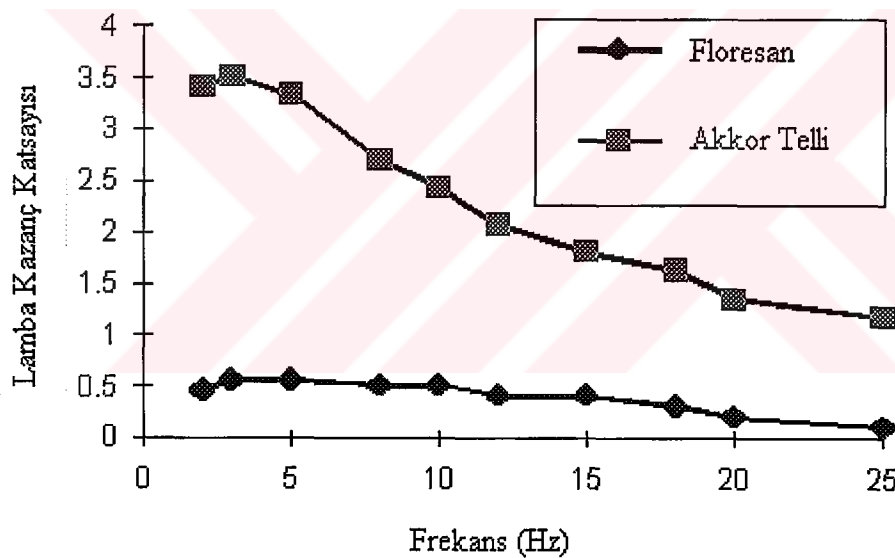
Kazanç katsayısı, gerilim dalgalanmaları kontrollü olarak değiştirilip ışık miktarındaki oransal değişme gözlenerek elde edilir. Gerilim dalgalanmasının genliği ve frekansı değiştirilerek lambanın ışık akısı ölçülebilir. Eğer ışık akısı değişimi oranı gerilim değişim oranından yüksek ise aydınlatma aygıtının birden büyük kazanç katsayılarına sahip olduğu söylenir. Kazanç katsayısı için eşitlik 3.2 verilebilir.

$$\text{Kazanç Katsayısı} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta U} \quad (3.2)$$

$\Delta\Phi$: Lambanın ışık akısı değişimi

ΔU : Lambanın gerilim değişimi

Şekil 3.3.'de floresan ve akkor telli lambalar için kazanç katsayıları gösterilmiştir.



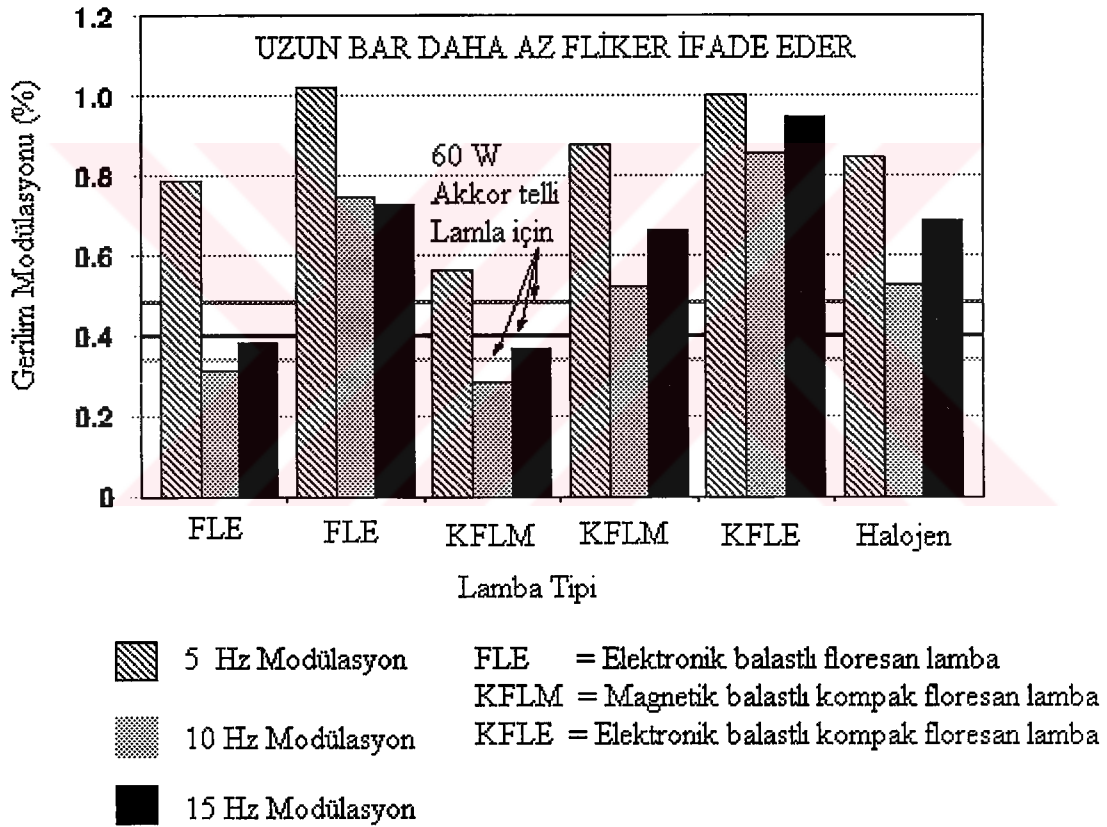
Şekil 3.3. Çeşitli lambalar için kazanç katsayısı değişimi

Akkor telli lambalar yapılarında bulunana direnç elemanın, geçen akımın etkisi ile, ısınması ve kor haline gelmesi sonucu ışık yayarlar. Akımın ani değerinin karesi ile orantılı olan ve direnç elemanında oluşan ısı enerjisinin sıcaklık değişimine neden olması, kullanılan telin özelliklerine göre, bir sürelik gecikmeye neden olur. Lamba telinin akımın ani değer değişimlerine gecikmeli cevap vermesine termik eylemsizlik denir.

Akkor telli lambaların kazancı termik eylemsizliklerinden dolayı yüksek frekanslarda düşer. Benzer şekilde gerilimin kare dalga biçiminde olduğu gibi ani değilse sinüzoidal biçimde olduğu gibi yavaşça değişmesi durumunda da farklı fliker

cevapları gözlenir. Düşük frekanslarda (1Hz) kare dalganın neden olduğu fliker aynı genliğe sahip sinüzoidal dalganın neden olduğu flikerden iki kat fazladır. Modülasyon frekansı arttıkça termik eylemsizlik dalga şeklinin etkisini azaltır.

Akkor telli lambaların aksine flüoresan lambalar çok daha küçük termik eylemsizliğe sahiptirler ve gerilim değişimine cevapları daha hızlıdır. 120 V gerilimde çalışan akkor telli lamba için zaman sabiti yaklaşık 28 ms ve 230 V gerilimde çalışan lamba için yaklaşık 19 ms iken, tipik bir floresan lamba için 5 ms'lik zaman sabiti söz konusudur. Bundan dolayı, flüoresan lambalar harmoniklerle ilişkili faz kaymaları gibi dalga biçimi bozukluklarına ve hızlı gerilim dalgalanmalarına daha duyarlıdır. Şekil 3.4. 'de EPRI'nın elliden fazla lamba tipi üzerinde yaptığı araştırma sonucu elde edilen değerler gösterilmiştir.

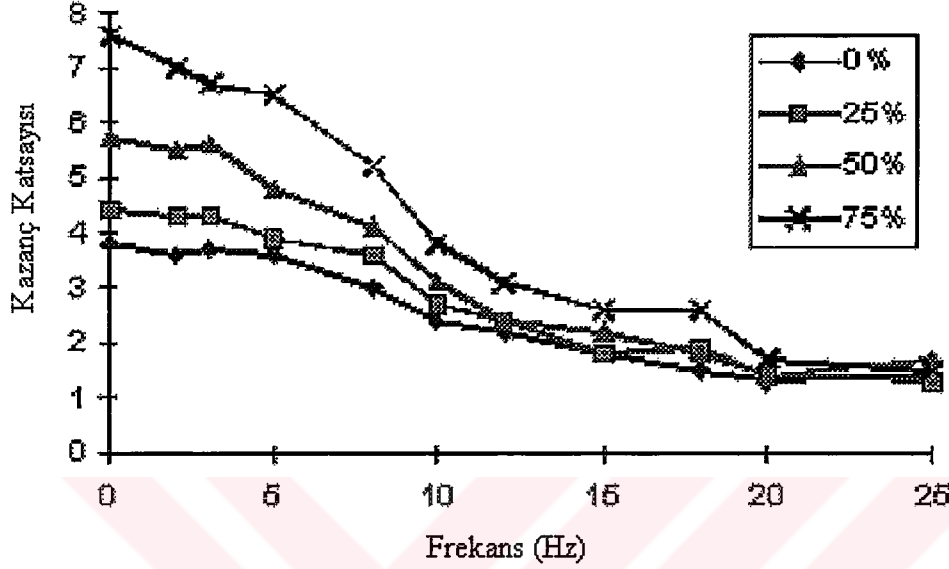


Şekil 3.4. Çeşitli lambalar için fliker test sonuçları

Şekil 3.4. 'de farklı lamba çeşitlerinde aynı fliker seviyesine ulaşmak için gerekli modülasyon miktarların gösterilmiştir. Bundan dolayı barın uzun olması lambanın flikere daha az duyarlı olduğunu gösterir.

Lambalarda ışık akısını ayarlayan sistemlerinde (dimmer) fliker ile ilişkili şikayetlerin artmasına neden olduğuna inanılır. Bu tür aletler akkor telli lambaların

kontrolü için evlerde kullanıldığında gerilim değişimlerine daha hassas olurlar. Tipik bir elektronik ışık akısı ayarlayıcı ile kullanılan lamba normal bir lambaya göre gerilim değişimlerine yaklaşık iki kat daha duyarlıdır. Şekil 3.5. çeşitli oranlarda kullanılan ışık akısı ayarlayıcısının lamba kazanç katsayısı üzerine olan etkisi gösterilmiştir.



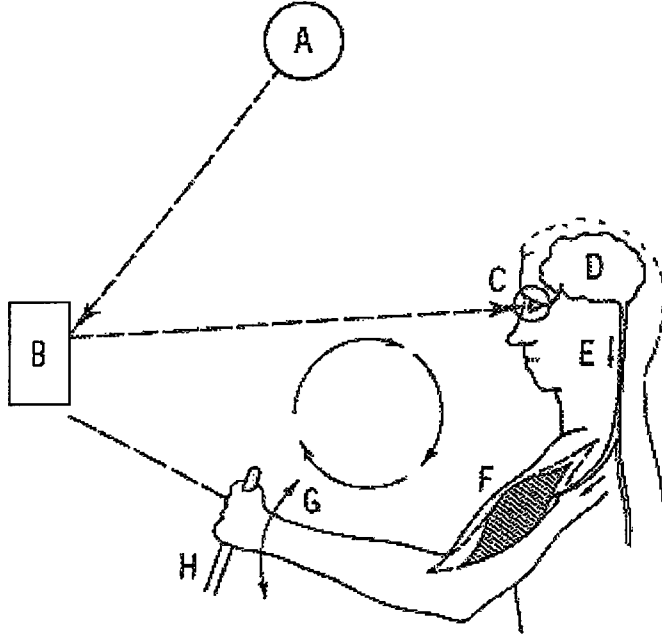
Şekil 3.5. Işık parıltısı ayarlayıcıların lamba kazanç katsayısına etkileri

Genel olarak harmoniklerin fliker üzerine etkileri pek fazla değildir. Ancak araharmoniklerin ve fazı kaymış harmoniklerin fluorsan lambalar üzerinde önemli etkileri vardır. Bununla birlikte fliker akkor telli lambalar için tanımlandığından ve şebeke frekansının altındaki frekanslar ile ilgili olduğundan harmonik kaynaklı bu tip bozulmalar fliker sorunu içinde incelenmez.

3.3 Işık Parıltısı Değişimi - Algılama

3.3.1 Görme Ve Algılama

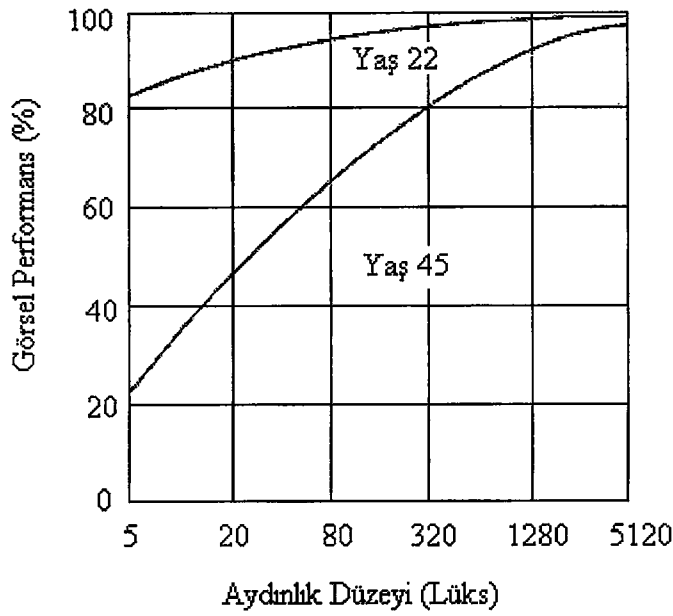
Cisimlerden yansıyan ışıkların göz tarafından alınıp, ilgili bilgilerin beyine iletilmesi işlemi olan görme ile beyinsel bir işlem olarak, görsel bilgilerin işlenmesin ve önceki bilgiler ile kıyaslanması olan algılamayı bir birinden ayırmak gerekir. Görme insanın doğarken elde ettiği bir özellikken algılama zaman içinde ve eğitim ile gelişen bir özelliktir. Eğer bir cismin görüntüsü bulanık veya eksikse o cisim algılamak yavaş olabilir. Yavaş algılama endüstriyel tesislerde veya güvenlik bölgelerinde tehlikeli durumlara yol açabilir.



Şekil 3.6. Siberetik döngü

Şekil 3.6.'de siberetik döngü kavramı şematize edilmiştir [4]. Bir kaynaktan yayılan ışık cisme çarpar ve oradan kişinin nesneyi görmesine yarayacak şekilde yansır. Beyinde ise kişinin nesnenin hareketini belirlemesine yarayan algılama oluşur. Örneğin vinç operatörü vinci harekete geçirir veya devam eden hareketinde değişiklik yapar. Operatör yaptıkları sonucu vinçte meydana gelen değişikliği gözler. Burada ışığın nesneden göze gelmesi, görme, algılama, karar verme operasyonu, nesnedeki değişiklik, ışığın nesneden göze gelmesi çevrimine siberetik döngü denir. Bu çevrimin herhangi bir noktasındaki kırılma döngüyü bozar. Yetersiz veya uygun olmayan ışık bu döngüdeki verimi azaltır.

Bu döngü içerisinde verimi etkileyen bir faktörde kişinin görme performansıdır. Bu performans çeşitli faktörlere göre değişir. Şekil 3.7.'de görme performansını etkileyen bazı faktörler gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Görme performansını etkileyen bazı faktörler

Kuşkusuz kişinin görme performansı o anki fizyolojik ve psikolojik durumuna, diğer duyu organlarının uyarılma durumuna, yaptığı işe ve benzeri etkilere göre de değişir.

3.3.2 Kritik Titreme (Kaynama) Frekansı

Göz zamana göre değişen ışık uyarımlarını iki halde ayırt edemez.

1. Doğal aydınlatmada olduğu gibi ışık uyarımlarının çok yavaş değişmesi halinde.
2. Alternatif akımla çalışan deşarj lambalarında olduğu gibi ışık uyarımlarının çok hızlı değişmesi halinde.

Eğer bir ışık kaynağının parıltısı periyodik olarak değişir ve bu değişme göze sabit parıltılı bir ışık kaynağı gibi gözükürse bu taktirde kaynağın bu titreme frekansına kritik titreme frekansı veya kaynama frekansı denir. Titreme veya kaynama frekansı eşitlik 3.3’de verilen L_{ort} ile değişir.

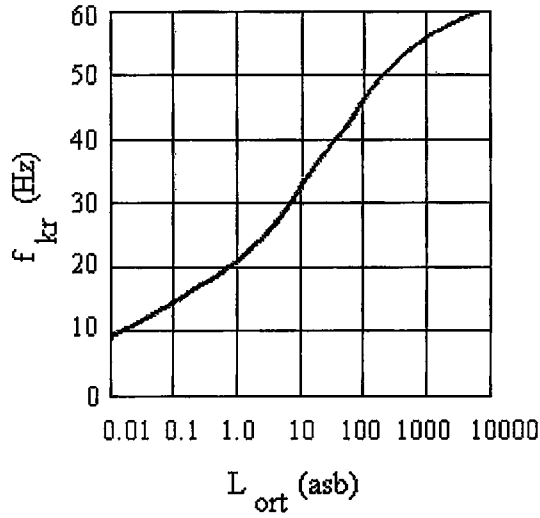
$$L_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T L(t).dt \quad (3.3)$$

L : Periyodik olarak değişen parıltının ani değeri

T : Periyodik olarak değişen parıltının periyodu

L_{ort} : Periyodik olarak değişen parıltının ortalama değeri

Tireme frekansı ile parıltının ortalama değeri arasındaki ilişki şekil 3.8.'daki gibidir.



Şekil 3.8. Kritik titreme (kaynama) frekansının ortalama parıltıya göre değişimi

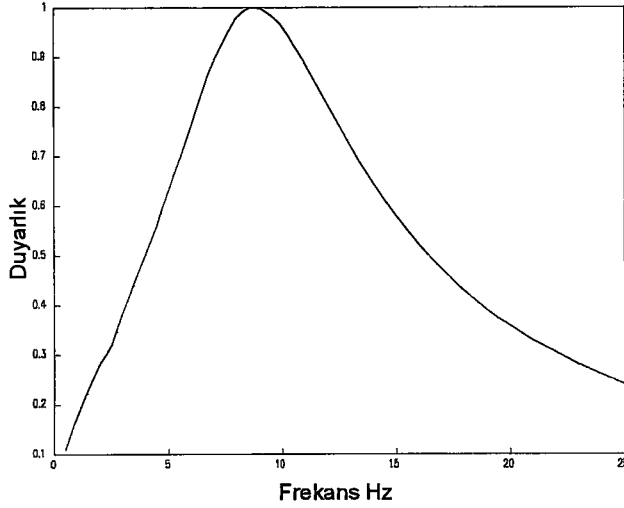
Periyodik olarak değişen ve bir birine etki etmeyen sınır hal için geçerli olan şekil 3.8.'deki eğriden büyük parıltılarda dolayısı ile yüksek aydınlık düzeylerinde kritik titreme frekansı büyük olduğundan titreşimlerin insanı rahatsız etme oranı ve ihtimali daha fazla olduğu sonucu çıkar.

3.3.3 Parıltı Değişiminin Etkileri

Parıltı değişiminin etkileri değişimin oluş biçimine göre değişir. Fliker sorunu açısından değişimin iki önemli özelliği vardır. Bunlar değişim frekansı ve şiddetidir. Ancak bu iki özelliğin insanlar üzerindeki etkileri kişinin görme performansına ve değişimin frekansının algılanabilir olup olmamasına bağlıdır. Görme performansı ve algılama frekansı yukarıda açıklanmıştır.

Açıklana nedenlerden dolayı ışığın değişim frekansı ve şiddeti için kesin bir sınır değer verilemez. Ancak yapılan deneyler sonucu elde edilen verilerin istatistiksel bir incelemesi sonucu yaklaşık doğrulukta bir sonuca varılır. Şekil 3.9.'da I.E.C. tarafından elde edilen gözün frekansa göre duyarlık eğrisi verilmiştir.

Bu eğride önemli olan nokta insan gözünün 8-9 Hz arası genlik değişimi frekansına sahip ışığa duyarlılığının güçlü olması ve bu noktadan önce ve sonra duyarlılığın daha az olmasıdır.



Şekil 3.9. Gözün frekansa göre duyarlık eğrisi

Parıltı değişimindeki önemli bir nokta değişimin frekansından dolayı meydana gelen stroskobik olaydır. Bu durumda kişi değişim frekansına göre dönen bir cismin duruyor veya ters dönüyor gibi görebilir.

Stroskobik etki sanayi kuruluşlarında önemli kazalara neden olabilmesine rağmen fliker sorunu ile ilişkili değildir. Çünkü bu etki insanı rahatsız etmemekte sadece algılamada hata oluşmasına yol açmaktadır.

3.4 Fliker - Gerilim İlişkisi

Fliker açısından yük, aydınlatma aygıtı, şebeke vb. modelleri yapılabilir ve bu modeller yapılan inceleme göre değişebilir. Ancak gerek flikeri ölçmek ve gerekse etkilerini açıklamak için genel olarak fliker sorunu bulunan bir sistemde gerilim şekli aşağıdaki biçimde modellenebilir.

$$U(t) = (1 + s(t)) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot t) \quad (3.4)$$

Bu eşitlik, haberleşme tekniğinde kullanılan genlik modülasyonu ile benzerlik taşımaktadır[5]. Burada $\cos(2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot t)$ taşıyıcı işaret, f_t taşıyıcı frekansı, $s(t)$ modülasyon işaretidir. Eğer $s(t)$ işareti periyodik ise bu işaretin frekansı modülasyon frekansı olarak adlandırılır.

4. FLİKER DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

4.1 Giriş

Fliker sorununda en önemli noktalardan biri de değerlendirmedir. Bunun nedeni flikerin doğal yapısından ötürü kesin bir matematik tanımının bulunmayışı ve değerlendirme yönteminin bir tür tanımlama sayılabilesidir. Fliker değerlendirme yöntemi ile ortaya çıkan sonuç fliker düzeyinin kabul edilebilir olup olmadığını ortaya koyar ve bunun sonucunda flikere karşı alınacak önlemlerinde temel noktası olur.

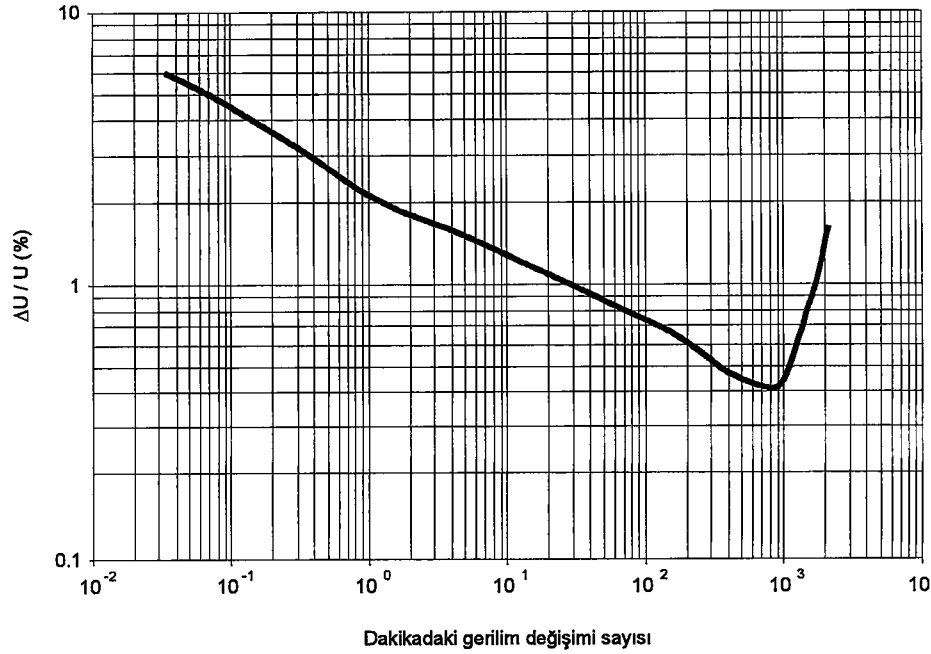
Fliker değerlendirmesi için çeşitli ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Ancak günümüzde Türkiye’de ve Avrupa ülkelerinde IEC standartları kullanılmakta olup Kuzey Amerika’da hala fliker eğrileri metoduna dayanan IEEE Standardı geçerlidir.

4.2 IEEE Fliker Standardı

IEEE fliker sınırlarını önerilen uygulama dokümanları (recommended practice documents) olarak yayınlamıştır [1]. Bunların en önemlileri IEEE 519-1992 ve IEEE 141-1995 dir. Her ne kadar aynı olmalarına çalışılmışsa da aralarında bazı farklar bulunmaktadır. Her iki dokümanda önerilen uygulama Şekil 4.1. de gösterilmiştir.

IEEE fliker eğrisindeki $\Delta V / V$ ifadesine bağlı gerilim değişimi denir. Burada ΔV sistem geriliminin ölçüm anındaki efektif değeri ile kalıcı durum geriliminin efektif değeri arasındaki farkı, V bir süre boyunca yapılan ölçüm sonucunda elde edilen geriliminin efektif değerini ifade eder.

Ölçüm sonucu elde edilen fliker frekansı ve bağlı gerilim değişiminin kombinasyonu sonucu elde edilen değerlerin eğrinin altında kalması rahatsız etmeyici durum olarak kabul edilir.



Şekil 4.1. IEEE fliker eğrisi

IEEE fliker eğrisini oluşturan araştırmalar 50 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. Araştırmalar akkor telli lambalarda farklı fliker değerleri ve süreleri ile yapılmıştır. Çeşitli güçlerde lambalar kullanılmış ancak 60 W gücündeki lamba ağırlığı oluşturmıştır. Araştırmalar sırasında yapılan deneylerde deneye katılanlardan çeşitli fliker düzeyleri için ne hissettiklerini belirtmeleri istenmiştir. Katılımcılar hislerini görememe, görme fakat rahatsız olmama veya rahatsız olma şeklinde belirtmişlerdir. Deneye katılanlar görme ve rahatsız olma konusunda her zaman aynı karara varamadıkları için deneylerin istatistiksel bir doğası olmuştur. Araştırmacılar görünebilirlik ve rahatsızlık eğrilerini kabul edilebilir seviyeye çekmişlerdir. Rahatsızlık sınırının az bir miktar aşağısındaki fliker seviyesi çok az sayıda kişi için hafif bir rahatsızlık oluşturabilir. Fliker seviyesini rahatsızlık sınırının üstüne çıkarmak iki sonuç doğurur.

1. Oransal olarak daha fazla kişi rahatsız olur.
2. Daha düşük seviyede rahatsız olanlar bu seviyede daha çok rahatsız olurlar.

Unutulmaması gereken önemli nokta araştırmaların çoğunun 60 W gücünde ve 120 V gerilimde çalışan lambalar için yapıldığıdır. Daha düşük güçteki akkor telli lambalar daha küçük bir zaman sabitine sahiptirler. Bundan dolayı 1 Hz frekansındaki flikerde daha fazla rahatsızlık uyandırırılar. Daha yüksek güçteki akkor telli lambalar daha büyük zaman sabitine sahiptirler ve meydana getirdikleri

rahatsızlık daha azdır. Yeni aydınlatma aygıtlarının fliker cevapları da farklı olmaktadır.

Üzerinde durulması gereken önemli bir nokta da laboratuvar deneyleri sırasında ani gerilim değişimlerinin kullanıldığıdır. 60 Hz frekansındaki sinüzoidal dalga dikdörtgen dalga ile modüle edilmiştir. Daha yavaş gerilim değişimleri daha az fliker rahatsızlığı üretirler.

Bir diğer önemli nokta aynı anda bir genlik ve frekans kullanılmıştır. Oysa bir çok pratik uygulamada birden farklı kaynaktan üretilen çok sayıda farklı genlik ve frekanslardan oluşan fliker düzeyleri söz konusudur. Daha da önemlisi gerilim modülasyonu dikdörtgen ve periyodik değildir.

4.3 IEC Fliker Standartları

4.3.1 Giriş

IEC fliker olgusu ile ilişkili olarak dört standart belirlemiştir. Bunlar IEC 61000-4-15 IEC 1000-3-3, IEC 1000-3-5 ve IEC 1000-3-7 dirler.

IEC 61000-4-15 flikermetre standardı olup bir flikermetre yapmak için gerekli bilgiler verir. Bu standart Kısa Süreli Fliker Şiddet Faktörü (P_{st}) ve Uzun Süreli Fliker Şiddet Faktörü (P_{lt}) olmak üzere iki temel değişken tanımlar [7].

IEC 1000-3-3 Alçak gerilim sistemlerindeki akımı 16 A den küçük olan yükler için fliker sınırlarının nasıl belirleneceğini ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklar. Burada P_{st} ve P_{lt} değerleri temel değişkenler olarak kullanılır [8].

IEC 1000-3-5 Alçak gerilim sistemlerindeki akımı 16 A den büyük olan yükler için fliker sınırlarının nasıl belirleneceğini ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklar. Burada P_{st} ve P_{lt} değerleri temel değişkenler olarak kullanılır [9].

IEC 1000-3-7 Orta ve yüksek gerilim sistemlerindeki emisyon seviyelerinin nasıl belirleneceğini ve yüklerin bu sınırlara uygun olup olmadığının nasıl belirleneceğini açıklar. Burada da P_{st} ve P_{lt} değerleri temel değerlerdir [10].

Yukarıdaki standartlar P_{st} ve P_{lt} üzerine kurulu bir metodoloji tanımlar. Bu metodolojiye göre öncelikle flikermetre tanımlanır. Bu flikermetrenin çıkışından P_{st}

ve bundan P_{lt} elde edilir. P_{st} ve P_{lt} değerlerine yine IEC standartları tarafından tanımlanan yöntemler ile uygun olup olmadıkları belirlenir.

4.3.2 Tanımlar

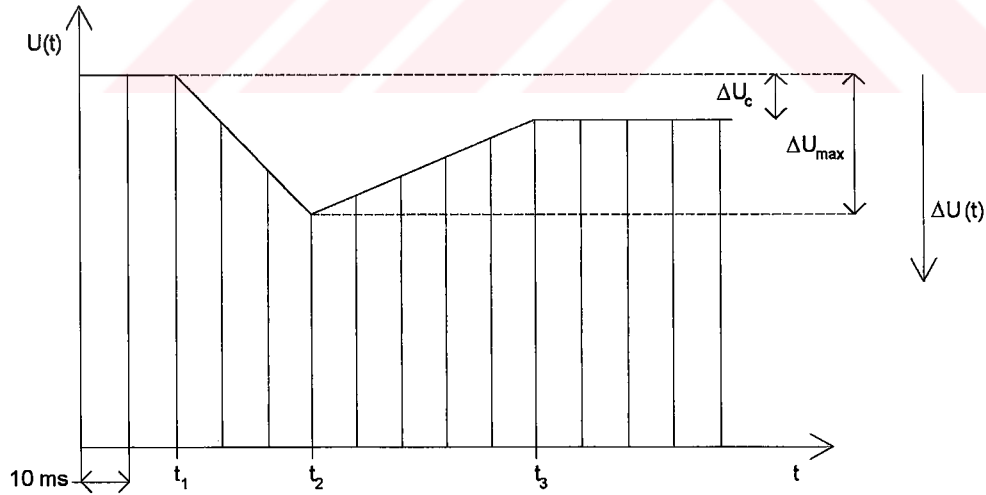
Flikerin belirlenmesi için kullanılacak yöntemlerinin açıklanması sırasında bazı tanımların kullanılması gerekmektedir. Bu tanımlar aşağıda verilmiştir.

Efektif gerilim şekli, $U(t)$: Temel gerilimin (faz-nötr) yarım periyod boyunca ölçülen efektif değerinin zamana göre fonksiyonudur (bkz. Şekil 4.2).

Gerilim değişim karakteristiği, $\Delta U(t)$: Gerilimin en az 1 saniye süresince kalıcı durumda olduğu zaman efektif gerilimdeki değişimin zaman göre fonksiyonudur (bkz. Şekil 4.2).

Maksimum gerilim değişimi, ΔU_{max} : Gerilim değişim karakteristiğinin maksimum ve minimum efektif değerleri arasındaki farktır (bkz. Şekil 4.2).

Kalıcı durum gerilim değişimi, ΔU_c : En az bir gerilim değişim karakteristiği ile ayrılmış bitişik kalıcı durum gerilimleri arasındaki farktır (bkz. Şekil 4.2).

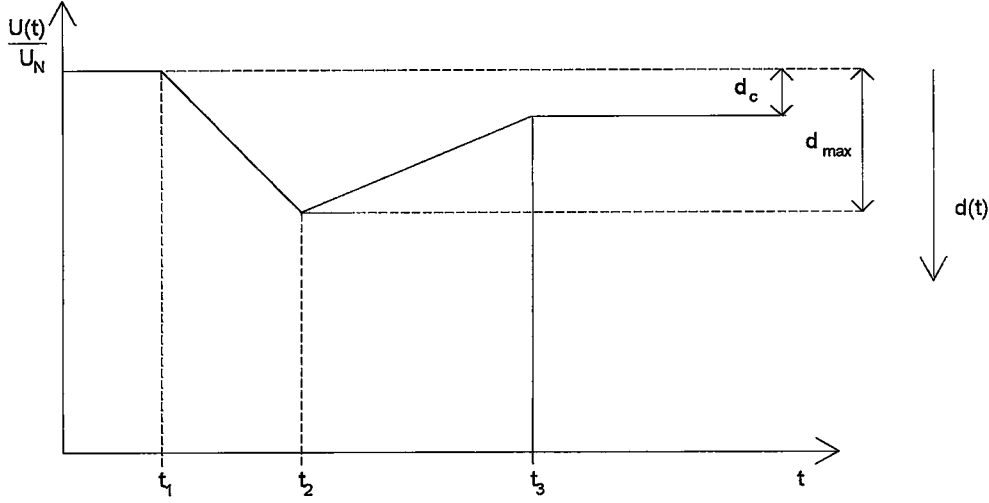


Şekil 4.2. Efektif gerilim şeklinin değerlendirilmesi

Bağıl gerilim değişimi karakteristiği, $d(t)$: Gerilim değişim karakteristiği $\Delta U(t)$ 'nin sistem anma gerilimi U_N 'ye oranıdır (bkz. Şekil 4.3).

Bağıl maksimum gerilim değişimi, d_{max} : Maksimum gerilim değişimi ΔU_{max} 'ın sistem anma gerilimi U_N 'ye oranıdır (bkz. Şekil 4.3).

Bağıl kalıcı durum gerilim değişimi, d_c : Kalıcı durum gerilim değişimi ΔU_c 'nin sistem anma gerilimi U_N 'ye oranıdır (bkz. Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Bağıl gerilim değişimi karakteristiği

Gerilim dalgalanması: Ardaşıl gerilim değişimleri veya gerilimin efektif değerdeki sürekli değişimlerdir.

Fliker: Işık akısı veya spektral dağılımı zamanla dalgalanan ışık kaynağının neden olduğu görsel algılama düzensizliğinin etkisidir.

Kısa dönem fliker şiddet faktörü: Kısa bir süre (dakika olarak) boyunca belirlenen fliker şiddetidir. $P_{st} = 1$ genelde fliker için rahatsız edici sınırı belirtir.

Uzun dönem fliker şiddet faktörü, P_{lt} : P_{st} değerleri kullanılarak uzun bir süre boyunca (saat olarak) belirlenen fliker şiddetidir.

Flikermetre: Flikerin herhangi bir değerinin belirlemek üzere tasarlanmış aygıttır. Flikermetre genelde P_{st} ve P_{lt} değerlerini ölçer.

Fliker etki zamanı, t_f : Gerilim değişim şeklinin fliker etkisinin tanımlayan zaman boyutundaki bir değerdir.

4.3.3 Bağıl Gerilim Değişiminin Belirlenmesi

Fliker belirlenmesinin temeli, uygunluğu test edilen yükün uçlarındaki gerilim değişim karakteristiği olan $\Delta U(t)$ 'nin bulunması olup bu da iki farklı efektif gerilim şekli olan $U(t_1)$ ve $U(t_2)$ 'nin farkıdır.

$$\Delta U(t) = U(t_1) - U(t_2) \quad (4.1)$$

Efektif değer ifade eden $U(t_1)$ ve $U(t_2)$ değerleri ölçülmeli veya hesaplanmalıdır. Eğer efektif değer ani gerilim dalga şeklinden elde ediliyorsa hesapta dalga şekli bozukluklarının da dikkate alınması gerekir.

Gerilim değişim karakteristiği $\Delta U(t)$ test edilen yükün çektiği kompleks akım $\Delta I(t)$ 'nin kompleks empedans olan $\underline{Z}$ den geçmesi sonucu oluşan gerilim düşümünden dolayı oluşmaktadır. ΔI_p ve ΔI_q sırasıyla ΔI akımının aktif ve reaktif kısımları olarak tanımlanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\Delta I(t) = \Delta I_p - j.\Delta I_q = I(t_1) - I(t_2) \quad (4.2)$$

Burada dikkate edilmesi gereken bazı noktalar şunlardır.

- I_q kapasitif akım için pozitif, endüktif akım için negatiftir.
- Eğer $I(t_1)$ ve $I(t_2)$ akımlarındaki harmonik bozulması 10%'den az ise temel bileşenin efektif değeri yerine toplam efektif değer kullanılabilir.
- Tek fazlı ve simetrik üç fazlı yüklerde gerilim değişimi eşitlik 4.3'deki gibi yazılabilir.

$$\Delta U(t) = |\Delta I_p.R + \Delta I_q.X| \quad (4.3)$$

Burada ΔI_p ve ΔI_q sırasıyla akım değişiminin aktif ve reaktif kısımları, R ve X kompleks empedansın bileşenleridir.

Sonuç olarak bağlı gerilim değişimi aşağıdaki eşitlikteki gibi verilebilir.

$$d = \Delta U(t)/U_N \quad (4.4)$$

5. FLİKERMETRE

5.1 Giriş

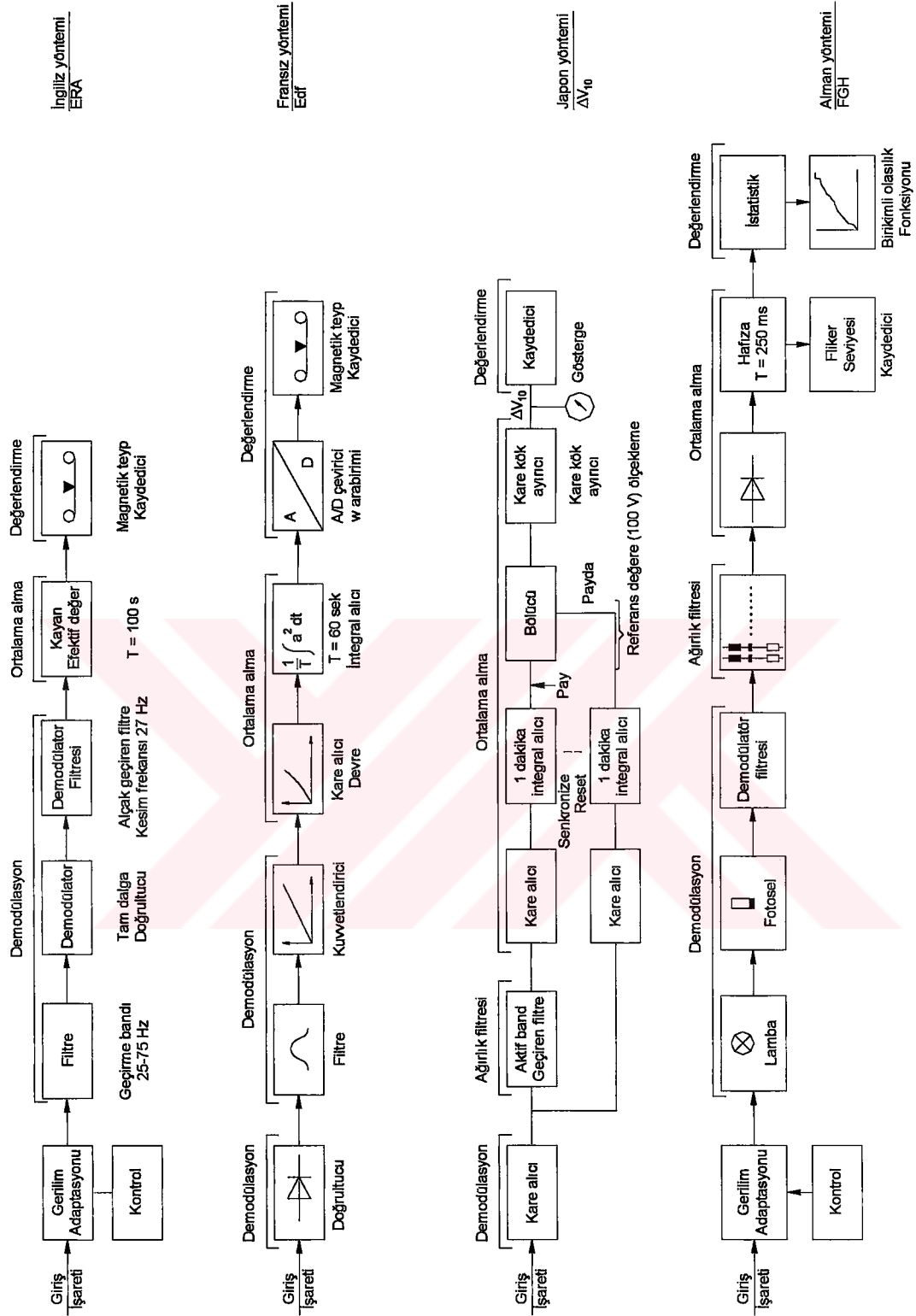
Flikermetrelerin en önemli görevi fliker düzeyini nesnel bir şekilde belirlemesidir. Bunun için farklı yapıları olan flikermetreler kullanılmıştır [11]. Bu flikermetrelerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

ERA, İngiliz flikermetresi 0.5 – 27 Hz frekans bandındaki dalgalanan gerilim dalga şeklinin efektif değerini ölçer ve kabul edilebilir bir kararlılıkta okuma yapabilmek için yaklaşık 100 saniyelik zaman sabiti kullanır (bkz. Şekil 5.1).

EDF, Fransız flikermetresi 0.5 – 25 Hz frekans bandındaki gerilim dalgalarını algılar ve frekansa göre ölçeklendirilmiş işaretin karesinin ortalamasını alır. Bu ölçeklenmiş ortalama değer incelenen alet tarafından üretilen dalgalanma sonucu oluşan fliker dozunu verir (bkz. Şekil 5.1).

FGH, Alman flikermetresi akkor telli lamba yoluyla besleme gerilimindeki modülasyon bileşenlerini algılar ve süzer. Merkez frekansları 0.7 ila 28 Hz arasında olan ve duyarlıkları sinüzoidal fliker eğrisine göre değişen 12 filtre ile modülasyon bileşenleri ölçeklendirilir. Bu yolla sinüzoidal olmayan periyodik gerilim şekilleri de doğru olarak oluşturulur. Flikermetrelerin çıkışı filtre çıkışlarının en büyüğü olarak verilir. Bu işaret daha sonra düzgünleştirilir. Bu flikermetre flikerin ani değerini verdiği gibi uzun süreli değerini de verir (bkz. Şekil 5.1).

ΔV_{10} , Japon flikermetresi gerilimin dalgalanan bileşenin belirlemek için tasarlanmıştır. Bu flikermetre EDF'ye benzemekle birlikte duyarlık eğrisinin 100 V luk akkor telli lambaya dayanmaktadır. Bu flikermetrede merkez frekans 10 Hz dir. (bkz. Şekil 5.1)



Şekil 5.1. Çeşitli flikermetreler

5.2 U.I.E. Flikermetre

5.2.1 Giriş

U.I.E. (International Union for Elektro-Heat) tarafından önerilmiş ve IEC tarafından kabul edilmiştir. Bu flikermetre ülkemiz ve Avrupa'da kullanılmakta olup ileriki bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

5.2.2 Genel Yapısı

Flikermetre'nin genel mimarisi Şekil 5.2'deki blok diyagramında verilmiştir. Bu diyagram işlevsel olarak iki bölüme ayrılabilir.

- Lamba-göz-beyin zincirinin simülasyonu
- İstatistiksel analiz

İlk kısımdaki işlevleri 2., 3., ve 4. bloklar, ikinci kısımdaki işlevi ise 5. blok yerine getirmektedir.

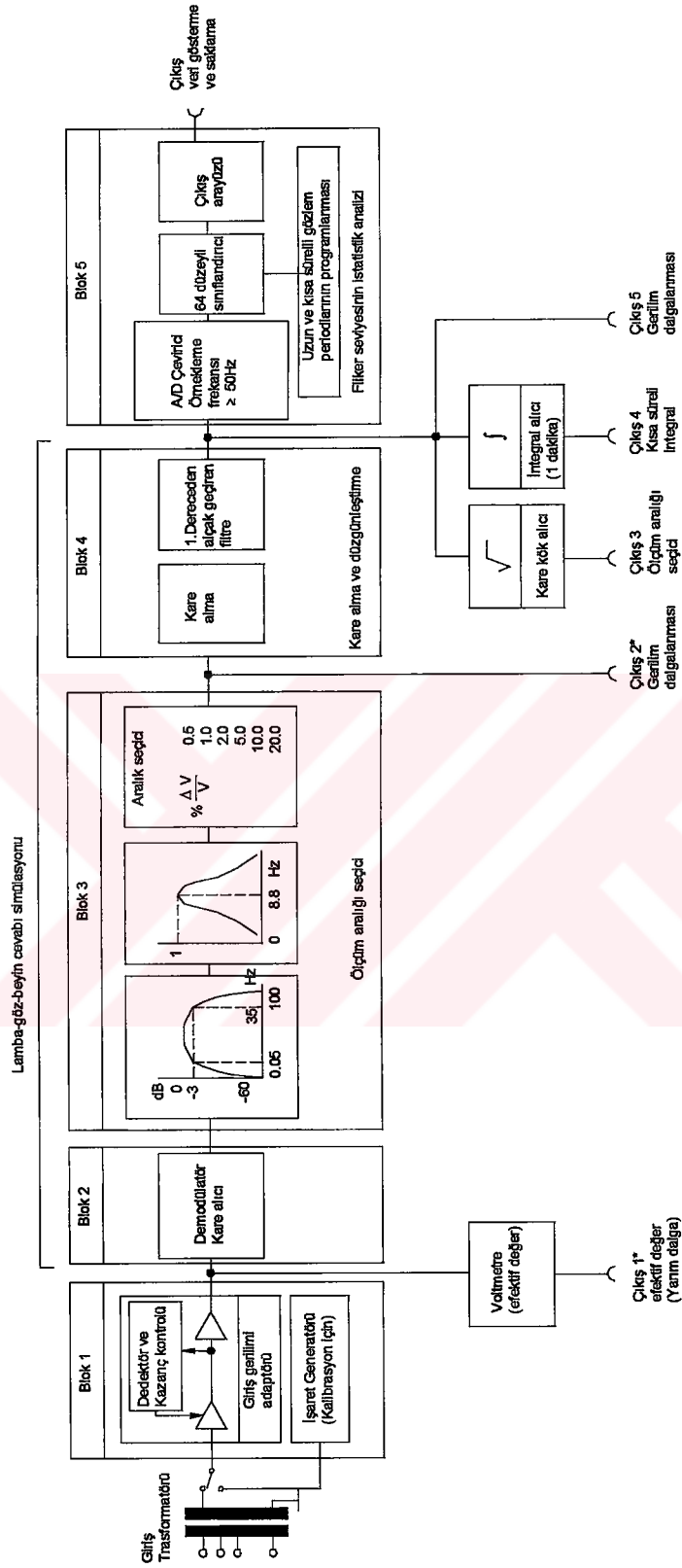
Blok 1 giriş geriliminin şebeke frekansındaki bileşeninin ortalama efektif değerini referans değere göre ölçeklendirir ve flikermetrenin kalibrasyonunu kontrol etmek için bir iç generatörü içerir. Bu sayede fliker ölçümü o anki şebeke gerilimi olan taşıyıcı işaretten bağımsız olarak yapılabilir. Transformator kademeleri adaptörünün girişindeki işaretin kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulabilmesi için gerekli gerilim sınırlarını belirtir.

Blok 2 giriş geriliminin karesini alarak gerilim dalgalanmasını temel bileşenden ayırır ve lambanın simülasyonunu yapar.

Blok 3 birbirine seri bağlanmış iki filtre ve ölçüm aralığı seçicisinden oluşur. Bu seçici devre filtrelerden önce veya sonra gelebilir.

İlk filtre demodülatör çıkışındaki doğru akım bileşeni ve şebeke frekansının iki katı frekansa sahip bileşenleri süzer.

İkinci filtre bir ağırlık filtresidir. İnsan görme sisteminin ile birlikte teli kömürden yapılmış 60 W gücünde 220 V gerilimindeki akkor telli lambanın sinüzoidal gerilim dalgalanmasına cevabını simüle eder. Buradaki sınır değerler her bir frekans için yapılan deneylere katılan kişilerin yarısından fazlasının görüşüne göre belirlenmiştir.



Şekil 5.2. U.I.E. Flikermetre blok diyagramı

Blok 4 kare alıcı çarpma devresi ve birinci dereceden alçak geçiren filtreden oluşmuştur. Lamba, göz ve beyin yolu ile oluşan görme simüle edilmiştir.

Blok 5 uygun sayıda sınıf kullanarak ve giriş işaretini sabit bir hızda örnekleyerek istatistik analiz yapar.

Çıkış 1,2,3 ve 4 isteğe bağlı, çıkış 5 ve 6 zorunlu çıkışlardır.

Çıkış 1 giriş gerilimindeki değişimleri görmek için kullanılır. Bu çıkışa bir efektif değer ölçen voltmetre bağlanabilir.

Çıkış 2 temel olarak Blok 3'ün cevabının gözlenmesi ve ayarlamalar yapmak için kullanılır.

Çıkış 3 bağıl gerilim değişimini verir. Ölçme aralığının seçiminde kullanılır.

Çıkış 4 ani fliker değerinin 1 dakikalık entegralini verir.

Çıkış 5 ani fliker değerini verir. Bu değer daha sonra yapılacak değerlendirmelerde kullanılmak üzere kaydedilebilir.

Çıkış 6 kısa dönem fliker şiddet faktörünü verir.

5.2.3 Flikermetre'nin Analog Cevabı

Flikermetrenin girişten blok 4'e kadar sinüzoidal ve dikdörtgen dalgalanmalara analog cevabı tablo 5.1 ve tablo 5.2 de verilmiştir.

IEC 555-3 standardına göre 40% bağıl genlikli 8.8 Hz frekanslı sinüzoidal gerilim dalgası ile modüle edilmiş 1 birim genlikli 50 Hz frekanslı gerilim dalgası aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V(t) = \left[1 + \frac{40}{100} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \Pi \cdot 8.8 \cdot t) \right] \cdot \sin(2 \cdot \Pi \cdot 50 \cdot t) \quad (5.1)$$

Aynı şekilde fakat bu defa dikdörtgen şeklindeki bir gerilim dalgası ile modülasyon durumunda aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$V(t) = \left[1 + \frac{40}{100} \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{signum}[\sin(2 \cdot \Pi \cdot 8.8 \cdot t)] \right] \cdot \sin(2 \cdot \Pi \cdot 50 \cdot t) \quad (5.2)$$

Blok 4'ün çıkışındaki bir birimlik değer insanın fliker duyarlılık sınırını ifade eder. Analog flikermetre cevabı 8.8 Hz lik sinüzoidal modülasyonda odaklanmıştır.

Tablo 5.1. Sinüzodial gerilim dalgalanması için flikermetre cevabı

Hz	Gerilim Dalgalanması %	Hz	Gerilim Dalgalanması %
0.5	2.340	9.5	0.254
1.0	1.432	10.0	0.260
1.5	1.080	10.5	0.270
2.0	0.882	11.0	0.282
2.5	0.784	11.5	0.296
3.0	0.654	12.0	0.312
3.5	0.568	13.0	0.348
4.0	0.500	14.0	0.388
4.5	0.446	15.0	0.432
5.0	0.398	16.0	0.480
5.5	0.360	17.0	0.530
6.0	0.328	18.0	0.584
6.5	0.300	19.0	0.640
7.0	0.280	20.0	0.700
7.5	0.266	21.0	0.760
8.0	0.256	22.0	0.824
8.8	0.250	23.0	0.890
		24.0	0.962
		25.0	1.042

Tablo 5.2. Dikdörtgen gerilim dalgalanması için flikermetre cevabı

Hz	Gerilim Dalgalanması %	Hz	Gerilim Dalgalanması %
0.5	0.514	9.5	0.200
1.0	0.471	10.0	0.205
1.5	0.432	10.5	0.213
2.0	0.401	11.0	0.223
2.5	0.374	11.5	0.234
3.0	0.355	12.0	0.246
3.5	0.345	13.0	0.275
4.0	0.333	14.0	0.308
4.5	0.316	15.0	0.344
5.0	0.293	16.0	0.375
5.5	0.269	17.0	0.413
6.0	0.249	18.0	0.452
6.5	0.231	19.0	0.498
7.0	0.217	20.0	0.546
7.5	0.207	21.0	0.586
8.0	0.201	22.0	0.604
8.8	0.199	23.0	0.680
		24.0	0.743

Tablolarda verilen değerler yukarıdaki değerlerinin $\pm 5\%$ sınırlarında kalmak kaydıyla blok 4 teki değer 1 birim olmalıdır.

5.2.4 Giriş Transformatörü

Giriş transformatörü geniş bir şebeke gerilimi aralığına sahip olmalı ve kendisini izleyen devreye en üst düzeyde uyumlu olmalıdır. En çok kullanılan gerilimler -30% ve +20% lik sapmaları ile tablo 5.3. de verilmiştir.

Tablo 5.3. En çok kullanılan gerilimler ve –30% ve +20% sapmaları.

Giriş Gerilimi V_{efektif}	-30% V_{efektif}	+20% V_{efektif}
57.7	40	68
100	70	120
115	80.5	138
127	89	152
160	112	192
220	154	264
230	161	276
240	168	288
380	266	456
420	294	504

Tablo 5.3 e göre önceden belirlenen gerilim aralığı efektif değer olarak 40 V ile 504 V arasında olmalıdır.

Transformatörün sekonderindeki gerilim değişiminin 1 ile 3.5 kat arasındaki maksimum salınmada tutulması tavsiye edilir. Transformatörün en az üç kademeli olmalıdır. Transformator çevirme oranları da, V_R referans gerilim olmak üzere, primerden sekondere $504/V_R$, $276/V_R$, ve $138/V_R$ olmalıdır.

Transformator 700 Hz 'e kadar olan geçirme bandı içerisinde kayda değer bir zayıflamaya neden olmalıdır.

Primer sargıları ve ona bağlı olmayan kısımlar ile arasındaki yalıtım 1 dakika süresince 2kV gerilime dayanabilmelidir. Sargılar arasına elektrostatik kalkan uygun bir şekilde bağlanmalıdır.

5.2.5 Gerilim Adaptörü

Bu devrenin görevi modüle edilmiş 50 Hz frekanslı gerilimin efektif değerini, bağlı gerilim dalgalanmasına etki etmeden, referans değer olan V_R de sabit tutmaktır. Bu sayede şebeke geriliminin temel bileşeni olan 50 Hz lik bileşenin değişimi ölçülen değeri etkilemez.

Gerilim adaptörü basamak şeklindeki giriş değişimine alabileceği değişim sonucu alacağı son değer 10%'undan 90%'ına 1 dakika içinde geçmelidir.

5.2.6 İç Generatör

İç generatör flikermetre kalibrasyonu için kullanılan bir işaret generatörüdür. Bu generatör $(50/17) \text{ Hz} = 2.94 \text{ Hz}$, dikdörtgen dalga ile modüle edilmiş şebeke frekansında sinüzoidal dalga üretmelidir.

Kalibrasyon referans değer gösteren bir işarete göre yapılır. Bu devrenin önemli özellikleri aşağıdadır.

Taşıyıcı işaret şebekeye faz kilitli olmalıdır.

$\Delta V/V$ modülasyonu 1 % olmalıdır.

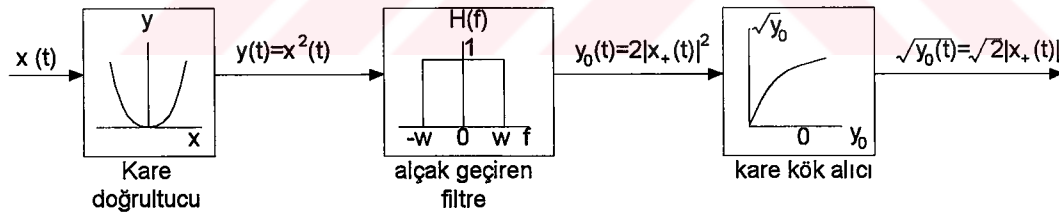
Taşıyıcı seviyesi bütün ölçüm aralıklarına uygun olmalıdır.

Modülasyon frekansının hassasiyeti 1 % olmalıdır.

5.2.7 Kare Alıcı Demodülatör

Blok 2 içinde bulunan bu devre giriş işaretinin karesini alarak modülasyon bileşeni ile taşıyıcı bileşeni ayırır.

Genel olarak kare alıcı demodülatör blok diyagramı aşağıdaki gibidir [5].



Şekil 5.3. Kare alıcı demodülatör blok diyagramı

Flikermetre'nin 2. bloğu yukarıda gösterilen diyagramdaki ilk bloğun işlevi görmekte olup flikerin bazı özelliklerinden dolayı yukarıdaki blokların tümüne ihtiyaç yoktur.

Kare alıcı demodülatörün nasıl çalıştığını göstermek için sinüzoidal dalga ile modülasyon durumunu göz önüne alalım. Bu durumda giriş işareti $V(t)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V(t) = [1 + k \cdot s(t)] \cdot \sin(\omega_c \cdot t) \quad (5.3)$$

Giriş işaretinin karesi alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$V(t)^2 = \frac{1}{2} [1 + 2 \cdot k \cdot s(t) + k^2 \cdot s(t)^2] \cdot [1 - \cos(2 \cdot \omega_t \cdot t)] \quad (5.4)$$

Yukarıdaki eşitlikte modülasyon miktarı k nın %0.1 - %7 arası olacağı düşünülürse k^2 nin ihmal edilebileceği görünür. Taşıyıcı frekansı ω_t şebeke frekansı 50 Hz olduğuna göre $2 \cdot \omega_t$ 100 Hz olacaktır. Modülasyon frekansının 0-25 Hz arası olacağına göre taşıyıcı bileşen ile modülasyon bileşeni ayrılır.

Yukarıda açıklandığı gibi elde edilen işarete bulunana modülasyon dışı bileşenler flikermetrenin blok 3 teki filtreler ile yok edilir. Flikermetrede bu nedenle karekök alıcı yoktur.

Flikermetrede bu tür bir demodülatör seçilmesinin nedeni yukarıda açıklanana flikerin kendine has özellikleri ile olmakla birlikte aynı zamanda şebeke frekansının az da olsa değişimlerinin sonuca etki etmemesidir.

Kare demodülatörün giriş gerilimi çalışma aralığı referans değer V_R den 150 % kadar fazla değerlere uygun olmalıdır.

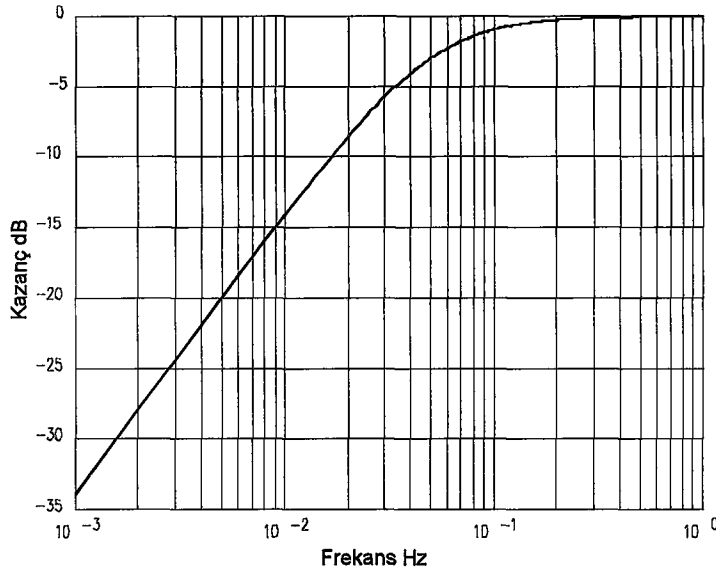
5.2.8 Blok 3 Filtreler

Blok 3 de bir yüksek geçiren, bir alçak geçiren ve bir de ağırlık filtresi bulunmaktadır. Bu blokta bulunana alçak ve yüksek geçiren filtreler yukarıda açıklanan kare alma işlemi sonucu oluşan modülasyon bileşeni dışındaki bileşenleri süzmek için kullanılır. Ağırlık filtresi ise duyarlık-frekans ilişkisini yansıtır.

Yüksek geçiren filtre kesim frekansı 0.05 Hz olan birinci derece bir filtredir. Bu filtrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir [6].

$$T(s) = \frac{s}{s + 2 \cdot \pi \cdot 0.05} \quad (5.5)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonunun bode diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.4. Blok 3 yüksek geçiren filtre bode diyagramı

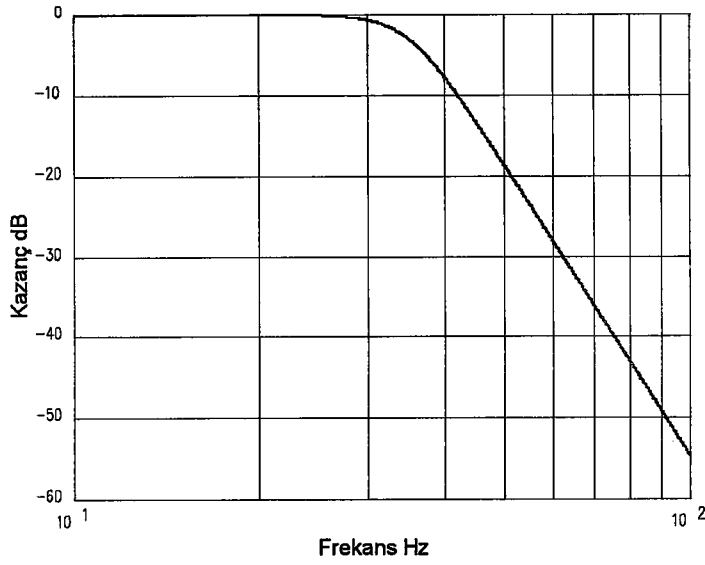
Yüksek geçiren filtre doğru akım bileşenlerinin süzmek için kullanılır. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi bu filtrenin 0.5 Hz ve üzeri frekanslardaki işaretlere etkisi yoktur.

Alçak geçiren kesim frekansı 35 Hz olan 6. derece bir Butterworth filtre olmalıdır. Bu filtrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\omega_c = 2\pi.35$$

$$T(s) = \frac{\omega_c^6}{(s^6 + 3.864.\omega_c.s^5 + 7.464.\omega_c^2.s^4 + 9.141.\omega_c^3.s^3 + 7.464.\omega_c^4.s^2 + 3.864.\omega_c^5.s + \omega_c^6)} \quad (5.6)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonunun bode diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.5. Blok 3 yüksek geçiren filtre bode diyagramı

Yüksek frekanslardaki bileşenleri süzen bu filtrenin Butterworth cinsinden seçilmiş olmasının nedeni gerek geçirme ve gerekse durdurma bandındaki düzgün cevabıdır.

Blok 3 teki ağırlık filtresi transfer fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Bu transfer fonksiyonu aşağıdadır.

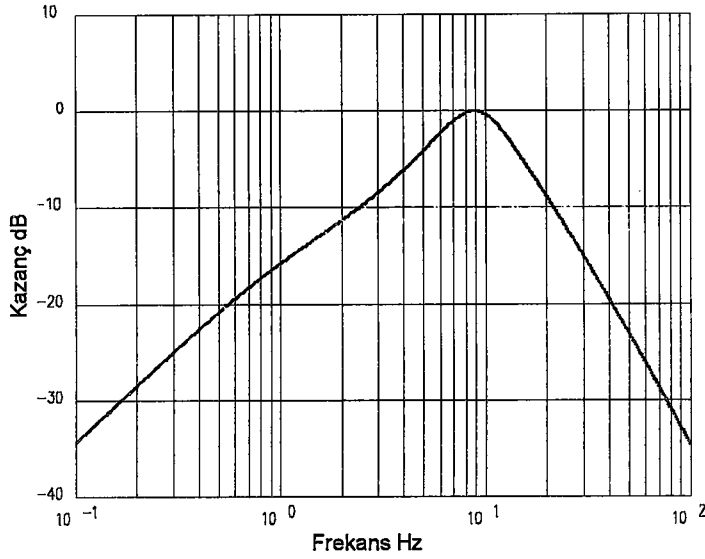
$$k = 1.74802 \quad \lambda = 2 \pi 2.27979$$

$$\omega_1 = 2 \pi 9.15494 \quad \omega_2 = 2 \pi 2.27979$$

$$\omega_3 = 2 \pi 1.22535 \quad \omega_4 = 2 \pi 21.9$$

$$T(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1/s/\omega_4)} \quad (5.7)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonunun bode diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.6. Blok 3 ağırlık filtresi bode diyagramı

5.2.9 Ölçüm Aralığı Seçici

Ölçüm aralığı seçici ölçülecek gerilim dalgalanmasının tepe değerinin göre flikermetre nin duyarlılığını belirler.

Ölçüm aralıkları 8.8 Hz deki bağıl gerilim değişim karakteristiği, $d(t)$ ye göre sinüzoidal dalga modülasyonu için 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 % dir.

20 % lik ölçüm aralığı zorunlu değildir. Bu aralık modülasyon miktarının yüksek olması durumunda kullanılır. Ancak demodülatörün doğrusal olmayan karakteristiği önemli hatalar doğurabilir.

Eğer orta seviyede bir ölçüm aralığı seçilememişse flikermetre nin hassasiyeti artırılmalıdır.

Filtrelerden önce veya sonra gelebilecek ölçüm aralığı seçici diğer ölçüm aletlerinde, örneğin voltmetre, bulunan aralık seçiciler ile aynı görevi yapmaktadır.

5.2.10 Blok 4 Kare Ve Ortalama Alma

Blok 4 de bulunana kare alıcı çarpma devresi ve birinci dereceden alçak geçiren filtre bulunur.

Ağırlık filtresinden geçen işaretin karesinin alınması ile doğrusal olmayan göz-beyin algılaması simüle edilmiştir.

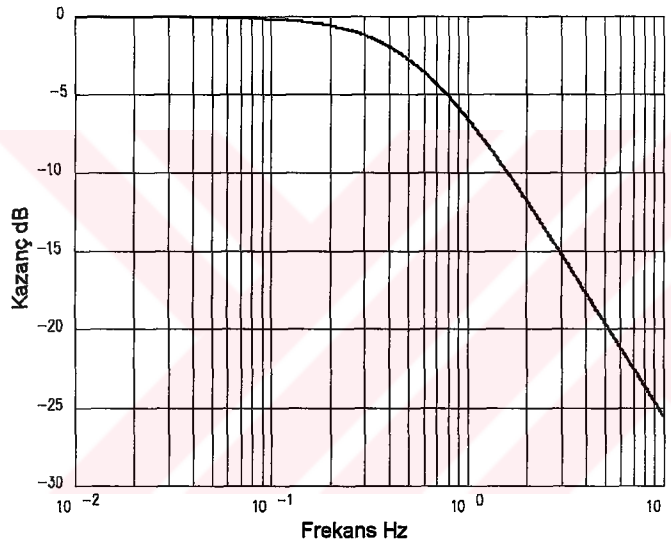
Alçak geçiren filtre ile beynin hafıza özelliği simüle edilmiştir.

Kare alıcı devre 8.8 Hz de meydana gelebilecek değerler uygun giriş ve çıkış çalışma aralığı değerlerine sahip olmalıdır.

Birinci derece alçak geçiren filtre zaman sabiti 300 ms olan direnç-kapasitans karakteristiğine sahip olmalıdır. Böyle bir karakteristiğe sahip transfer fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

$$T(s) = \frac{1}{0.3s + 1} \quad (5.8)$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonunun bode diyagramı aşağıdaki gibidir.

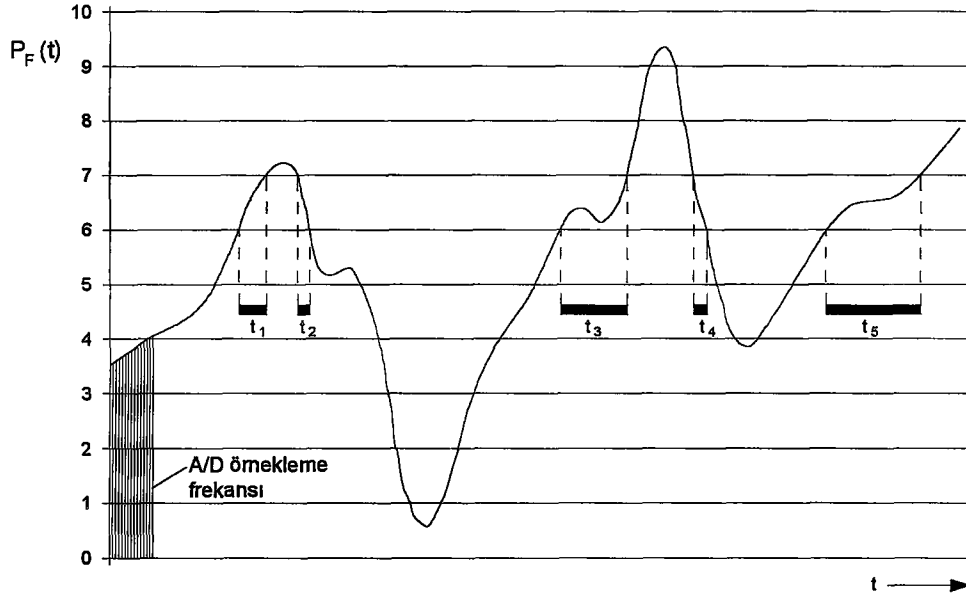


Şekil 5.7. Blok 4 alçak geçiren filtre bode diyagramı

5.2.11 İstatistik Analiz

İstatistik analiz Blok 5 tarafından yapılır. Öncelikle giriş işareti sabit bir frekansta örneklenir. Örnekleme en az 6 bitlik çözünürlük, 64 sınıf kullanarak ve 50 Hz den düşük olmayan bir frekansta yapılır. Burada elde edilen değerlere aşağıda açıklanan seviye- zaman sınıflaması uygulanır.

Öncelikle değerler eşit aralıklı sınıflara ayrılır. Ardından örneklenen giriş işaretinin bu değerlerde bulunma zamanları elde edilir. Bu işlem aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

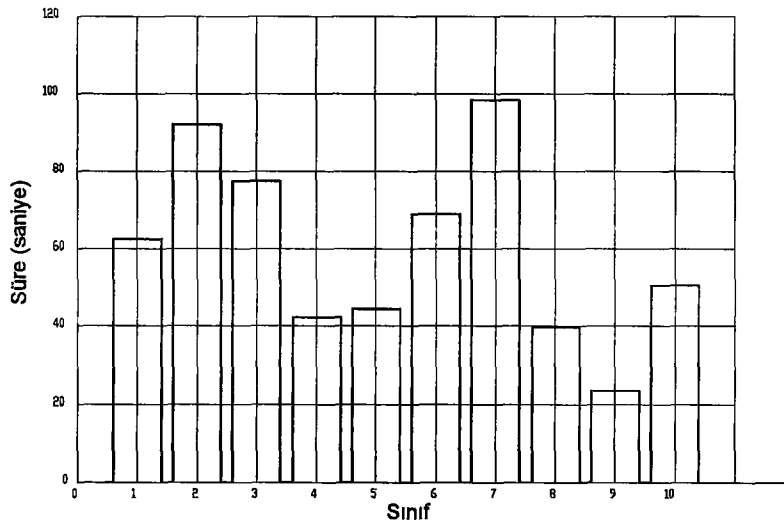


Şekil 5.8. İstatistik analiz giriş değerleri

Yukarıdaki şekilde sadece on sınıf kullanılmış ve sadece sınıf 7 için inceleme yapılmıştır. Bu sınıflama her bir seviye için yapılır ve aşağıdaki eşitlik ile her bir seviyenin zamanı hesaplanır.

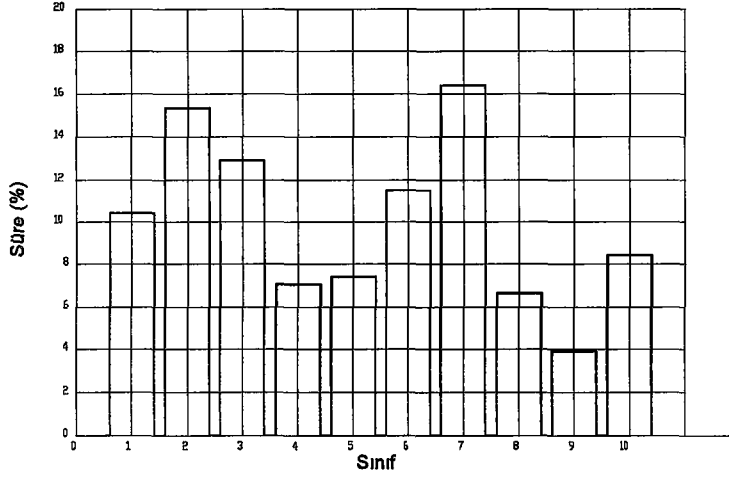
$$T_n = \sum_{i=1}^{i=5} t_n \quad (5.9)$$

Bu değerlerden aşağıda gösterildiği gibi olasılık dağılım fonksiyonu eğrisi elde edilir.



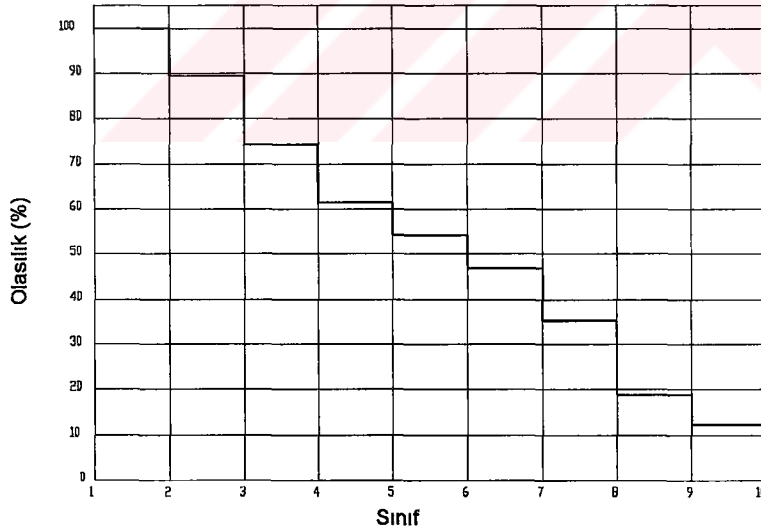
Şekil 5.9. Olasılık dağılımı

Yukarıdaki değerler toplam değere bölünür ve aşağıda gösterildiği gibi olasılık dağılım yoğunluğu elde edilir.



Şekil 5.10. Olasılık yoğunluğu

Olasılık dağılım yoğunluğundan aşağıda gösterildiği gibi birikimli olasılık fonksiyonu eğrisi elde edilir.



Şekil 5.11. Birikimli olasılık değerleri

Aşağıdaki tabloda aralık seçici ile ilişkin birikimli olasılık fonksiyonunun en yüksek sınıfı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Aralık seçici ve duyarlık seviyesi değerleri arasındaki ilişki

$\frac{\Delta V}{V} (\%)$	Birikimli olasılık fonksiyonun en yüksek sınıfı
0.5	4
1	16
2	64
5	400
10	1600
20	6400

5.2.12 Kısa Dönem Fliker Şiddet Faktörü

Kısa dönem fliker şiddet faktörü birikimli olasılık dağılımından elde edilen değerler kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 P_{0.1} + 0.0525 P_{1s} + 0.0657 P_{3s} + 0.28 P_{10s} + 0.08 P_{50s}} \quad (5.10)$$

Burada $P_{0.1}$ gözlem periyodunun 0.1 % i süresince aşılacak değer olup diğer değerlerde benzer anlama gelir. İndekslerindeki s ise düzgünleştirmelerinin gerektiğini gösterir. Bu değerler aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \quad (5.11)$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \quad (5.12)$$

$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3 \quad (5.13)$$

$$P_{1s} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3 \quad (5.14)$$

Flikermetre'nin 0.3 s lik zaman sabitinden dolayı $P_{0.1}$ değeri hızlı değişmez. Bu nedenden dolayı düzgünleştirme gerekmez.

5.2.13 Uzun Dönem Fliker Şiddet Faktörü'nün Belirlenmesi

Kısa dönem fliker şiddet faktörü 10 dakikalık bir süre içinde göre çevrimini bitiren ve diğer yüklerle grup halinde çalışmayan yükler için uygundur bir kriterdir. Ancak

ark ocaklarında olduğu gibi görev çevrimi uzun süren veya bir grup halinde çalışan yükler için uzun dönem fliker şiddet faktörü de belirlenmelidir.

Uzun dönem fliker şiddet faktörü kısa dönem fliker şiddet faktörlerinden aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \quad (5.15)$$

P_{sti} ($i = 1,2,3,\dots$) değerleri ardışıl ölçümler sonucu elde edilen kısa dönem fliker şiddet faktörleridir.

5.2.14 Performans Testi Ve Diğer Testler

Bütün flikermetreler sınıflayıcıları ile birlikte aşağıda verilen düzenli gerilimi değişimleri ile test edilmelidir.

Tablo 5.5. Flikermetre performans test değerleri

Dakikadaki gerilim değişimi	Gerilim değişimi $\frac{\Delta V}{V}$ (%)
1	2.72
2	2.21
7	1.46
39	0.905
110	0.725
1620	0.402

Performans testi sonucu elde edilen her bir P_{st} değeri 1.00 ± 0.05 olmalıdır.

Ek olarak flikermetre üreticisi P_{st} değerlerinin 5% veya daha hassas olarak ölçüldüğü gerilim değişimlerinin tepe değerleri aralığını da belirlemelidir.

Bu testin yapılması için yukarda verilen $\Delta V/V$ (%) değerleri dakikadaki değişimi sabit tutularak değiştirilmeli ve P_{st} değerleri elde edilmelidir.

Örneğin dakikadaki gerilim değişimi 7 de sabit tutularak gerilim değişimi 1.46 % dan 4.38 % e yükseltildiğinde P_{st} $1.0 \pm 5 \%$ den $3.0 \pm 5 \%$ e çıkmalıdır.

Duyarlığın 5 % de tutulduğu aralığa sınıflayıcının çalışma aralığı denir.

Eğer seçilebilir duyarlılık aralığı varsa her bir aralık için benzer test uygulanır.

Bu test dışında flikermetrenin elektromagnetik uyumluluğu, ısı, yalıtım testleri de bulunmakta olup bunlar I.E.C. 61000-4-15 standardında belirtilmiştir.

Faz modülasyonu ve harmonikler için şu an bir test yoktur.



6. FLİKER KESTİRİM YÖNTEMLERİ

6.1 Giriş

Flikerin (P_{st}) bulunması için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

Tablo 6.1. P_{st} hesabı için kullanılabilecek yöntemler.

Gerilim Dalgalanması Çeşidi	P_{st} Hesaplama Yöntemi
Bütün dalgalanmalar	Doğrudan ölçme
$U(t)$ 'nin tanımlandığı bütün dalgalanmalar	Simülasyon, doğrudan ölçme
Şekil faktörü eğrileri ile ilgili dalgalanmalar	Analitik yöntem, simülasyon, doğrudan ölçüm
Bilinen bir frekansta dikdörtgen şeklindeki dalgalanmalar	$P_{st} = 1$ fliker eğrisi

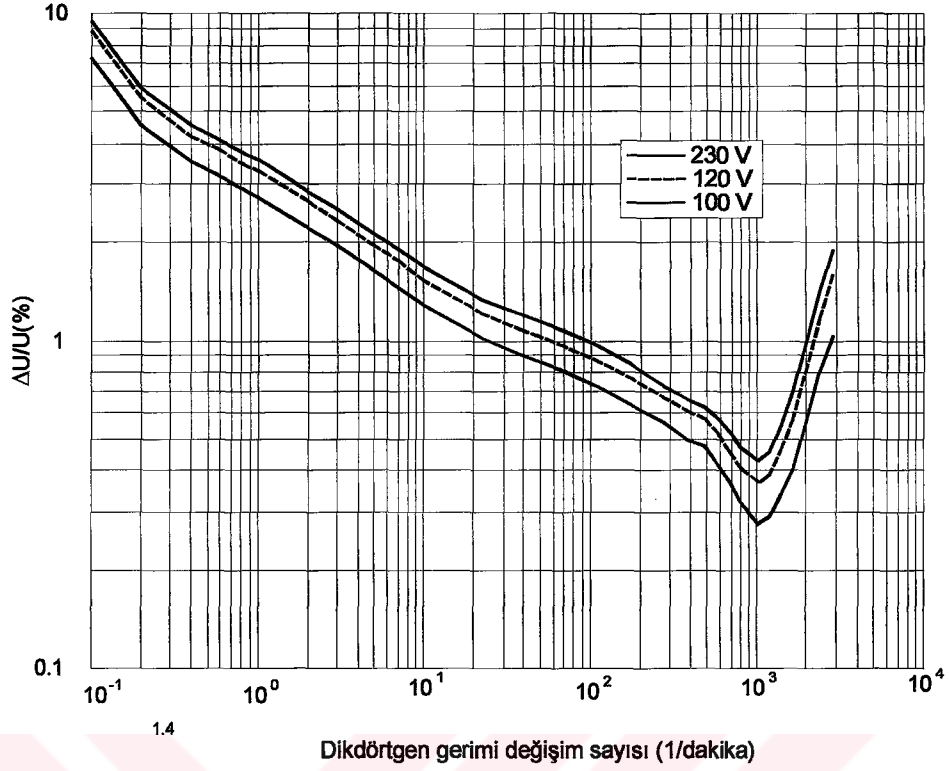
Doğrudan ölçme yöntemi dışındaki yöntemlerin özelliği yükün sisteme bağlanmadan önce meydana getirebileceği bozulmanın tahmin edilebilmesine izin vermeleridir. Bundan dolayı bu yöntemlere fliker kestirim yöntemleri de denir.

6.2 $P_{st} = 1$ YÖNTEMİ

Periyodik (aynı tepe değeri, d 'ye sahip ve eşit zaman aralıklı) dikdörtgen gerilim değişimlerinde fliker şiddet faktörü, P_{st} yi bulmak için $P_{st} = 1$ eğrisi kullanılabilir. Aşağıdaki tablo ve şekilde incelenen AG sisteminin gerilimine göre $P_{st} = 1$ değerleri verilmiştir.

Tablo 6.2. $P_{st} = 1$ değerleri

R min ⁻¹	$\Delta U/U$ (%)		
	230 V	120 V	110 V
0.1	7.364	8.905	9.488
0.2	4.545	5.501	5.889
0.4	3.537	4.216	4.596
0.6	3.155	3.814	4.095
0.84	2.894	3.454	3.751
1	2.724	3.283	3.57
2	2.211	2.659	2.859
3	1.95	2.334	2.523
5	1.64	1.957	2.115
7	1.459	1.741	1.887
10	1.29	1.536	1.674
22	1.02	1.212	1.337
39	0.906	1.077	1.193
48	0.87	1.032	1.147
68	0.81	0.967	1.076
110	0.725	0.868	0.964
176	0.64	0.764	0.841
273	0.56	0.671	0.728
375	0.5	0.611	0.661
480	0.48	0.576	0.629
585	0.42	0.517	0.575
682	0.37	0.461	0.523
796	0.32	0.409	0.472
1020	0.275	0.37	0.431
1055	0.28	0.372	0.434
1200	0.29	0.393	0.463
1390	0.34	0.464	0.554
1620	0.402	0.581	0.701
2400	0.81	1.171	1.41
2875	1.04	1.602	1.905



Şekil 6.1. $P_{st} = 1$ eğrileri

Yukarıda verilen şekil ve tabloda tekrara sayısına ve $\Delta U/U$ ya göre P_{st} 'nin bire eşit olduğu değerler gösterilmiştir.

Burada önemli nokta saniyedeki 2 tekrarin 1 Hz lik fliker demek olduğudur (dakikadaki 1200 tekrar 10 Hz).

1.15 Analitik Yöntem

1.15.1 Hesap Yöntemi

Efektif gerilim şekli $U(t)$ 'nin bilinmesi durumunda P_{st} fliker eğrileri kullanılarak hesaplanabilir. Ancak bu yöntemin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır.

- Bu yöntem ile elde edilecek P_{st} değerinin doğrudan ölçme ile elde edilecek P_{st} değerinin $\pm 10 \%$ 'u kadar olması beklenir.
- Bu yöntem gerilim değişimi sonu ile yeni gerilim değişimi başlangıcı arasındaki sürenin 1 saniyeden az olduğu durumlar için önerilmez.

Her bir gerilim değişim şekli fliker etki zamanı, t_f olarak saniye cinsinden ifade edilir.

$$t_f = 2.3 (F.d_{\max})^n \quad (6.1)$$

Buradaki n değeri IEC 1000-3-3 de 3.2, IEC 1000-3-7 de 3 olarak verilmiştir.

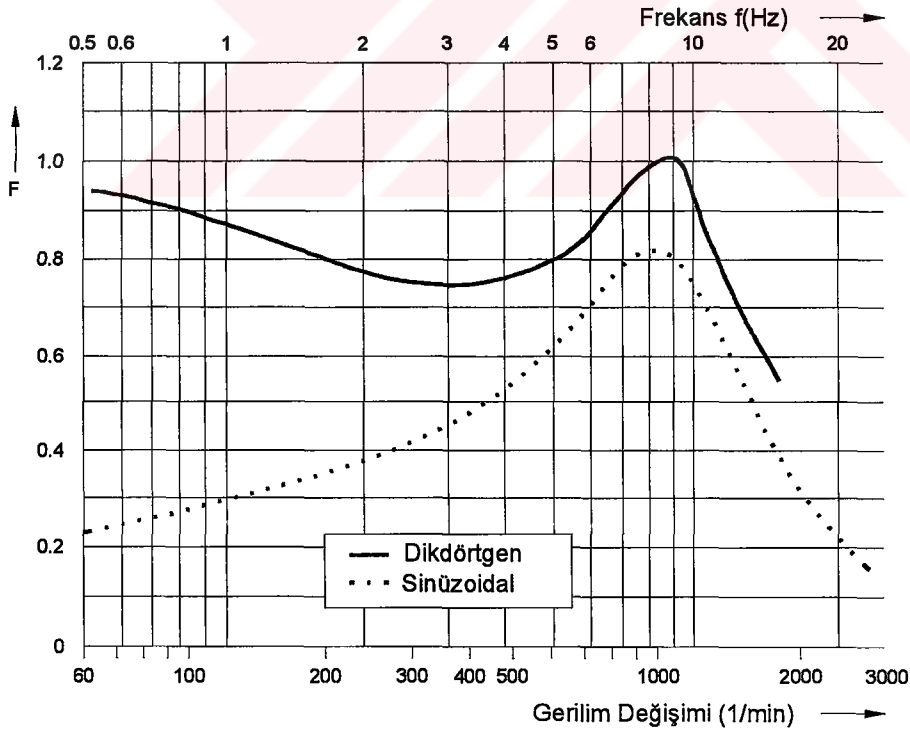
Burada şekil faktörü, F şekil faktörü eğrilerinden bulunur.

Fliker etki zamanlarının toplamı Σt_f ve değerlendirme süresi T_p kullanılarak kısa dönem fliker şiddet faktörü P_{st} aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

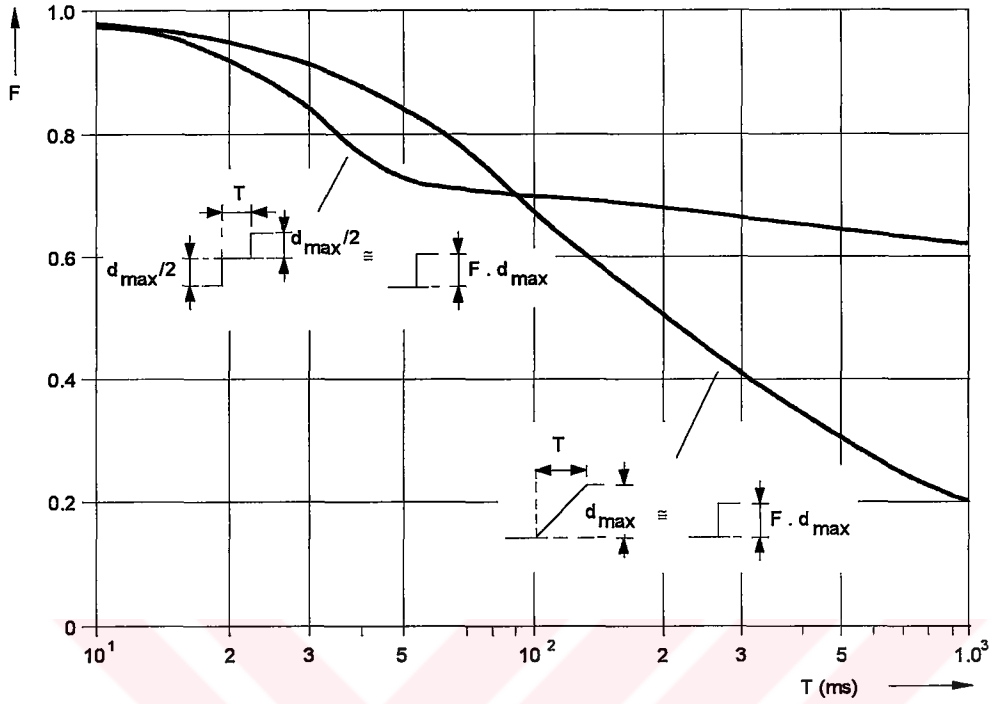
$$P_{st} = (\Sigma t_f / T_p)^{1/n} \quad (6.2)$$

6.3.2 şekil Faktörleri

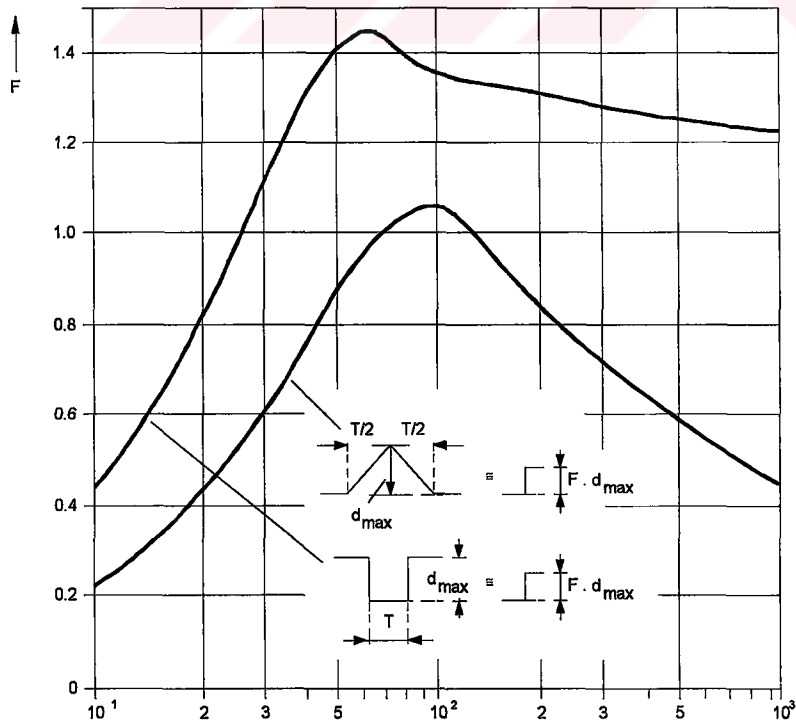
şekil faktörü, F bağıl gerilim değişim karakteristiği, $d(t)$ yi fliker eşdeğeri olan $F.d_{\max}$ a dönüştürür. Bu eğriler aşağıda verilmiştir.



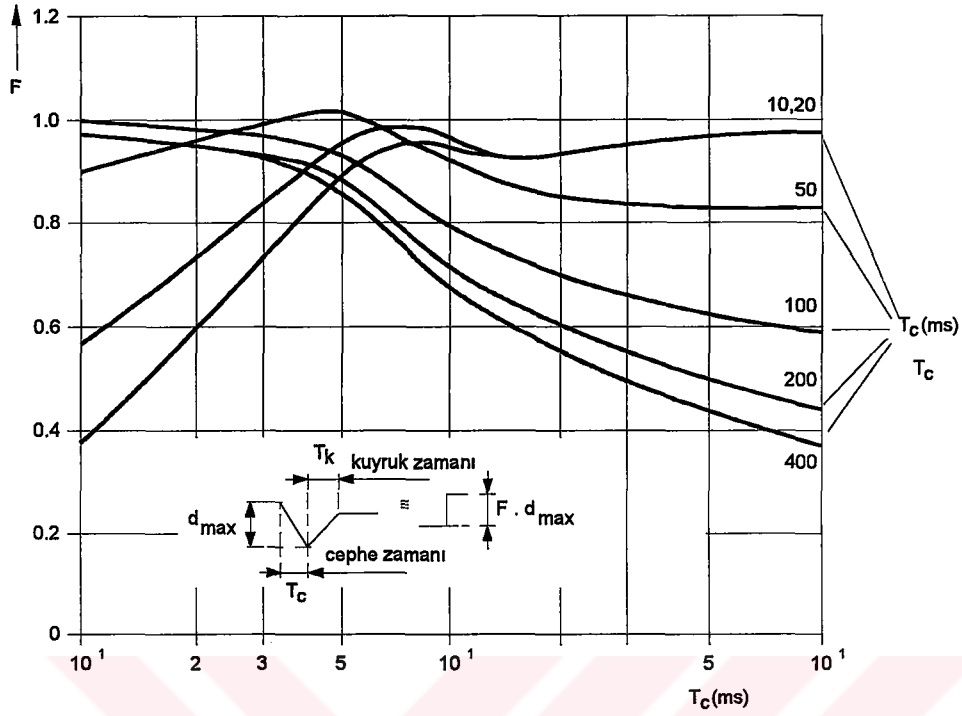
şekil 6.2. Dik dörtgen ve sinüzoidal gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F .



Şekil 6.3. Çift adımlı ve rampa gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F .



Şekil 6.4. Dikdörtgen ve üçgen gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F .



Şekil 6.5. Farklı cephe zamanlarına sahip motor yol alma gerilim karakteristikleri için şekil faktörü, F.

Bu eğrilerin kullanılmasında dikkate edilmesi gereken noktalar şunlardır.

Şekil faktörü, F adım gerilim değişimi için 1.0 değerine eşittir.

Bağıl gerilim değişim karakteristiği, $d(t)$ doğrudan ölçülebileceği gibi test edilen yükün akımının efektif değeri kullanılarak da hesaplanabilir.

Bağıl maksimum gerilim değişimi, d_{max} bulunduktan sonra şekil faktörü eğrilerinde gösterildiği gibi $T(ms)$ bulunur ve buradan gerekli şekil faktörü elde edilir.

Şekli faktörü eğrilerinde verilen sınırlar dışındaki değerler için yapılacak ekstrapolasyon kabul edilemeyecek hatalara yol açabilir.

6.4 Simülasyon

Bu yönteminden flikermetreten bilgisayar simülasyonu kullanılır. Gerilim dalga şekli giriş olarak verilerek flikermetreden elde edilen veriler elde edilir.

7. SINIR DEĞERLERİN BELİRLENMESİ

7.1 Giriş

Flikermetre ile elde edilen P_{st} ve P_{lt} değerleri flikerin şiddeti hakkında bilgi verirler. Ancak bu değerlerin kabul edilebilir olup olmadığı veya kabul edilmez olduğunda bunun oranı hakkında bilgi vermezler. Bu bilgiyi edinmek için fliker sınırları başka bir deyişle kabul edilebilir uygunluk seviyeleri de bilinmelidir.

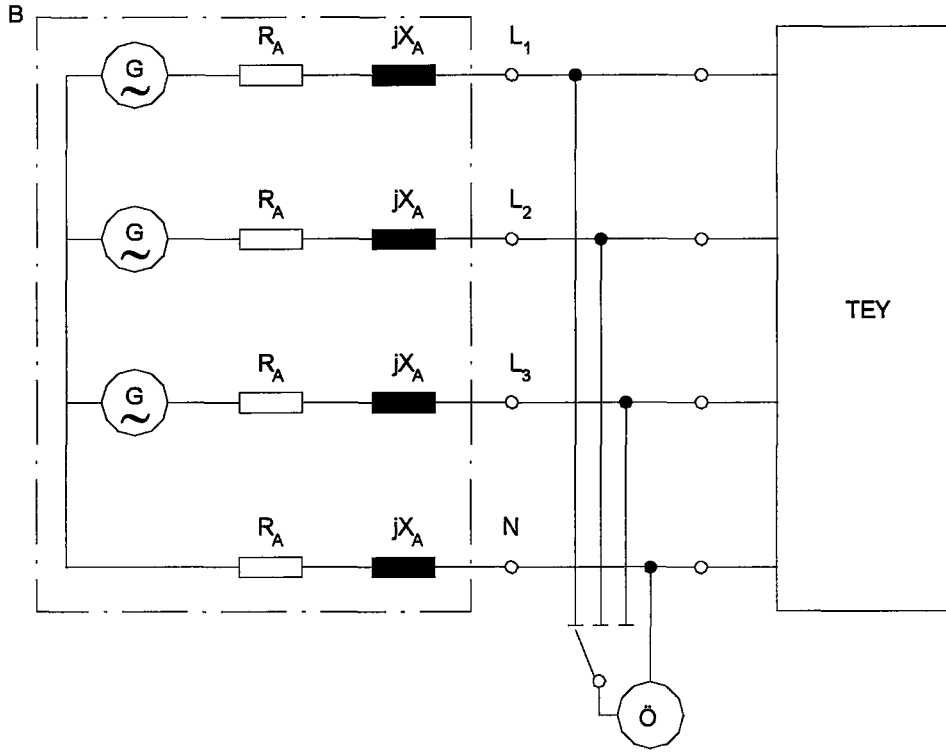
Ancak fliker sınır değerleri her zaman ve her durumda aynı değildir. Özellikle yüksek gerilim ve yüksek güçlerde bu sınırlar esneklik gösterebilir.

P_{st} ve P_{lt} değerleri ile birlikte bağlı kalıcı durum gerilim değişimi, d_c ve bağlı maksimum gerilim değişimi, d_{max} da fliker düzeyinin uygun olup olmadığının belirlenmesinde kullanılır.

7.2 Akımı 16 A Den Küçük A.G.Yükleri

7.2.1 Genel

Akımı 16 A den küçük olan yüklerin gerilim dalgalanması ve fliker uygunluk testi aşağıda verilen devreye göre yapılır.



Şekil 7.1. Test devresi

TEY : Test edilecek yük

Ö : Ölçme aleti

B : Besleme devresi

Besleme devresi generatör ve referans empedanstan oluşur. Referans empedansı meydana getiren elemanların değerleri aşağıdadır.

$$R_A = 0.24 \, \Omega \quad jX_A = 0.15 \, \Omega (50 \, \text{Hz})$$

$$R_N = 0.16 \, \Omega \quad jX_N = 0.10 \, \Omega (50 \, \text{Hz})$$

Bağıl gerilim değişim karakteristiği doğrudan ölçülebileceği gibi akımın efektif değeri ile de ölçülebilir. P_{st} nin hesaplanması için fliker kestirim yöntemlerinden uygun olanı kullanılabilir. Şüpheli bir durumda ise referans yöntem olan flikermetre kullanılmalıdır.

Üç fazlı yüklerde yükün dengeli olması durumunda sadece bir faz - nötr geriliminin ölçülmesi yeterlidir.

7.2.2 Ölçüm Duyarlılığı

Akımın genliği $\pm 1\%$ veya daha yüksek bir duyarlılıkta ölçülmelidir. Eğer aktif ve reaktif akımlar değil de faz açısı ölçülecekse hata $\pm 2\%$ yi aşmamalıdır.

Bağıl gerilim değişim karakteristiği, $d(t)$ d_{max} referans alınarak toplam $\pm 8\%$ lik bir duyarlıktan daha iyi bir duyarlılıkta ölçülmelidir. Test edilen yükün empedansı dışarıda bırakılıp kaynağın iç empedansı eklenerek elde edilen devrenin toplam empedansı referans empedansa eşit olmalıdır. Bu toplam empedansın kararlılığı ve toleransı fliker belirleme prosedürü boyunca toplam duyarlılığı $\pm 8\%$ olmasını sağlamalıdır.

Kaynak empedansının iyi tanımlanamadığı, örneğin tahmin edilemeyen değişimlere bağımlı olması gibi, durumunlar da direnç ve endüktanstan oluşan ve değeri referans empedansa eşit bir empedans, yük ile kaynak arasına bağlanabilir. Ölçümler referans empedansın yük kısmında ve yükün terminallerinde yapılabilir. Bu durumda kaynak terminallerinde ölçülen d_{max} yük uçlarında ölçülen d_{max} 'tan 20% küçük olmalıdır. Ancak açıklanan bu yöntem ölçülen değerin sınır değere yakın olduğu durumlarda önerilmemektedir.

7.2.3 Besleme Gerilimi

Test besleme gerilimi (açık devre gerilimi) yükün normal çalışma gerilimine eşit olmalıdır. Eğer yük için gerilim aralığı belirtilmişse test gerilimi tek faz için 230 V üç faz için 400 V olmalıdır. Test gerilimi nominal değerinin $\pm 2\%$ değerinde tutulmalıdır. Frekans 50 Hz $\pm 0.5\%$ olmalıdır.

Besleme geriliminin toplam harmonik bozulması 3 % den az olmalıdır.

P_{st} değerinin 0.4 den az olması durumunda test sırasında besleme gerilimindeki dalgalanma ihmal edilebilir. Ancak bu durum her bir testten önce ve sonra kontrol edilmelidir.

7.2.4 Referans Empedans

Referans empedans Z_{ref} , IEC 725 e göre $d(t)$, P_{st} ve P_{lt} nin hesaplanmasında ve ölçülmesinde kullanılan geleneksel bir değerdir.

Referans empedans dirençler ve endükdanslardan oluşur. Bu elemanların değerleri test devresi ile verilmiştir.

7.2.5 Gözlem Periyodu

Flikerin belirlenmesi için yapılan ölçüm, simülasyon ve analitik incelemeler için gözlem periyodu, T_p , aşağıdaki şekilde olmalıdır.

P_{st} için $T_p = 10$ dakika

P_{lt} için $T_p = 2$ saat (ardarda 12 P_{st} ölçümü)

Gözlem periyodu test edilen yükün bütün işlem çevrimi içinde en olumsuz gerilim dalgalamasının olduğu bölümünü içermelidir.

Aksi belirtilmedikçe P_{st} ölçümü sırasında yükün işlem çevrimi sürekli olarak tekrarlanmalıdır. İşlem çevrimi gözlem süresinden önce biten ve otomatik olarak duran yükler için minimum devreye alma zamanı gözlem periyoduna eklenmelidir.

Normal şartlar altında sürekli kullanılmayan ve işlem çevrimi 2 saatten az olan yükler için, aksi belirtilmedikçe, P_{lt} ölçümü sırasında yükün işlem çevrimi tekrarlanmamalıdır.

Örneğin işlem çevrimi 45 dakikada biten bir yük için 50 dakikalık süre içinde ardarda 5 P_{st} ölçümü yapılır ve 2 saat gözlem süresinden geriye kalan zaman için P_{st} değerleri sıfır kabul edilir.

7.2.6 Test Koşulları

Test koşulları belirli yükler için, örneğin buz dolapları, saç kurutma makinaları, su ısıtıcıları gibi, özel olarak IEC 1000-3-3 Standardında verilmiştir. Bu yükler dışındaki yükler için test koşulları aynı standart da genel olarak belirtilmiştir.

Yükler üreticisi tarafında verildiği durumda test edilmelidir. Ölçüm sonuçlarının normal şartlarda elde edildiğinden emin olunması için test öncesinde motorların çalıştırılması gerekebilir.

Motor yol alması sırasındaki bağlı maksimum gerilim değişimi, d_{max} ın bulunması için rotorun sabitleştirilmiş olduğu durumda ölçüm yapılabilir.

Birden çok kontrol devresine sahip yükler için aşağıdaki şartlar uygulanır.

- Kontrol devrelerinin aynı anda anahtarlama yapmadığından emin olunarak her bir kontrol devresi için ayrı test uygulanır.

- Eğer kontrol devreleri aynı anda çalışmak için tasarlanmışsa bunlar bir grup olarak değerlendirilirler.

Sadece yükün bir kısmını kontrol eden devreler için her yük kısmı ayrı ayrı incelenmelidir.

7.2.7 Sınır Değerler

Sınır değerler uygunluğu test edilen yükün besleme uçlarında gerilim dalgalanması ve fliker için uygulanabilir olmalıdır. Yükün uygunluk testi hesaplama veya ölçme yöntemleri ile yapılabilir.

Yapılan test sonucu akımı 16 A den küçük alçak gerilim yükleri için aşağıdaki sınır değerler verilebilir.

- Kısa dönem fliker faktörü, P_{st} 1.0 dan büyük olmamalıdır, $P_{st} \leq 1$.
- Uzun dönem fliker faktörü, P_{lt} 0.65 den büyük olmamalıdır, $P_{lt} \leq 0.65$
- Bağlı kalıcı durum gerilim değişimi, d_c 3% ü aşmamalıdır, $d_c \leq 3\%$.
- Bağlı maksimum gerilim değişimi, d_{max} 4% ü aşmamalıdır, $d_{max} \leq 4\%$.
- Bağlı gerilim değişim karakteristiği $d(t)$ gerilim değişimi sırasında 3% ü 200 ms den fazla bir süre geçmemelidir.

Elle anahtarlama sonucu oluşan veya frekansı saatte birden az olan gerilim değişimleri için P_{st} ve P_{lt} yöntemleri uygulanmamalıdır. Yukarıda bahsedilen gerilim değişimleri ile alakalı üç sınır değerde 1.33 ile çarpılarak uygulanır.

Sınır değerler acil anahtarlama ve kesintiler için uygulanmazlar.

7.3 Akımı 16 A Den Büyük A.G.Yükleri

7.3.1 Genel

Bir kullanıcı alçak gerilim şebekesine akımı 16 A den büyük bir yük bağlamak istediğinde elektrik sağlayıcısının bu yükün uygun olup olmadığını değerlendirebilmesi gerekir. Bu değerlendirme daha önce bahsedilen akımı 16 A den küçük olan yükler için yapılan değerlendirmeye benzemekle birlikte bazı durumlarda yükün bağlandığı zaman kabul edilebilir bir fliker üreteceği en büyük sistem empedansının da bulunması gerekir. Bu işlem için gerekli yöntemler ve bilgiler

aşağıda belirtilmiştir. Anı zamanda bu işlem için gerekli bilgilerin elde edilmesinde kullanılabilecek bir anket yöntemi de önerilmiştir.

7.3.2 Akımı 75 Ampere Kadar Olan Yüklerin Ölçüm Prosedürü

Yükün sisteme bağlanabilir olup olmadığını belirlemek ve izin verilebilir en büyük sistem empedansını hesaplamak için bazı ek değerler gereklidir. Bunlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7.1. Farklı durumlar için son eklerin anlamları

Son ek	Anlamı	Durum
Sys	Sistem	Z_{sys} : Yükün bağlanacağı sistemin empedansı
Ref	Referans	Z_{ref} : Referans empedans
*	Ölçüm veya hesaplama	Z^* : Emisyon testinin yapıldığı devrenin empedansı

7.3.2.1 Test Empedansı Z^*

Giriş akımı 16 A den küçük veya eşit yükler için test empedansı, Z^* referans empedansa, Z_{ref} eşittir. Yük akımının 16 A den büyük olduğu durumlarda test empedansı referans empedanstan küçüktür. Optimal test empedansının bulunması için iki koşul gerçekleştirilmelidir.

- 1- Yükün neden olduğu gerilim düşümü, ΔU 3 % ile 5 % arasında olmalıdır.
- 2- Z^* ın omik ve endüktif bileşenleri oranı, R^* / X^* 0.5 ile 0.75 arasında (referans empedans benzeri) olmalıdır.

Burada birinci koşul yükün bağlı gerilim değişiminin test sırasındaki değeri ile gerçek şebeke koşullarındaki değerin benzer olmasını sağlamak içindir.

7.3.2.2 Yükün Z^* A Göre Testi

Test akımı 16 A den küçük yükler için uygulandığı gibi IEC 1000-3-3 Standardına göre yapılır. Ancak burada Z_{ref} yerine Z^* kullanılır. Dört değer d_c^* , d_{max}^* , P_{st}^* , P_{lt}^* ölçülür. d_c , d_{max} , P_{st} , P_{lt} nin anlamları daha önce belirtildiği gibidir. Sembollerdeki $*$ işareti bu değerlerin Z_{ref} e göre değil Z^* a göre ölçüldüğünü gösterir.

7.3.2.3 Referans Empedans Göre Değerlendirme

Eğer Z^* Z_{ref} e eşit değil ise ölçülen değerler aşağıdaki eşitliklere göre tekrar hesaplanmalıdır.

$$d_c = d_c^* \cdot Z_{ref} / Z^* \quad (7.1)$$

$$d_{max} = d_{max}^* \cdot Z_{ref} / Z^* \quad (7.2)$$

$$P_{st} = P_{st}^* \cdot Z_{ref} / Z^* \quad (7.3)$$

$$P_{lt} = P_{lt}^* \cdot Z_{ref} / Z^* \quad (7.4)$$

Burada elde edilen d_c , d_{max} , P_{st} , P_{lt} değerleri referans empedans ile yapılacak test ile elde edilecek değerler ile aynıdır.

7.3.3 Akımı 75 Ampere Kadar Olan Yüklerin Değerlendirilmesi

7.3.3.1 Ölçülen Değerlerin Iec 1000-3-3 Standardına Göre Kontrolü

Eğer bir önceki bölümde gösterildiği gibi elde edilen d_c , d_{max} , P_{st} , P_{lt} değerleri IEC 1000-3-3 Standardın verilen kriterlere uygun ise yük üreticisi ürününü “IEC 1000-3-3- gerilim dalgalanması şartlarına” uyduğunu söyler. Bu şartlar akımı 16 A den küçük olan yükler kısmında verilmiştir.

7.3.3.2 İzin Verilebilecek En Büyük Sistem Empedansının Hesabı

Aşağıdaki değerlendirme ancak IEC 1000-3-3 Standardında verilen kriterler aşıldığı zamanlar için gereklidir. Bu durumda yüksek emisyon değerlerine izin verilebilmesi için yükün, empedansı referans empedanstan küçük olan şebekelere bağlanması gerekir.

Hesabın yapılabilmesi için önceki bölümde gösterilen şekilden d_c , d_{max} , P_{st} ve P_{lt} değerlerini elde edilmesi gerekir.

Elle anahtarlama veya saate birden küçük bir frekanstaki anahtarlama için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot 1.33 \cdot 4\% / d_{max} \quad (7.5)$$

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot 1.33 \cdot 3\% / d_c \quad (7.6)$$

diğer durumlar için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot 4\%/d_{max} \quad (7.7)$$

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot 3\%/d_c \quad (7.8)$$

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot (1/P_{st})^{3/2} \quad (7.9)$$

$$|Z_{sys}| = |Z_{ref}| \cdot (0.65/P_{lt})^{3/2} \quad (7.10)$$

Yukarıda elde edilen $|Z_{sys}|$ değerlerinde en küçüğü izin verilebilir en büyük sistem empedansdır. Üretici bu değeri belirtmelidir.

Yukarıdaki değerler şu şekilde açıklanabilir.

Harmonik ve fliker için izin verilebilen sistem gerilimi bozulması sistem empedansının küçülmesi ile düşer. Çünkü bozulmadan etkilenen ve aynı anda sistemden güç çeken tüketici sayısı artar.

Ancak aralarında 1 saniye fark bulunan değişimlerin farklı iki olay olarak algılanmasından dolayı gerilim değişimi bozulmalarının eş zamanlı olma olasılığı düşüktür. Örneğin iki motorun aynı anda yol almaları ve gerilim düşmesinin toplamsal olması düşük bir ihtimaldir. Bu nedenden dolayı izin verilen gerilim değişimi şebeke empedansından bağımsızdır. Şebekede çalışma sırasında gerilim değişimi IEC 1000-3-3 Standardında belirtilen değerler ulaşabilir ancak bu değerleri geçmemelidir. Bu da yukarıdaki d_c ve d_{max} ile ilişkili eşitliklerde sağlanmıştır.

İki veya daha fazla sayıda anahtarlamamanın aynı zamanda yapılma olasılığı düşüktür ve yükün bağlanmasına izin verilebilecek şebeke empedansında bir küçültme yapılmasına gerek yoktur. Ancak akımı 16 A den büyük olan yükler için sistem empedansının daha küçük olması gerektiğinden dolayı referans empedansta ölçülen P_{st} ve P_{lt} değerleri daha küçük olmalıdırlar. Örneğin beslenme transformatörüne yakın bir yerde bulunan büyük bir yük akımı 16 A olan bir yükün etkileyebileceği alandan daha geniş bir alanı etkiler.

Daha büyük alan diğer yüklerin neden olduğu gerilim değişimlerinin eş zamanlı olma olasılığını da artırır. Bunda dolayı kabul edilebilir P_{st} ve P_{lt} değerlerinin sistem empedansının düşmesi ile birlikte küçülmeleri gerekmektedir.

Flikerden etkilenen alan üzerinde bütün P_{st} değerlerinin içerisinde söz konusunu yükün neden olduğu bir “toplam bozucu etki” vardır. Eşit haklar prensibine göre toplam bozucu etki bütün yükler için eşit olmalıdır.

Flikerin küp yasasına dayanan kapsamlı hesaplamalar bu şartın kabul edilebilir fliker değerlerinin aşağıdaki ilişkiye göre düşürüldüğü zaman sağlandığının gösterir.

$$P_{st} = \left(\frac{Z_{sys}}{Z_{ref}} \right)^{1/3 \dots 2/3} \quad (7.11)$$

Büyük güçlü yükler için mümkün olan en yüksek fliker değerine izin vermek için yukarıdaki ilişkide üs 1/3 seçilmiştir. Bu da P_{st} ve P_{lt} ile ilişkili olarak verilen eşitlikleri verir.

Örneğin referans empedansa göre hesaplanan P_{st} değeri 4 olsun. Bu değere ilişkin sistem empedansı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Z_{sys} = Z_{ref} \cdot \left(\frac{1}{4} \right)^{3/2} = \frac{Z_{ref}}{8} \quad (7.12)$$

Yükün sistem empedansında meydana getireceği fliker referans empedansta ölçülen flikere göre Z_{sys} / Z_{ref} oranında azalır.

$$P_{st} = \frac{Z_{sys}}{Z_{ref}} \times 4 = \frac{1}{8} \times 4 = \frac{1}{2} \quad (7.13)$$

Sistem empedansı ile izin verilen fliker arasındaki yukarıdaki ilişki daha önce verilen 1/3 üssü ile verilen ilişkiyi doğrulamaktadır.

$$P_{st} = \left(\frac{1}{8} \right)^{1/3} = \frac{1}{2} \quad (7.14)$$

7.3.4 Akımı 75 Amperden Büyük Olan Yüklerin Değerlendirilmesi

Akımı 75 A den büyük yükler için detaylı bir incelemenin yapılması önerilir.

Yük sistem empedansına göre değerlendirilmelidir. d_c ve d_{max} ile ilişkin IEC 1000-3-3 Standardında verilen sınırların korunması tavsiye edilir. P_{st} ve P_{lt} ye ilişkin sınır değerler ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$P_{st} = \left(\frac{S_L}{S_{TR}} \right)^{1/3} \quad (7.15)$$

S_L Yükün görünen gücü

S_{TR} Orta gerilim/ Alçak gerilim transformatörünün görünen gücü

$$P_{lt} = 0.65 P_{st}$$

P_{st} sınır değeri 0.6-1 aralığında bulunmalıdır. Eğer P_{st} sınırı 0.6 dan küçük bulunursa bu değer 0.6 ya tamamlanır.

Yukarıdaki değerler önerilen değerlerdir. Daha hassas hesaplamalar için orta gerilim şebekesindeki fliker düzeyi ve buna ilişkin alçak gerilim şebekesi fliker düzeyi ile birlikte sistemdeki düzenlemeler de göz önüne alınmalıdır.

Akımı 75 Amperden küçük olan yüklerin değerlendirilmesi besleme sistemi hakkında bilgi sahibi olmadan yapılır ve sonuç olarak bulunan ve aşılmaması gereken bir sistem empedansı elde edilir. Bu empedansta beslemeyi yapanlar tarafından kontrol edilir. Ancak akımı 75 A i aşan yükler sistem fliker düzeyine hükmeden yükler olduklarından hesapları için sistem bilgisine de ihtiyaç vardır.

Bu fliker değerlendirme yönteminin dayandığı mantık S_L gücüne sahip yükün fliker emisyonunun, S_L nin yükün bağlı transformatörün gücü olan S_{TR} ye yaklaşması ile artmasına izin verilmesidir. Örneğin transformatör gücüne eşit güçteki bir yükün $P_{st} = 1$ olacak şekilde fliker üretmesine izin verilir. Bu yaklaşım süper pozisyon küp yasası ile birlikte yukarıdaki eşitlikte ifade edilmiştir.

Bütün yüklerin toplam gücü transformatör gücünü aşmamalıdır.

$$\sum_i \left(\frac{S_L}{S_{TR}} \right)_i = 1 \quad (7.16)$$

Bütün yüklerin süperpoze edilmiş fliker değeri P_{st} değerini aşmamalıdır.

$$\sqrt[3]{\sum_i (P_{st})_i^3} = 1 \quad (7.17)$$

Yukarıdaki iki eşitlikte $P_{st,i}$ değerleri $(S_L/S_{TR})_i^{1/3}$ e göre seçildiğinde gerçekleşmiş olur.

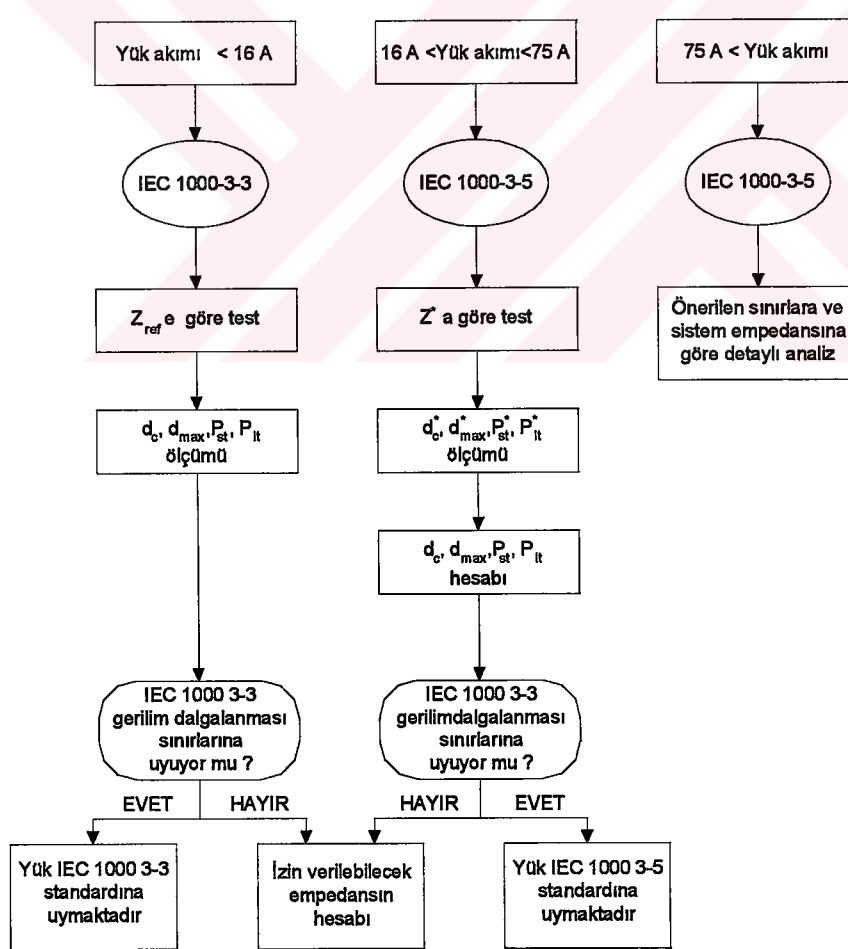
Yukarıda verilen ve P_{st} sınırını belirlemek için kullanılan eşitlikten görülebileceği gibi P_{st} değerini 0.6 daha küçük bir değer olarak belirlemek gereksizdir. Fliker sınırı 0.6 olduğu zamanki S_L / S_{TR} oranı aşağıdaki gibidir.

$$S_L / S_{TR} = 0.6^3 = 0.216$$

Örneğin 50 kVA gücüne sahip ve 250 kVA gücündeki bir transformatöre bağlı bir yük için fliker sınırı 0.6 olacaktır. Bu da akımı 75 A den küçük olan yükler için verilen değerle uyumludur.

7.3.5 Alçak Gerilim Fliker Değerlendirme Diyagramı

Aşağıdaki şekilde alçak gerilim şebekesine bağlı bir yükün meydana getirdiği gerilim dalgalanması ve flikerin değerlendirilme prosedürü diyagramatik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Alçak gerilim yüklerinin fliker değerlendirme prosedürü diyagramı

7.4 Orta ve Yüksek Gerilim Yükleri

7.4.1 Genel

Bu bölümde orta ve yüksek gerilim yüklerinin fliker emisyon seviyelerinin sınırlarının belirlenmesi incelenmiştir. Ancak genelleme yapmanın doğal sonucu olarak basitleştirmeler yapılmış olduğundan bahsedilen yöntemlerin fliker sorunu için her zaman optimum bir yöntem oldu söylenemez. Bahsedilen yöntemler esnek bir düşünceyle kavranmalıdır.

IEC gerilim kademelerin aşağıdaki şekilde tanımlar.

- Alçak gerilim (AG) $U_N \leq 1 \text{ kV}$
- Orta gerilim (OG) $1 \text{ kV} \leq U_N \leq 35 \text{ kV}$
- Yüksek gerilim (YG) $35 \text{ kV} \leq U_N \leq 230 \text{ kV}$
- Çok yüksek gerilim (ÇYG) $230 \text{ kV} \leq U_N$

7.4.2 Temel Kavramlar

7.4.2.1 Uyumluluk Seviyeleri

Alçak ve orta gerilim şebekelerindeki fliker için uyumluluk seviyeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7.5. AG ve OG sistemlerindeki P_{st} ve P_{lt} uyumluluk seviyeleri

	Uyumluluk seviyeleri
P_{st}	1.0
P_{lt}	0.8

Yukarıdaki değerler bütün sistemdeki elektromagnetik uyumluluğu sağlamak için emisyon koordinasyonu ve sisteme bağlı yüklerin bozulmadan etkilenmemesi için referans değerlerdir. Uyumluluk seviyeleri genel olarak bozulmanın zaman ve yer değişimini yansıtan dağılımını kullanarak bütün sistemdeki 95 % olasılığa dayanmaktadır. Buradaki tolerans sistemin her noktasının her zaman kontrol edilemeyeceği gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı da uyumluluk seviyesine ilişkin değerlendirmeler sistemin önemli noktalarında yapılmalıdır. Özel bir nokta için değerlendirme yöntemi belirlenmemiştir.

7.4.2.2 Planlama Seviyeleri

Planlama seviyeleri tüketici yüklerinin besleme sistemine etkilerini değerlendirmede planlama amaçlı seviyelerdir. Planlama seviyeleri besleme sistemi yetkilileri tarafında bütün gerilim kademeleri için hazırlanırlar ve iç kalite amaçları olarak değerlendirilebilirler. Planlama seviyeleri uyumluluk seviyelerine eşit veya onlardan küçüktürler. Planlama seviyeleri şebeke yapısına ve koşullarına göre durumdan duruma değişeceğinden sadece gösterme amaçlı verilebilir. Örneğin aşağıdaki tabloda P_{st} ve P_{lt} için planlama seviyeleri verilmiştir.

Tablo 7.6. OG, YG, ÇYG güç sistemlerindeki P_{st} ve P_{lt} için gösterim amaçlı planlama seviyeleri

	Planlama seviyeleri	
	OG	YG-ÇYG
P_{st}	0.9	0.8
P_{lt}	0.7	0.6

Yukarıdaki tabloda verilen değerlerin anlaşılmasında şunlara dikkat edilmelidir.

1. Yukarıdaki değerler OG veya YG sistemleri ve AG sistemleri arasındaki transfer katsayısının bir olduğu varsayımına göre seçilmiştir.
2. Pratikte YG den AG e transfer katsayıları (T_{PstYA}) genellikle birden küçüktür. T_{PstYA} için tipik bir değer 0.8 dir. Bu durumda gösterim amaçlı YG planlama seviyesi, $L_{PstYG} = 0.8 / 0.8 = 1$ olur.
3. Yukarıdaki tablodaki planlama seviyeleri güç sistemlerindeki kontrol edilemeyen olaylardan kaynaklanan flikerin kontrolünü amaçlamamaktadır.

Aşağıda bir tüketicinin bağlanma isteğinin bu planlama seviyelerine göre değerlendirilme prosedürü açıklanmıştır.

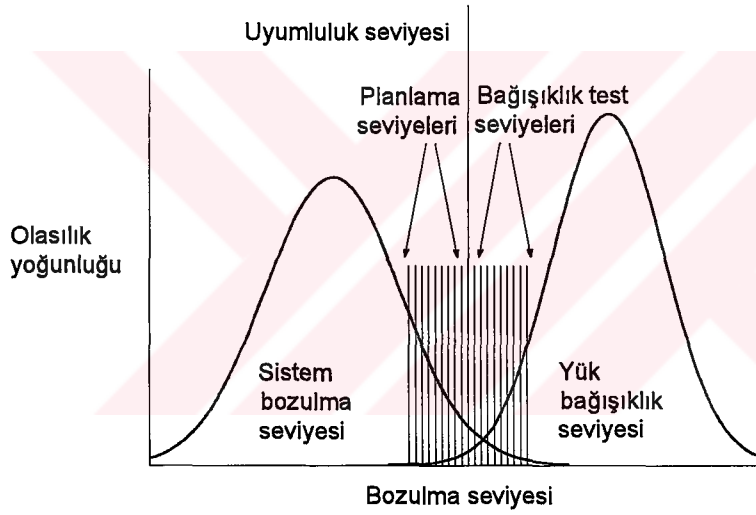
Ölçümler en az bir haftalık bir süre boyunca IEC 61000-4-16 Standardına göre yapılmalıdır. Bir hafta boyunca ölçülen P_{st} değerlerinden P_{st} ve P_{lt} birikimli olasılık fonksiyonu elde edilmeli ve $P_{st95\%}$, $P_{st99\%}$, $P_{lt95\%}$ ve $P_{lt99\%}$ lik yüzdeleri bulunmalıdır.

- $P_{st99\%}$ planlama seviyesini aşmamalıdır.
- $P_{lt99\%}$ planlama seviyesini aşmamalıdır.

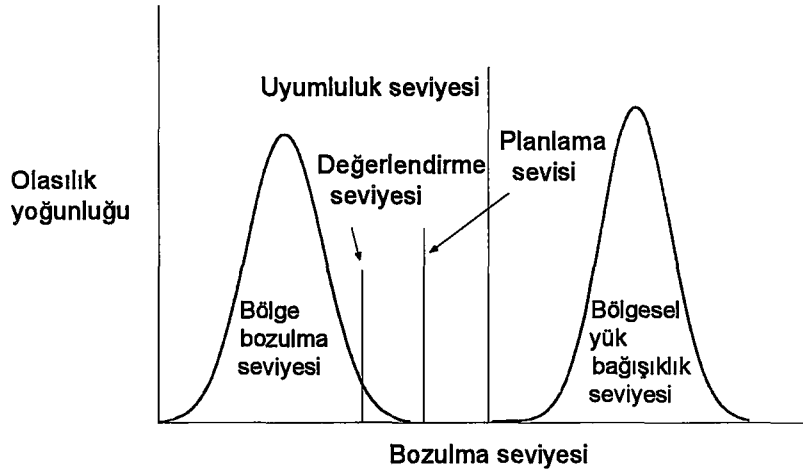
99% ile 95 % in karşılaştırılması yararlı olabilir. Eğer aralarındaki oran 1.3 den büyük ise uyumsuzluk araştırılmalıdır. Olası anormal sonuç, örneğin yıldırım dolay, elenmelidir.

Bir haftalık gözlem süresi referans alınarak $P_{st99\%}$ un toplam olarak 1 saat 40 dakika (bir haftanın 1% i) süresince aşılmasının önemi yoktur. Teorik olarak dalgalanan yükler benzeri bir periyotta sürekli olarak fliker üretebilir ve rahatsızlığa neden olabilirler. Deneyimler benzer süreli yük çevrimlerinin bir hafta içerisinde çok kere oluşabileceğini ve yaygın olmayan yük çevrimlerinin (örneğin eğlence yerleri gibi) haftada bir kez oluşabileceğini ve 1.5 ila 2 saat arasında biteceğini göstermiştir.

Aşağıdaki şekiller yukarıda anlatılan temel kavramları göstermektedirler. Temel değişkenler arasındaki en önemli ilişkiyi vurgulamaktadırlar.



Şekil 7.3. Bütün sistemi kapsayan zaman/yer istatistiği ile temel gerilim kalitesi kavramlarının gösterimi



Şekil 7.4. Bütün sistem içindeki bir bölgeye ilişkin zaman istatistiği ile temel gerilim kalitesi kavramlarının gösterimi

Bütün güç sistemi içinde kaçınılmaz olarak bazı ilişkilerde karışma olabilir. Bunun sonucu bozulma dağılımı ve bağışıklık seviyesi arasında dikkate değer bir örtüşme olur. Planlama seviyeleri genelde uyumluluk seviyelerine eşit veya ondan küçüktürler ve şebekenin sahipleri tarafından belirlenirler. Bağışıklık test seviyeleri ilişkin standart veya üretici ile kullanıcı arasındaki anlaşma ile belirlenir.

Yukarıda ki örnek olarak verilen şekilde de görüleceği gibi güç sisteminin çoğu bölgelerinde bozulma ile bağışıklık seviyesi dağılımı arasında ya hiç örtüşme yoktur ya da örtüşme küçüktür. Bundan dolayı karışma azdır ve yükler işlevlerini tatmin edici olarak yerine getirirler.

7.4.2.3 Emisyon Seviyeleri

Dalgalanan yükün emisyon seviyesi güç sisteminde dalgalanan başka bir yük olmadığı zaman üreteceği fliker seviyesidir. Tüketicinin toplam yük fliker emisyonunu emisyon sınırları ile karşılaştırmak için ölçüm periyodu en az bir hafta olmalıdır. Gözlem periyodu boyunca elde edilen P_{st} değerlerinden birikimli olasılık fonksiyonu elde edilmeli ve $P_{st99\%}$ ve $P_{lt99\%}$ yüzdeleri bulunmalıdır.

- $P_{st99\%}$ emisyon sınırı E_{Psti} yi aşmamalıdır.
- $P_{lt99\%}$ emisyon sınırı E_{Plti} yi aşmamalıdır.

Uygulamada emisyon seviyeleri genellikle yük ve sisteme ilişkin verilerden elde edilse de doğrudan ölçüm mümkündür.

Düşük arka plan bozulması ($P_{st} \leq 0.5$) durumunda P_{cc} deki fliker seviyesi aşağıdaki iki durum için ölçülmelidir.

- Tüketici dalgalanan yükü sisteme bağlı.
- Tüketicinin dalgalanan yükü ve kompanzasyon elemanı sistemden ayrı.

İkinci fliker değeri birinci fliker değerinden kübik toplama yasası kullanılarak çıkarılmalıdır. Bu yöntem kullanıcının geleneksel fliker emisyonunu verir.

P_{cc} deki fliker seviyesi 0.5 den yüksek ise yukarıda bahsedilen yöntem büyük hatalara neden olacağından daha hassas yöntemler kullanılmalıdır. Örneğin kullanıcının net fliker emisyonu, tüketici yük akımı besleme sistemi modeline enjekte edilerek simülasyonu ile belirlenebilir. Farklı bir çok yöntem de mümkün olup bu konu gelişmeye açıktır.

7.4.3 Genel Prensipler

7.4.3.1 Genel

Dalgalanan yüklerin değerlendirilmesi için önerilen yaklaşım kabul edilen tüketici gücüne, fliker üreten yükün gücüne ve sistem karakteristiğine dayanmaktadır. Amaç bir tüketicinin toplam yükünün neden olduğu enjeksiyonu fliker seviyesinin planlama seviyesini aşmasını engelleyecek şekilde sınırlamaktır. Bunun için değerlendirmenin ardışıl veya bağımsız olarak kullanılabilir üç aşama tanımlanmıştır.

7.4.3.2 Aşama 1 : Basitleştirilmiş Bozulma Emisyonu Değerlendirmesi

Besleme şirketi (kurumu) tarafından özel bir değerlendirme yapılmadan tüketicilerin küçük yükleri kurması genel olarak kabul edilebilirdir. Genellikle bu tür yüklerin üreticileri emisyonu sınırlamak ile sorumludurlar. Örneğin IEC 1000-3-3 üren ailesi standardı olup AG sistemine bağlanan yükler için fliker emisyonu sınırlarını tanımlar. Ancak OG yükleri için emisyon standardı yoktur. Bunun nedenleri şunlardır :

- Orta gerilim 1 kV ile 35 kV arasında değişir.
- Orta gerilim sistemleri için uluslar arası referans empedans tanımlanmamıştır.

Ancak referans empedans olmadan OG sistemine ve hatta YG sisteminde tüketiciler için otomatik benzeri kabul kriteri tanımlamak mümkündür. Eğer toplam dalgalanan yük veya kabul edilen tüketici yükü P_{cc} deki kısa devre kapasitesine göre küçükse detaylı bir değerlendirme yapılmasına gerek yoktur.

7.4.3.3 Aşama 2 : Tüketicinin Kabul Edilen Gücüne Orantılı Emisyon Sınırları

Eğer yük aşama 1 deki kriterlere uymuyorsa fliker üreten yükün özel karakteristiği sistemin soğurma kapasitesi ile birlikte değerlendirilmelidir. Sistemin soğurma kapasitesi planlama seviyesinden elde edilir ve toplam sistem kapasitesi ile birlikte tüketicilerin isteklerine göre paylaştırılır. Orta gerilimde planlama seviyeleri tüketicilere paylaştırılırken daha yüksek gerilimli sistemlerden elde edilen bozulma seviyeleri de dikkate alınır.

Bu yaklaşım sistem tam yüklendiğinde ve tüketiciler sisteme kendi sınırlarına kadar bozulma enjekte ettiklerinde toplam bozulmanın planlama seviyelerine eşit olacağı temeline dayanır.

7.4.3.4 Aşama 3 : Yüksek Emisyon Seviyelerinin İstisnai Ve Şüpheli Kabulü

Özel şartlar altında bir tüketici temel sınırların ötesinde bir bozulma yayma isteğinde bulunabilir. İlişkin taraflar, örneğin tüketici ve sistem yetkilisi, mevcut ve gelecekteki sistem karakteristiğinin dikkatli incelenmesi ile elde edilecek özel şartlar üzerinde anlaşabilirler.

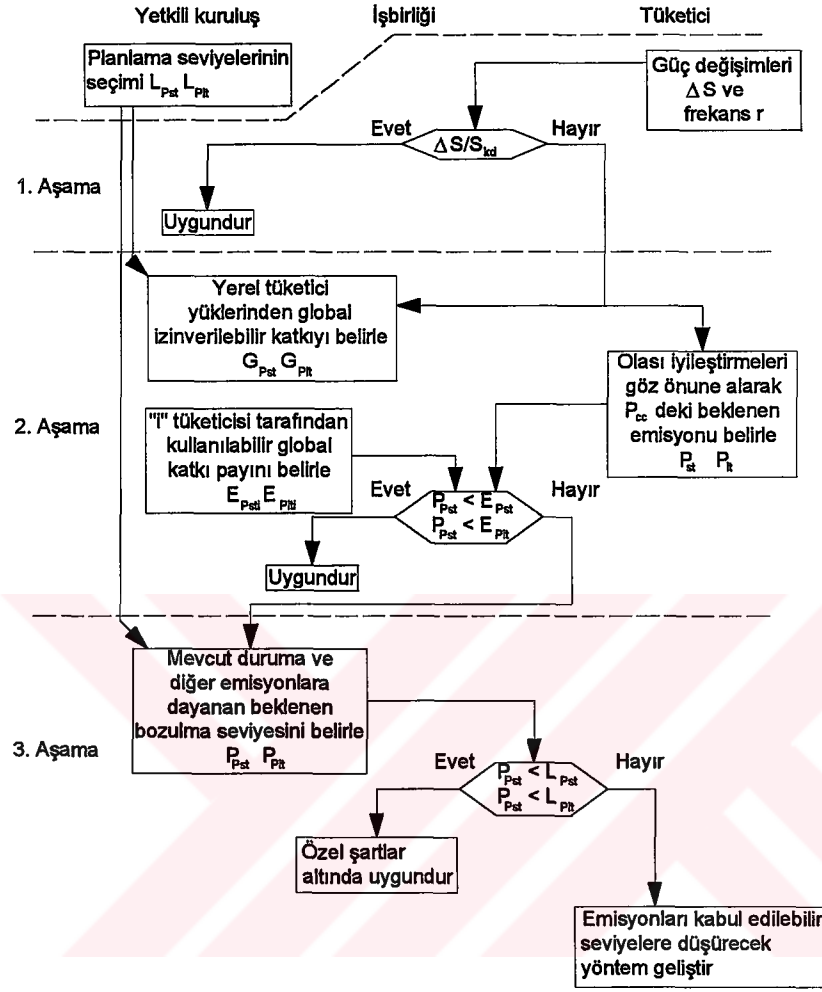
7.4.3.5 Sorumluluklar

Tüketici P_{cc} deki emisyonunu yetkili kuruluş tarafından belirlenen sınırların altında tutmak ile sorumludur. Yetkili kuruluş normal çalışma şartlarında bozulma seviyelerini ulusal ihtiyaçlara göre kontrol etmek ile sorumludur.

Yetkili kuruluş değerlendirme süreçleri için şebeke verilerini sağlamak zorundadır. Değerlendirme prosedürü (bkz. Şekil 7.5) tüketici fliker emisyonunun sistem fliker seviyelerinin planlama ve uyumluluk seviyelerini aşmasına neden olmayacağı şekilde tasarlanmıştır. Ancak önerilen yaklaşımın sınırların aşılmasını önleyebileceğine ilişkin bir garanti yoktur.

Sonuç olarak yetkili kuruluş ile tüketici, emisyonu azaltmak için optimum yöntemin belirlenmesi gerekli olduğunda işbirliği yapmalıdırlar. Bu tür bir azaltma için yöntemin tasarımı ve seçiminde sorumluluk tüketiciye aittir.

Aşağıdaki şekilde değerlendirme prosedürü diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Değerlendirme prosedürü diyagramı

7.4.3.6 Toplama Etkisi

Yük değişimlerinden kaynaklanan kısa dönem fliker şiddet faktörü için genel bir kombinasyon ilişkisi aşağıdaki şekilde bulunmuş olup P_{sti} ler birleştirilecek fliker seviyelerini ifade ederler.

$$P_{st} = \sqrt[m]{\sum_i P_{sti}^m} \quad (7.18)$$

İlk çalışmalar m katsayısının ana dalgalanma kaynağının karakteristiğine göre değiştiğini ve aşağıda verilen beş kategoriye sınıflandırılabilirliğini göstermiştir.

- $m = 4$: Sadece eş zamanlı eritme yapmamalarına özen gösterilerek çalıştırılan ark ocakları için kullanılır.

- $m = 3$: Bu değer eş zamanlı oluşma olasılığı küçük olan gerilim değişimlerinin çoğu için kullanılır. Bir biri ile ilişkisi olamayan bozulmaları birleştirme için yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu bu kategoriye girer ve gerilim değişimi oluşumu riskinin değeri hakkında bir şüphe olduğu zamanlar kullanılmalıdır.
- $m = 3.2$: Bu değer $P_{st} = 1$ eğrisinin doğru parçasının eğrimi ile eşleşir.
- $m = 2$: Bu değer karmaşık gürültü oluşmasının olası olduğu yerlerde kullanılır. Örneğin ark ocaklarında eş zamanlı eritme.
- $m = 1$: Eş zamanlı gerilim değişimi oluşumu olasılığının çok yüksek olduğu yerlerde kullanılır.

Son çalışmalar göstermişlerdir ki ölçüm sonuçlarına en iyi uyan yöntem değerlendirme için kullanılan P_{st} yüzdesine dayalı toplama yasasıdır. Örneğin iki ark ocağı durumunda $P_{st50\%}$ için $m \approx 1$, $P_{st75\%}$ için $m \approx 2$, $P_{st90\%}$ için $m \approx 3$ ve $P_{st99\%}$ için $m \approx 4$ dür. Aynı çalışma bu durum için $P_{lt99\%}$ için $m \approx 3$ olduğunu göstermiştir.

Genelde $m = 3$ değeri (“kübik toplama yasası”) yıllar boyunca geniş bir ölçekte kullanılmıştır. Yalın ve genel kabul gören değerleri vermek için bulunmuştur. Standartlarda da P_{st} ve P_{lt} nin toplamı için bu değer kullanılmıştır.

$$P_{st} = \sqrt[3]{\sum_i P_{sti}^3} \quad (7.19)$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_i P_{lti}^3} \quad (7.20)$$

Kübik toplam yasasının kabulüyle hesapları kolaylaştırmak için fliker şiddetinin göstergesi olan P_{st} değeri yerine aşağıdaki şekilde tanımlanan A_{st} değeri kullanılması uygundur.

$$A_{st} = P_{st}^3 \quad (7.21)$$

Bir çok ülke basitlik için sistematik olarak P_{st} yerine A_{st} kullanmaktadır. Bu yerine koyma birden çok kaynak tarafından üretilen toplam bozulmanın, A_{st} hesabı için doğrusal bir ilişki verir.

$$A_{st} = \sum_i A_{sti} \quad (7.22)$$

Bundan başka uzun dönem fliker şiddet faktörünün gözlem süresi boyunca P_{st} değerlerinin küplerinin ortalamalarının küp kökü olarak elde edildiği gerçeği göz önüne alınarak uzun dönem fliker şiddeti eşdeğer göstergeç, A_{lt} ile ifade edilebilir.

$$A_{lt} = P_{lt}^3 = \sum_i P_{sti}^3 / N = \sum_i A_{sti} / N \quad (7.22)$$

Eşdeğer şiddet göstergeçlerinin kullanımı kısa dönem değerlerinin ortalamasına dönüşen uzun dönem şiddetinin hesabı basitleştirdiği gibi bir çok kaynağın sebep olduğu uzun dönem eşdeğer şiddetinin, A_{st} hesabı da doğrusal bir toplama dönüşmüştür.

$$A_{lt} = \sum_i A_{lti} \quad (7.23)$$

A_{st} nin P_{st} gibi bağıl gerilim değişimi ile doğrusal ilişkili olmadığı ve iki şiddet göstergecinin işe yararlılığının uğraşılacak soruna göre değişeceği hatırlanmalıdır.

Uyumluluk ve planlama seviyelerinin A_{st} ve A_{lt} cinsinden ifadesi aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 7.7. AG ve OG güç sistemlerinde A_{st} ve A_{lt} uyumluluk seviyeleri

	Uyumluluk seviyeleri
A_{st}	1.0
A_{lt}	0.5

Tablo 7.8. OG, YG ve ÇYG güç sistemlerinde A_{st} ve A_{lt} planlama seviyeleri

	Planlama Seviyeleri	
	OG	YG-ÇYG
A_{st}	0.75	0.5
A_{lt}	0.3	0.2

Bu değerler OG – YG ve OG – AG transfer katsayılarının bir olduğu kabul edilerek seçilmiştir.

7.4.4 OG Sistemlerindeki Dalgalanan Yükler İçin Emisyon Sınırları

7.4.4.1 Aşama 1 : Basitleştirilmiş Bozulma Emisyonu Değerlendirmesi

Aşama 1 de, küçük yüklerin bağlanması emisyon karakteristiğinin veya besleme sistemi cevabının detaylı bir değerlendirmesi yapılmadan onaylanabilir.

Dalgalanan yüklerin bağlanmasına güç değişimlerinin, ΔS P_{∞} de aşağıda verilen sınır değerlere uyması durumunda başka bir inceleme yapılmadan izin verilebilir. Bu sınırlar dakikadaki gerilim değişimi sayısına, r bağlıdır. Gerilim düşmesi ve bunu takip eden eski değerin tekrar geri gelmesi iki gerilim değişimi demektir.

Tablo 7.9. Dakikadaki değişim sayısına göre bağlı güç değişimi için aşama 1 sınırları

r min^{-1}	$K = (\Delta S/S_{kd})_{\max}$ (%)
$r > 200$	0.1
$10 \leq r \leq 200$	0.2
$r < 10$	0.4

Güç değişimi, ΔS incelenen yük için anma gücünden, S_N küçük, büyük ve ona eşit olabilir. Örneğin motor için kalkış sırasında çekilen akım hesaplanmadır ve bu değer $\Delta S \approx 3-8 S_N$ olabilir.

7.4.4.2 Aşama 2 : Tüketicinin Kabul Edilen Gücüne Orantılı Emisyon Sınırları

Aşama 2 izin verilen toplam fliker emisyonunun ortak besleme sistemine bağlı kullanıcılar arasında paylaştırılmasını sağlar.

Fliker bozulmasının radyal güç sistemlerinde yayılımı oldukça basit kuralları izler.

- Verilen gerilim seviyesinde belirtilen fliker değerleri bir miktar zayıflama ile tamamen daha küçük gerilimlere transfer edilir. Transfer katsayıları 1 den küçük, örneğin 0.8 kadardır. P_{st} ve P_{lt} değerleri için transfer katsayıları 0.8 olduğu zamana bu değer A_{st} ve A_{lt} için $0.8^3 = 0.5$ olur.
- Düşük gerilimli sistemden daha yüksek gerilimli sisteme fliker katkısı, bu gerilim değişimi ile hata seviyesinin artması ve gerilim değişimlerinin düşük eş zamanlılığı dolayısı ile ihmal edilebilir yani transfer katsayısı sıfırdır.

7.4.4.2.1 Tüketiciler Arasında Paylaştırılacak Global Emisyon

Öncelikle OG sisteminden beslenen bütün dalgalanan yüklerin global katkılarını belirlemek için 7.19 ve 7.20 eşitlikleri uygulanır. OG deki gerçek fliker seviyesi YG sisteminden gelen fliker seviyesi ile OG e bağlı bütün dalgalanan yüklerden kaynaklanan fliker seviyesinin kombinasyonu sonucudur. Bu gerçek fliker seviyesi OG sistemindeki planlama seviyesini aşmamalıdır.

G_{PstOG} = Lokal yüklerin OG şebekesi fliker seviyesine maksimum global katkısı. (Pst cinsinden)

L_{PstOG} = OG sistemindeki fliker seviyesinin planlama seviyesi.

L_{PstYG} = YG sistemindeki fliker seviyesinin planlama seviyesi.

T_{PstYO} = Yüksek gerilim sisteminden orta gerilim sistemine transfer katsayısı.

Yukarıdaki tanımlar 7.19 eşitliğinde uygulanırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$G_{PstOG} = \sqrt[3]{L_{PstOG}^3 - T_{PstYO}^3 \cdot L_{PstYG}^3} \quad (7.24)$$

Benzer şekilde 7.20 eşitliğinden aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$G_{PstOG} = \sqrt[3]{L_{PstOG}^3 - T_{PstYO}^3 \cdot L_{PstYG}^3} \quad (7.25)$$

Yukarıdaki iki eşitliği örnekleme amacıyla yüksek gerilimden orta gerilime transfer katsayısının, $T_{YO} = 0.8$ olduğu ve planlama seviyelerinin Tablo 7.6 da ki değerlerden alınarak aşağıdaki tabloda verilen değerler elde edilir.

Tablo 7.10. OG fliker seviyesine OG yüklerinin kabul edilebilir global katkısının bulunması örneği

G_{PstOG}	G_{PstOG}
0.79	0.63

$T_{YO} = 0.8$ P_{st} ve P_{lt} için genel bir değerken T_{OA} genellikle bire yakın ($T_{OA} \approx 0.95$) kalır.

Yukarıda P_{st} ve P_{lt} için belirtilenler A_{st} ve A_{lt} ye uygulanabilir ve aşağıdaki doğrusal eşitlikler elde edilir.

$$G_{AstOG} = L_{AstOG} - T_{AstYO} \cdot L_{AstYG} \quad (7.26)$$

$$G_{AltOG} = L_{AltOG} - T_{AltYO} \cdot L_{AltYG} \quad (7.27)$$

Yukarıdaki örnek için bu durumda $T_{YO} = 0.5$ olur ve planlama seviyeleri için Tablo 7.8 kullanılır ve aşağıdaki değerler elde edilir.

Tablo 7.11. A_{st} ve A_{lt} için OG fliker seviyesine OG yüklerinin kabul edilebilir global katkısının bulunması örneği

G_{AstOG}	G_{AltOG}
0.50	0.25

7.4.4.2.2 Ayrık Emisyon Seviyeleri

Besleme sistemindeki her bir kullanıcı için kabul edilebilir global emisyonunun sadece bir kısmına izin verilebilir. Bu paylaşım kullanıcının kabul edilen gücü, S_i ($S_i = P_i / \cos\phi_i$) ile doğrudan OG den beslenen yüklerin toplam güçleri, sistem doymada iken, S_{OG} oranına göre belirlenebilir. Bu kriter kabul edilen gücün besleme kullanımı ve doğal olarak güç sistemi yatırım maliyetindeki ilişkin payı temsil etmesidir.

Dağıtım sistemi hatları boyunca sistem kapasitesi ile şebeke eşdeğer empedansı arasındaki ilişki normal olarak sabit değildir. Ancak her bir kullanıcıya izin verilen fliker emisyonu payının belirlenmesinde S_i / S_{OG} oranı adil bir kriter olarak görünmektedir.

Bu kavrama göre bir kullanıcıya sadece yükü besleyecek şebeke kapasitesi değil aynı zamanda kendi kapasitesine göre planlama seviyesine kadar bozulma emisyonu paylaşım izni verilecek ve emisyon koordinasyonu mümkün olacaktır.

Bundan başka bütün OG dalgalanan yükleri aynı zamanda kullanılmayacağına göre eşzamanlılık faktörü, $F_{OG} \neq 1$ olarak tanımlanabilir (F_{OG} tipik değerleri 0.2 den 0.3 arasındır).

Önerilen toplama yasası hesaba katılırsa (eşitlik 7.19 ve 7.20) ayrık emisyon seviyeleri şu şekilde olur.

$$E_{Psti} = G_{PstOG} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{OG}} \cdot \frac{1}{F_{OG}}} \quad (7.28)$$

$$E_{Plti} = G_{PltOG} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{OG}} \cdot \frac{1}{F_{OG}}} \quad (7.29)$$

Arka plan seviyesi, B_{PstOG} normal paylaşımdan $(\sqrt[3]{(S_{OG} - S_i)/S_{OG}}$ ile orantılı)

yüksek olabilir ve planlama seviyesinin aşılmasından sakınmak için hesaba katılmalıdır. Bu durumda 7.24 eşitliğindeki L_{PstOG} ifadesi $\sqrt[3]{L_{PstOG}^3 - B_{PstOG}^3}$ ile ve 7.25 eşitliğindeki L_{PltOG} ifadesi $\sqrt[3]{L_{PltOG}^3 - B_{PltOG}^3}$ ile değiştirilmelidir.

Karşılaştırıldığında küçük kabul edilen güce sahip kullanıcılar için yukarıdaki yaklaşım katı sınırlara neden olabilir. Kısa ve uzun dönem fliker şiddetleri için her zaman onaylanan kesin minimum emisyon seviyeleri önerilmiştir. Bu temel değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 7.12. OG Temel emisyon seviyeleri

E_{Psti}	E_{Plti}
0.35	0.25

Yukarıdaki eşitlikler A_{st} ve A_{lt} için şu şekli alır.

$$E_{Asti} = G_{AstOG} \cdot \frac{S_i}{S_{OG}} \cdot \frac{1}{F_{OG}} \quad (7.28)$$

$$E_{Alti} = G_{AltOG} \cdot \frac{S_i}{S_{OG}} \cdot \frac{1}{F_{OG}} \quad (7.29)$$

Aynı şekilde L_{AstOG} ifadesi $L_{AstOG} - B_{AstOG}$ ile değiştirilir.

A_{st} ve A_{lt} için yukarıdaki tabo şu şekli alır.

Tablo 7.13. OG A_{st} ve A_{lt} cinsinden temel emisyon seviyeleri

E_{Asti}	E_{Alti}
0.05	0.02

7.4.4.3 Yüksek Emisyon Seviyelerinin İstisnai Ve Şüpheli Kabulü

Not edilmelidir ki bir çok kullanıcı büyük genlikte dalgalanan yükleri olmadığı için önemli fliker üretmezler. Ayrıca mevcut şebeke besleme kapasitesinin bir kısmı uzun bir süre kullanılmayabilir.

Sonuç olarak aşama 1 ve aşama 2 fliker seviyesini aşırı sınırlayabilir ve planlama seviyesinin altında bir değerde bulunmasına neden olabilirler. Bu da bir pay meydana getirebilir.

Yetkili kuruluş genel prensipleri koruyarak ve standardın esnek bir şekilde yorumlanmasına izin vererek uygun zamanda mümkün olan payı kullanabilir. Ancak kullanıcıya normalden yüksek bir emisyon sınırları verilebilmesi sadece istisnai durumlarda ve şüpheli olarak kabul edilebilir.

Adım 3 belki de hiç bir zaman gerekli olmayacak araştırmaları ertelediği için önemlidir. Bu mevcut geri plandaki flikeri ve incelenen yükün beklenen katkısını hesaba katarak bağlantı için dikkatli bir çalışmanın zorunlu olduğunu ve son bir genişleme olarak kompanzasyon kurulmasını olası kılmak için bir anlaşma yapılmasının gerekli olabileceğinin akılda tutulması gerektiğini ifade eder.

7.4.5 YG Sistemlerindeki Dalgalanan Yükler İçin Emisyon Sınırları

7.4.5.1 Aşama 1 : Basitleştirilmiş Bozulma Emisyonu Değerlendirmesi

Aşama 1 in amacı dalgalanan yüklerin bağlantısı için çok basit bir karar verme kriteri sağlamak ve böylece detaylı değerlendirmelerden sakınmaktır. Bu YG ve ÇYG sistemleri için dalgalanan yükün maksimum görünen güç demandı, S_{maxi} ile P_{cc} deki şebeke kısa devre gücü, S_{kd} ilişkilendirilerek düzenlenebilir. Örneğin aşağıdaki eşitlik adım 1 sınırı olarak önerilebilir.

$$S_{maxi} / S_{kd} \leq 0.1\% \quad (7.30)$$

7.4.5.2 Aşama 2 : Tüketicinin Kabul Edilen Gücüne Orantılı Emisyon Sınırları

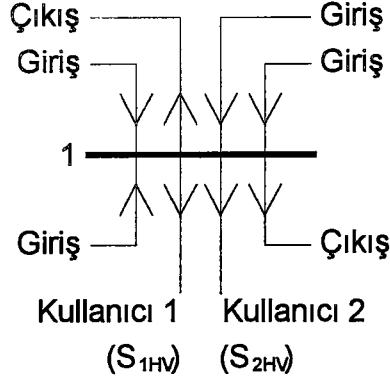
Yaklaşım temel olarak OG kullanıcıları için olanla aynıdır. Ancak, YG kullanıcılarının her biri için olan pay toplam sistem kapasitesi ile değil hepsinin toplam gücü ile ilişkili olmalıdır. OG ve AG sistemlerinin YG fliker seviyesine katkısı ihmal edilebilir olduğu daha önce belirtilmiş olup bundan dolayı toplam besleme kapasitesindeki payları hesaba katılmamalıdır.

7.4.5.2.1 Toplam Mevcut Gücün Bulunması

S_i i yükünün MVA olarak gücü, S_{iYG} YG kullanıcılarının P_{cc} deki toplam mevcut gücünü ifade eder. Bu durumda S_i / S_{iYG} oranı aşağıdaki 2. aşama emisyon sınırlarını belirlemede temel bir büyüklüktür.

7.4.5.2.1.1 İlk Yaklaşım

S_{tYG} nin belirlenmesi zor olabilir. Önerilen yaklaşım şudur. Maksimum demand günü boyunca (veya gelecekteki şebeke değerlendirmesini hesaba katan tahminler) verilen YG şubesinde YG kullanıcılarının gücü, S_{iYG} değerlendirilmesi temel bilgidir.



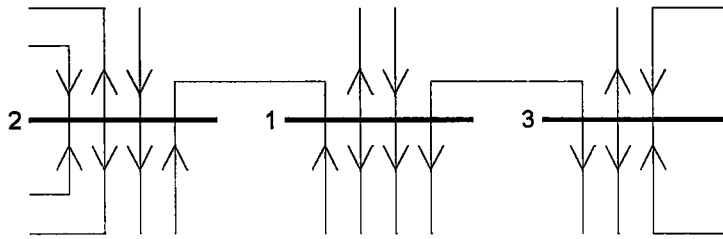
Şekil 7.6. S_{tYG} in belirlenmesi, ilk yaklaşım

Bu durumda değerlendirme basittir.

$$S_{tYG} = \sum S_{iYG} \quad (7.31)$$

7.4.5.2.1.2 İkinci Yaklaşım

Eğer önemli dalgalanan yükler varsa veya göz önüne alınan şubenin çevresine gelmesi olası ise basit yaklaşım doğru olmayabilir. Şüpheli durumda aşağıdaki uygulamanın yapılması tavsiye edilir.



Şekil 7.7. S_{tYG} in belirlenmesi, ikinci yaklaşım

- “1” incelenen düğüm, “2”, “3”, vb. ise ilk düğümün çevresindeki diğer düğümler olmak üzere S_{tYG1} , S_{tYG2} , S_{tYG3} yukarıda verilen eşitliğe göre hesaplanır.
- Güç frekansında etki katsayıları K_{2-1} , K_{3-1} hesaplanır. Etki katsayısı, K_{j-i} j düğümüne 1 p.u. gerilim enjekte edildiğinde i düğümündeki gerilimdir. K_{j-i} nin

hesabı genelde bilgisayar programı gerektirmekle birlikte hızlı değerlendirme için basit yöntemlerde bulunmaktadır.

- Yukarıdaki eşitlik aşağıdaki ile değiştirilir.

$$S_{iYG} = S_{iYG1} + K_{2-1} S_{iYG2} + K_{3-1} S_{iYG3} + \dots \quad (7.32)$$

Yukarıdaki eşitliğe $K_{j-1} S_{iYGj}$ terimi S_{iYG1} ile karşılaştırıldığında dikkate değer kaldığı sürece eklenir.

7.4.5.2.1.3 Ayrık Emisyon Sınırları

Önerilen toplama yasasını (eşitlik 7.19 ve 7.20) hesaba katılarak ayrık emisyon sınırları aşağıdaki gibidir.

$$E_{Psti} = L_{PstYG} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{iYG}}} \quad (7.33)$$

$$E_{Plti} = L_{PltYG} \cdot \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{iYG}}} \quad (7.34)$$

E_{Psti} : i kullanıcısı için P_{st} emisyon sınırı

L_{PstYG} : YG planlama seviyesi

S_i : i kullanıcısının kabul edilen gücü, $= P_i \cos \phi_i$

S_{iYG} : YG şubesinin toplam besleme kapasitesinin YG kullanıcılarına adanan kısmı

Geri plan seviyesi, B_{PstYG} normal paydan büyük olabilir. Normal pay $\sqrt[3]{(S_{iYG} - S_i) / S_{iYG}}$ ile orantılı olup planlama seviyesinin aşılmasından sakınmak için hesaba katılmalıdır. Eşitlik 7.33 de (benzer şekilde 7.34 için de) L_{PstYG} terimi $\sqrt[3]{L_{PstYG}^3 - B_{PstYG}^3}$ ile değiştirilmelidir.

Karşılaştırıldığında küçük kabul edilen güce sahip kullanıcılar için yukarıdaki yaklaşım katı sınırlara neden olabilir. Kısa ve uzun dönem fliker şiddetleri için her zaman onaylanan kesin minimum emisyon seviyeleri önerilmiştir. Bu temel değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 7.14. YG Temel emisyon seviyeleri

E_{Psti}	E_{Pthi}
0.35	0.25

Yukarıdaki eşitlikler A_{st} ve A_{lt} için şu şekli alır.

$$E_{Asti} = L_{AstYG} \cdot \frac{S_i}{S_{tYG}} \quad (7.35)$$

$$E_{Alti} = L_{AltYG} \cdot \frac{S_i}{S_{tYG}} \quad (7.36)$$

Aynı şekilde L_{AstYG} ifadesi $L_{AstYG} - B_{AstYG}$ ile değiştirilir.

A_{st} ve A_{lt} için yukarıdaki tabo şu şekli alır.

Tablo 7.15. YG A_{st} ve A_{lt} cinsinden temel emisyon seviyeleri

E_{Asti}	E_{Alti}
0.05	0.02

İkinci yaklaşıma alternatif bir yaklaşım, ÇYG/YG sistem konfigürasyonu, yük dağılımı ve dalgalanan yük oranı beklentisi hesaba katılarak farklı dalgalanan yüklerin etkilerinin klasik çalışma değerlendirmesini içerir.

Yetkili kuruluş tarafından ÇYG/YG yükleri için emisyon sınırları aşağıdaki prensiplere göre tanımlanır.

- ÇYG/YG adapte edilmiş planlama seviyeleri (sistem özelliklerine göre).
- Yukarıda hesaplandığı gibi ve geri plan seviyesini de içeren beklenen dalgalanma profili.
- Eğer varsa güvenlik payları
- Eğer varsa ulusal düzenlemeler (özellikle ark ocaklarının bağlantısı için).

7.4.5.3 Aşama 3 : Yüksek Emisyon Seviyelerinin İstisnai Ve Şüpheli Kabulü

Not edilmelidir ki bir çok kullanıcı büyük genlikte dalgalanan yükleri olmadığı için önemli fliker üretmezler. Ayrıca mevcut şebeke besleme kapasitesi bir kısmı uzun bir süre kullanılmayabilir.

Sonuç olarak aşama 1 ve aşama 2 fliker seviyesini aşırı sınırlayabilir ve planlama seviyesinin altında bir değerde bulunmasına neden olabilirler. Bu da bir pay meydana getirebilir.

Genel prensipleri koruyarak ve standardın esnek bir şekilde yorumlanmasına izin vererek yetkili kuruluş uygun zamanda mümkün olan pay kullanabilir. Ancak kullanıcıya normalden yüksek bir emisyon sınırları verilebilmesi sadece istisnai durumlarda ve şüpheli olarak kabul edilebilir.

Adım 3 hiç bir zaman gerekli olmayacak araştırmaları ertelediği için önemlidir. Bu mevcut geri plandaki flikeri ve incelenen yükün beklenen katkısını hesaba katarak bağlantı için dikkatli bir çalışmanın zorunlu olduğunu ve son bir genişleme olarak kompanzasyon kurulmasını olası kılmak için bir anlaşma yapılmasının gerekli olabileceğinin akılda tutulması gerektiğini ifade eder.

7.4.6 Hızlı Gerilim Değişleri İçin Emisyon Sınırları

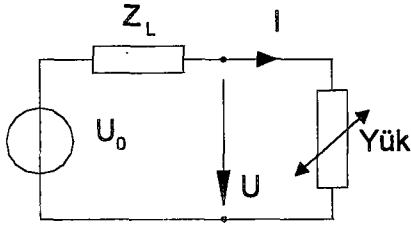
Işık kırışmasının neden olduğu görsel rahatsızlık yük dalgalanmasından dolayı oluşan gerilim değişimini sınırlamak için yaygın nedendir. Ancak yetkili kurumlar gerilimin genliğini dar sınırlar içinde tutmalı ve ayırık tüketiciler, fliker bakış açısından kabul edilebilir olsa da, büyük gerilim değişimlerine neden olmamalıdır.

Pratik olarak çok sayıda hızlı gerilim değişiminin eş zamanlı oluşumu çok düşük bir ihtimaldir. Bundan dolayı toplama yasası hesaba katılmaz.

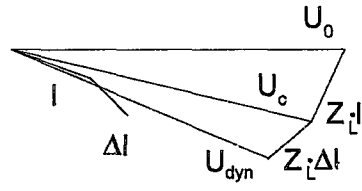
Bağıl gerilim değişiminin basit bir değerlendirmesi aşağıdaki şekilde yapılabilir.

$$\Delta I = \Delta I_p - \Delta I_q \quad (7.37)$$

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (7.38)$$

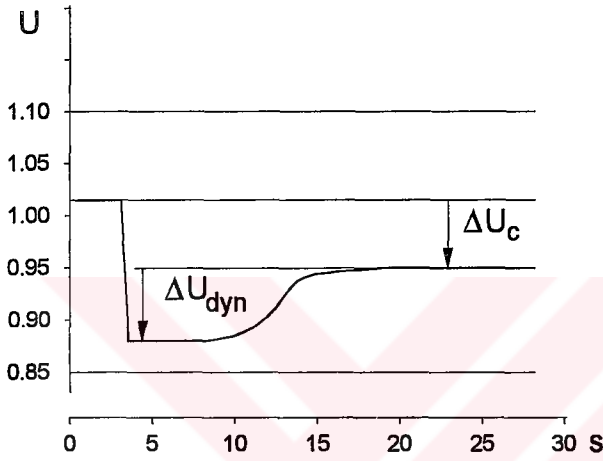


Eşdeğer şema



Vektör diagramı

Şekil 7.8. Kalıcı durum ve dinamik gerilim değişimleri diyagramları



Şekil 7.9. Kalıcı durum ve dinamik gerilim değişimleri

ΔU_c : Kalıcı durum değişimi

ΔU_{dyn} : Dinamik gerilim değişimi

Tek fazlı ve dengeli üç fazlı yükler için :

$$\Delta U_{dyn} = \Delta I_p \cdot R_L + \Delta I_q \cdot X_L \quad (7.39)$$

P_{cc} deki emisyon sınırı anma gerilime göre ΔU_{dyn} nin sınırlanmasını gerektirir.

$$U_0 - \Delta U_c \pm \Delta U_{dyn} \quad (7.40)$$

Aşağıdaki tablo normal çalışma şartlarında bir kullanıcının neden olabileceği maksimum gerilim değişimi, $\Delta U_{dyn} / U_N$ (anma geriliminin yüzdesi olarak) değişimin tekrar frekansına göre göstermektedir. Küçük frekanslı gerilim değişimleri, örneğin günde bir, burada belirtilmemişse de bazı sistemlerde önemli olabilirler.

Tablo 7.16. Saatteki gerilim değişimine göre gerilim değişimi emisyon sınırları

r (saat ⁻¹)	$\Delta U_{dyn} / U_N$ (%)	
	OG	YG
$r \leq 1$	4	3
$1 \leq r \leq 10$	3	2.5
$10 \leq r \leq 100$	2	1.5
$100 \leq r \leq 1000$	1.25	1

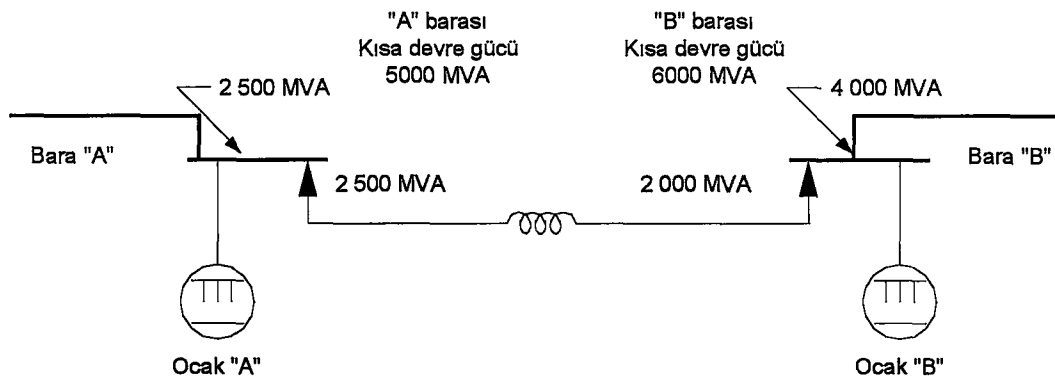
Buradaki bilgiler fliker sınırlarına ek olarak verilmiştir. Bu nedenle önce fliker sınırları kontrol edilmeli ardında yukarıdaki incelemeler yapılmalıdır.

7.5 Farklı Baralardaki P_{st} Lerin Toplanması

Bir kaynağın şebekenin farklı bir noktasından beslenen diğer bir yük üzerindeki dalgalanma etkisinin belirlenmesi ihtiyacı duyulduğunda aşağıdaki seçenekler oluşur.

- Yükler birbirlerinden çok uzak olabilirler (elektrik bakış açısı ile) ve karşılıklı olarak etkileşmedikleri kabul edilebilir.
- Yükler bir birlerin çok yakın ve bir tek yük olarak değerlendirilebilirler.
- Yükler bir birlerinden çok uzak olmayan bir mesafede bulunabilir ve karşılıklı etkileri olabilir. Ayrık kaynakların kendi P_{cc} lerindeki P_{st} değerlerini toplamadan önce elektriksel bağlantı etkisini dikkate almak gerekir. Bu durum bundan sonra değerlendirilir.

Örnek olarak aşağıda farklı baralara yerleştirilmiş iki ark ocağını verilmiştir.



Şekil 7.10. Elektriksel olarak uzak baralardan beslenen iki ark ocağı örneği

Aşağıdaki basitleştirilmiş yaklaşım A ve B baralarındaki kısa devre gücü kaynaklarının önemli bir kısmının bağımsız olması durumunda doğrudur.

A ocağından kaynaklanan A barasındaki ayırık gerilim dalgalanması basit olarak yerel hata seviyesi 5000 MVA e dayanmaktadır. Benzer olarak B ocağının neden olduğu B barasındaki ayırık gerilim dalgalanması yerel hata seviyesi 6000 MVA e dayanmaktadır.

İlk olarak sadece A barası ve B ocağının A barasında neden olduğu gerilim dalgalanması artışının incelendiğini kabul edelim.

İki ark ocağında ölçülen P_{st} değerlerinin aşağıdaki gibi olduğunu kabul edelim.

- A ocağı tek başına çalıştığı zaman A barasında : P_{stA}
- B ocağı tek başına çalıştığı zaman B barasında : P_{stB}

Prosedür B ocağının eşdeğer ocağı B^1 ile değiştirilmesi ve uygun şekilde küçültülen boyutuyla A barasına koymaktır.

B^1 nün neden olduğu A barasındaki P_{st} şu şekilde hesaplanır.

S_{kdA} : A barasındaki kısa devre gücü

S_{kdAB} : A barasından B barasına kısa devre gücü

S_{kdBA} : B barasından A barasına kısa devre gücü

Olmak üzere

$$P_{st}B^1 = P_{st}B \cdot \frac{S_{kdAB}}{S_{kdA} - S_{kdBA}} \quad (7.41)$$

yukarıdaki eşitliğe sayısal değerler konularak şu değer elde edilir.

$$P_{st}B \cdot \frac{2000}{5000 - 2500} = 0.8 \cdot P_{st}B$$

P_{stA} ve $P_{st}B^1$ kübik toplam yasasına göre toplanarak A barasındaki toplam etki bulunur. Bu işlem benzer şekilde B barasına da uygulanabilir.

8. FLİKERİ SORUNUNA ÇÜZÜMLER

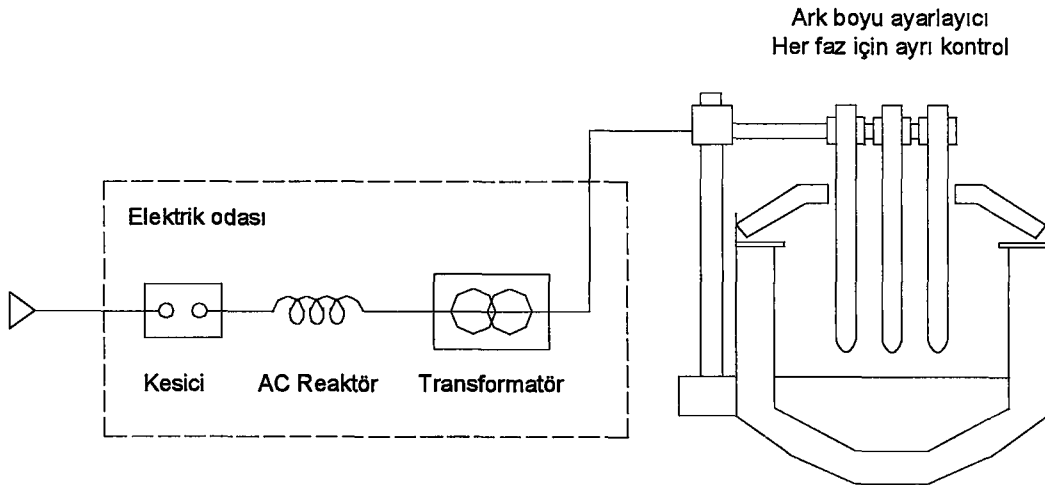
8.1 Giriş

Fliker sorununa alınacak önlemler genel olarak bu sorunu tamamen ortadan kaldırmak yerine kısmi iyileştirmeler yapma üzere belirlenir ve gerilim dalgalanmasının genliğini azaltarak flikerin izin verilen sınırlar altında kalmasına çalışılır. Burada temel iki yöntem incelenecektir. İncelemeler en önemli fliker kaynağı olan ark ocakları üzerinden yapılacaktır.

8.2 Kaynağın Seçimi

8.2.1 Giriş

Flikeri oluşturan neden şebekeye bağlı kullanıcı yükleridir. Bu kullanıcı yüklerinin daha az flikere neden olacak şekilde yapılandırılması veya kontrol edilmesi en etkin çözüm olacaktır. Ark ocakları genellikle üç faz AC olarak yapılırlar. Tipik bir üç fazlı AC ark ocağı prensip şeması aşağıdadır [12].

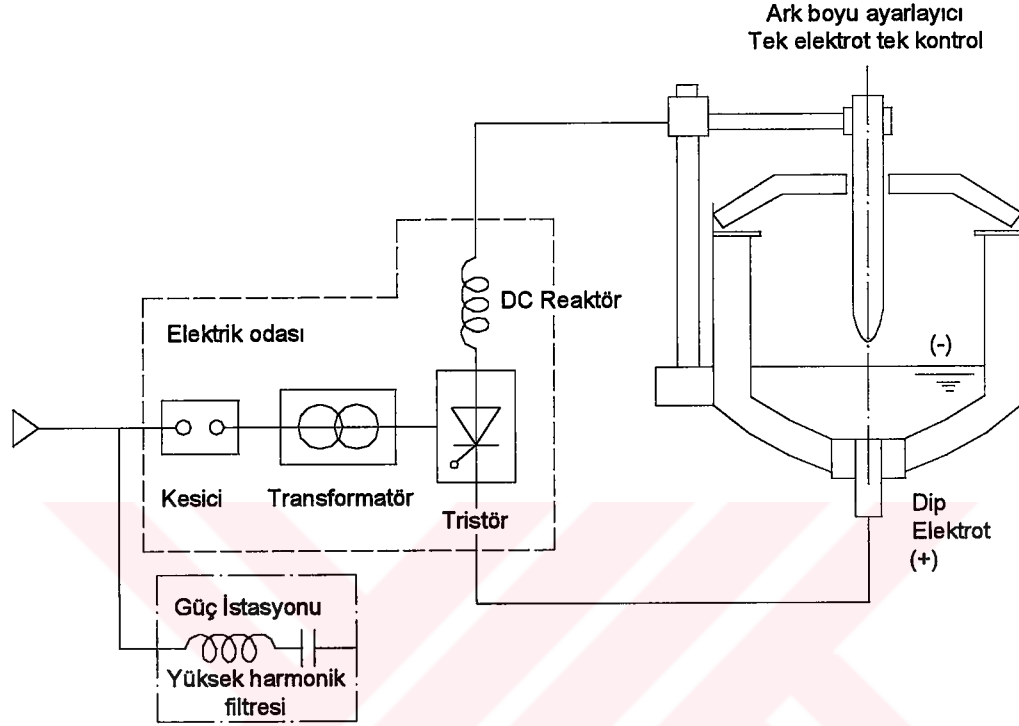


Şekil 8.1. AC üç faz ark ocağı prensip şeması

Yukarıda prensip şeması verilen AC ark ocağı yüksek düzeyde fliker üretmektedir.

8.2.2 DC Ark Ocağı

AC ark ocağına alternatif olarak DC ark ocağı gösterilebilir. DC ark ocağının prensip şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 8.2. DC ark ocağı prensip şeması

8.2.3 AC Ve DC Ark Ocaklarının Karşılaştırılması

8.2.3.1 Yapısal Özellikler

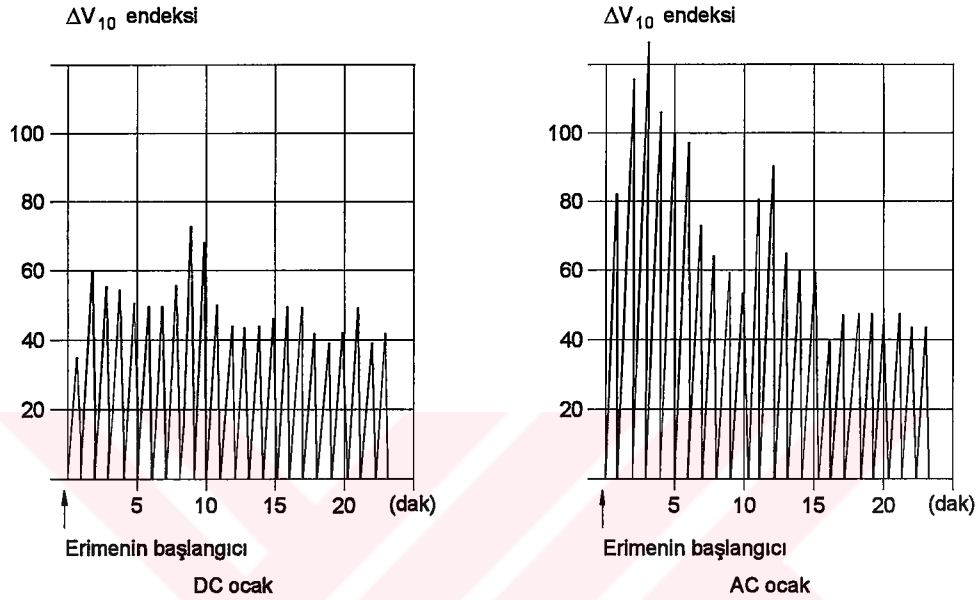
DC ark ocağı ile referans AC ark ocağının yapısal özellikleri aşağıdaki tabloda karşılaştırılmışlardır.

Tablo 8.1. AC ve DC ark ocaklarının yapısal özellikleri

	DC ark ocağı	Referans AC ark ocağı
Ocak kapasitesi	25 ton	23 ton
Ocak çapı	4.000 m	3.650 m
Tepe elektrodu	14 inc x 1 adet	14 inc x 3 adet
Transformatör	15 MVA	12 MVA
Transformatör sekonder gerilimi	265 V / 465 V	260 V / 400 V
Sekonder akımı	Max. 40 kA	17 kA

8.2.3.2 Fliker Üretimi

Teorik olarak tek tepe elektrodlu DC ark ocağının fliker değeri aynı elektriksel kapasiteye sahip AC ark ocağından 50 % küçüktür. Durağan ark nedeniyle daha da küçük bir değer beklenebilir. Aşağıdaki şekilde eritme periyodu boyunca AC ve DC ark ocaklarının gerçek fliker değerleri gösterilmiştir.



Şekil 8.3. AC ve AC ark ocakları fliker ölçümleri

Yukarıdaki şekilden görüleceği gibi DC ark ocağının fliker değeri AC ark ocağına kıyasla yarısı ile üçte biri arasında değişmektedir.

8.3 Kompasatörler

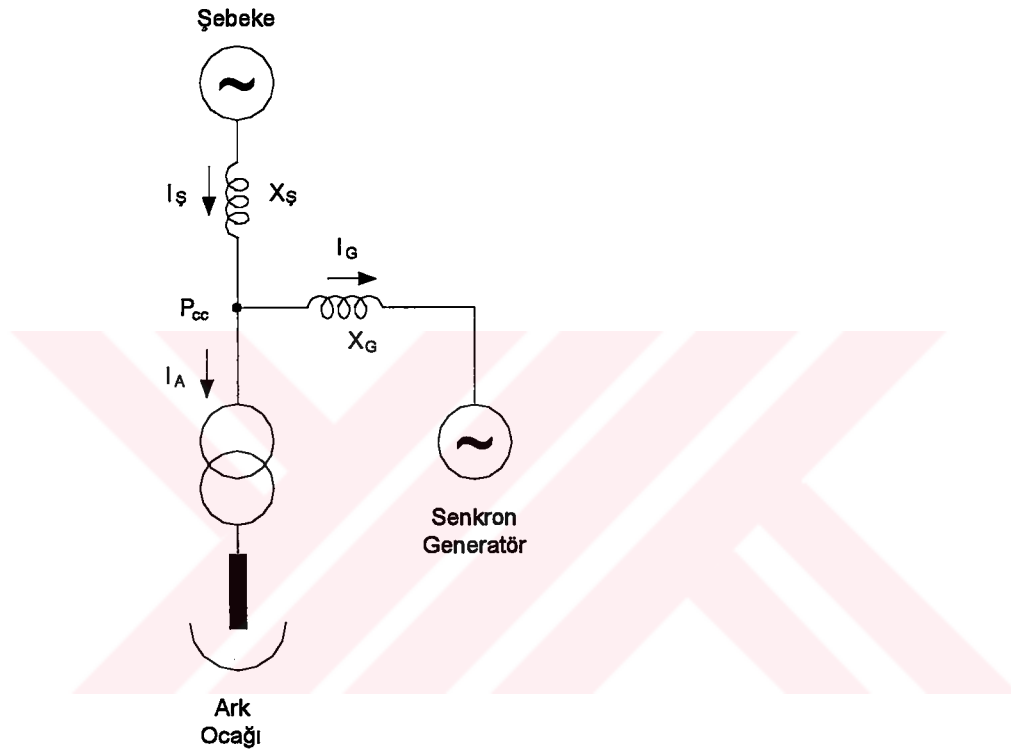
8.3.1 Giriş

Genelde güç faktörünü yükseltmek için kullanılan kompasatörler harmonik ve fliker gibi bozulmaları azaltmakta da kullanılırlar. Bu bölümde fliker bakış açısından kompasatörler incelenecektir [11].

8.3.2 Senkron Kompasatör/ Senkron Kondansatör

Senkron kompasatörlere dinamik kompanzastörler de denir ve boşta çalışan, senkron reaktansları küçük olan, çıkık kutuplu, kuvvetli amortisör sargıları olan senkron makinelerdir.

Senkron kompansatörler, özellikle hızlı uyarma kontrolündeki performansları nedeniyle şikayetlere neden olmuşlarsa da, geçmişte ark ocaklarının kompanzasyonunda oldukça geniş bir kabul görmüşlerdir. Ancak sonradan bu geniş kabulün abartılı olduğu anlaşılmıştır. Senkron makinanın fliker kompanzasyon işlemi basitçe besleme sisteminin bağlanma noktasından desteklenmesi olarak ifade edilebilir. Sonuç olarak ocak akımının dalgalanması bağlama noktasında daha az gerilim değişimine neden olur. Senkron kompansatör ve besleme sistemi eşdeğer dirençleri ile ters orantılı olarak ocak akımını paylaşırlar.



Şekil 8.4. Senkron kompansatör

- X_G Generatör reaktansı ;
 $X_ş$ Şebeke reaktansı ;
 I_G Generatör akımı ;
 $I_ş$ Ark ocağının şebekeden çektiği akım

Olmak üzere generatör akımı aşağıdaki gibidir.

$$I_G = I_A \cdot \frac{X_ş}{X_G + X_ş} \quad (8.1)$$

Normal akıma benzer olarak dalgalanan bileşenin bir kısmı da generatör tarafından paylaşılır.

Birkaç faktör nedeni ile bu paylaşım karmaşıktır. Makine aynı zamanda ocağın güç demand değişimini geçici olarak da paylaştığı için sisteme göre salınacaktır. Eğer doğru reaktans (X_d) ile dik reaktans (X_q) değerleri arasında büyük fark varsa efektif reaktans geçici olarak dik reaktans içerdiğinden değişken değerli olacaktır. Bozulmayı izleyen geri dönüş torku rotorun osilasyonuna neden olacaktır. Eğer bozulma çok büyük veya büyük bozulmaların sırası doğal salınım frekansına yakın bir oranda oluşuyorsa makine senkronizasyonunu tamamen kaybedebilir.

Uyartım kontrolü 7-10 Hz frekansında dalgalanan akım bileşenlerini kompanze edebilecek kadar hızlı yapılamaz. Aksine bunları daha da kötüleştirmeye eğilimlidirler.

Daha küçük efektif reaktanslı senkron makine dalgalanan akımın daha büyük parçasını üstlenecektir. Senkron makinenin etkinliğini arttırmanın alternatif ve genellikle daha ekonomik yolu besleme reaktansının arttıracak tampon reaktör kullanmaktır. Ancak bu bozulma ardından senkronizmayı kaybetme riskini arttırmaktadır.

Yayınlanan bilgilerden görülmektedir ki pratik bir kurulum dalgalanmaların yaklaşık olarak eşit paylaşımı ile elde edilmektedir.

Harmonik bozulması ve negatif bileşen etkileri de empedanslarının tersi oranında sistem ile makine arasında paylaşılmaktadır. Sistemin kapasitif empedansa sahip olduğu her hangi bir harmonik bileşeni için harmonik bozulması kuvvetlendirilir.

Senkron kompensatörlerin diğer kompanzasyon sistemlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

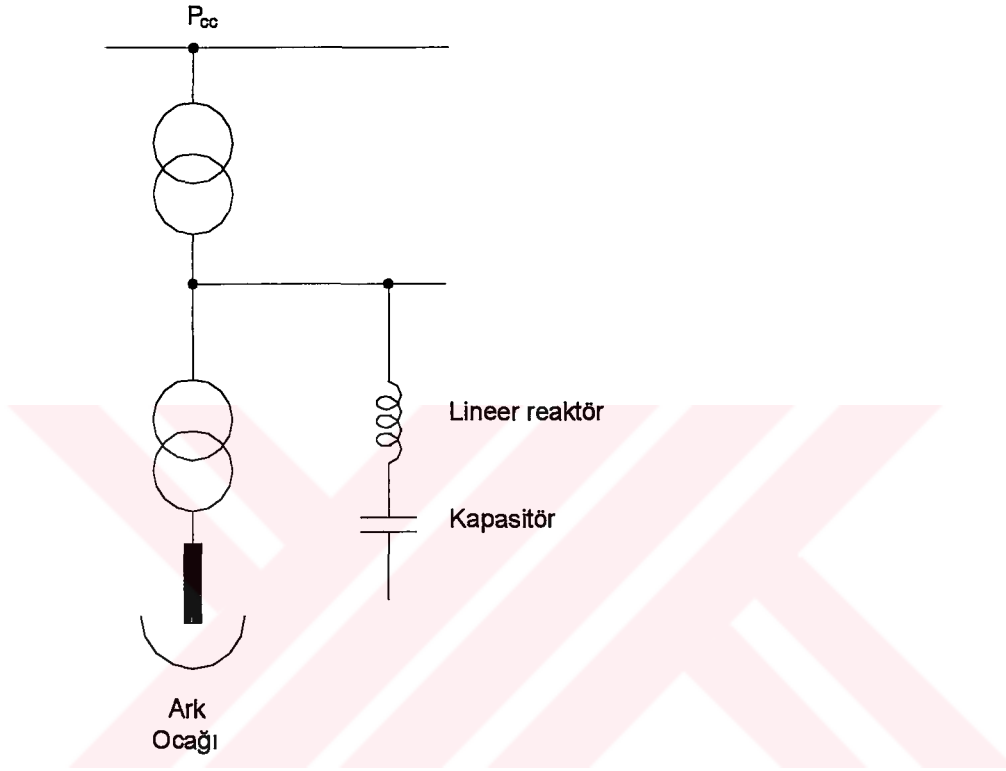
Senkron kompensatörler harmonik üretmezler. Kapasitif etkileri otomatik kontrol düzeni ile sürekli olarak ayarlanabilirler.

Bununla birlikte dengesiz yükleri dengeleyemezler. Dönen makineler oldukları için kayıpları vardır. Kuruluş maliyetleri düşük değildir.

8.3.3 Sabit Paralel Kapasitör

Sabit Paralel kapasitörler sadece güç faktörünü düzeltme amacıyla kullanılırlar. Rezonans frekansından daha yüksek frekanslı harmonik bileşenlerinin

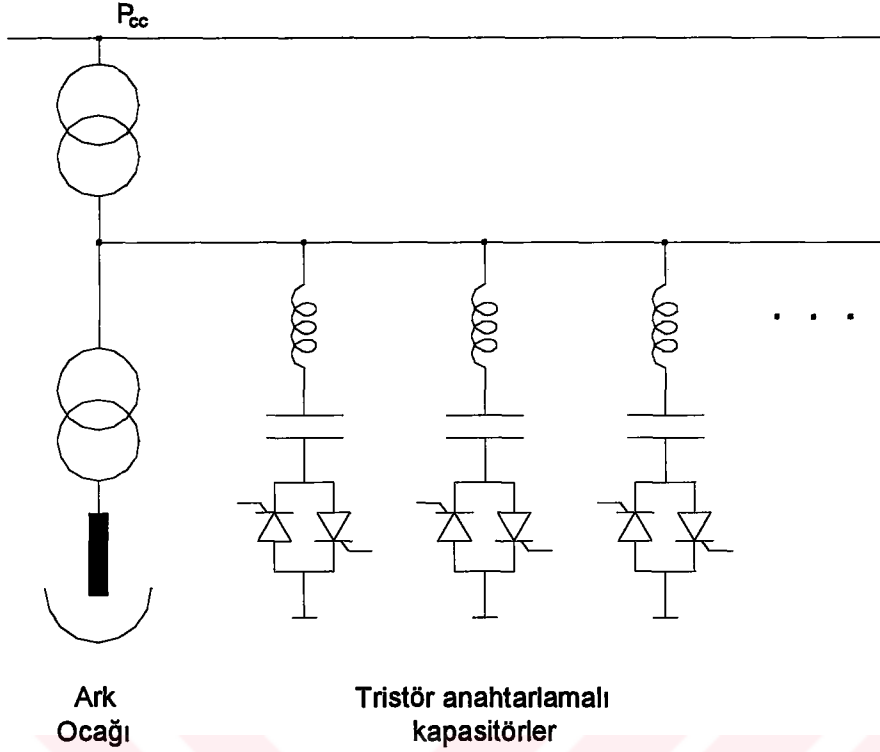
kuvvetlenmesini önlemek için genellikle havalı seri reaktörler de içerirler. Ancak normal olarak kapasitör bankaları ile rezonansa girdikleri frekansın altındaki harmonik bileşenlerini kuvvetlendirmeye eğilimlidirler. Paralel kapasitörler güç frekansında efektif besleme empedansını arttırılırlar ve bundan dolayı besleme sistemindeki gerilim dalgalanmasının tepe değerini, eğer besleme sisteminin kısa devre seviyesi bağıl olarak küçükse, önemli ölçüde yükseltir.



Şekil 8.5. Sabit paralel kapasitör

8.3.4 Tristör Anahtarlama Kapasitörleri (Doğrudan Sistem)

Tristörlü anahtarlama paralel kapasitörlerinin besleme sistemine bağlı veya besleme sisteminden ayrı olmalarını güvenilir ve hızlı bir biçimde mümkün kılar. Bu sistemde gerekli reaktif gücü sağlayacak kondansatörler küçük bağımsız dallara (bataryalar) ayrılır. Her dal için bir tristör grubu vardır.



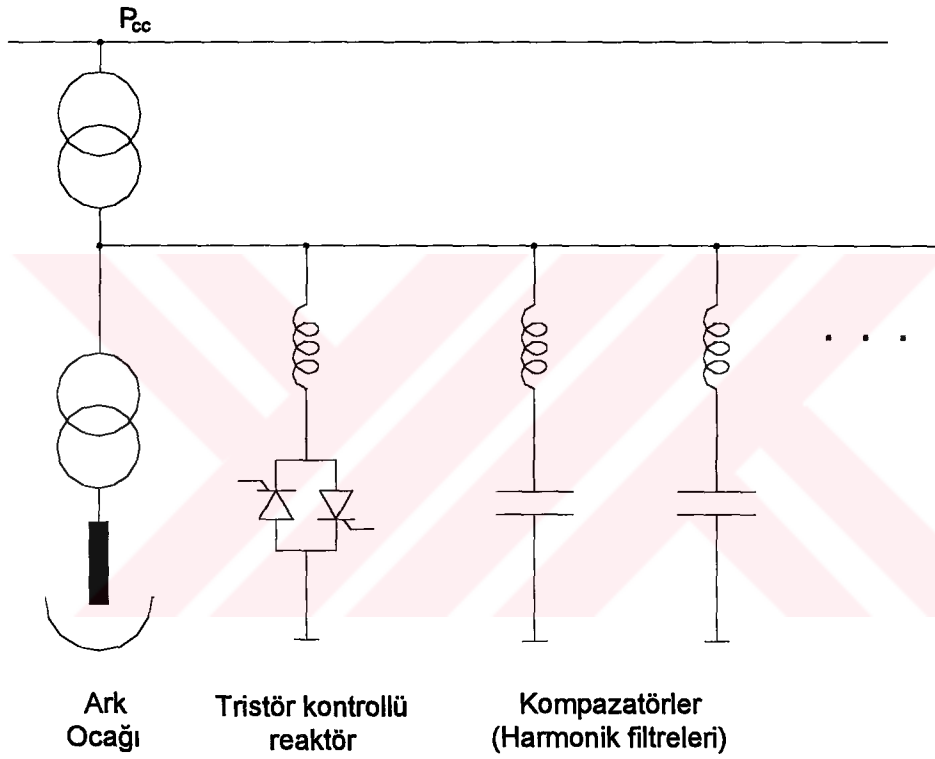
Şekil 8.6. Tristör anahtarlamalı kapasitör

Reaktif güç, akım ve gerilimin anı değerlerini ölçen bir kontrol düzeni yardımıyla kondansatörler küçük basamaklar halinde devreye sokulur yada çıkarılır. Bu kontrol basamaklı bir kontroldür. Her faz için ayrı kontrol yapılabilir. Ancak bataryaların kapasitif değerleri ne kadar küçük ve çok sayıda yapılırsa kontrol işlemi sürekli kontrole o kadar yaklaşır. Ayrıca, bir kondansatör devreye bağlandığında eğer ilk yükü ve gerilimi sıfır ise büyük akım çeker ve şebeke üzerine olumsuz etki yapar. Bu nedenle kapasite bataryası yaklaşık şebeke geriliminin tepe değerine doldurulur. Şebeke gerilimi bu tepe değerinden geçerken kapasite devreye sokulur, bu esnada kapasitif akım sıfırdır. Tristörler tetiklenerek kasite bataryasını devreye sokar ve devreden çıktığı an ancak akımın sıfırdan geçtiği ve gerilimin maksimum olduğu andır. Böylece devre dışı olan kapasitörler yüklü olarak kalır ve uygun gerilim tepe değerinin oluştuğu ve tetikleme işaretinin verildiği zaman devreye girebilirler. Kapasiterin yüksek harmoniklerde rezonans olayına meydan vermemeleri için kapasitelere seri olarak havalı reaktörler bağlanır. Kapasiteler gerilimin $\pm$ tepe değerleriyle yüklenirse, bir periyod içinde iki kez bağlama olanağı doğar.

8.3.5 Tristör Kontrollü Reaktörler (Dolaylı Sistem)

Tristör kontrollü reaktörler dolaylı bir ark ocaklarının kompanzasyonu yöntemidirler. Tristör kontrollü reaktörlerde güç faktörünü nominal ocak gücünde bire çıkaracak

kadar kapasite ocağa paralel olarak bağlanır. Ayrıca reaktörlere seri bağlı tristörlerle reaktör akımı kontrol edilir. Yük dengesini iyileştirmek için genellikle bağımsız faz kontrolü vardır. Reaktif güç ya da gerilim dalgalanmasına göre ve aynı zamanda flikeri de kompanze edecek şekilde, kontrol düzenleri tristörlere tetikleme işareti uygularlar. Normal olarak tetikleme açısı her bir yarı periyod da 90° ve 180° arasında sürekli olarak ayarlanabilir. Akım sıfıra doğal olarak ulaşmadan da açılmazlar Böylece nominal sabit güçte güç faktörü ve ark ocağının reaktif gücünün azalması ya da tekrar artması gibi değişiklikler, trisörlerle seri bağlı reaktörler tarafından ayarlanır. Aşağıda tipik bir tristör kontrollü reaktör şeması gösterilmiştir.



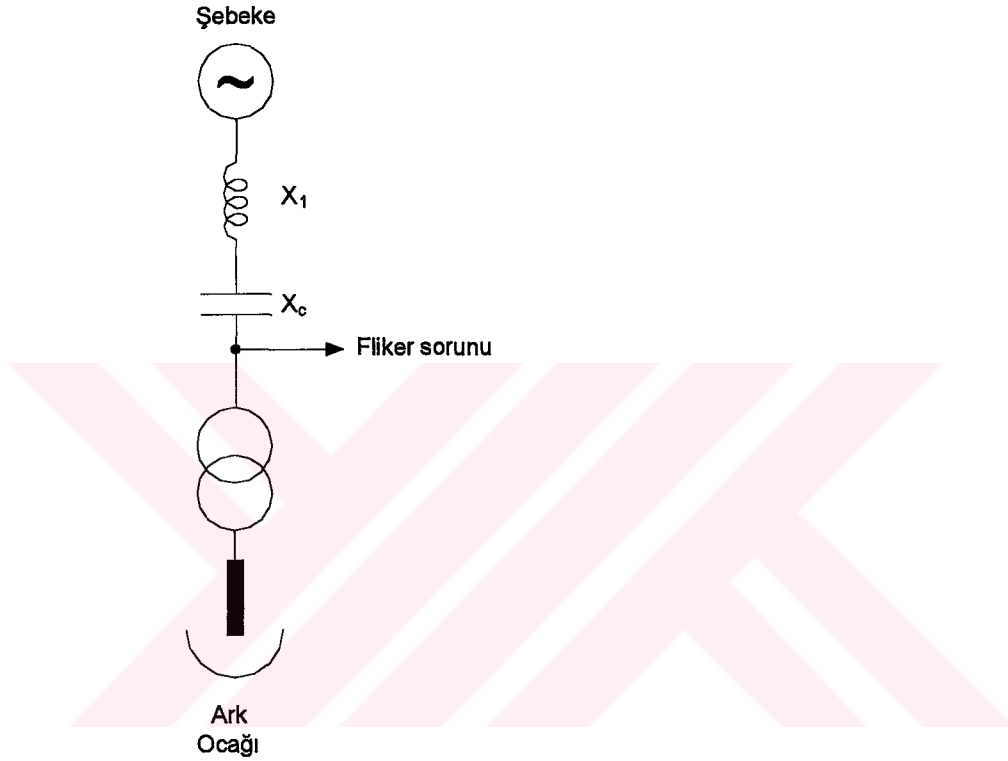
Şekil 8.7. Tristör kontrollü reaktör

Sabit kapasitelerin maksimum ocak reaktif gücünü karşılayacak güçte olması zorunlu olan bu kompanzasyon düzeninde kontrol, basamaklı olarak yapılan kapasiteli kontrolün tersine sürekli olarak yapılmaktadır.

Sürekli kontrol edilebilmelerine karşın tristör kontrollü reaktörlerin kendileri bir harmonik kaynağıdır. Bundan dolayı paralel kondansatörlere uygun seri havalı reaktörler bağlanarak kompanzasyon yanında filtre işlevi de yapmaları sağlanır.

8.3.6 Hatta Seri Kapasitör

Seri kapasitörler ark ocakları beslemelerini nadiren kurulmuşlardır. Kapasitör kendisinden sonraki kısmın kısa devre seviyesini yükseltir ve bu kurulduğu yerin empedans değerini küçültebilir. Seri kapasitörler gerilim değişiminin ortalama değerinin düşürülmesinde çok etkindirler ve bazı durumlarda ark ocağının eritme oranını önemli ölçüde yükseltirler. Aşağıdaki şekilde seri kapasitör şeması gösterilmiştir.



Şekil 8.8. Hatta seri kapasitör

Yukarıdaki şekilde X_1 şebekenin fliker sorunun oluşan yerine kadar olan reaktansını, X_c bağlanan kapasitörün reaktansını göstermektedir. $X_c = X_1$ durumunda empedans minimum olacak ve böylelikle gerilim dalgalanması da azalacaktır.

Hatta seri kapasitörler ayarlandıkları frekanstaki gerilim dalgalanmasının azaltılmasında etkinliklerini flikerin azaltılmasında gösteremezler. Özellikle kapasitörün ile sistemin rezonsa girdiği frekansın altındaki frekanslı gerilim bileşenlerini kuvvetlendirebilirler.

8.3.7 AC Doymalı Reaktörler

AC doymalı reaktörler tek faz veya üç faz olarak tasarlanırlar. Çekilen akım gerilimin besleme frekansının yarım çevrimi boyunca alınan entegralinin fonksiyonudur.

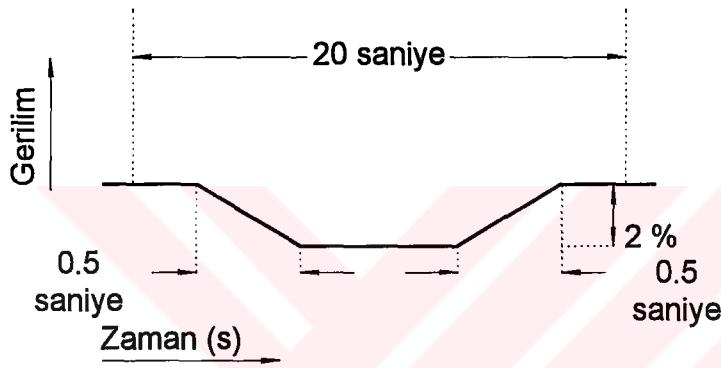
Tek faz doymalı reaktörler ile kademeli lineer tampon reaktörler ark ocağının her bir dalgalanmasının genliğinin olası en büyük miktarda düşürülmesi zorunlu olduğu zaman kullanılırlar. Kademeli lineer reaktör ark ocağı transformatörüne seri olarak bağlanır ve doymalı reaktör kademe noktasına bağlanır. Tek faz doymalı reaktörler ayrı faz kompanzasyonu için kullanılır. Şebekeden çekilen toplam reaktif akım neredeyse sabit kalır ve besleme sistemdeki bozulma durdurulur. Kompanzasyon matematik olarak bütün dalgalanma frekansları için tam olarak yapılabilir. Sadece ocağın güç değişimleri gibi ikinci derece etkiler nedeni ile küçük bir miktar gerilim dalgalanması arda kalır. Bu sistem büyük miktarda iyileştirmenin gerekli olduğu tek ocaklı sistemler için kullanılır.

Üç faz paralel doymalı reaktörler dalgalanmanın sadece orta miktarda düşürülmesi gerektiğinde kullanılır ve ark ocağı transformatörüne paralel olarak doğrudan bağlanırlar. Ark ocağının reaktif akımındaki değişim sistem ile doymalı reaktör arasında bağıl reaktanslarına ters oranda paylaşılır. Arda kalan gerilim değişiminin spektral yoğunluğu kompanze edilmemiş ocağinki ile neredeyse aynıdır. Örneğin bütün frekanslar benzer oranda düşmüştür. Bu sistem küçük veya orta düzeyde bir iyileştirmeye gereksinim duyan tek ve çoklu ocaklar için kullanılır.

9. TİPİK DURUMLARDAN ÖRNEKLER

9.1 Haddeleme Yüğü

Besleme noktasına Ward – Leonard sürücülü haddeleme yükünün bağlanması önerilmiştir. Bu durumda diğer yükler ile birlikte P_{∞} de aşağıdaki gerilim değişiminin oluşacağı beklenmektedir.



Şekil 9.1. Haddeleme yükünün etkisi örneği

Ortalama gerilim değişim sayısı (r/dak) 6 ($2/20 = 6/60$ s) ve $\Delta S/S_{kd} = 2\%$ dir. Bu değerler orta gerilim emisyon sınırları 1. aşama sonuçlarına uymamaktadır.

Bundan dolayı kabul edilebilirlik aşama 2 ye göre değerlendirilecektir. Lokal yüklerin OG sistemindeki fliker seviyesi maksimum global katkısı $G_{PstOG} = 0.72$, sistem kapasitesi $S_{OG} = 30$ MVA, kullanıcı yükü $S_i = 3$ MVA ve eşzamanlılık faktörü $F_{OG} = 0.3$ değerleri 7.28 eşitliğinde kullanılarak izin verilen kullanıcı P_{st} emisyon seviyesi $E_{psti} = 0.5$ olarak bulunur.

$P_{st} = 0.5$ için gerilim değişimi sınır değerleri Şekil 6.1 de 230 V ve $P_{st} = 1$ için verilen karakteristikten yüzde olarak ifade edilen gerilim değişimi değerlerini 0.5 ile çarparak elde edilir.

Şekil 6.3 de 0.5 s rampa 0.3 şekil faktörüne sahiptir. Bu şekil faktörü 2% rampa gerilim değişimini 0.6% dikdörtgen gerilim değişimine çevirir ($0.6 = 0.3 \cdot 2\%$).

$P_{st} = 0.5$ üreten 0.6% lık dikdörtgen gerilim değişiminin maksimum gerilim değişimi sayısının dakikada dokuz değişim olduğu Şekil 6.1 den elde edilir.

Haddeleme yükü tarafından üretilen ortalama gerilim değişimi sayısı altı olduğundan P_{st} 0.5 den küçük olacak ve yük bağlanabilecektir.

9.2 Araba Parçalayıcı Yükü

Var olan ve ek yüklere ilişkin yüksek gerilim değişimi değerleri nedeniyle aşama 2 değerlendirmesi başlatılmamıştır, aşama 3 uygulanmıştır.

11 kV besleme noktası araba parçalayıcıyı süren 900 kW asenkron motoru beslemektedir. Tüketici ek bir araba parçalayıcıyı sürecektir 1500 kW asenkron motor için bağlantı isteğinde bulunmuştur.

a) Var olan beslemenin karakteristiği

P_{cc} empedansı $37.7 + j \cdot 82 \%$ ($S_{baz} = 100$ MVA)

b) Var olan motor karakteristiği

Yol alma : Doğrudan bağlanma, 3.3 MVA 0.3 güç faktörü günde bir defa.

Çalışma : Tam yükten sıfır yüke 0.9 güç faktörü

c) Önerilen motorun karakteristiği

Bu motor var olan 900 kW lık motorun ölçekli bir versiyonudur. Sürücü motorun dalgalanan yükü nedeni ile çalışma aşamasında karmaşık gerilim değişimleri oluşmaktadır. Bundan dolayı oluşması olası bozulmaları belirlemek için flikermetre yaklaşımı kullanılmalıdır. Fakat öncelikle, fliker bozulmasını göz önüne almadan, normal sistem bağlantısı ile yol alma gerilim değişiminin 4% sınırının içinde olup olmadığı kontrol edilmelidir (Tablo 7.15). Bu başlangıç değerlendirmesi var olan motor karakteristiği ölçeklenerek yapılabilir.

Var olan motor için yol alma gerilim değişimi :

$$\text{Gerilim değişimi} = \frac{3.3}{100} \cdot (37.5 \cdot 0.3 + 82 \cdot 0.95) = 2.94\%$$

Önerilen motorun yol alma gerilim değişimi var olanın hesaplanmış değerine oranlanarak bulunabilir.

$$\text{Gerilim değişimi} = 2.94 \cdot \frac{1500}{900} = 4.90\%$$

Bu değer kabul edilebilir değildir ve var olan besleme sistemine 4% lik sınır değiştirilmeden bağlanamaz.

d)Yapılacaklar

Sistemde ufak düzenlemeler ile , P_{∞} iki transformatörlük 33/11 kV alt istasyonu 11 kV barasına kaydırılabilir. Bu baradaki normal sistem empedansı :

$$1.3 + j \cdot 48.8 \% (S_t = 100 \text{ MVA})$$

Bu beslemeyle, önerilen motorun yol alma gerilim değişimi :

$$\text{Gerilim değişimi} = \frac{3.3}{100} \cdot \frac{1500}{900} \cdot (1.3 \cdot 0.3 + 48.8 \cdot 0.95) = 2.57\%$$

Bu kabul edilebilir bir değerdir ve bu alternatif yerdeki yol alma ve çalışma fliker etkisi şimdi incelenmelidir.

e) Fliker ölçümü

Flikermetre okumaları aşağıdaki durumlarda alınmıştır.

Test i) Var olan noktada ve 900 kW motor duruyorken (geri plan) (P_{st2}).

Test ii) Var olan noktada ve 900 kW motor yol alıyorken.

Test iii) Var olan noktada ve 900 kW motor normal çalışıyorken (P_{st1}).

Test iv) 33/11 kV alt istasyonu 11 kV barası (geri plan) (P_{st6}).

f) Çalışmada kullanılacak sistem empedansının seçimi

Adım d) de verilen empedans, $1.3 + j \cdot 48.8 \% (S_t = 100 \text{ MVA})$ devredeki her iki 33 / 11 kV transformatör içindir. Bu transformatörlerden birinin devre dışı kalması 11 kV luk bara empedansı $2.5 + j \cdot 85.6 \%$ çıkar. Bu empedansta normal çalışma empedansını yaklaşık iki katıdır. Önemli transformatör arızalarının tamiri aylar alabilir ve sonuç olarak yüksek sistem empedansı ile çalışma riski doğurur. Bununla birlikte araba parçalayıcı tungsten telli lambaların kullanılamadığı gündüz vakti çalıştığı için devre dışı kalma durumu ihmal edilmiş ve normal çalışma sistem empedansı kullanılmıştır. Ancak belirtilmelidir ki bu devre dışı kalma durumunda motor yol alma gerilim adım değişimi yaklaşık 5.2% dir.

g) Toplama formülünde kullanılacak m değerinin seçimi

Hem var olan ve hem de önerilen motorlar bir birlerinden bağımsız olarak çalışacaklarından genel değer $m = 3$ fliker etkisinin toplanmasında kullanılacaktır. İki motorun aynı anda yol alması beklenmediği için $m = 3$ bu durum için de kullanılabilir.

h) Fliker etkisi, yol alma

Aşağıdaki 10 dakikalık şiddet değerleri, P_{st} , var olan beslemeden ve var olan 900 kW motorun yol almasından elde edilmiştir (bkz Tablo 9.1).

Yol alma (geri plan dahil) : $P_{st} = 0.56$ (test ii)

Tipik geri plan okumaları : $P_{st} = 0.3$ (ortalama değer, test i)

Yol alma, sadece 900 kW luk motor : $P_{st} = \sqrt[3]{(0.56^3 - 0.3^3)} = 0.53$

Bu değerleri d) de verilen 11 kV barasına transfer etmek için iki yer arasındaki gerilim değişimlerinin tepe değerleri oranını bilmek gerekir.

Var olan yerde ve var olan motor için yol alma gerilim değişimleri 2.94 % (bkz c)

11 kV barada yol alma gerilim değişimi şöyle olacaktır :

$$\text{Gerilim değişimi} = \frac{3.3}{100} \cdot (1.3 \cdot 0.3 + 48.8 \cdot 0.95) = 1.54 \%$$

Bundan dolayı 11 kV barada yol alma sırasında 900 kW motorun neden olacağı şiddet :

$$0.53 \cdot \frac{1.54}{2.94} = 0.28 \text{ (} P_{st7}, \text{ bkz tablo 9.1)}$$

Önerilen 1500 kW motorun var olanın ölçekli bir versiyonu olmasından dolayı meydana getireceği şiddet :

$$0.28 \cdot \frac{1500}{900} = 0.47 \text{ (} P_{st8}, \text{ bkz tablo 9.1)}$$

i) Fliker etkisi, normal çalışma

1) 900 kW motor

900 kW lik motorun tek başına meydana getirdiği fliker etkisini bulmak için geri plan bozulmasının etkisini (test i) motor ve geri plan birlikte okumalarından (test iii) çıkarmak gerekir.

Sonuç 900 kW motorun sadece var olan yerdeki etkisini verir. Bu değeri d) de önerilen 11 kV baraya dönüştürmek için şiddet değerlerini iki yerdeki gerilim değişimlerinin tepe değeri oranına göre ölçeklemek gerekir. Çalışma sırasında 0.9 güç faktöründe salınan güç ile bu oran :

$$\text{Oran} = \frac{1.3 \cdot 0.9 + 48.8 \cdot 0.44}{37.5 \cdot 0.9 + 82 \cdot 0.44} = 0.32$$

2) Önerilen 1500 kW motor

Bu motor 900 kW motorun ölçekli bir versiyonu olup şiddet değeri daha küçük motorun şiddet değerinin 1500/900 ile çarpımı kadardır.

3) 11 kV baradaki etkilerin toplamı

Toplam şiddet 11 kV baradaki geri plan şiddeti ile iki motorun meydana getirdiği şiddetin toplamından elde edilir. Ek olarak, günün başlangıcındaki motor yol alımlarını hesaba katmak için ilk şiddet değerleri iki motorun yol alma şiddetlerini de içermelidir.

Uzun dönem şiddet değeri, P_{lt} toplanmış P_{st} değerlerinden elde edilir.

j) Özet

1) 33/11 kV alt istasyonun 11 kV barasındaki önerilen 1500 kW motorun yol alma gerilim değişimi 2.6 % kabul edilebilir bir değerdir.

2) Var olan motorun transferi ve önerilen 1500kW motorun 11 kV baraya bağlanması aşağıdaki fliker şiddeti değerlerine neden olur.

$$P_{st}(\text{en büyük}) = 0.75$$

$$P_{lt} = 0.59$$

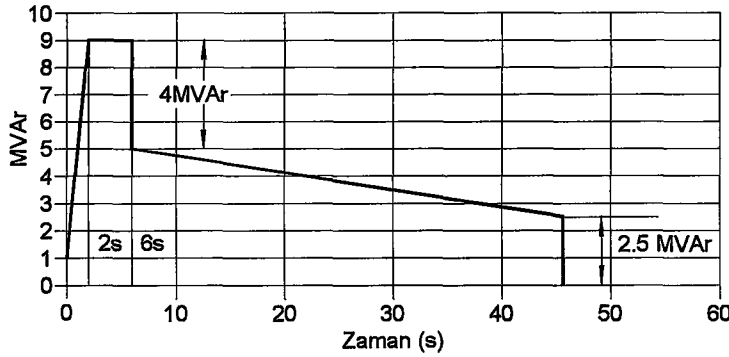
Bu değerlerin her ikisinde tablo 7.6 da verilen sınır değerlere uymakta olup öneri kabul edilebilirdir.

Tablo 9.1. Fliker ölçümleri

		Ardaşıl kısa dönem siddet faktörleri, P_{st} iki saat boyunca alındı											
Test iii), 900 kW motor + geri plan	(P_{st1})	0.54	0.78	0.81	0.84	0.87	0.84	0.81	0.75	0.75	0.81	0.81	0.66
Test i), geri plan	(P_{st2})	0.27	0.27	0.24	0.48	0.48	0.27	0.24	0.27	0.27	0.24	0.27	0.30
900 kW motor, $\sqrt[3]{P_{st1}^3 - P_{st2}^3}$	(P_{st3})	0.52	0.77	0.80	0.78	0.82	0.83	0.80	0.74	0.74	0.80	0.80	0.64
900 kW motor, alternatif nokta için ölçülenmiş $P_{st3} \times 0.32$	(P_{st4})	0.17	0.25	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26	0.24	0.24	0.26	0.26	0.21
1500 kW motor, $P_{st4} \times (1500/900)$	(P_{st5})	0.28	0.41	0.43	0.42	0.44	0.45	0.43	0.40	0.40	0.43	0.43	0.34
Test iv), geri plan	(P_{st6})	0.24	0.24	0.69	0.69	0.45	0.48	0.36	0.24	0.36	0.36	0.21	0.66
900 kW motor yol alma	(P_{st7})	0.28											
1500 kW motor yol alma	(P_{st8})	0.47											
Toplam, $\sqrt[3]{\sum_{n=4}^{n=8} (P_{stn})^3}$	(P_{st9})	0.55	0.46	0.75	0.75	0.58	0.60	0.53	0.45	0.50	0.53	0.47	0.70
$P_k = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3}$		0.59											

9.3 Önerilen Çoklu Maden Taşıyıcı İncelemesi

Bu örnekte her biri 5 MW gücünde üç maden taşıyıcının 400 MVA hata seviyeli beslemeye bağlanma önerisi incelenmektedir. Şekil 9.2 de bir taşıyıcı tepkin güç seviye profili verilmiştir. Sorun üç taşıyıcının beraber benzer fakat aynı olmayan yaklaşık 60 s lik çevrim zamanı ile çalışmasının fliker seviyesine nasıl etki edeceğidir.



Şekil 9.2. Taşıyıcı tepkin güç seviyesi profili örneği

Gerilim değişimleri yaklaşık olarak tepkin güç profiline orantılı olup 4 MVar için 1 %, 2.5 MVar için 0.63 % dir. Şekil 9.2 bakıldığında zamanı 1s den büyük olan eğimlerin aynı büyüklükteki adım değişimi ile karşılaştırıldığında daha küçük bir etkiye sahip olduğu görünür. Bundan dolayı taşıyıcıların neden olduğu fliker baskın olarak çalışma başlangıcından 6s sonra 4 MVar lik değişim ve daha az olarak durma zamanında oluşan ve daha küçük adımlı 2.5 MVar lik tepkin güç değişimlerinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak eğer sadece bir maden taşıyıcı varsa P_{st} (en büyük adımın P_{cc} de 1 % lik bir gerilim değişimine neden olduğu kabul edilerek) $P_{st} = 1$ eğrisinden 60 s tekrar sayısı için elde edilebilir.

$P_{st} = 1$ eğrisinden (230 V) dakikada 60 tekrar sayısı ile, $P_{st} = 1$ iken gerilim değişiminin genliği 2.7 % dir.

Bundan dolayı 1 % gerilim değişimi için :

$$P_{st} = \frac{1}{2.7} = 0.37$$

ve 0.63 % gerilim değişimi için :

$$P_{st} = 0.37 \cdot 0.63 = 0.23 \text{ dür.}$$

Her iki gerilim değişiminin bileşimi :

$$P_{st} = \sqrt[3]{0.37^3 + 0.23^3} = 0.40.$$

P_{st} gerilim değişiminin büyüklüğü ile doğru orantılı olduğundan farklı gerilim değişimleri ile diğer P_{cc} ler için hesabı kolaydır.

Eğer taşıyıcıların bağlantılı olarak çalışmadıkları kabul edilirse birden fazla taşıyıcının fliker etkileri kübik toplam yasası uygulanarak elde edilebilir. Örneğin üç taşıyıcı için :

$$P_{st} = \sqrt[3]{3 \cdot 0.4^3} = 0.58$$

Bu farklı taşıyıcıların adımların eş zamanlı oluşlarından meydana gelebilecek daha fazla fliker şiddetini ihmal eder. Çalışmalar göstermiştir ki eş zamanlı adım değişikliklerinin fliker etkisine sahip olduklarını söyleyebilmek için 0.1 s den daha yakın olmaları gerekir. 60 s çevrim zamanlı üç taşıyıcı birlikte çalışması sırasında 0.1 s ile iki adım eş zamanlılık frekansı yaklaşık 1.5 saat, üç adım eş zamanlılığı is yaklaşık 2 haftadır.

İlginç bir not da eğer adımlar 0.5 ila 1 s arasında oluşmuyorsa flikermetre değerlendirmesi, adım değişiklerinin düzenli veya rasgele olup olmadıklarına bakmadan, oluşma frekansının ortalamasına dayanana P_{st} sonucu verecektir.

İncelemeden görüldüğü gibi önerilen taşıyıcının kurulması maksimum $P_{st} = 0.58$ ile kabul edilebilir değildir ve aşama 2 sınırı $P_{st} = 0.5$ olduğundan aşama 3 yaklaşımı gereklidir.

Burada kullanılabilecek diğer bir metod fliker kestirim yöntemlerinde verilen fliker zamanına dayanan analitik yöntemdir. Ancak rampa tipi değişimlerin gerek yükselme ve gerekse düşme zamanları 1s den büyük olduklarından ihmal edilebilirler.

$P_{st} = 1$ eğrisinden (230 V) $P_{st} = 0.5$ sınırına göre çevrimin 6. saniyesinde 4MVA_r lik adım değişimi ile 1 % genliğe her bir 23 s için izin verilebilir. $P_{st} = 1$ eğrisindeki 2 % lik gerilim değişimi $P_{st} = 0.5$ eğrisindeki 1% lik gerilim değişimine eş değerdir.

Çevrimin 45. saniyesindeki 2.5 MVA_r lik adım değişimi ile 1 % x 2.5/4 = 0.63 % lik genliğe her bir 5 s için izin verilebilir.

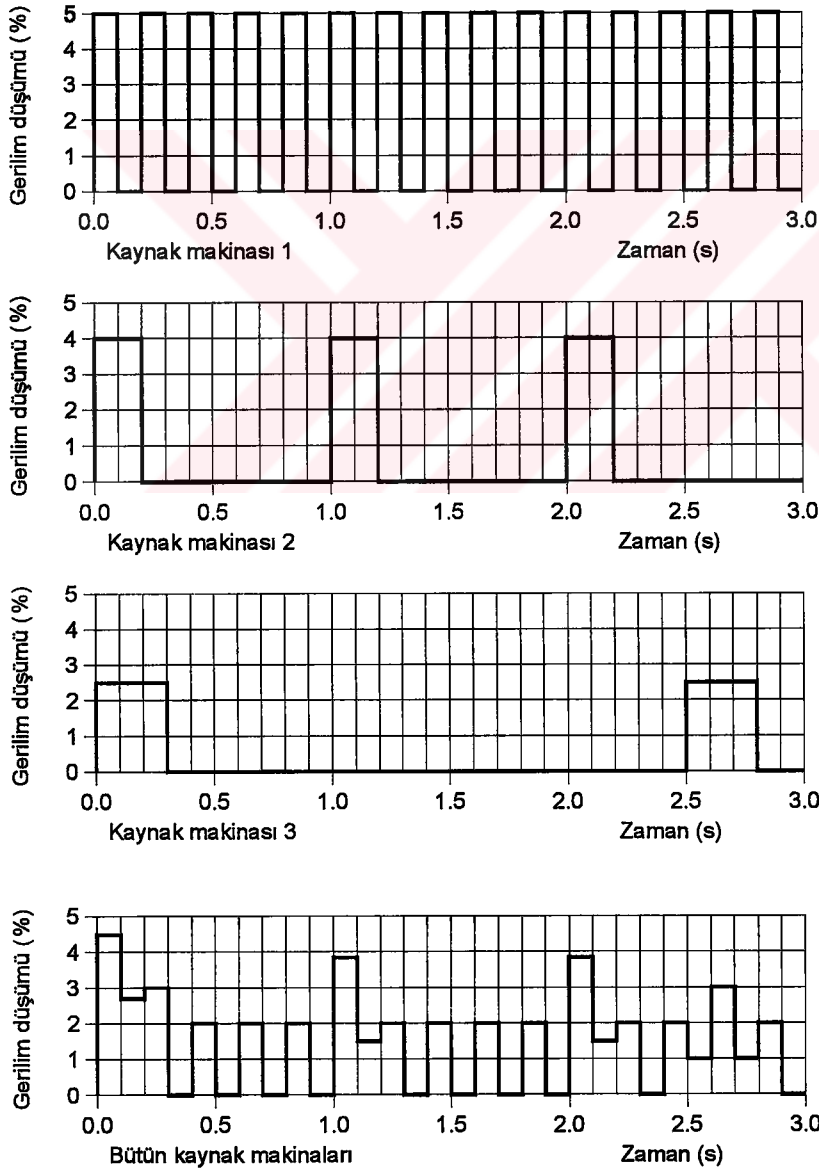
Bunlardan dolayı toplam fliker zamanı = 23 + 5 = 28 s.

Ortalama 63 s çevrim zamanlı bu tip makineler için fliker zamanı = $3 \times 28 = 84$ s. Bu 63 s olan çevrim zamanını aşmaktadır ve aşama 2 altında bu makinelerin bağlanması kabuledilebilir değildir.

9.4 Çoklu Kaynak Makinesi Yüğü

Üretici kaynak makinası yükü kurmak istemektedir. Yük üç kaynak makinesinden oluşmakta olup çevrim zamanları sırasıyla 0.2 s, 1 s ve 2.5 s dir. Kaynak makineleri P_{cc} de sırasıyla 0.5 %, 0.4 % ve 0.25 % gerilim düşümü vermekte olup 0.1 s, 0.2 s ve 0.3 s lik oturma zamanlarına sahiptirler.

Üç kaynak makinesinin dalga şekilleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 9.3. Üç kaynak makinasının dalga şekilleri

Her bir kaynak makinasının şiddet değerleri $P_{st} = 1$ eğrisi kullanılarak, 9.3. de olduğu gibi hesaplanabilir ve fliker toplama yasası kullanılarak toplanabilir. Ancak gerilim değişimleri 0.1 s den daha kısa aralıklı oluşmaktadır ve toplama formülündeki m sayısının kullanılacağı açık değildir. Çok daha iyisi üç kaynak makinasının çalıştığı durum için flikermetre simülasyonunun kullanılmasıdır.

Dalga şekli analizi gerilim değişimi eşzamlılığının en yüksek değerde olduğu kabul edildi ve şiddet faktörü $P_{st} = 1.48$ bulundu. Eğer gerilim değişimlerinin tam olarak eş zamanlı olmaması durumunda bir miktar daha düşük bir değer elde edilir ($P_{st} = 1.42$).

9.5 60 Tonluk A.C. Ark Fırının Bağlanması

63 kV luk istasyon iki YG barasını içermektedir.

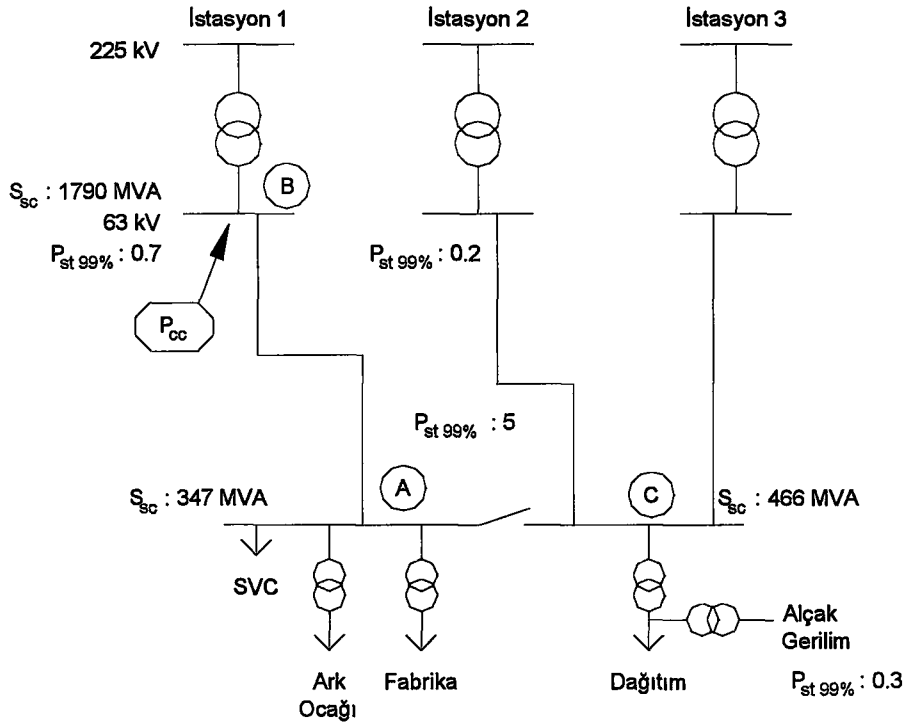
- İlk OG dağıtım şebekesini beslemektedir.
- İkincisi çelik fabrikasını beslemektedir. Müşterinin gücü, S_i 47 MVA dir.

Bu istasyona istasyon1, istasyon 2 ve istasyon 3 olarak adlandırılan üç 225/63 kV istasyondan 63 kV hatları gelmektedir.

a) Normal şebeke konfigürasyonu

Normal sistem konfigürasyonu aşağıdaki karakteristik tarafından tanımlanır (bkz. şekil 9.4) :

- Bara kuplaj kesicisi açık
- Çelik fabrikası istasyon 1 tarafından beslenmekte
- Dağıtım şebekesi istasyon 2 tarafından beslenmekte olup istasyon 3 e paralel
- Statik kompensatör (SVC) çalışmakta



Şekil 9.4. Normal şebeke konfigürasyonu

Şekil 9.4 de P_{cc} istasyon 1 in 63 kV barasında işaretlenmiştir. Kısa devre gücü 1790 MVA dir. $S_i/S_{kd} = 0.03$. Aşama 1 e göre uygun değildir.

Aşama 2 için seçilen planlama seviyesi $L_{PstYG} = 1$. Müşteri dalgalanana yükü bölgedeki tek yüküdür : $S_{tYG} = 47$ MVA. Buradan :

$$E_{Psti} = L_{PstYG} \cdot \sqrt[3]{\frac{47}{47}} = 1$$

Ölçülen $P_{st99\%}$ değerleri

- 5, çelik fabrikası YG barası (A noktası)
- 0.7, istasyon 1, YG (63 kV) (B noktası)
- 0.2, istasyon 2, YG (63kV) (C noktası)
- 0.3, AG dağıtım sistemi

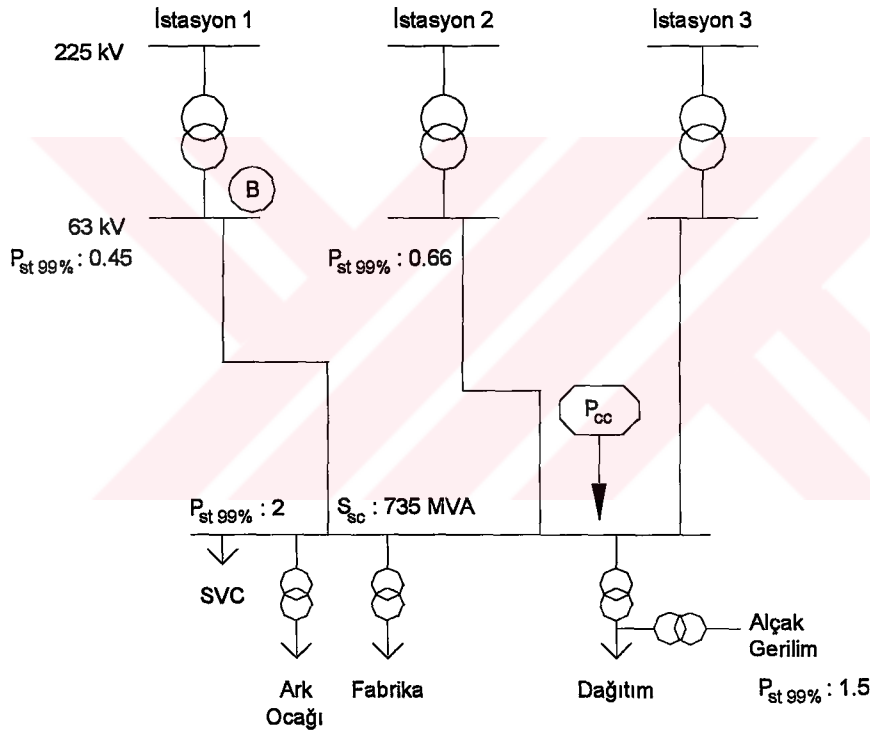
Aşama 2 ye göre normal sistem konfigürasyonu kabul edilebilirdir.

Diğer üç şebeke konfigürasyonu incelenmiştir. YG, OG ve AG arasındaki P_{st} zayıflaması ölçüldü ve YG den OG e $T_{PstYO} = 0.97$ ve OG den AG e $T_{PstAG} = 0.95$

değerleri bulundu. Bu değerlerin büyük olmasının nedeni çelik fabrikasının etrafının kırsal bölge olması ve OG seviyesinde kısa devre gücüne katkıda bulunacak az sayıda endüstriyel yükün bulunmasıdır. Zayıflama istasyon 1 ve istasyon 2 de ölçülde. Benzer koşullarda istasyon 1 ve istasyon 2 de YG ile AG arasındaki zayıflama $T_{PstYA} = 0.92$ ($0.97 \cdot 0.95$) kabul edilecektir. Bundan sonra P_{st} için sınır değerler YG için kullanılır.

b) İki baranın kuplajı

Şekil 9.5. de ölçüm sonuçlarını içeren şebeke konfigürasyonu gösterilmiştir.

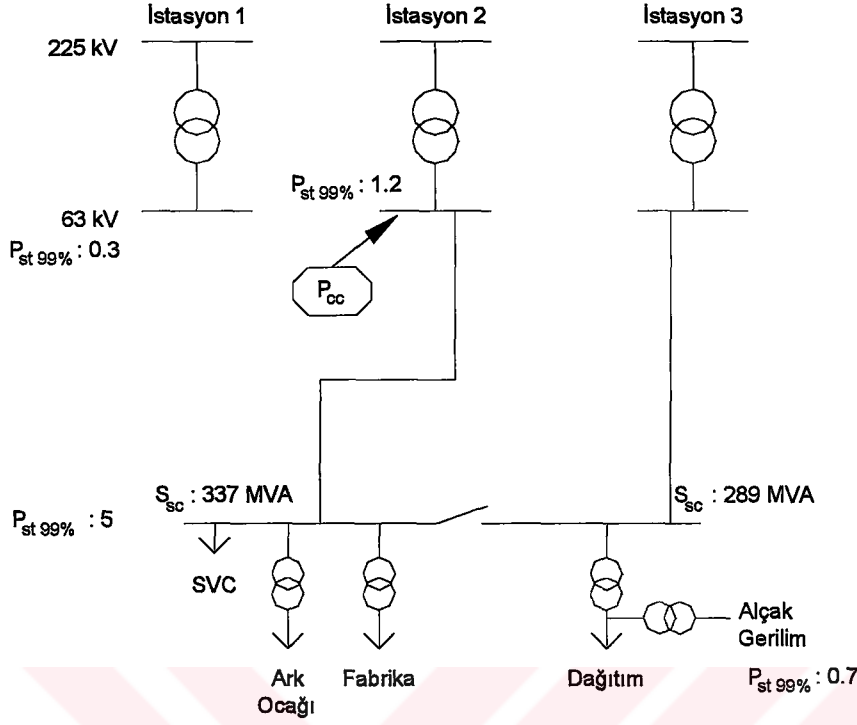


Şekil 9.5. Baralar kuplajlı

Bu şebeke konfigürasyonu yeni P_{cc} de kabul edilemeyecek yüksek P_{st} değerlerine neden olur. Bunun ana nedeni P_{cc} değişiminin çelik fabrikası ile dağıtım şebekesi arasındaki elektriksel uzaklığın azalmasıdır.

c) İstasyon 1 hattının kaybı

Eğer istasyon 1 ile çelik fabrikası arasındaki hat ayrılırsa “n-1” şebeke konfigürasyonu şekil 9.6. de gösterilmiştir.

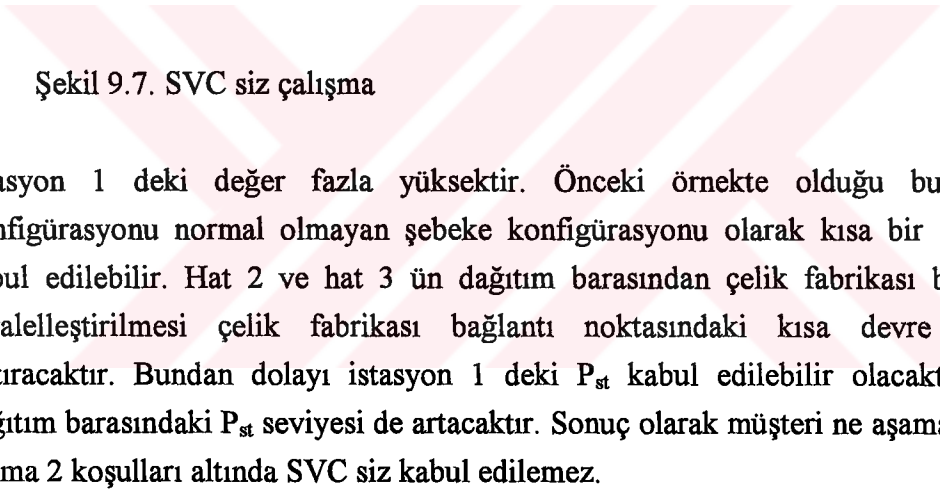


Şekil 9.6. “n-1” şebeke konfigürasyonu

İstasyon 2 değeri fazla yüksektir ancak bu şebeke konfigürasyonu normal şebeke konfigürasyonu olarak değerlendirilemez. Bununla birlikte transfer katsayısı T_{PstYA} dan dolayı istasyon 2 barasına bağlı AG şebekesindeki 1.1 lik P_{st} değeri normal olmayan şebeke konfigürasyonunda kısa süre için kabul edilebilir. Sonuç olarak bu durumun oluşma olasılığı hesaba katılmalıdır. Bu durumda olasılık çok düşüktür. Müşteri aşama 2 koşulları altında sınırlama olmaksızın kabul edilebilir.

d) SVC nin kaybı

Eğer SVC çalışmıyorsa P_{st} değerleri şebeke konfigürasyonuna bağlı olarak 1.5 ve 2 ile çarpılır. Normal şebeke konfigürasyonuna göre ölçülen P_{st} değerleri şekil 9.7. de verilmiştir.



Şekil 9.7. SVC siz çalışma

İstasyon 1 deki değer fazla yüksektir. Önceki örnekte olduğu bu şebeke konfigürasyonu normal olmayan şebeke konfigürasyonu olarak kısa bir süre için kabul edilebilir. Hat 2 ve hat 3 ün dağıtım barasından çelik fabrikası barası ile paralelleştirilmesi çelik fabrikası bağlantı noktasındaki kısa devre gücünü arttıracaktır. Bundan dolayı istasyon 1 deki P_{st} kabul edilebilir olacaktır ancak dağıtım barasındaki P_{st} seviyesi de artacaktır. Sonuç olarak müşteri ne aşama 1 de de aşama 2 koşulları altında SVC siz kabul edilemez.

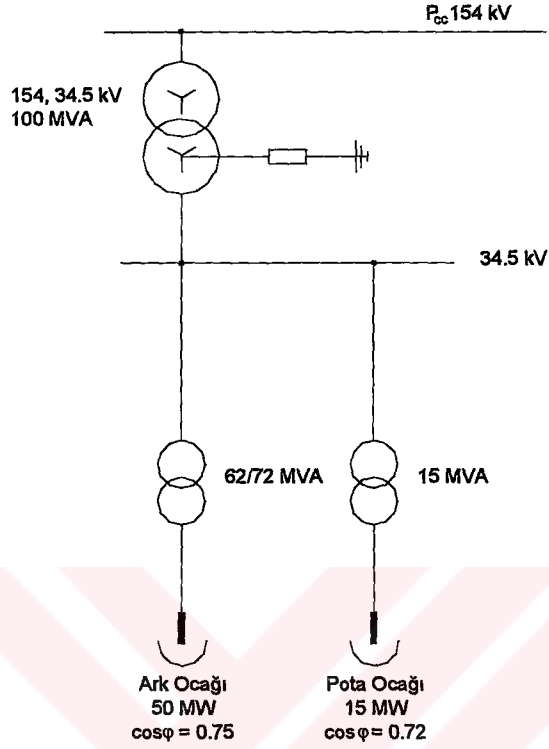
9.6 Sisteme Bağlı Ark Ocağının Kompanzasyonu

9.6.1 Giriş

Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. Tarkya İşletme Grup Müdürlüğü İstanbul Röle Ölçü Aletleri Müdürlüğü “İkitelli TM.den Enerji Alan İÇDAŞ A.Ş.’nin Beslendiği 34.5 kV Barada Muhtelif ölçülerin yapılması” adlı bir rapor hazırlamışlardır [13]. Bu rapor aşağıda açıklanan yük ve şebeke durumuna sahip ark ve pota ocaklarını bağlı olduğu baradaki fliker, gerilim değişimi ve harmonik düzeyleri incelenmiştir. Bu raporda ölçüm değerleri ile birlikte kabul edilebilir uygunluk seviyeleri de verilmiştir.

9.6.2 Var Olan Durumu

Ölçümlerin yapıldığı sırada İÇDAŞ aşağıda verilen yapıya sahiptir.



Şekil 9.8. İÇDAŞ Tek hat şeması

9.6.3 Kabul Edilebilir Uygunluk Seviyeleri

Aşağıdaki tablolarda farklı gerilim seviyeleri için uygun fliker ve gerilim değişimi değerleri verilmiştir.

Tablo 9.1. Fliker kabul edilebilir uygunluk seviyeleri

Gerilim seviyesi			Fliker Şiddeti	
			P_{st}	P_{lt}
Çok yüksek gerilim	U_N	$> 154 \text{ kV}$	0.85	0.63
Yüksek gerilim	$34.5 < U_N$	$\leq 154 \text{ kV}$	0.97	0.72
Orta gerilim	$1 \text{ kV} < U_N$	$\leq 34.5 \text{ kV}$	1.15	0.85
Alçak gerilim	U_N	$\leq 1 \text{ kV}$	1.15	0.85

Tablo 9.2. Gerilim değişimi kabul edilebilir uygunluk seviyeleri

Gerilim seviyesi	Gerilim değişimi (d_{max})
Çok yüksek gerilim $U_N > 154 \text{ kV}$	1.4 %
Yüksek gerilim $34.5 < U_N \leq 154 \text{ kV}$	1.6 %
Orta gerilim $1 \text{ kV} < U_N \leq 34.5 \text{ kV}$	2.0 %
Alçak gerilim $U_N \leq 1 \text{ kV}$	3.0 %

9.6.4 Ölçüm Değerleri

Sınırı aşan fliker için ölçüm değerleri : 34.5 kV barada $P_{st} = 9.63$, $P_{lt} = 7.77$

Sınırı aşan gerilim dalgalanması için ölçüm değerleri aşağıdadır.

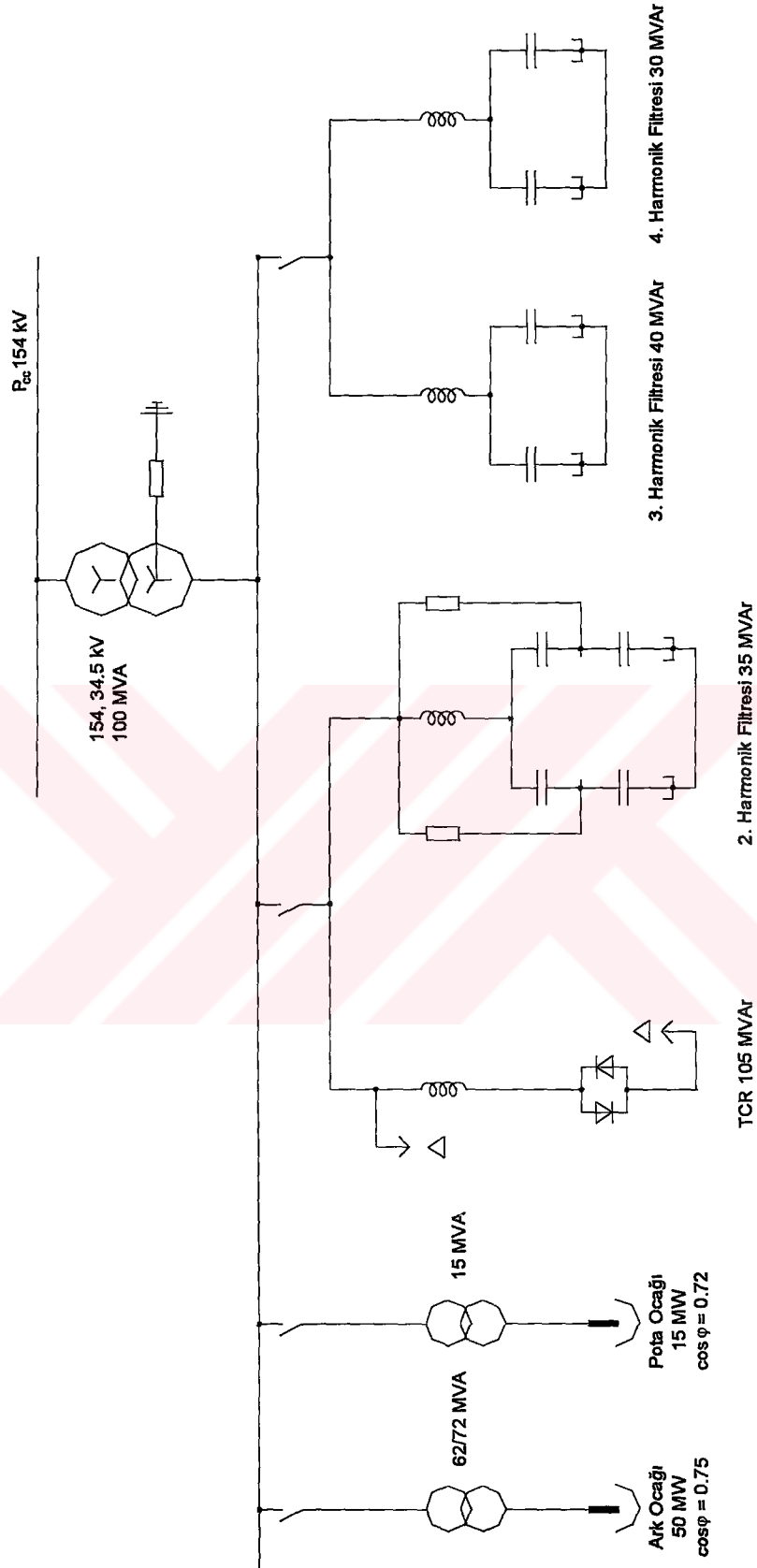
Tablo 9.3. Sınırları aşan değerler

34.5 kV			154 kV		
Min(V)	Max(V)	Gerilim değişimi $d_{max} (\%)$	Min(V)	Max(V)	Gerilim değişimi $d_{max} (\%)$
91.2	104.6	12.81	99.4	100.7	1.29
91.8	105.7	13.15	100.4	101.2	0.79
95.3	100.0	4.70	99.6	101.0	1.38
94.5	108.8	8.52	99.9	101.7	1.76*
92.1	97.5	5.53	99.7	100.7	0.99
93.4	104.9	10.96	99.8	100.3	0.50
92.8	106.0	12.45	99.3	100.6	1.29

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi gerilim değişimleri ölçüm süresi boyunca 34.5 kV da yedi kere, 154 kV da bir kere sınırları aşmıştır.

9.6.5 Fliker Ve Gerilim Dalgalanmasına Çözüm

Yukarıda anlatılan fliker ve gerilim dalgalanması sorununa ek olarak harmonik ve güç faktörü sorunları da bulunan İÇDAŞ aşağıda tek hat şeması verilen sistemi kurdurmuştur [14].



Şekil 9.9. TCR ve SVC kurulduktan sonraki İÇDAŞ tek hat şeması

Yukarıdaki sistemde üç SVC ve bir TCR bulunmaktadır. Bunlar 35 MVA lik 2.Harmonik filtresi, 40 MVA lik 3.Harmonik filtresi ve 30 MVA lik 4.Harmonik filtresidir. Bu filtreler harmoniklerin azaltılması ve güç faktörünün yükseltilmesi görevi yerine getirmektedirler. Sistemde bulunan TCR ise çekilen güç durumuna göre yukarıdaki filtrelerin reaktif güçlerin sisteme verdikleri reaktif güçleri sınırlamak ve gerilim değişimini azaltmak için kullanılır.

Bu sistemler ile harmonikler kabul edilebilir seviyeye çekilirken güç faktörü de 0.95 i aşacak şekilde büyümüştür.

154 kV P_{cc} deki fliker ise $P_{st} \leq 0.97$ ve $P_{lt} \leq 0.72$ olarak belirlenmiştir.

154 kV P_{cc} deki gerilim dalgalanması 0.7 % den küçük olmuştur.



10. SİMÜLASYON

10.1 Giriş

Fliker sorununun incelendiği bir simülasyonda kullanılacak elemanların matematiksel modelleri, yapılacak simülasyonun amacına göre değişir. Örneğin paralel bir kompanzasyon sisteminin fliker üzerindeki etkisini incelemek için kullanılacak model SCV + TCR sisteminin tasarımı için yapılacak modelden farklı olacaktır. Bu çalışmada genel olarak bazı çözüm yöntemlerinin etkisi inceleneceğinden basitleştirmeler içeren modeller kullanılacaktır.

Bir enerji sistemine bağlı yüklerin fliker dışında diğer güç kalitesi bozulmalarına da, örneğin dengesizlik veya harmonik, neden olmaları beklenebilir. Ancak bu çalışmada sadece fliker inceleneceği için diğer tip bozulmalar ihmal edilmiştir. Bu kabul ile üç fazlı olan sistem tek fazlı olarak incelenecektir.

10.2 Modeller

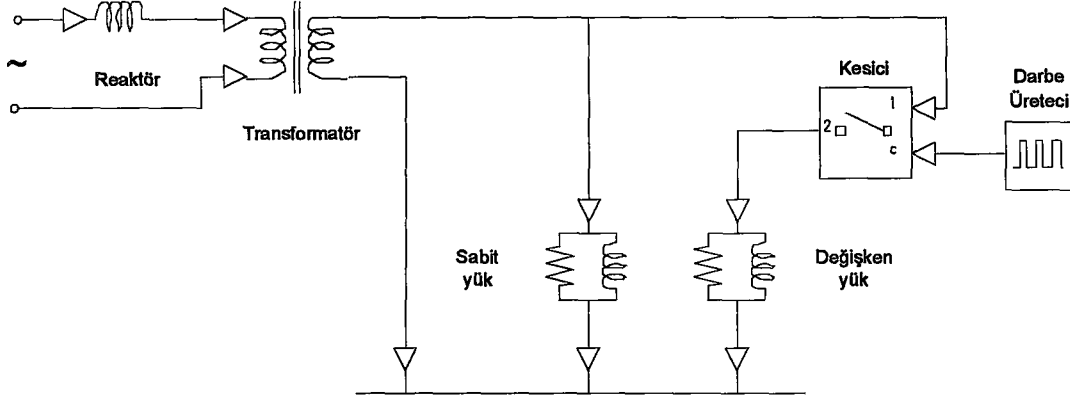
10.2.1 Yük Modeli

Enerji sistemlerinde fliker üreten en önemli yük ark ocağıdır. Bundan dolayı fliker için yapılacak bir yük modeli ark ocağının elektriksel karakteristiğine benzemelidir. Ancak ark ocakları fliker ile birlikte önemli miktarda dengesizlik ve harmonik üretirler. Model sadece fliker için yapılacağından dengesizlik ve harmonik ihmal edilecektir.

Fliker düzenli değil de rastlantısal bir olgudur. Ark ocaklarının akımları da rastlantısal olarak değişir. Ancak model de rastlantısal bir değişim kullanmak yükün etkisini anlamayı zorlaştırır. Bu nedenle akım değişimi düzenli kabul edilecektir.

Yukarıda anlatıldığı şekilde bir yük modeli için öncelikle sisteme daima bağlı kalan bir sabit yük kullanılmıştır. Dalgalanmanın ise devreye girip çıkan değişken yük ile modellenmiştir. Böylelikle sistemden çekilen gücün zamanla değişmesi simüle edilmiştir. Bu modelin gerçek durumu yansıtabilmesi için modelde ark ocaklarına

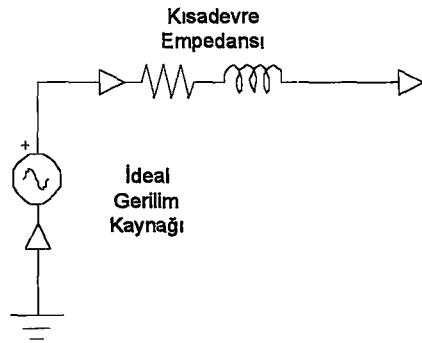
bağlanan seri reaktör ve transformator de kullanılmıştır. Yük için kurulan model aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 10.1. Fliker için yük modeli

10.2.2 Şebeke Modeli

Fliker için yapılacak bir şebeke modelinde bir çok unsur olabilir. Örneğin geri plan fliker seviyesi veya incelenecek yük dışında büyük güçlü fliker üretici gibi. Aynı zamanda şebeke dağılmış parametrelili hat modeli kullanılarak simüle edilebilir. Ancak bu ayrıntılar belirli bir sistemin detaylı bir şekilde incelenmesi için kullanılacak modelde yararlı olur. Bu çalışma için ideal bir gerilim kaynağı ve kaynağa seri bağı RL empedans kullanılmıştır. Bu model aşağıda gösterilmiştir.



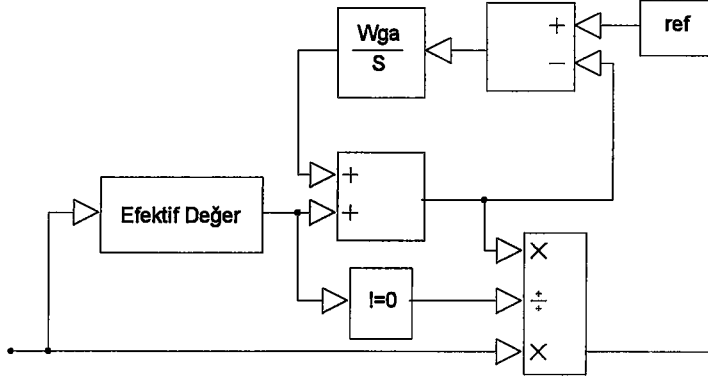
Şekil 10.2. Fliker için şebeke modeli

10.2.3 Flikermetre Modeli

Simülasyonda periyodik işaret kullanılacağından tam bir flikermetre [7] modeline gerek yoktur. Burada flikermetrenin ani fliker şiddeti çıkışı, çıkış 5, kullanılacaktır. Ancak kullanılan model mutlak değer vermek yerine farklı durumların

karşılaştırılması amacına yönelik olacağından flikermetre nin sağlaması gereken test koşullarına uyma şartları aranmamıştır.

Flikermetre nin girişinde bulunana gerilim adaptörü modeli aşağıdaki gibidir.



Şekil 10.3. Gerilim adaptörü modeli

Gerim adaptörünün flikermetre standardına uyumlu olması için $Wga = 2 \cdot \pi \cdot 0.00583$ seçilmiştir. Aynı zamanda modele sıfıra bölme hatasını engellemek için bir blok eklenmiştir.

Yukarıda modeli verilen gerilim adaptörü ile birlikte çalışma için kullanılacak basitleştirilmiş flikermetre modeli aşağıda verilmiştir.

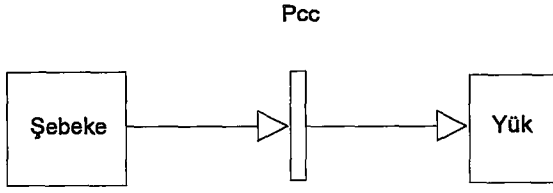


Şekil 10.4. Basitleştirilmiş flikermetre modeli

Yukarıdaki modelde kullanılan filtrelerin değerleri flikermetre bölümünde verilmiştir.

10.3 Referans Sistem

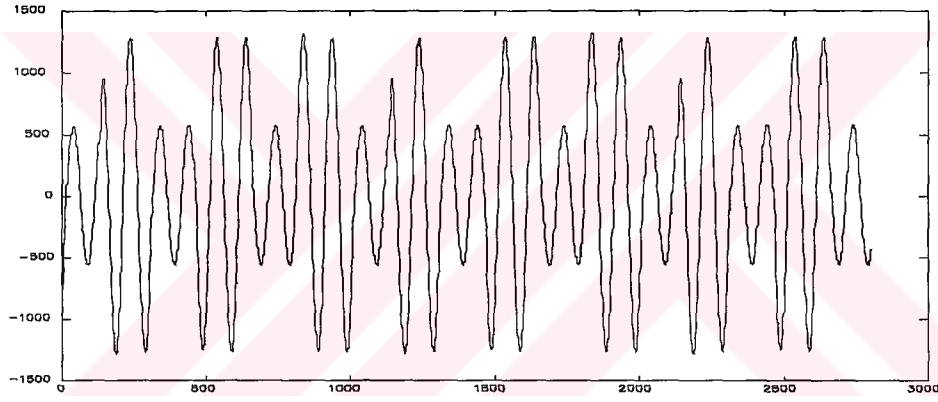
Referans sistem herhangi bir fliker sorunu çözüm yöntemi uygulanmadan çalışan sistem sistemdir. Bu sistem aşağıdaki gibidir.



Şekil 10.5. Referans durum

Referans durumda şebeke için $R = 0.28 \text{ Ohm}$, $L = 8.9 \text{ mH}$ olarak seçilmiştir. Sabit yük etkin gücü 10MW, değişken yük etkin gücü 80 MW olarak belirlenmiştir. Ark ocaklarının güç faktörü yaklaşık olarak olduğundan tepkin güç etkin güç kadar seçilmiştir. Yani simülasyon için sabit tepkin güç 10 MVar, değişken tepkin güç 80 MVar dir.

Referans durumda yük akımı aşağıdaki şekildedir.

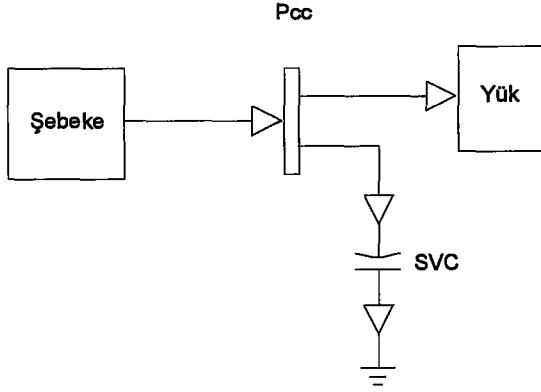


Şekil 10.6. Yük akımı

Yukarıdaki şekilden görüleceği gibi akım dalgalanmaktadır. Bu akım değişimi P_{cc} de bir gerilim dalgalanması yaratacaktır. Bu gerilim dalgalamasını azaltılması ve kompanzasyon için kullanılacak yöntemler incelenecektir.

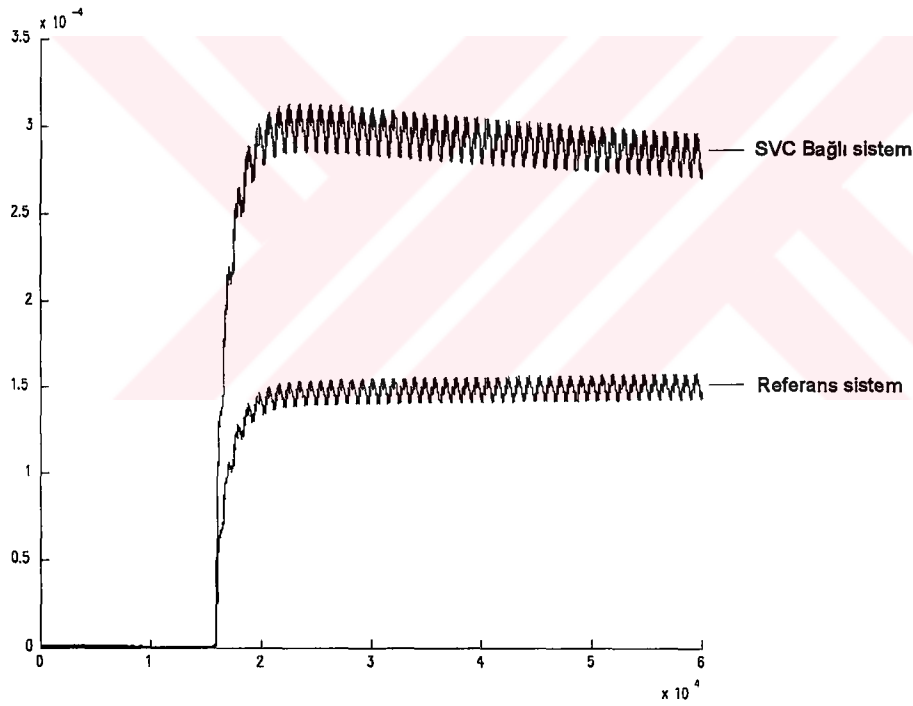
10.4 Sabit Paralel Kapasitör Bağlı Sistem

Yukarıda verilen referans sisteme S_N gücünde sabit paralel kapasitör (SVC) bağlanacaktır. Bu sistem aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 10.7. Referans sisteme SVC bağlanması

Yukarıdaki gibi bağlanan SVC nin P_{cc} de yaratacağı gerilim dalgalanması referans sisteme göre incelenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilen ani fliker şiddeti elde edilmiştir.



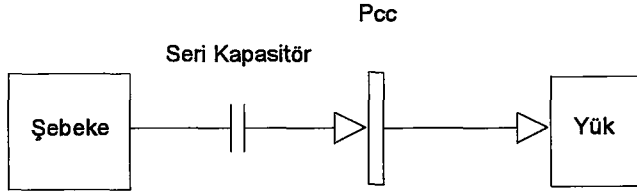
Şekil 10.8. Referans sistem ve SVC bağlı sistem ani fliker şiddetleri

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi dalgalanan yük ölçüme başlandığından bir süre sonra devreye alınmıştır. Dalgalanana yükün SVC bağlı durumda meydana getirdiği fliker referans durumdan belirgin şekilde fazladır.

Yukarıdaki incelemeden SVC lerin fliker açısından iyileştirici değil aksine kötüleştirici etkisi olduğu görülmüştür.

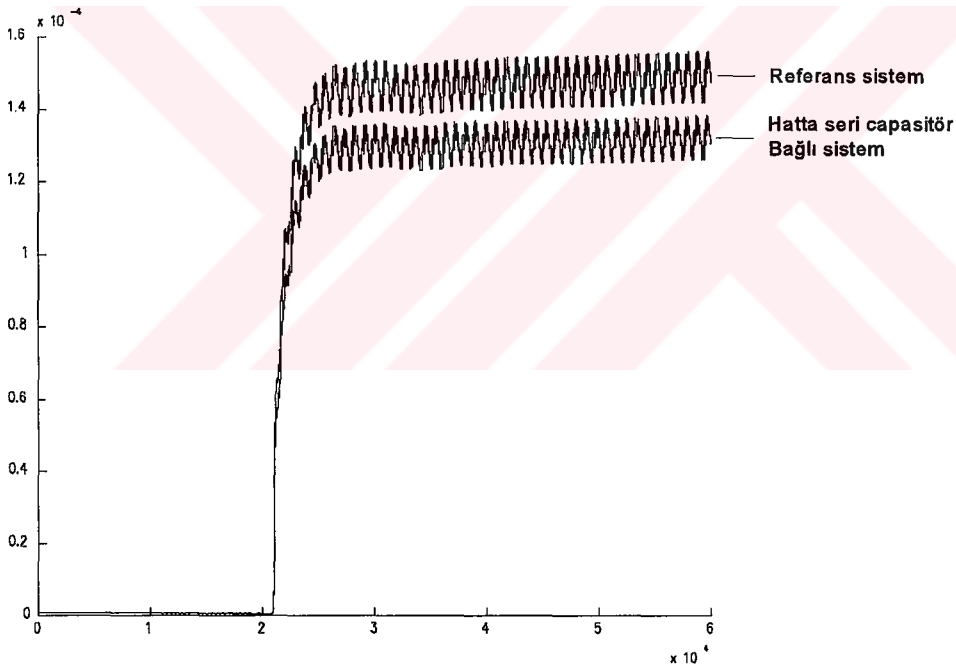
10.5 Hatta Seri Kapasitör Bağlı Sistem

Referans sisteme seri kapasitör bağlanacaktır. Elde edilecek sistem aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 10.9. Referans sisteme hatta seri kapasitör bağlanması

Yukarıdaki gibi bağlanan hatta seri kapasitörün ile P_{cc} deki gerilim dalgalanması referans sisteme göre incelenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilen ani fliker şiddeti elde edilmiştir.

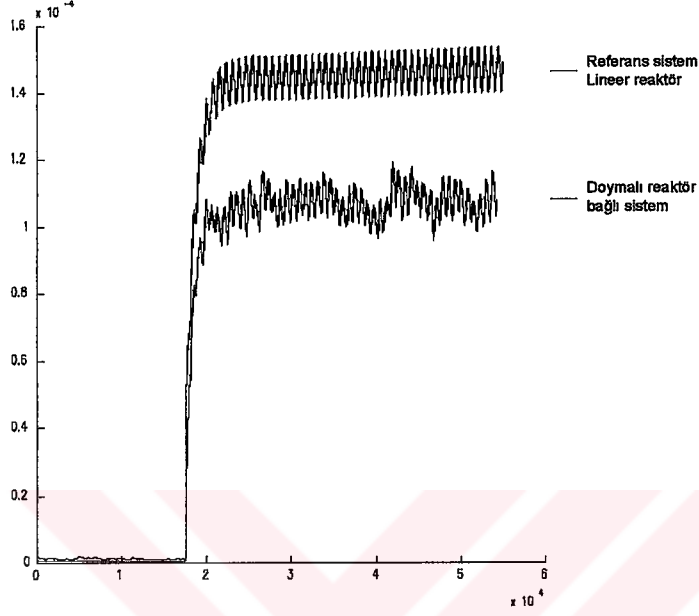


Şekil 10.8. Referans sistem ve hatta seri kapasitör bağlı sistem ani fliker şiddetleri

Yukarıdaki şekilde gösterilen durum hatta seri bağlı kapasitörün kapasitansı, şebeke rezonans frekansı 15 Hz olacak şekilde seçilerek elde edilmiştir. Görüldüğü gibi hatta seri kapasitör fliker açısından iyileştirme sağlamaktadır.

10.6 Doymalı Reaktör Bağlı Sistem

Referans sistemde bulunan lineer reaktör yerine doymalı reaktör kullanılabilir. Bu durumda ani fliker şiddeti aşağıdaki gibi olur.



Şekil 10.11. Referans sistem ve doymalı reaktör bağlı sistem ani fliker şiddetleri

Yukarıdaki şekilden görüleceği gibi doymalı reaktör kullanımı fliker açısından iyileştirme sağlamaktadır.

11. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle bir güç kalitesi sorunu olan flikerin güç kalitesi içindeki yeri incelenmiştir. Bu inceleme sonucu flikerin geçici olaylar, kısa ve uzun süreli değişimler gibi belli süreler boyunca oluşmadığı, dalga şekli bozuklarında olduğu gibi yüksek frekansa sahip olmadığı, dengesizlik veya güç frekansındaki değişim olmadığı görülmüştür. Flikerin tipik olarak 0 - 25 Hz arası bir frekansta olduğu, genliğinin yüzde yediden küçük olması beklendiği sonucuna varılmıştır.

Flikerin tipik frekans ve genliği bulunduğundan sonra flikerin ne olduğu sorusuna cevap aranmıştır. Flikerin tanımının arandığı üçüncü bölümde fliker şiddetinin aydınlatma aygıtlarına göre değiştiği ve insanın farklı özelliklerine göre bu etkinin artıp azalabileceği görülmüştür. Flikerin, gerilim değişimi miktarına göre değiştiği gibi gerilimin değişim frekansına göre de değiştiği sonucuna varılmıştır.

Dördüncü bölümde fliker şiddeti değerlendirme yöntemleri incelenmiştir. Bu bölümde $P_{st} = 1$ eğrisinin nasıl elde edildiği açıklanmış ve temel tanımlar verilmiştir.

Beşinci bölümde fliker şiddeti hakkında nesnel bir değer vermesi beklenen flikermetre yapısı ve nasıl çalıştığı açıklanmış, flikermetre oluşturmak için gerekli bilgiler verilmiştir. Bu bölümde fliker şiddetinin en önemli göstergesi olan P_{st} ve bundan çıkarılan P_{fk} nin nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Bu bölüm sonunda kısa dönem fliker şiddet faktörünün gerilim dalgalanması ile doğrusal orantılı olduğu, şebekenin efektif geriliminde bağımsız olarak ölçüldüğü ve istatistiksel bir yapıya dayandığı sonucuna varılmıştır.

Altıncı bölümde flikermetrenin kullanılmadığı durumlar için kısa dönem fliker şiddet faktörünün nasıl elde edileceği gösterilmiştir. Burada gerilim değişiminin dalga şeklinin etkin olduğu ve bu etkinliğin nasıl kullanıldığı açıklanmıştır.

Yedinci bölümde fliker sınır değerlerinin nasıl elde edileceği incelenmiştir. Farklı gerilim seviyeleri için farklı sınır değer bulma yöntemlerinin olduğu, sınır değerlerin kullanıcı gücüne göre değişebildiği, enerji sistemine bağlanma izni veren kurumun sınır değerlerin aşılması durumunda insiyatif sahibi olduğu ve şartlı olarak izin verebileceği sonucuna varılmıştır.

Sekizinci bölümde fliker sorununun çözüm yöntemleri incelenmiştir. Bu bölümde çözüm yöntemleri fliker sorununun temel kaynağı olan ark ocakları yoluyla araştırılmıştır. Çözüm yöntemi olarak ilk önce üç fazlı AC ark ocağı yerine DC ark ocağı önerilmiş ve DC ark ocağının üstünlükleri anlatılmıştır. İkinci olarak güç faktörü düzeltme yöntemi olan kompanzasyon sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin fliker sorununun çözümündeki etkinlikleri araştırılmıştır.

Dokuzuncu bölüm de çalışmada açıklanan yöntemlere örnekler verilmiştir. Bu bölümde gerçek hayattan alınan bir fliker sorunu ortaya konmuş ve bulunan çözüm yöntemi açıklanmıştır.

Onuncu bölümde fliker ile ilgili olan sistemlerin modelleri kurulmuştur. Burada flikermetre için basitleştirilmiş bir modeli kullanılmıştır. Kurulan modeller ile sisteme yük dışında herhangi bir aygıtın bağlı olmaması durumu ile fliker sorununu çözmek için kullanılan sistemleri karşılaştırmak için simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyonlardan SVC lerin fliker sorununu kötüleştirici bir etkiye sahip olduğu görülürken hatta seri kapasitör bağlanması ile doymalı reaktör kullanımını pozitif etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **IEEE Voltage Flicker Task Force**, Voltage and Lamp Flicker Issues : Should the IEEE Adopt the IEC Approach.
- [2] **Dugan, R.C. and McGranaghan, M.F. and Beaty, H.W.**, 1996. Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, New York.
- [3] **Özkaya, M.**, 1985. Aydınlatma Tekniği, İstanbul.
- [4] **Iyons, S.**, 1992. Lighting for Industry and Securty, Butterworth-Heinmann.
- [5] **Rowe , H E.**, 1965. Signal ans Noise in Communication System, D.Van Nostrand Company Inc.
- [6] **Schaumann R., Ghausi M.S., Laker K.R.**, 1986. Design of Analog Filters Passive, Active RC, and Switched Capacitor, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [7] **IEC-61000-4-15**, 1997. Flikermeter – Functional and sesign specifications, *International Electrotechnical Commission*, Switzerland.
- [8] **IEC-1000-3-3**, 1994. Limitation of voltage fluctuation and flicker in low – voltage supply system for equipment with rated current ≤ 16 A, *International Electrotechnical Commission*, Switzerland.
- [9] **IEC-1000-3-5**, 1994. Limitation of voltage fluctuation and flicker in low – voltage supply system for equipment with rated greater then 16 A, *International Electrotechnical Commission*, Switzerland.
- [10] **IEC-1000-3-7**, 1994. Assessement of emmission limits for fluctuating in MV and HV power systems, *International Electrotechnical Commission*, Switzerland.
- [11] **U.I.E. Disturbance Study Comittttee**, 1980. Ark Furnace Disturbances, State of Art, Paris.

- [12] **Nippon Steel Corp.**, Operation Results of DC Arc Furnace and Comparison with AC Arc Furnace.
- [13] **Oktay, Y. and Akuz, H.**, 1994. İkitelli TM.den Enerji Alan İÇDAŞ A.Ş.'nin Beslendiği 34.5 kV Barada Muhtelif Ölçülerin Yapılması, *Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. Tarkya İşletme Grup Müdürlüğü İstanbul Röle Ölçü Aletleri Müdürlüğü*, İstanbul, Türkiye.
- [14] **Halvarsson, P.**, 1994. System Design Report ICDAS Steel 105 Mvar Compensator, *ABB Power systems*.



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Atasal 1972 de Mardin'in Midyat ilçesinde doğmuştur. İlk Okul, Orta Okul ve Lise öğrenimini sırasıyla Petrol İlk Okul, 60.Yıl Cumhuriyet Orta Okulu ve Batman Lisesinde tamamlamıştır. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir.

