

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Ali GEMİCİ

T-46530

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 ŞUBAT 1995

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nesrin TARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nejat TUNCAY

: Doç. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR

ŞUBAT 1995

ÖNSÖZ

Enerji sistemlerindeki harmonik kaynakları, çevre koşulları ve diğer nedenlerden dolayı güç kalitesi problemleri meydana gelir. Çalışmamın ana konusunu güç kalitesi problemlerinin nedenleri ve çözümleri oluşturmaktadır.

Tez çalışmalarım sırasında, beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nesrin TARKAN' a en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca, yardımlarından dolayı , Elek. Müh. Recep Bilsel' e, Elek. Müh. Sevgi Güler' e ve Elek. Müh. Nejdet Karataş' a teşekkür ederim.

İstanbul, 1995

Ali GEMİCİ

Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GÜÇ KALİTESİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Güç Kalitesinin Tanıtımı.....	3
2.2 Güç Kalitesi Sorunlarının Ekonomik Açıdan Önemi.....	6
2.3 Güç Kalitesinin Tarihsel Gelişimi.....	7
BÖLÜM 3. KALİTELİ GÜÇ TEMİNİ İÇİN GEREKLİ AŞAMALAR.....	9
3.1 Modelleme ve Analiz.....	10
3.2 Ölçme ve Cihaz Donanımı.....	13
3.3 Standart ve Toleranslar.....	16
3.4 Topraklama Sistemlerinin Modellenmesi.....	17
BÖLÜM 4. GÜÇ KALİTESİ SORUNUNA YOL AÇAN ETKENLER.....	21
4.1 Bozucu Etkilerin Nedenleri.....	21
4.2 Enerji Hattı Bozucu Etkileri.....	22
4.3 Bozucu Etkilerin Tipleri.....	23
4.3.1 Genel Mod Bozucu Etkileri.....	23
4.3.2 Normal Mod Bozucu Etkileri.....	25
4.4 Anahtarlamamanın Neden Olduğu Etkiler.....	26
4.5 Gerilim Çöküntüleri.....	26
4.5.1 Gerilim Çöküntülerinin Nedenleri.....	28
4.5.2 Gerilim Çöküntü Karakteristikleri.....	29

BÖLÜM 5. HARMONİK KAYNAKLARI.....	31
5.1 Çeviriciler.....	31
5.2 Ark Fırınları.....	35
5.3 Motorlar.....	36
5.3.1 Kalkış Akımları.....	36
5.3.2 Gerilim Değişimleri.....	37
5.4 Elektrikli Trenler.....	37
5.5 Floresan Aydınlatma Harmonikleri.....	38
BÖLÜM 6. GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN NEDEN OLDUĞU SORUNLAR.....	43
6.1 Güç Kalitesi Etkenleri.....	43
6.1.1 Gerilime Bağlı Etkenler.....	44
6.1.2 Akıma Bağlı Etkenler.....	44
6.1.3 Topraklama Etkenleri.....	44
6.2 Harmonikler.....	44
6.2.1 Kondansatör Grupları.....	45
6.2.2 Senkron ve Asenkron Makinelerde Harmoniklerin Etkisi.....	48
6.2.3 Rezonans.....	49
6.2.3.1 Paralel Rezonans.....	49
6.2.3.2 Seri Rezonans.....	52
6.2.3.3 Sistem Davranışına Rezonansın Etkisi.....	55
6.2.4 İletim Sistemi.....	55
6.2.5 Asenkron ve Senkron Makinelerde Mekanik Salınımlar.....	57
6.2.6 Transformatörler.....	59
6.2.7 Bilgisayarlar.....	59
BÖLÜM 7. BOZUCU ETKİ MONİTÖRLERİ.....	61
7.1 Bozucu Etki Monitörlerinin Gelişmesi.....	61
7.2 Monitörlerin Türleri.....	62
7.3 Bozucu Etkilerin İzlenmesi.....	63

BÖLÜM 8.	GÜÇ KALİTESİ SORUNLARININ AZALTILMASI.....	65
8.1	Önlemler.....	66
8.1.1	Bozucu Etki Geriliminin Düzenlenmesi.....	66
8.1.2	Akıma bağlı Etkenler.....	67
8.1.3	Topraklamaya Bağlı Etkenler.....	69
8.2	Güç Kalitesini Geliştirmek İçin Kullanılan Cihazlar.....	69
8.2.1	Dinamik Giriş Filtreleri.....	69
8.2.2	Akortlu Empedans Filtreleri.....	70
8.2.2.1	Ayarlı Filtreler.....	71
8.2.2.2	Sönümlü Filtreler.....	73
8.2.2.3	Filtre Tasarımı.....	74
8.2.3	Dinamik Filtre.....	79
8.2.3.1	Statik VAR Kompanzasyonu.....	79
8.2.3.2	PWM.....	84
8.2.3.3	Karma Kompanzasyon.....	86
8.2.4	Aktif Güç Hattı Düzelticisi.....	90
8.2.5	Katı Hal Kesici ve Statik Kondansatör.....	90
9.	GÜÇ KALİTESİ LABORATUARI.....	92
9.1	Laboratuvarın Yapısı.....	92
9.2	Güç Kalitesi Deneyleri.....	97
9.2.1	Sürekli Durum Testleri	98
9.2.2	Kesintili Durum Güç Kalitesi Deneyleri.....	98
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....		100
KAYNAKLAR.....		102
EK.....		104
ÖZGEÇMİŞ.....		110

ÖZET

Yarıiletken güç elektroniği devrelerinin gelişmesi beraberinde bazı sorunları da getirmiştir. Bu nedenle teknolojinin gelişimine paralel olarak şebekedeki dalga şekli distorsiyonları da artmıştır. Yarıiletken devreler yapı olarak şebekeden dalgalı akım çektiği için harmoniklere yol açar. Aynı zamanda şebekedeki anahtarlama olayları, kısadevreler, yıldırım düşmesi, kesintiler gibi etkenler de güç kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Günümüzde güç kalitesi sorunlarının çözülmesi hem verimlilik açısından ve hem de ekonomik nedenlerden dolayı bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu sorunları çözmek için önce sistemli bir çalışma yapılması gereklidir. Daha sonra ihtiyaca ve elde edilen verilere bağlı olarak değişik yöntemler kullanılarak güç kalitesi problemleri giderilmeye çalışılır.

SUMMARY

POWER QUALITY IN ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS

"Electrical power quality" is a term which has captured increasing attention in power engineering in recent years. The term broadly refers to maintaining the near sinusoidal waveform of power distribution bus voltages at rated voltage magnitude and/or frequency. Power quality is not a new phenomenon, but what is new is the increasing severity of power quality problems in terms of customer sensitivity.

Power quality is a term which has many interpretations, but can be generally be classified as an area that deals with intermittent and steady state voltage and current waveform distortion from normal operating conditions.

Historically, power quality phenomena can be traced to the early parts of this century, as a real world condition that electrical equipment is subjected to in most installations. There are three stages in history of power quality which summarize the development and level of interest in the area.

The first stage is represented by Steinmetz, who found a solution for third harmonic currents resulting from saturated iron in machines and transformers. In the early 1900's, Steinmetz suggested using delta and undergrounded-wye connections to stop the third harmonics from spreading into the power system. With this problem, harmonics were put aside for several years until the 1930's and 1940's, which represents the second stages in its history. During this period, power and telephone circuits often shared the same paths. Audio interference was (and still is) a common problem because of harmonic currents that coupled inductively into nearby telephone circuits. These harmonics were produced by, among others, arc furnaces, large rectifiers, or power supply rectifiers. Harmonics arose as an area of study once again. The new problems were lessened by filtering where necessary and by learning to limit the magnetizing current harmonics produced by distribution transformers.

The third stages started in the late 1950's with the advent of power semiconductor devices. The emerging dependence on power electronic based devices has given rise to a renewed interest in harmonics again, in which turn has broadened to an interest in overall power quality, since power quality includes in addition to harmonics, non-periodic waveform. This renewed interest in power quality is of greater importance today for two reasons: firstly, there are many more harmonic producing technologies today (i.e.: alternate energy converters, static var compensators, motor control devices, flexible AC transmission systems-FACTS, direct energy conversion devices, and so forth), and secondly, there are devices and loads that are sensitive to waveform distortions (i.e.: word-processors, computers, relays, meters and industrial process controllers).

A recent study on power system harmonic has identified power quality problems as:

- i. The failure capacitor banks due to dielectric breakdown or reactive power overload.
- ii. Interference with ripple control and power line carrier systems, causing misoperation of systems which accomplish remote switching, load control, and metering
- iii. Excessive losses resulting in heating of induction and synchronous machines.
- iv. Overvoltages and excessives currents on the system from resonance to harmonic voltages or currents on the network.
- v. Dielectric breakdown of insulated cables resulting from harmonic voltages.
- vi. Inductive interference with communications systems.
- vii. Errors in meter reading.
- viii. Signal interference and relay malfunction, particularly in solid state and microprocessor controlled systems.
- ix. Interference with large motor controllers and powerplant excitation systems.
- x. Mechanical oscillations of inductions and synchronous machines.
- xi. Unstable operations of firing circuits based on zero crossing detecting or latching
- xii. Excessive heating of transformers due to the frequency dependence core

- xiii. Change in TV picture size and brightness if harmonics affect the peak voltages
- xiv. Effects on computer and computerized automation production.

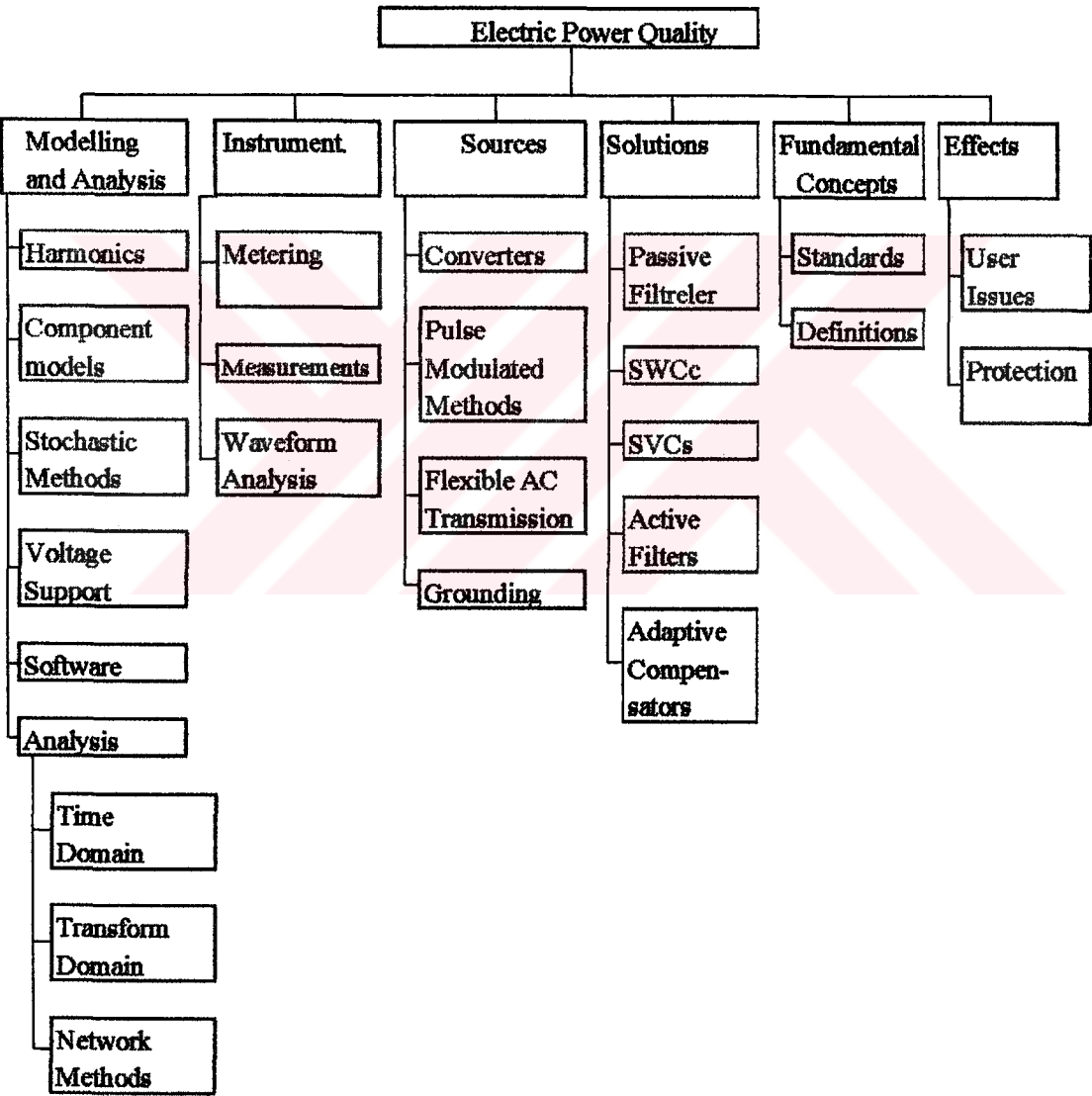


Figure 1. Main aspects of electrical power quality

Figure 1 is a pictorial of the main aspects of electric power quality. There are six areas shown are:

- i.: Modelling and analysis
- ii. Instrumentation
- iii. Sources
- iv. Solutions
- v. Fundamental concepts
- vi. Effects

Modelling and analysis :

Analysis of nonsinusoidal waveforms in power distribution systems may be accomplished by time domain methods; transformed domain methods; simulation of the existing circuit. Time domain methodologies are primarily based on numerical integration techniques. Perhaps the most popular of these techniques is that used in the Electromagnetic Transients Programs (EMTP). This techniques entails a resolution of energy storage elements in power systems (e.g., L's, C's) to a parallel combination of a fixed resistance and a time-varying current source. The time varying current source is found iteratively and recursively. Under this resolution, the power network may be modeled as a fixed bus conductance matrix, G_{bus} , and the injections currents, $I_{bus}(t)$, to the network are calculated at each time step. This methodology is complete and as detailed as the models used to obtain $G_{bus}(t)$ and $I_{bus}(t)$. Typically data requirements as well as computational requirements are intensive.

Effects of power quality problems :

The proliferation of non-linear loads and sources, such as power electronic based equipment, has largely occurred in the absence of complete standards which limit the harmonic signals that the power system should be able to withstand and that utilities can absorb. This situation is leading to an emerging problem of power quality for both utilities and their customers. The requirements of sensitive loads for "clean power", the characterization of sources of "dirty power", and the establishment of

interface guidelines and standards require considerable technical and economic evaluation.

Mitigation of power quality problem :

Power quality problems span such a wide range of characteristics that it is difficult to summarize and prioritize research areas for this topic. Among these topics are :

- i. Novel efficient means of voltage regulation- Especially with rapid response time.
- ii. Optimal passive filter design
- iii. Practical active filter theory
- iv. Power electronic solutions to power quality problems.
- v. Efficient power conditioning

Measurements :

Measurements of power quality problems may consist of testing in some or all of the following areas:

- i. Voltage / current / frequency / N-phase unbalance : Steady state deviations from normal utility voltage, current, frequency and phase operating points can be caused by many factors within the utility grid: customer load variations, improper grounding, tap changing, and insertion of compensation elements. Test standards which may apply are : ANSI C84.1, ANSI C37.106, and IEEE 141
- ii. Harmonics : Non-linear devices or loads cause voltage and current waveform distortions. These distortions which may be periodic in nature can cause problems. Voltage notching and flicker are also problems that may be caused by the electronic devices. Test standards which may apply are : IEEE 519-D5, ANSI C57.106, and IEEE 141

iii. **Energy usage** : It is well known that power quality affects the real and the reactive power demands of equipment. This results in high cost of operation, losses, and voltage and current regulation problems. Test standards which may apply are : IEEE 519, IEEE 141, IEEE 389 and IEC 555

iv. **Surge tests** : Lightning or switching transients can cause damage or misoperation of devices not capable of handling such surges. Test standards which may apply are : ANSI / IEEE C62.41, and ANSI / IEEE C37.90.1

v. **Over and under voltage** : Sags and swells in voltage over a period of several cycles are a phenomenon arising due to phase delays in the power system. Test standards which may apply are : IEEE 141, and ANSI C37



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde güç kalitesine olan ilginin canlanması iki nedenden dolayı çok önemlidir. İlk olarak, çok fazla sayıda harmonik üreten cihaz vardır. İkinci olarak, dalga şekli distorsiyonlarına duyarlı yüklerin sayısı gittikçe artmaktadır. Bu tip yükler arasında çeviriciler, ark fırınları, elektrikli trenler sayılabilir. Çoğunlukla büyük endüstriyel yükler önemli olmasına rağmen, aynı zamanda donatım aygıtları, özellikle de tek tek ele alındığı zaman problemlere neden olmayan, fakat toplu olarak ele alındığı zaman bağlı oldukları şebekenin besleme kalitesini etkileyebilen ticari binalar ve evlerde kullanılan cihazlar da özel bir önem taşımaktadır.

Yük akımındaki hızlı değişimler müşterilerin bağlantı noktasındaki gerilimde dalgalanmalara neden olabilmektedir. Ev video kayıt cihazlarından dijital saatlere, otomatik endüstriyel hatlardan hastane teşhis sistemlerine kadar mikroelektronik işlemcilerin çoğalması, bu tür cihazların sağladıkları yararlar yanında bazı güç kalitesi problemlerini de arttırmıştır. Bu problemler, değişik tipdeki hassas yükler üzerinde çok farklı etkileri olabilen çeşitli elektriksel problemlerden meydana gelmektedir. Ayrıca, bilgisayarlar, süreç denetim aygıtları gibi cihazlar da besleme geriliminin kalitesinden son derece etkilenmektedir.

Enerji sistemi ve tüketicilerdeki güç kalitesi ile ilgili problemler geniş kapsamlıdır ve birçok devreler tarafından üretilmektedir. Çok fazla sayıda elektronik cihazların kullanılmasından dolayı hem enerji sistemi hem de tüketiciler dalga şekli distorsiyonlarına karşı daha duyarlı hale gelmektedir. Güç sistemindeki dalga şekli distorsiyonları büyük bir önem taşımaktadır. Özellikle, teknolojinin gelişmesine paralel olarak sayıları gittikçe artan elektronik cihazlar üzerinde distorsiyonun olumsuz etkileri daha da artacaktır.

Bir tesisde güç kalitesinin geliştirilmesi için, öncelikle sistemli bir çalışmanın yapılması gerekir. Bu sistemli çalışma, temel olarak bölüm 3' deki şekil 3.1' de gösterilmiştir. Bozucu etkiler osiloskopa kaydedildikten sonra bozucu etkinin tipine bağlı olarak elde edilen verilere uygun bir model oluşturulur. Örneğin, elektriksel

gürültüleri azaltmak için uygun ve hesaplama açısından pratik bir topraklama modelinin seçilmesi gereklidir.

Bu tezde, konular sistemli bir güç kalitesi araştırması için izlenmesi gerekli aşamalara göre sıralanmıştır. Ayrıca tez sonunda, harmonikleri yok eden bir filtre tasarımı yapan bir bilgisayar programı verilmiştir.



BÖLÜM 2

GÜÇ KALİTESİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Güç kalitesi son yıllarda önemi giderek artan bir kavramdır. Yüksek güç anahtarlayan yarıiletken devrelerin gelişmesi, güç kalitesi konusunun gelecekte öneminin daha da artacağını göstermektedir [1].

Müşteriler cihazlarının verimli bir şekilde çalışması için yüksek kalitede elektrik enerjisi talep ederler. Bu nedenle, müşterilerin cihazlarının ya da enerji sistemindeki donatımın normal çalışması sırasında, parazitler üretebilen ve besleme geriliminin dalga şeklinde distorsiyonlara neden olabilen elektrikli cihazlar ve atmosferik koşullar güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [2].

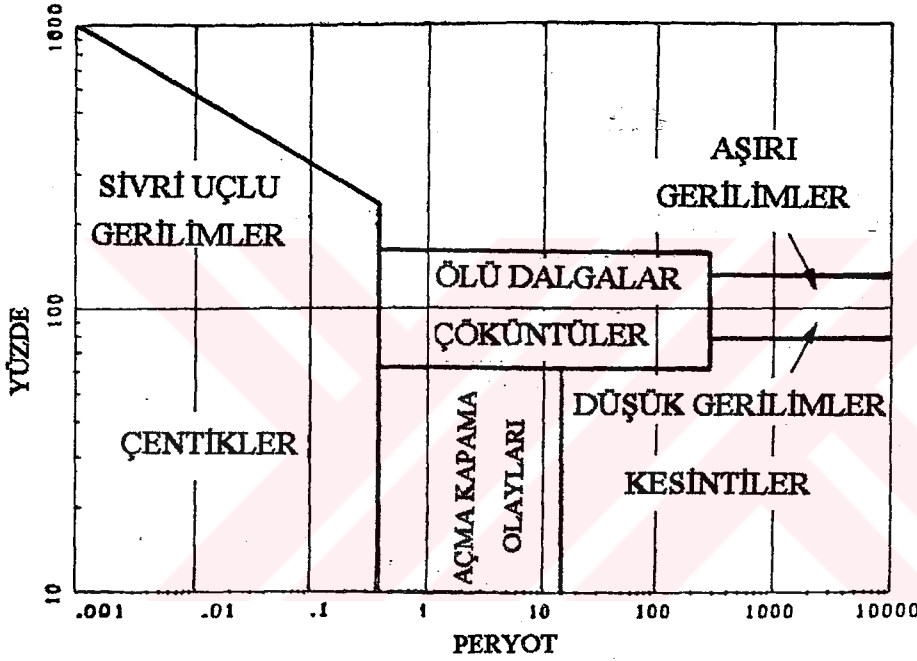
2.1 Güç Kalitesinin Tanıtımı

Enerji sistemi ve tüketicilerdeki güç kalitesi ile ilgili problemler geniş kapsamlıdır ve bu problemlere birçok devreler tarafından üretilir. Sürekli olarak sayıları çoğalan elektronik cihazların kullanılmasıyla birlikte, hem elektrik kurumu hem de tüketicilerdeki mevcut donanımlar, dalga şekli distorsiyonlarına daha duyarlı hale gelmiştir. Güç sistemindeki dalga şekli distorsiyonları büyük bir önem taşımaktadır [2].

Elektronik aygıtlar elektriksel ortamda son derece duyarlı olmaktadır. Bu sorunu giderecek endüstriyel standartlar her zaman yeterli olamamaktadır. Bu nedenle elektronik cihazların hemen hemen her türlü hatalı çalışmasını açıklamak üzere güç kalitesi terimi ortaya atılmıştır [3].

" Elektrik Güç Kalitesi " son yıllarda gittikçe önemi artan bir terimdir. Bu terim geniş anlamı ile anma gerilim büyüklük ve frekansında enerji dağıtım bara gerilimlerine ait dalga şekillerinin sinüsoidale yakın bir şekilde muhafaza edilmesini ifade eder [1].

Başka bir deyimle, güç kalitesi hem sürekli ve hem de normal besleme genliği ve / veya frekansından olan kesintili gerilim sapmalarını kapsamak üzere kullanılan bir terimdir. Güç kalitesi son yıllarda ortaya çıkan bir problem değildir. Fakat bilgisayarlarda veri kayıpları, enerji sistemindeki generatör uyarma sistemleri ile ilgili problemler, kontrol problemleri, hatalı röle çalışması gibi nedenlerden dolayı tüketiciler güç kalitesi ile son yıllarda daha yakından ilgilenmeye başlamışlardır [2].



Şekil 2.1 Güç kalitesi terimlerinin açıklanması

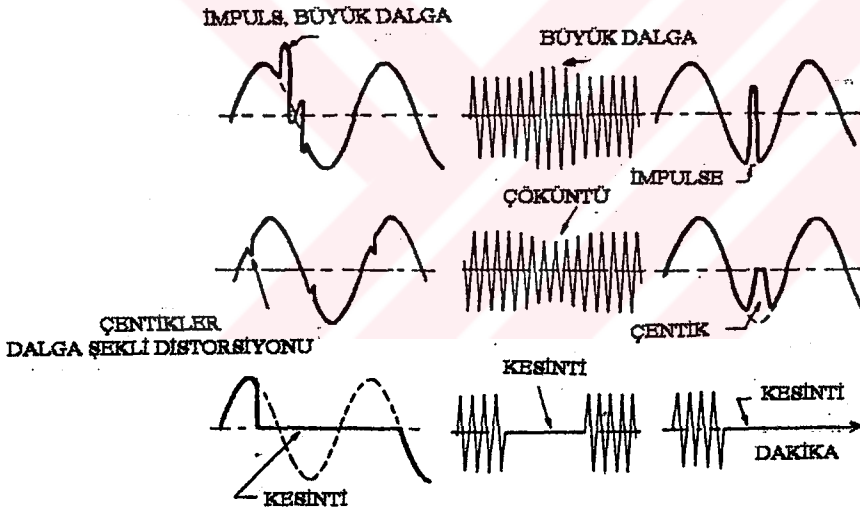
Güç kalitesi terimi yerine bazen "güç uyumu" (power compatibility) veya "elektriksel çevre uyumu" (electrical environment compatibility-EEC) terimi kullanılmaktadır.

Gerilim sapmaları geçici ve sürekli olmak üzere başlıca iki ana gruba ayrılır. Şekil 2.1' de geçici gerilim sapmalarına ilişkin güç kalitesi terimleri zaman düzlemi üzerinde gösterilmiştir [3].

Güç kalitesi ile ilgili yazılarda çoğunlukla kullanılan terimler genel tanımlamalara uygun değildir. Özellikle güç kalitesi ile ilgili ölçümler yapan görevlilerin kullandığı terimler anlam karışıklığına neden olmaktadır. Bu tezde, genel

olarak IEEE Standart Elektrik ve Elektronik Terimleri Sözlüğü' ndeki terimler kullanılmıştır.

Genel olarak, elektrik mühendisliğinde, büyük dalga geriliminin tipik olarak güç frekansının yarım peryodundan bir başka ifadeyle 1 milisaniyeden daha küçük süreli bir aşırı gerilim anlamına geldiği kabul edilmektedir. "Büyük dalga gerilimi" teriminin isabetsiz bir şekilde kullanılan ikinci anlamı, tipik olarak birkaç peryot süreli temel frekansdaki geçici aşırı gerilimdir. Bazen büyük dalga terimi yerine "impuls" veya "spike" terimleri de kullanılmaktadır. Şekil 2.2' de büyük dalga teriminin her iki anlamı grafik tanımlamalarla gösterilmiştir. Karışıklığı önlemek üzere, geçici aşırı gerilim için, "büyük dalga" sözcüğü yerine "ölü dalga (swell)" sözcüğü kullanılabilir.



Şekil 2.2 Bozucu etkilerin grafiksel olarak açıklanması

Değişik tanımlamalardan dolayı anlam karışıklığına neden olan diğer bir örnek olarak "kesinti" sözcüğü gösterilebilir. "Kesinti" sözcüğü, hat geriliminin tam olarak kaybolması anlamına gelmektedir. Fakat, kesinti süresi, bilgisayar kullanıcıları ve elektrik mühendisleri tarafından farklı bir şekilde tanımlanır. Çok küçük süreli kesintiler bilgisayarları olumsuz bir şekilde etkilediği için, "kesinti süresi" bilgisayar kullanıcıları tarafından yarım peryot ya da daha küçük bir süre olarak tanımlanır. Elektrik mühendisleri ise kesinti süresini, saniye hatta dakika olarak tanımlamaktadır. Hat düzeltici cihazlarını kullananlar ve imal edenler, hat geriliminin tam kaybolması, büyük gerilim çöküntüleri ya da çok fazla güç sistemlerinin tek faza kalması gibi

değişik durumlar arasında net bir ayrım yapmamaktadır. Örneğin kısa süreli bir gerilim kaybının sonucunda meydana gelen floresan lambanın flikeri bir kesinti olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, anma geriliminin % 80' inden daha küçük ve kısa süreli bir çöküntü de aynı görünür etkiye neden olacaktır. "Çöküntü" sözcüğü genel olarak, A.A. güç frekansındaki geçici gerilim düşmesi anlamına gelmektedir [4].

2.2 Güç Kalitesi Sorunlarının Ekonomik Açıdan Önemi

Güç sisteminin dayanabileceği ve aynı zamanda ticari ve endüstriyel kuruluşların çekebileceği harmonik sinyalleri sınırlayan standartların yeterli olmamasından dolayı, güç elektroniği esaslı cihazlar gibi, nolineer yüklerin neden olduğu bozucu etkiler çok yaygındır. Bu durum, hem enerji sisteminde hem de tüketicilerde güç kalitesi problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [1].

Kullanıcılar, mevcut güç sistemiyle uyum içinde çalışacak cihazları satın almak isterler. Aynı zamanda elektriksel çevre uyumsuzluğu (EEC), geçici gerilimlere karşı koruma sistemlerinin seçimi ya da bu gibi sorunları çözecek danışmanlara verilecek ücretler gibi sorunlarla uğraşmak istemezler. Güç faktörü cihazı satan bir kimsenin "Güç faktörü cihazlarının harmonikler üretebileceği konusunda müşterilerimi uyardığım taktirde başka bir cihaz satın alacaklar." şeklindeki sözleri güç kalitesi sorununun ekonomik yönünü de göstermektedir.

Cihaz üreticileri, cihazlarının kesintisiz, geçici olayların meydana gelmediği ve sürekli bir enerji ile beslenmesini isterler. Aynı zamanda, cihazlarının elektriksel ortamda daha uygun bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla ilave bir harcama yapmak, müşterilerinden güç sistemi toleranslarını sınırlandırmak ya da güç kalitesi sorunlarından dolayı garanti belgesindeki yükümlülükleri yerine getirmek istemezler [3].

Eskiden genellikle ışık kaynakları, sabit hızlı motorlar gibi klasik cihazların çalışması sırasında farkedilmeyen güçteki küçük değişimler, günümüzde fabrikaların tamamen durmasına yol açabilmektedir. Örneğin, montaj hattı üzerindeki motorlu cihazlara ait hız denetim sürücülerinin (adjustable speed drives-ASD) bizzat kendileri gerilim harmoniklerine ve geçici olaylara karşı duyarlı olduğu için, saniyenin yalnızca %1' i kadar süren ve anma geriliminin % 30' u kadar olan bir gerilim çöküntüsü ya da enerji kesintisi montaj hattındaki programlanabilir lojik kontrolörleri reset

edebilmektedir. Bu tür parazitlerin işletmeye maliyeti yüksek olabilmektedir. Örneğin, bir cam fabrikasında saniyenin onda biri kadar süren 5 periyotluk bir elektrik kesintisinin yaklaşık olarak 200.000 \$'lık bir zarara yol açabileceği tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, büyük bir bilgisayar merkezinde 2 saniyelik bir kesintinin yaklaşık 600.000 \$lık bir zarara yol açabileceği tahmin edilmektedir.

Büyük güçlü tüketicilere iyi bir örnek olarak iki ayrı dağıtım hattından beslenen ve tepe yükleri 20 MW ya da daha fazla olabilen otomobil fabrikaları verilebilir. Bir iletim sisteminde veya bir dağıtım transformatöründeki bir arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim çöküntüleri ve geçici olaylar oldukça önemli masraflara neden olabilmektedir. Örneğin bir gerilim çöküntüsünü takiben, montaj hatlarının tekrar çalışması için, arızalı işletme hatlarının açılması, kazanların tekrar devreye sokulması ve otomatik kontrolörlerin yeniden programlanabilmesi gereklidir. Burada her bir işlemin maliyeti yaklaşık olarak 10.000 \$'dır. Bir otomobil fabrikasında, geçici enerji arızalarından kaynaklanan toplam kayıpların yılda yaklaşık 10.000.000 \$'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Otomotiv üretiminde kullanılan pekçok cihaz, küçük gerilim inişlerine karşı yeniden düzenlenebilir. Ayrıca büyük gerilim çöküntülerinin önlenmesinde, hassas cihazlara yardımcı olmak üzere sabit gerilim transformatörleri kullanılabilir.

Güç düzeltici cihazların optimal yerleştirilmesi doğrudan doğruya maliyetle ilgili bir konudur. Örneğin, bir kişisel bilgisayarın 20 \$'lık bir büyük dalga bastırıcısı ile geçici aşırı gerilimlere karşı korunması mümkündür. Diğer yandan endüstriyel bir kuruluşda, kesintisiz güç temin etmek için maliyeti çok yüksek olan iki ayrı hattın beslenmesi gerekebilir [5].

2.3 Güç Kalitesinin Tarihsel Gelişimi

Tarihsel olarak, güç kalitesi bu alandaki gelişme ve önem seviyelerine bağlı olarak üç aşamaya ayrılabilir.

İlk aşama, makineler ve transformatörlerdeki demirin doymasından kaynaklanan 3. harmonik akımlara çözüm bulan Steinmetz' in açıklamasıyla başlamıştır. 1900' lerin başlarında Steinmetz' güç sistemine yayılan 3. harmonikleri durdurmak için, transformatörlerde yıldız noktasının topraklanması ve üçgen bağlantıların kullanılmasını önerdi. Bu problemin çözülmesinden sonra, tarihsel açıdan güç kalitesinin ikinci aşaması olan 1940' lara kadar harmonikler konusuyla ilgilenilmedi. Bu süre içerisinde, enerji ve telefon devrelerinde çoğunlukla aynı yolu

kullanılmıştır. Telefon devrelerinin yakınında endüktif olarak birleştirilmiş harmonik akımlardan dolayı, ses frekanslarının karışması günümüzde olduğu gibi yaygın bir problem idi. Bu harmonikler ark fırınları, büyük güçlü doğrultucular gibi cihazlar tarafından üretilmekteydi. Sonuç olarak, harmonikler tekrar inceleme konusu oldu. Dağıtım transformatörlerinin ürettiği mıknatıslama akımı harmonikleri, gerekli yerlere filtreleme yapılarak ve daha önceden edinilen tecrübelerle önlenmeye çalışıldı.

Üçüncü aşama, yarıiletken güç devrelerinin ortaya çıkmasıyla 1950' lerin sonlarında başladı. Yarıiletken devrelerin gittikçe artan kullanımı güç kalitesi problemlerini de önemli ölçüde arttırmıştı. Dalga şekline çok duyarlı elektronik cihazların yaygınlaşması ile birlikte, harmonikler yeniden bir ilgi alanı olmuştur. Günümüzde güç kalitesine ilgi duyulmasının başlıca iki temel nedeni vardır. Birincisi alternatif enerji çeviricileri, motor kontrol devreleri, esnek A.A. iletim sistemleri (flexible AC transmissions-FACTS) ve doğrudan enerji dönüştüren devreler gibi çok sayıda harmonik üreten cihaz vardır. İkinci olarak, kelime işlemciler, bilgisayarlar, röleler, ölçüm cihazları ve endüstriyel süreç kontrolörleri gibi dalga şekli distorsiyonlarına duyarlı olan yükler ve devreler vardır [2].

BÖLÜM 3

KALİTELİ GÜÇ TEMİNİ İÇİN GEREKLİ AŞAMALAR

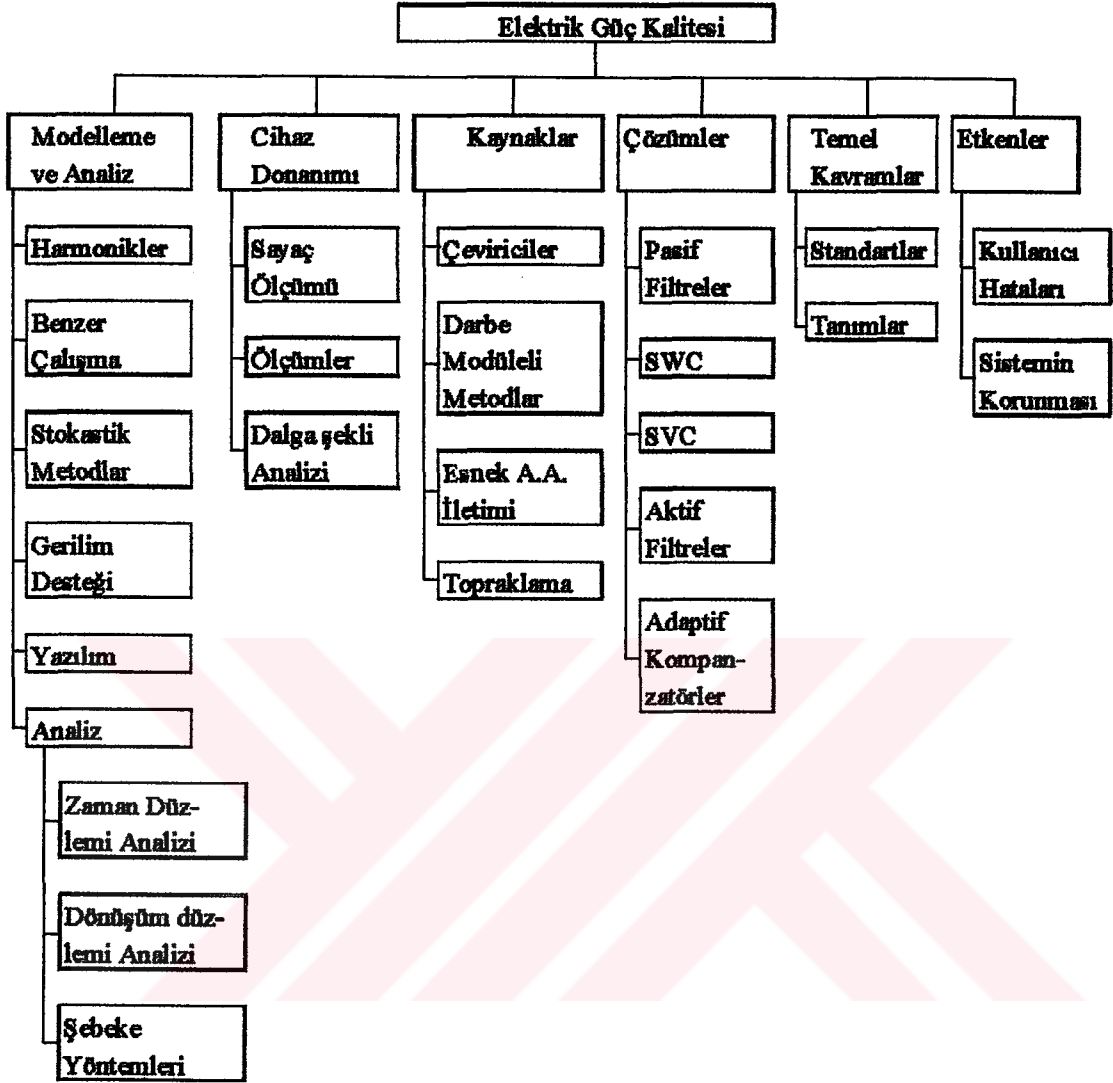
Bu bölümde elektrik güç kalitesi konusunda birkaç önemli araştırma alanı açıklanmaktadır. Elektrik güç kalitesi ile ilgili aşamalar aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır: Temel kavramlar, modelleme ve analizler, ölçme ve gerekli cihazlar, sebepler, çözümler, etkiler ve eğitimsel yayınlar.

Güç kalitesi araştırma alanlarının tanımlanmasında ortaya çıkan engellerden biri "araştırma" ifadesinin değişik biçimlerde yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. Bu bölümde, "araştırma" ifadesi öncelikli olarak temel araştırma anlamında kullanılacaktır. Bununla birlikte tüm mühendislik araştırmaları uygulamalarla sürdürülmektedir ve uygulamalar yeni geliştirilen yöntemlerden ayrı düşünülemez. Güç kalitesi araştırmalarının birçok aşaması günümüzde sürdürülen çalışmalar olup bu araştırma alanlarının bir çoğu genelde mühendislik sorunları ile karşılaşılacak alanlar içersinden saptanır.

Şekil 3.1' de kaliteli elektrik enerjisi elde etmek için gerekli aşamalar gösterilmektedir. Şekil-1 de altı başlık gösterilmektedir. Bunlar sırasıyla

- i. Modelleme ve analiz
- ii. Cihaz donanımı
- iii. Sebepler
- iv. Çözümler
- v. Temel kavramlar
- vi. Etkiler

dir. Önemli araştırma konularının belirlenmesi amacı ile bu konuların her biri bu ve daha sonraki bölümlerde incelenecektir. Bu konulara ilave olarak, standartların rolü ve temel kavramlar da ayrıca önemli olan araştırma sahalarıdır. Bu standart ve temel kavramlar gerçekleştirilen birçok uygulamada aynı şekilde yorumlanmış olmalıdır [1].



Şekil 3.1 Elektrik güç kalitesi için temel aşamalar

3.1 Modelleme ve Analiz

Güç dağıtım sistemlerindeki sinüsoidal olmayan dalga şeklinin analizi zaman düzlemi metodları, dönüştürülmüş düzlem metodları ve mevcut devrenin simülasyonu ile yapılabilir. Zaman düzlemi yöntemlerinde temel olarak nümerik integrasyon yöntemleri kullanılır. Elektromanyetik Geçici Olaylar Programı'nda (EMTP) kullanılan yöntem en çok tercih edilen yöntemler arasındadır. Bu yöntem zamana bağımlı bir akım kaynağı ile bu kaynağa paralel bağlı sabit bir direnç

kombinasyonundan oluşan ve self, kondansatör gibi güç sistemlerindeki enerji depolayan elemanların çözümünde kullanılır. Bağımlı akım kaynağı iteratif olarak ve tekrarlamalarla bulunur. Bu çözümde, her bir zaman aralığı için elektrik şebekesi modeli sabit bir bara iletim matrisi G_{bus} ile şebekeye giren $I_{bus}(t)$ injeksiyon akımı hesaplanır. Bu yöntem bir bütün olarak ele alınır ve $G_{bus}(t)$ ve $I_{bus}(t)$ 'yi elde etmek için kullanılan yöntemler kadar ayrıntılı sonuçlar verir. Tipik olarak, yapılan hesaplamalar kadar veriler de büyük bir önem taşımaktadır. $0 \leq t \leq T_f$ zaman aralığında, $X(t)$ sistem durumlarının tam bir zaman çözümü vardır.

Çoğu kez, güç kalitesi için $t \geq T_{ps}$ de meydana gelen periyodik sürekli durum ele alınmaktadır. Bu durumda,

$$X(t) = X(t + T), \quad t \geq T_{ps} \quad (3.1)$$

elde edilir.

$X(t)$ durum vektörünün periyodu güç frekansının tersi olan T dir. Geçici duruma ilişkin başlangıç koşulu $t \geq T_{ps}$ için ortadan kalkmaktadır. Örneğin, dağıtım barasındaki darbeli yük akımı çok kısa bir süre sonra periyodik hale ulaşacaktır. Doğrudan periyodik sürekli çözümü veren yöntemler, zaman düzlemi ile ilgili araştırma alanlarından yalnızca bir tanesidir. Bu yöntemle, hesaplama işlemleri azaltılabilir.

Diğer zaman düzlemi araştırma alanları aşağıdaki iki maddeyi de kapsamaktadır.

- i. Büyük sistemlerin çözümü için sentez/analiz yöntemleri,
- ii. Darbeli ve anahtarlama uyarmaya bağlı nümerik integrasyon yöntemleri için hata analizi yapılması.

Dönüştürme pratik olarak uygun olduğu zaman, dönüştürülmüş düzlem çözümleri hassas ve etkili çözümler verir. Genlik ve faza ait verileri mühendislik uygulamalarına elverişli olduğu için Fourier dönüşümü değişik teknik çözümlere imkan vermektedir. Gerçekte Fazör yöntemi bir Fourier tekniğidir. Hızlı Fourier dönüşümü

$$F(n\Delta\Omega) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} f(i\Delta T) e^{-j i n \Delta\Omega \Delta T} \quad (3.2)$$

ve Hartley dönüşümü

$$F(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)(\cos(\gamma t) + \sin(\gamma t))dt \quad (3.3)$$

dağıtım sistemlerindeki geçici olayların hesaplanması için kullanılır. Bununla birlikte, tüm bu dönüşümler $X(t)$ durum vektörünün tam çözümünü verir. (3.1) denkleminde tanımlanan periyodik sürekli durumun ve doğrudan periyodik sürekli durumun çözümünü veren dönüşümlerin incelenmesi gerekir.

Diğer düzlem dönüştürme ile ilgili araştırmalar aşağıda 4 madde halinde verilmiştir.

- i. Walsh dönüşümü gibi güç kalitesinin değerlendirilmesinde daha etkili olabilecek yeni yöntemlerin kullanılması. Bu dönüşümler darbeleri ve anahtarlama yüklerinin hesaplanmasında da kullanılabilir.
- ii. Zamana ve frekansa bağımlılığı uygun bir şekilde değerlendirecek yöntemler
- iii. Ayırma ve dağıtma matris yöntemleri
- iv. Paralel işleme için uygun yöntemler

Dağıtım sistemlerinin stokastik analizi üzerinde henüz bir anlaşmaya varılamamıştır ve güç kalitesi yayınlarına göre tam olarak araştırılmamıştır. Yüklerin birbirine olan bağımlılığını değerlendiren modellerin olmayışı da diğer bir eksikliktir. Zaman ve sıcaklık çok sık bir şekilde yük seviyelerini belirlemektedir. Bu nedenle, elektriksel açıdan problemlere yol açan nolineer yüklere ait olasılık yoğunluk fonksiyonları istatistiksel olarak bağımlı olabilir. Bununla beraber yükler arasında mükemmel bir ilişki yoktur. İstatistiksel olarak bağımlı olan yüklerin modellenmesinde Monte Carlo yöntemleri kullanılabilir.

Anahtarlama yüklerinin, impulsların, çentiklerin ve diğer yüksek frekanslı olayların dalga şekli karakteristiklerini elde etmek amacıyla enerji sisteminin modellenmesi önemli bir aşamadır. Ayrıntı ve detaylara rağmen ana sorun hesaplamadaki karışıklıklardır. Karışıklık nedeni, bu sisteme ait birçok elemanların bara gerilimlerinde ya da yük akımlarında işletilmesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle sargıları toplu sistemlerden çok dağılmış parametrelili sistemlere uygun olan transformatörlerin incelenmesi oldukça karmaşıktır. Aynı zamanda manyetik devrenin

yüksek frekanslara yanıtı ve doyma koşullarının da dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekir.

Daha önce anahtarlamalı yüklerle ve impulsu dalga şekillerine yeterince önem verilmemesine rağmen, iletim ve dağıtım sistemlerinin modellenmesi yine de araştırmaya değer önemli bir konudur [1].

3.2 Ölçme ve Cihaz Donanımı

Sinüsoidal olmayan dalga şekillerinin ölçülmesi, karakterize edilmesi ve bu şartlara bağlı olarak cihazların seçimi teknolojinin gelişmesinde önemli bir alandır. Aynı zamanda, bu alan esas olarak dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve periyodik olmayan sinyalleri de incelemektedir. Bir örnek olarak, kendiliğinden meydana gelen kısmi boşalmayı veya

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + w(t) \quad (3.4)$$

sinüsoidal akımının üzerine eklenen ve $w(t)$ gürültüsüne neden olan bir dağıtım devresinde meydana gelen bir süreci gözönüne alalım. İletişim ve sinyal işleme teorisinde, sık sık gerilim veya akımla ilgili "enerji" terimi kullanılır. Bu terim 1 ohm luk devre direncinde varsayılan enerji miktarını ifade eder. Bu varsayımı kullanarak $i(t)$ 'ye bağlı E enerjisi

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} i^2(t) dt \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. Parseval teoremine göre enerji, $i(t)$ nin Fourier dönüşümüne bağlıdır. Buradan hareketle,

$$I(\omega) = \pi \cdot I_m \cdot (\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)) + W(\omega)$$

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |I(\omega)|^2 d\omega$$

$$= \pi \cdot I_m + \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W(\omega)|^2 d\omega(t) dt \quad (3.6)$$

elde edilir.

Toplam harmonik distorsiyonu (THD) teriminden hareketle güç kalitesi distorsiyonunun ifade edilmesi mümkündür. THD yalnızca Fourier serisi olan periyodik dalgalar için geçerlidir. Eğer $i(t)$ periyodikse ve $I^{(1)}$, $I^{(2)}$ harmonik bileşenlerini içeriyorsa, THD

$$THD = \frac{1}{I^{(1)}} \cdot \sqrt{\sum (I^{(k)})^2} \quad (3.7)$$

olur.

(3.7) denkleminde hareketle, periyodik olmayan (3.2) denklemi için

$$PQD = \frac{E - \pi I_m}{2 \pi^2 I_m} \quad (3.8)$$

elde edilir. Bu denklemde güç kalitesi distorsiyonu (PQD), ω_0 ' a eşit veya daha yüksek frekanslardaki enerji olarak tanımlanır. Bu denklemdeki E enerjisi (3.5) denkleminde verilmiştir. Diğer yandan (3.8) denkleminin payda kısmı $\omega = \omega_0$ da $i(t)$ deki enerjiye eşittir. O halde,

$$PQD = \frac{1}{\pi I_m} \int_{-\infty}^{\infty} |W(\omega)|^2 d\omega \quad (3.9)$$

yazılabilir.

Hem periyodik hem de periyodik olmayan sinyallerin karakterize edildiği diğer alanlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- i. Darbeli ve anahtarlama yüklerle özel olarak ilgilenilmesi,
- ii. Toplam harmonik distorsiyonu, indeks ağırlıklı C-mesajları gibi periyodik sinyallerin değerlendirilmesi,
- iii. Sinyal distorsiyonlarını karakterize etmek amacıyla gerilim çentiklerinin değerlendirilmesi.

Güçlü elektromanyetik alanların, özellikle gürültünün bulunduğu alanların etkisi altında bulunan yerlerdeki geniş bantlı ölçümler zor olabilir. Genellikle, kuvvet mühendisliğinde çevre koşulları, doğru ölçümlere izin vermeyebilir. Ölçüm cihazlarındaki kusurları gidermek amacıyla, matematiğin geliştirilmesi konusunda pek çok araştırma yapılmaktadır. Kaçınılmaz olarak pek çok araştırma, bu konunun donanım esaslı olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle matematiksel algoritma hazırlanırken aşağıdaki maddeler de dikkate alınmalıdır.

- i. Dijital filtreleme sayesinde ölçüm hatalarının azaltılması,
- ii. Ölçülen veri adedinin artırılması için durum kestirimi metodlarının kullanımı; ve güç kalitesi uygulamaları için özel durum kestiricilerinin kullanılması: Örneğin güç sistemi harmoniklerinin kestirimi için Kalman filtresi kullanılabilir.
- iii. Güç kalitesi uygulamaları için, özellikle dijital bir ortamda ölçme hatalarının karakterize edilmesi,
- iv. Ölçüm sistemlerine ait transfer fonksiyonlarının hesaplanmasıyla ilgili yeni bir çalışma yapılması; Bu çalışma ters evrişim (deconvolution) metodları, ortalama ve frekanssız yaklaşımları kapsayabilir.

Güç kalitesi ölçümlerindeki doğruluğun artırılmasının önemine bir örnek olarak, tam skalası V_{R} olan bir ölçü cihazı ile ölçülen ve $V_{\text{R}} \cdot 2^{-b}$ değerini veren b bitlik sayısallaştırılmış bir $v(t)$ gerilimini gözönüne alalım. Eğer $v(t)$ kare dalgaya benzer bir frekans spektrumu içeriyorsa, $v(t)$ nin harmonik bileşeni h . derecenin harmoniği için $1/h$ değerine düşer. Bu sonuç değeri $h \cdot V_{\text{R}} \cdot 2^{-b}$ olan h harmoniğinin ölçüm çözümünü sağlayacaktır. h harmoniğinde sayısallaştırma hatası ϵ ,

$$\epsilon = \frac{h \cdot V_{\text{R}} \cdot 2^{-b}}{\max v(t)} \quad (3.10)$$

dir.

Eğer $v(t)$ geriliminin tepe değeri tam skala değerinin % 75' i ise ve sayısal değeri 8 bit olarak ifade edilirse, ϵ ' nin 23. harmonikdeki değeri yaklaşık % 12 olur. Word uzunluğunun kısalması hatanın artmasına neden olacaktır. Bu nedenle, ölçümdeki doğruluğun artırılması fazla bir masrafa yol açmayabilir, fakat yüksek frekanslarda ölçümün daha hassas yapılması gereklidir. Bu sonucun gösterdiği gibi, pratik aygıt düzenine ilişkin kanal bantı genişliği sayısal word uzunluğu ile belirlenmektedir [1].

3.3 Standart ve Toleranslar

1959 yılına kadar doğrultucular için kullanılan NEMA Standartları, yarıiletken devrelerde yetersiz kaldığı için yeni standartların geliştirilmesine başlandı. Güç yarıiletkenlerinin kullanılmaya başlanmasıyla, cihazların sivri uçlu darbelere (spike) karşı toleransları azaltıldı.

Bilgisayarlarda, üretici firma $\pm 4\%$ lük toleransın zorunlu olduğunu bildirmediği, $+6\%$ ve -13% arası sürekli gerilim sınırları yeterli olmaktadır. 2 saniyeden daha küçük süreli geçici olaylarda güç kalitesi ile ilgili değişik toleranslar kullanılmaktadır. Amerikan Ulusal Standartları Enstitüsü' nün (ANSI) C84.1 Standardı' na göre 0.05 - 0.5 saniye süren geçici olaylar için gerilim toleransları $+15\%$ ve -20% dir, 0.08-0.05 saniye süren geçici olaylar için gerilim toleransları $+20\%$ ve -30% dur. Bilgisayar imalatçıları, kendilerinin geliştirdikleri ve ANSI Standartları' ndan farklı toleransları kullanmaktadırlar. Genel olarak bu standartlarda, gerilim büyük dalgaları ve impulslara ilişkin toleranslar, C84.1 Standardı' na göre çok daha küçüktür. Örneğin bu standartlarda 2 saniye süren bir bozucu etki için, $+6\%$ olan oranlanmış gerilim toleransı, 8.33 ms süren bir bozucu etkide $+30\%$ a çıkmaktadır. 1 ms süren bozucu etkiler için, bu tolerans $+100\%$ ve, 100 μs süren bozucu etki için $+200\%$ dir. Bu toleransların alt gerilim sınırı, 2 saniyelik bozucu etki için -13% , 0.5 saniye için -30% , 0.1 saniye süren bozucu etkiler için -42% , 16.7 ms için -70% ve 8.33 ms için -100% dir. 60 Hz lik bir frekansın tolerans değeri genel olarak ± 0.5 Hz değeri kabul edilmektedir [6].

Güç kalitesi problemleri ölçülmesinde aşağıdaki standartlardan bazıları ya da tamamı kullanılır.

i. Gerilim, akım, frekans ve N fazlı dengesizlik: Tüketici yüklerindeki değişimler, yanlış topraklama, kademeli transformatörlerde gerilimi ayarı ve kompanzasyon elemanlarının yerleştirilmesi gibi elektrik şebekesi içindeki birçok faktör, normal şebeke gerilimi, akımı, frekansı ve faz işleme noktalarının sürekli hal durumuna göre sapmasına neden olabilir. Uygulanabilen standartlar ANSI C84.1, ANSI C37.106 ve IEE 141' dir.

ii. Harmonikler: Nolineer devreler ya da yükler, gerilim ve akımda dalga şekli distorsiyonlara neden olur. Peryodik yapıda olabilen bu distorsiyonların sonucunda, ölçüm hatası, iletişim sistemlerinde karışmalar, makine ve transformatör ısınması ve hatalı röle çalışması gibi problemler meydana gelir. Güç elektroniği

devrelerindeki anahtarlama elemanlarının çalışması sırasında gerilim çentikleri ve kırışması gibi problemler oluşabilir. Uygulanabilen test standartları IEEE 519-D5, ANSI C57.105 ve IEEE 141' dir.

iii. Enerji Kullanımı: Güç kalitesi, cihazların aktif ve reaktif güç ihtiyacını etkiler. Bu ise işletme maliyetinin yüksek olmasına, kayıplara, gerilim ve akım regülasyonu problemlerine neden olur. Bu test ile, donatımın tasarımı, gerçekleştirilmesi, ve çevre faktörleri incelenir. Uygulanabilen standartlar IEEE 519, IEEE 141, IEE 389 ve IEC 555' dir.

iv. Büyük Dalga Testleri: Yıldırım ve geçici anahtarlama olaylarından kaynaklanan büyük dalgalara karşı korunma önlemi olmayan devrelerde hatalı çalışma veya arızalar meydana gelebilir. Uygulanabilen standartlar ANSI / IEE C62.41 ve ANSI / IEEE C37.90.1' dir.

v. Yüksek ve Düşük Gerilim: Birkaç peryoddan fazla süren gerilim çöküntüleri ve kabarmalar, güç sistemindeki faz gecikmelerinden dolayı ortaya çıkabilen bir olaydır. Bu koşullar donanımda ve esas olarak enerji hattına bağlı elektronik donanımda düzensiz davranışlara neden olabilir. Uygulanabilen standartlar IEE141 ve ANSI C37' dir [6].

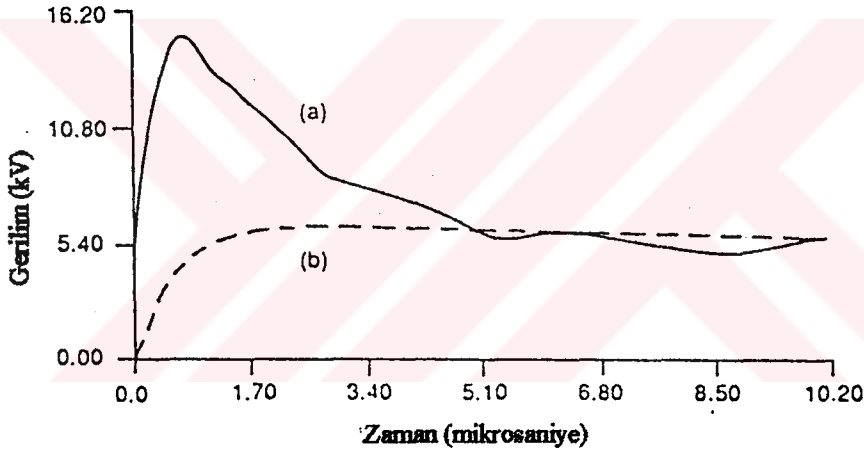
3.4 Topraklama Sistemlerinin Modellenmesi

Enerji sisteminin topraklanmasıyla ilgili uygulamalar güç kalitesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda, güç kalitesi problemlerinin % 80' inin yanlış topraklamadan kaynaklandığı tesbit edilmiştir. Günümüzde hala , topraklama büyük bir oranda yanlış anlaşılmaktadır ve doğru analiz modelleri çok azdır. Topraklama sistemlerinin modellenmesi oldukça zor bir konudur ve bütün güç sistemleri ile ilgili modelleme yöntemleri ile birlikte ele alınması gereklidir. Topraklama ile ilgili iki ayrı yöntem uygulanmaktadır:

i. Düşük frekansa topraklama modelleri genellikle saf bir dirençten oluştuğu için, momentler metodu ya da gevşetme metodlarında olduğu gibi "D.A." analiz modellerinde topraklama bağlantıları dikkate alınır.

ii. Yüksek frekanslardaki topraklama modelleri için elektromanyetik analiz yapılması gereklidir. Bunun için, sonlu eleman analizi veya moment metodu kullanılabilir.

Toprak bağlantıları kompleks sistemler olduğundan, önemli ölçüde sadeleştirme yapılır. Seçilen "D.A." modeller ya da daha kompleks modeller için yaklaşık bir yöntem olarak, $\delta = \sqrt{2} / \sqrt{\mu\omega} r$ sızma derinliğine bağlı en büyük topraklama sistemi boyutu karşılaştırılabilir. Örneğin, $l > 0.1 \cdot \delta$ ise tam bir modellenmenin yapılması gereklidir. Bu ifadelerde μ ortam geçirgenliği, ω radyan/saniye olarak frekans, r iletken yarıçapı, δ sızma derinliği ve l en büyük topraklama sistemi boyutudur.



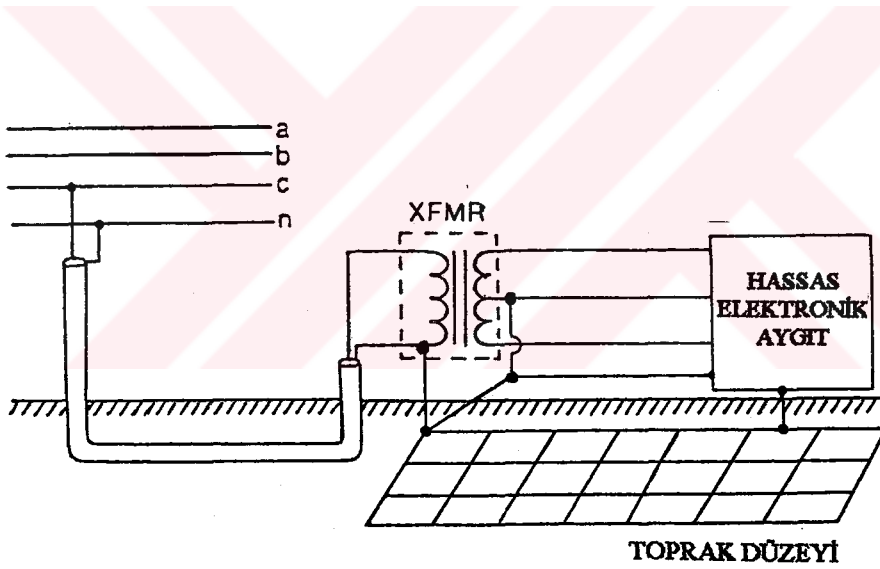
Şekil 3.2 Tepe Akımı 1 kA olan 1.2/50' lik yıldırım dalgasının 61 metrelik dengeleyici tel üzerinde meydana getirdiği geçici gerilim

- frekansa bağımlı model
- frekansı bağımsız model

Topraklama sistemi modelinin seçimi çok önemlidir. Bir örnek olarak, 100 ohm direncindeki bir toprağa gömülü bir dengeleyici telden oluşan bir topraklama sistemini gözönüne alalım. Bu sistemin doğru gerilim toprak geçiş direnci 6.1 ohmdur. Empedans frekansa bağlı olarak değiştiği için, yüksek frekanslarda empedansın değeri çok yüksek olur. 50 kHz' den düşük frekanslarda empedans değeri yaklaşık 6.1 ohm dur. Toprağa geçen bir yıldırım deşarjından kaynaklanan geçici aşırı gerilimleri önceden tesbit etmek üzere topraklama modellenmesine bağlı olarak bir frekansın belirlenmesi gereklidir. Bir örnek olarak, şekil 3.2' de DA model ve gerçek

model kullanıldığında standart yıldırım dalga şekilleri arasındaki farklılıkları görülmektedir.

İdeal güç sistemi modelleri ile karşılaştırılabilecek ayrıntılı topraklama sistemi modellerinin geliştirilmesine büyük ihtiyaç vardır. Bu modellerde kesin olarak elektromanyetik analizin esas alınması gereklidir. Fakat bunun yanında hesaplama açısından sözkonusu modeller pratikte de kolaylıkla kullanılabilmelidir. Bu modeller, güç kalitesi, anahtarlama ve yıldırım gibi kaçınılmaz geçici olayların ve bunun sonucunda meydana gelen problemlerin doğru bir analizine olanak sağlamalıdır. Kısacası, iyi analiz modelleri ile topraklama sistemlerinin optimum tasarlanması mümkün olacaktır.



Şekil 3.3 Ticari veya endüstriyel bir kuruluşun enerji servis girişi

Geçici olaylardan kaynaklanan yürüten dalgalar topraklama sistemleri üzerinde hareket ederek bir tesise veya bir enerji sistemine kolayca ulaşabildiği için, geçici olayların güç kalitesi üzerinde oldukça önemli bir etkisi vardır. Transformatörlerin sıfır hattı içinde bulunmaması nedeniyle, yüksek frekanslı geçici olaylar nötr boyunca hemen hemen hiç zayıflamadan hareket ederler. Eğer nötr birçok yerde topraklanmışsa, yüksek frekanslı geçici olayların zayıflatılması yalnızca toprak tarafından sağlanır. Uygun bir topraklama sistemi, nötr ve güç sistemi belirli

bölgelerdeki geçici aşırı gerilimleri tesbit etmek üzere uygun cihazlarla donatılabilir. Bir örnek olarak şekil 3.3' deki gibi 0.8 km uzunluğunda bir yeraltı dağıtım kablosu ile beslenen bir tesisi gözönüne alalım. Yeraltı kablosu, yıldırıma maruz kalan bir havai dağıtım devresinden beslenmektedir. Bu tür bir servis girişinde, geçici olaylar toprak iletkeni aracılığı ile tesise girebilmektedir [1].



BÖLÜM 4

GÜÇ KALİTESİ SORUNUNA YOL AÇAN ETKENLER

Hassas elektronik yüklere etki eden güç bozucu etkilerinin çok çeşitli nedenleri olabilir. Bu etkenler arasında yıldırım, fırtına gibi atmosferik olaylar, şebeke bağlama işlemleri, yanlış topraklamalar ve elektrik kesintileri sayılabilir. Bununla birlikte güç bozucu etkilerine çoğunlukla yüklerin anaharlanması, topraklama hataları veya cihazların normal çalışması sırasında bizzat tüketicilerin kendileri neden olmaktadır [4].

Elektrik enerjisi ile ilgili standart ve yönetmelikler, binaların gövdesinin enerji servis giriş yerinde topraklama bağlantısının yapılmasını şart koşmaktadır. Bununla birlikte, eğer bir bina içinde nötr iletkeni ve topraklama şasesi arasındaki bağlantıların yanlış yapılması ve özellikle yükler arasında yapılan yanlışlıklar sonucunda arızalara neden olan parazit akımları meydana gelebilir [5].

Günümüzde, aygıtların duyarlılığı ile ilgili sorunlar, cihaz tasarımcılarının eksik bilgilerinden, güç kalitesi sorunlarından ve bir ölçüde de kullanıcıların karşılaştığı problemlerle elektrik kurumunun yeterince ilgilenmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu bölümde bozucu etkiler ve nedenleri konusunda bilgi verilecektir [3].

4.1 Bozucu Etkilerin Nedenleri

Güç kalitesi problemleri genel olarak iki gruba ayrılabilir. Birinci gruptaki problemler, genellikle müşterilerin binalarında meydana gelen ve en uygun bir şekilde yine buralarda çözümlenebilen dalga şekli distorsiyonlarından oluşmaktadır. İkinci gruptaki problemler ise, dağıtım sisteminden kaynaklanan gerilim çöküntülerinden ve enerji kesintilerinden meydana gelir. Tablo' 4.1 de bozucu etkilerin nedenleri ve söz konusu bozucu etkiyi önlemek için şebeke ve müşteri tarafındaki çözümler gösterilmiştir [5].

Tablo 4.1

Bozucu Etki	Muhtemel Nedenleri	Şebeke Tarafındaki Çözüm	Müşteri Tarafındaki Çözüm
Gerilim Çöktürüşü	Yıldırım düşmesi Ağaç ve canlı teması	Dinamik gerilim yenileyici Statik düzenleyici	Hat düzenleyici KGK
Aşırı Gerilim	Diğer faz üzerindeki hatalar Yük	Dinamik gerilim yenileyici Hata akımı sınırlayıcı Yüksek enerjili parafudrlar	Hat düzenleyici Gerilim regülatörü KGK
Kesinti	Sigorta atması Kesicinin çalışması	Katı-hal kesici Statik kondansatör	KGK Motor-generator grubu
Geçici Olaylar	Yıldırım düşmesi Şebeke anahtarlama	Yüksek enerjili parafudrlar	Hat düzenleyici Büyük dalga bastırıcı
Harmonik Distorsiyonlar	Nolineer yükler Ferrorezonans	Filtre Statik kondansatör Dinamik gerilim yenileyici	Hat düzenleyici Filtre
Elektriksel Gürültüler	Yanlış bağlantılar Müşteri hataları veya topraklama hataları		Topraklama Ekranlama Hat düzenleyici Filtre

4.2. Enerji Hattı Bozucu Etkileri

İlk kaydedilen bozucu etkiler arasında olan geçici aşırı gerilimlerin en önemli iki nedeni yıldırım ve yük anahtarlama'dır. Bölgesel şartlara bağlı olarak, bu nedenlerden biri diğerinden daha önemli olabilir, fakat her iki nedenin de dikkate alınması gereklidir.

Yıldırım büyük dalgaları, güç sistemi iletkenlerine yıldırımın direk çarpması sonucunda meydana gelebileceği gibi, yıldırımın iletkenlere değil de iletkene yakın bir nesneye çarpmasının sonucunda da meydana gelebilir. Güç sistemine yıldırımın düşmesi, boşluk tipi parafudrları faaliyete geçirir. Bunun sonucunda yarım periyotluk

bir zaman süresince enerji sistemi gerilimi tamamen kaybolur veya önemli ölçüde azalır. Hat izolatörlerine yıldırımın düşüp atlama yapması, birkaç periyotluk gecikme ile tekrar kapanan bir devre kesicinin yanlış çalışmasına ve enerji kesintisine neden olabilmektedir. Açıkça görüleceği gibi, yıldırım, düşme noktası yakınında ortaya çıkan aşırı gerilimlere neden olmaktadır; buna karşın, düşme noktasından oldukça uzak bir mesafede meydana gelen çöküntü ya da gerilim kaybına etki etme olasılığı daha zayıftır [4].

4.3 BOZUCU ETKİLERİN TİPLERİ

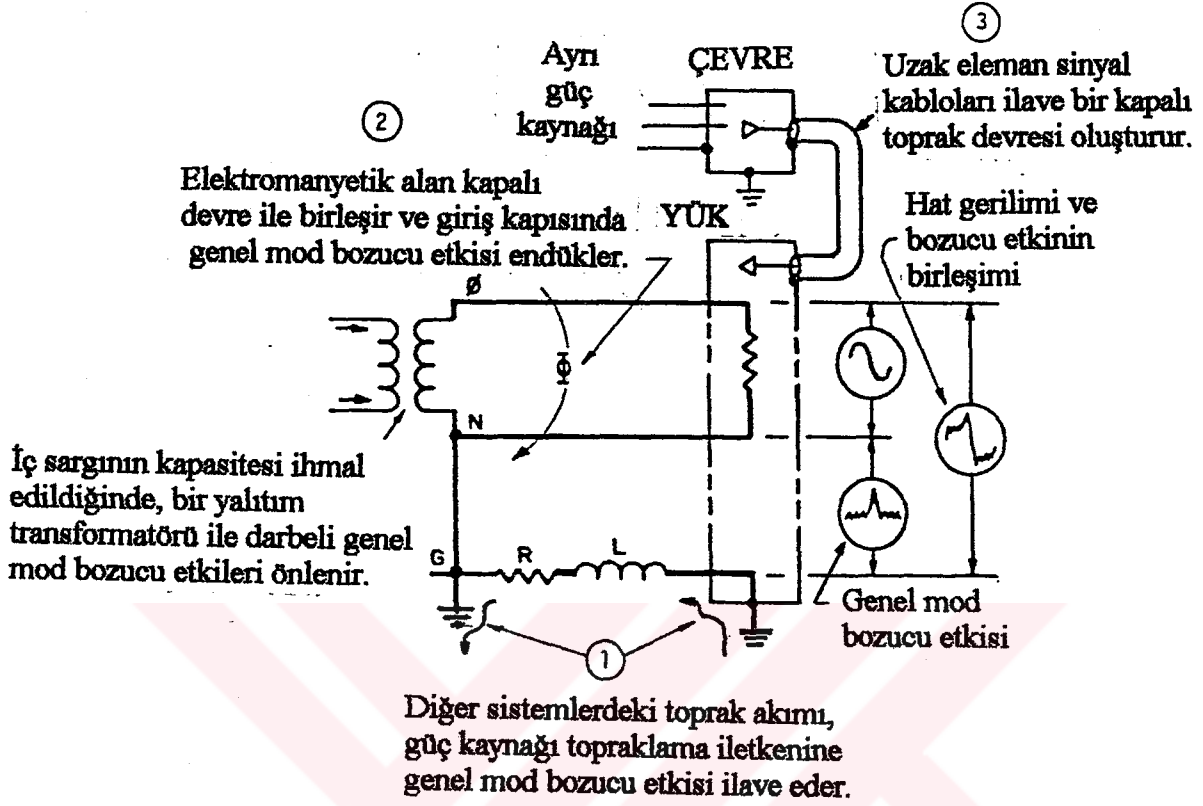
Enerji hattı bozucu etkileri genel mod bozucu etkileri ve normal mod bozucu etkileri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu iki terim ilk olarak iletişim devrelerinde tanımlanmıştır. IEE Sözlüğü ve IEC Sözlüğünde bu iki tanımlamaya benzeyen fakat gerçekte daha farklı anlamlara gelen simetrik ve asimetrik gerilimler tanımlanmıştır [4].

4.3.1 Genel Mod Bozucu Etkileri

Genel mod bozucu etkileri, herhangi bir veya akım taşıyan bütün iletkenler ile topraklama iletkeni veya toprak arasındaki istenmeyen potansiyel farklılıkları olarak tanımlanır. Örnek olarak, üç fazlı ve yıldız noktası topraklı Y/ Δ transformatörlerden beslenen büyük bilgisayar sistemlerinde, genel mod bozucu etkileri, nötr ve toprak arasındaki potansiyel farkı olarak tanımlanır.

Hassas bir yükü, iki değişik tip genel mod bozucu etkisi etkileyebilir. İlk tip, giriş güç topraklama iletkenine ait giriş güç iletkenlerinde ortaya çıkan bozucu etkidir. Şekil 4.1' de bu bozucu etkilerin nedenleri a ve b örnekleriyle gösterilmiştir. Bir hat düzelticisi kullanılarak bu tip bir bozucu etkinin zararları azaltılabilir. Fakat aynı zamanda, hat düzelticisinin bulunduğu yer de bozucu etkinin sınırlandırılmasında oldukça önemli bir rol oynar.

İkinci tip bozucu etki, bilgisayar elemanları ya da bilgisayara bağlı uzak birimler arasında ortaya çıkan toprak potansiyel farkıdır. Şekil 4.1 c' de bu tipe ait bir örnek verilmiştir. Sistem yapısı ve topraklama sisteminin empedansı gibi faktörlerin etkilemesinden dolayı bu tip bir bozucu etkiyi sınırlandırmak daha zordur. Bu iki faktör, genel olarak kullanıcının direk kontrolünün dışındadır.

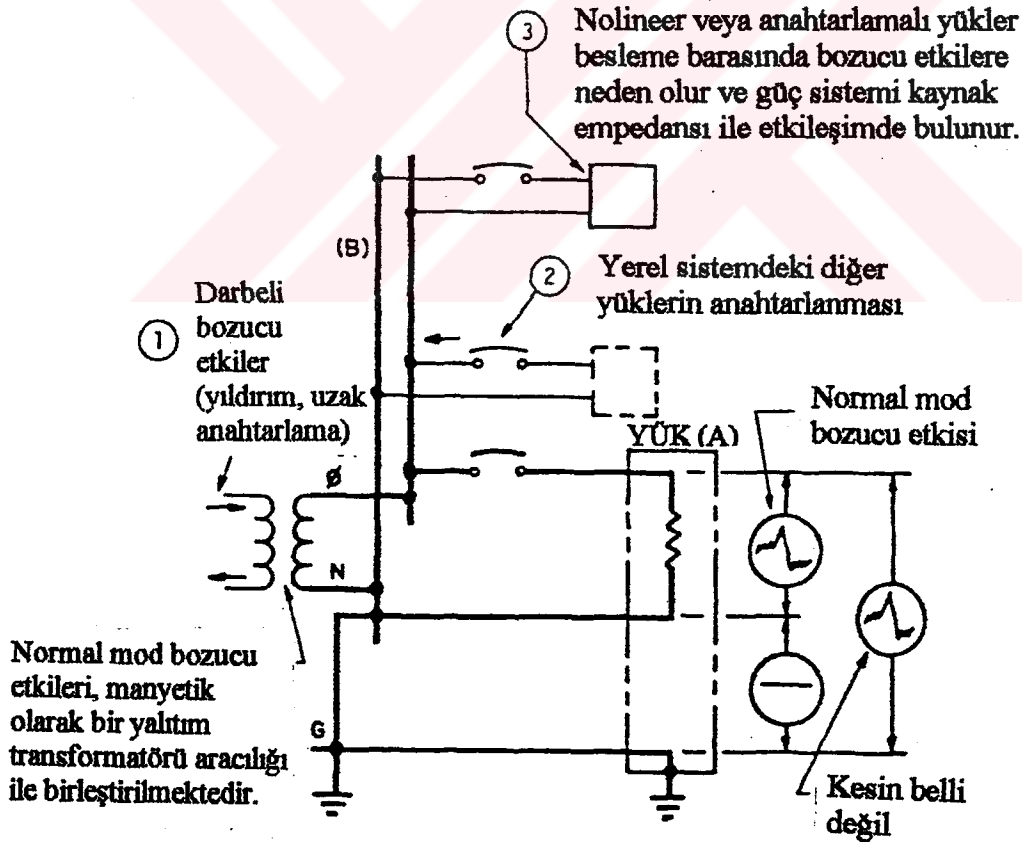


Şekil 4.1 Enerji girişinde genel mod bozucu etkilerin nedenlerine ilişkin üç örnek.

Geniş frekanslı band karışıklığından dolayı, sargı rezonansları toprak potansiyellerinin denkleştirilmesini zorlaştırabilir. Bir sinyal referans kafesi içeren, uygun bilgisayar sistemi topraklamasının birçok genel mod bozucu etkilerini önlediği tesbit edilmiştir. Bununla birlikte, uzak elemanlar, veri kabloları ile bilgisayar sistemlerine bağlandığı zaman, büyük toprak potansiyel farkları ortaya çıkabilmektedir. Güç beslemesinin uygun bir şekilde büyük dalgalardan korunması ve veri kablolarının topraklanması, donanım zararlarının önlenmesinde yardımcı olacaktır, fakat buna rağmen verilerin bozulması önlenemeyebilir. Şekil 4.1' deki örnek-c ye dikkat edilirse, fiberoptik bağlantıların, sistemdeki değişik elemanları metalik olarak tam anlamıyla izole ettiği görülmektedir [4].

4.3.2 Normal Mod Bozucu Etkileri

Normal mod bozucu etkileri, herhangi iki akım taşıyan devre iletkeni arasındaki istenmeyen potansiyel farkları olarak tanımlanır. Şekil 4.2' de, bu tip bozucu etkilerin nedenlerine ilişkin üç değişik örnek gösterilmiştir. Genellikle, bilgisayarların anma geriliminde ve sinüsoidal bir şebekeden beslenmesi arzu edilir. Sinüs dalgasındaki herhangi bir sapma bir normal mod bozucu etkisi olarak değerlendirilir. Bilgisayar kullanıcıları ve izleme cihazları tasarımcıları, bozucu etkileri, çöküntü, büyük dalga, kesinti, impulse, titreşen geçici olaylar, dalga şekli distorsiyonu ve yüksek frekanslı gürültü gibi her zaman açık bir şekilde tanımlanmayan değişik terimlerle nitelendirmektedirler [4].



Şekil 4.2 Enerji girişinde normal mod bozucu etkilerinin nedenlerine ilişkin üç örnek

4.4 Anahtarlanmanın Neden Olduğu Etkenler

Bozucu etkilerin en önemli nedenlerinden biri de güç sistemi yük anahtarlamasıdır. Büyük yüklerin on-off olarak anahtarlanması, bu devrenin geçici yanıtının da ötesinde uzun süreli gerilim değişimlerinin meydana gelmesine neden olabilir. Teknik açıdan anahtarlanmanın elektrik kurumu ya da tüketici tarafından yapılması önemli değildir. Güç katsayısı düzeltme kondansatörleri anahtarlandığı zaman, milisaniyeler süresince anma geriliminden % 120 daha büyük (2.2 pu) aşırı gerilimlere ulaşabilen yüksek frekanslı (500 Hz - 5 kHz) osilasyonlar ortaya çıkar. Aynı zamanda akım sınırlayıcı sigortaların arızayı temizlemesi de oldukça büyük aşırı gerilimlere neden olabilir.

Güç kalitesi sorunlarına yol açan diğer bir yaygın olay da dağıtım sistemindeki kondansatörlerin anahtarlanmasıdır. Genellikle tüketici cihazlarını etkilemeyen bu tür bağlamalar, uzun süreli tecrübeler neticesinde tesis edilmesine rağmen, transformatörlere ve güç faktörünü düzeltmek üzere kullanılan kondansatör gruplarına sahip bazı büyük endüstriyel sahalarda sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda, şebeke bağlama işleminden kaynaklanan olumsuz etkilerin alıcı hat tarafından daha da büyütülmesiyle bu hatta bir rezonans başlayabilir. Bu osilasyonlardan dolayı meydana gelebilen ve anma değerinin 3-4 katı olabilen geçici aşırı gerilimler, koruma devrelerinin ve cihazların işlevini yapamamasına, hatta zarar görmesine neden olabilir. Özellikle, endüstriyel motorlarda kullanılan elektronik hız denetim sürücüler bu geçici olaylara karşı çok duyarlıdır [4].

4.5 Gerilim Çöküntüleri

Gerilim çöküntülerinden kaçınmak mümkün değildir. bu nedenle elektrik kurumu çöküntülerin sayı ve süresini azaltmak için gerekli tedbirleri almalıdır. Tüketiciler de, kendi açısından gerilim çöküntülerinin sonuçlarını hafifletmek için gerekli koruma önlemlerini almalıdır. Şimdiye kadar elde edilen sonuçlar geçici gerilim çöküntülerine neden olan en önemli etkenin yıldırım düşmesi olduğunu göstermiştir [4],[9].

Büyük çöküntülerde, gerilim anma değerinin yaklaşık % 80' ine kadar düşmektedir. Çöküntüler süreye bağlı olarak üç gruba ayrılabilir:

- i. 4 peryot; hataların temizlenme süresi
- i. 30 peryot; kesicilerin ani olarak tekrar kapanması için gerekli süre
- iii. 120 peryot; kesicilerin gecikmeli olarak tekrar kapanması için gerekli

süre

Bir gerilim inişinin cihazlar üzerindeki etkisi hem genliğe ve hem de süreye bağlıdır. Eskiden bilgisayar imalatçıların benimsedikleri standart toleransları aşan ve yaklaşık % 42 ye varan gerilim çöküntüleri gözlenmiştir.

Şebeke bozucu etkilerinden kaynaklanan bilgisayar sistemi arızasıyla ilgili yapılan bir incelemede, güç hattının izlenmesi, bilgisayar işletme günlükleri, Meteoroloji İstasyonu'ndan elde edilen veriler ve yerel elektrik kurumundan güç bozucu etkilerinin nedenlerini belirleyecek verilerden yararlanılarak tablo 4.2 hazırlanmıştır. Bu tabloda, enerji hattındaki bozucu çöküntü ve kesintilere temel olarak hava koşullarının yol açtığı görülmektedir. Ayrıca yine aynı tabloda gerilim çöküntülerinin bilgisayar sistemlerini kesintilere göre dört kat daha fazla olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.

Tablo 4.2 Bilgisayar arızalarının nedenleri

(Bilgisayarlara ilişkin olarak kaydedilen arızaların yüzdesi)

Kaydedilen Nedenler	Bozucu Etkiler		Bilgisayar Arızaları
	Çöküntüler	Kesintiler	
Hava Koşulları (Rüzgar, yıldırım)	37	14	51
Enerji Sistemi Arızaları	8	0	8
Trafik Kazaları	8	2	10
Canlılar	5	1	6
Ağaç Devrilmesi	1	1	2
Bilinmeyen	21	2	23
	%80	%20	%100

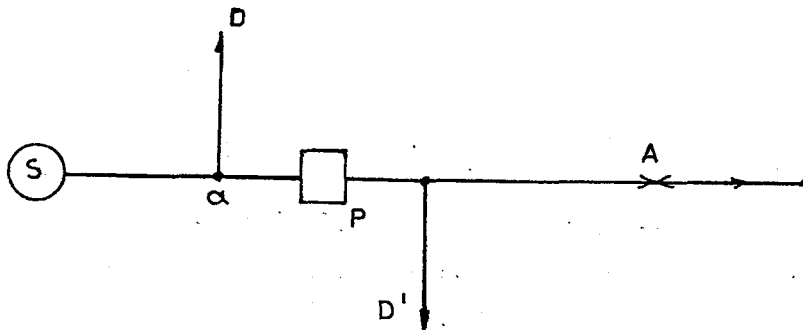
Tablo 4.3 Bozucu etkinin tesirleri üzerindeki enerji dağıtım sisteminin etkisi

Enerji Dağıtım Sisteminin Yapısı	Bozucu Etkiye Neden Olan Arızaların Tipi		Bir Yılda Kaydedilen Bilgisayar Arızaları	
	Çöküntüler	Kesintiler	Saha	Ortalama
(aylık izlenen sahalar)				
Radyal havai hatlar (53/5)	12	6	10-30	18
Havai "Spot" şebeke (55/3)	22	1	20-40	23
Toplam havai hat	16	4	10-48	20
Yeraltı radyal şebekesi (30/2)	6	4	6-12	10
Yeraltı şebekesi (39/2)	5	0	5	5
Toplam yeraltı şebekesi (69/4)	5	2	5-12	7
Genel Toplam (157/12)	11	3	5-48	14

Enerji dağıtım sisteminin tipi de, bozucu etkilerin tesirleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Tablo 4.3' de gösterilen incelemede çöküntü ve kesintilerin etki yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Bu incelemede, bozucu etkilerin meydana gelme yüzdesinin, yeraltı sistemlerinde ve şebeke sistemlerinde sırasıyla havai ve radyal sistemlere göre önemli ölçüde az olduğu bulunmuştur [4].

4.5.1 Gerilim Çöküntülerinin Nedenleri

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım şebekelerinde, iletkenler arasındaki ve iletkenle toprak arasındaki izolasyon hatalarından dolayı birçok arızalar meydana gelir. Bu arızalardan kaynaklanan kısa devre akımları çok yüksek değerlere ulaşabilir. Bu süre çok kısa olduğundan gerilim düşümü bir gerilim çöküntüsü görünümü kazanır.



Şekil 4.3 Gerilim çöküntüleri için basit bir dağıtım hattı şeması

Örnek: Şekil 4.3' de, U tüketiciyi, S ise bir trifaze SU hattının besleme kaynağını oluşturan S transformatörünü göstermektedir. Bu hat üzerinde a ve b noktalarında D ve D' branşmanları mevcuttur. SU hattının herhangi bir A noktasında her üç iletkeni de etkileyen bir kısadevre arızası meydana geldiğinde A' daki gerilim sıfırdır. A noktası dağıtım hattı üzerinde veya müşterinin şebekesinde bulunabilir.

Hattın A' nın ilersinde bulunan AU kısmının gerilimi de aynı şekil de sıfırdır. Buna karşılık S kaynağına doğru gidilirse, gerilim A' dan S' ye doğru giderek artar ve S' nin gerisinde normale döner.

Birçok durumda hat, üzerinde başka abonelerin de bulunduğu (D, D',....) derivasyonları da besler. Arıza var olduğu sürece derivasyonların gerilimleri de bağlantı noktalarının gerilimleri ile aynıdır.

Arızaya en yakın noktadaki kesicinin açılması ile gerilim çöküntüsü de son bulur. Bu örnekte P noktasında bir kesicinin bulunduğunu varsayarsak arızanın çeşitli kullanıcılara yansımaları aşağıdaki gibi olur [7].

- i. P noktasının ilersinde gerilim kesilmesi,
- ii. P noktasının gerisinde ise geçici bir gerilim düşümü

4.5.2 Gerilim Çöküntü Karakteristikleri

Gerilim çöküntüleri tamamen önlenemez, yalnızca azaltılabildiklerinden kalanların karakteristiklerini de açıklanması gereklidir.

Büyük çoğunlukla gerilim çöküntülerinin nedeni bir fazla toprak arasındaki arızalardır. Global sayıları bakımından bu arızaların oranı hem iletim hem de dağıtım şebekelerinde % 80' dir.

Şebekenin belirli bir noktasında bir arıza meydana geldiğinde gerilim çöküntüsü bütün müşterilerde farklı derinliklerde etki eder. Gerilim çöküntüsünü, müşterinin bağlantı noktası ve müşterinin bağlı bulunduğu şebekeyi besleyen transformatörün konumu tayin eder. Bu nedenle, toplam gerilim çöküntüsü sayısının yalnızca küçük bir kısmının müşteri tesislerine yansımaları beklenir.

YG şebekesinden ileri gelen gerilim çöküntüleri aşağıdaki gibi bir dağılım gösterir.

- i. 60' i , 0.3 s nin altında bir süreye sahiptir.
- ii. 25' i , 0.1 s nin altında bir süreye sahiptir.

Yalnızca kalan % 15' i bazen 3 saniyeye kadar sürebilir, bu nedenle de müşteriler de önemli sorunlara yol açabilir. Dağıtım şebekelerindeki gerilim çöküntülerinin süreleri genellikle 1 saniyenin altındadır [7].



BÖLÜM 5

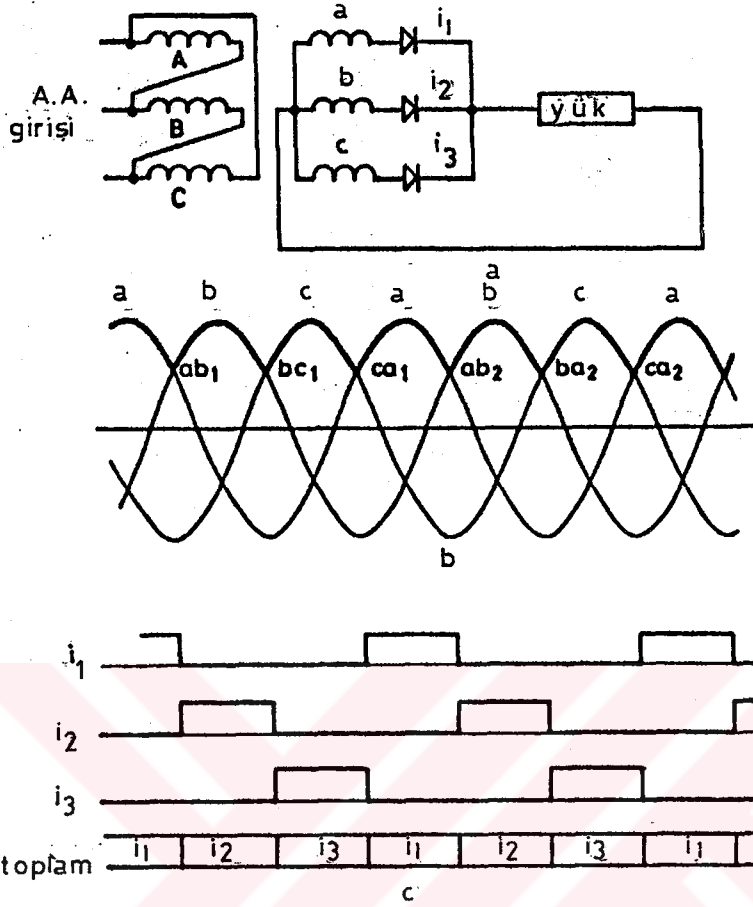
HARMONİK KAYNAKLARI

Müşteriler elektrik enerjisinin iyi kalitede olmasını talep ederler. Bu nedenle, müşterilerin cihazlarının ya da enerji sistemindeki cihazların normal çalışması sırasında harmonikler üreten ve besleme geriliminde çeşitli düzensizliklere neden olabilen yükler özel bir önem taşımaktadır. Yük akımındaki hızlı değişimler, müşterilerin enerji sistemine bağlandığı noktada gerilim değişimlerine neden olur. Bu tip yükler örnek olarak, çelik elde etmede kullanılan ark fırınları, kaynak cihazları, indüksiyon fırınları, haddehaneler, kömür ocağı çıkırıkları, demiryolu cerleri verilebilir. Çoğunlukla büyük endüstriyel yükler önemli olmasına karşın, aynı zamanda donatım aygıtları ve tek tek ele alındığı zaman problemlere neden olmayan, fakat toplu olarak ele alındığında bağlı oldukları şebekenin besleme kalitesini etkileyebilen ticari binalar ve evlerde kullanılan cihazların da dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gereklidir [8].

5.1 Çeviriciler

Doğrultucular alternatif gerilimi doğru gerilime, eviriciler ise doğru gerilimi alternatif gerilime çeviren cihazlardır. Yüksek akım kapasiteli doğrultucuların ve eviricilerin kullanımı, endüstride ve demiryolu cerlerinde birçok uygulamaları olan hız denetimli alternatif ve doğru akım motor sürücülerinin gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, bu cihazlar diğer müşterileri etkileyen harmoniklerin kaynağı olabilmektedir.

İdeal bir diyot, besleme gerilimi ve yük empedansı ile belirlenen akımın yalnızca bir yönde geçişine izin verir. Giriş geriliminin yön değiştirmesiyle diyot sonsuz empedans gibi davranır ve ters yönde hiçbir akım geçmez. Üç fazlı alternatif akım besleme kaynağının her bir fazına birer diyot bağlanmasıyla oluşan şekil 5.1.a' daki doğrultucu devresini gözönüne alalım. Şekil 5.1.b' de görüleceği gibi herhangi bir anda bir veya iki diyot iletimdedir. Pozitif gerilimi daha yüksek olan diyot iletimi üstlenecektir.

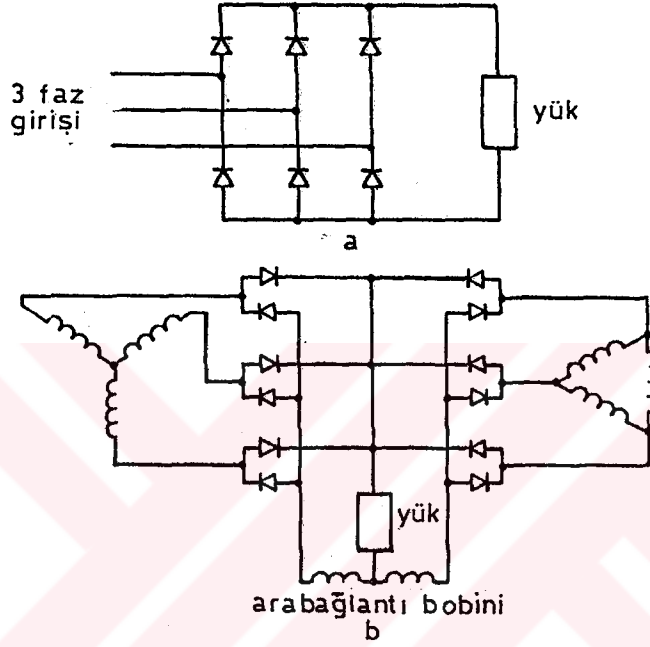


Şekil 5.1 Üç fazlı doğrultucu

- a. Şematik bağlantı
- b. Giriş gerilim/akım Dalgı Şekilleri
- c. İdeal çıkış akım dalga şekilleri

Şekil 5.1.b' den de görülebileceği gibi bir fazın gerilimi düşerken diğer fazın gerilimi yükselir ve ab_1 , bc_1 ve ca_1 noktalarında her iki fazın gerilimi birbirine eşit olur. Dolayısıyla iletim gerilimi düşen fazdan gerilimi yükselen faza geçecektir. Bu aktarım işlemine doğal komutasyon denir. Şekil 5.1.c' de görüldüğü gibi, herbir fazın dikdörtgen şeklindeki akımlarla yüklendiği ve yükün saf endüktif olarak kabul edildiği bu ideal durumda sürekli doğru gerilim elde edilecektir. Bu gerilimler artık sinüs dalgası olmayacakları için harmonikler meydana gelecektir. Besleme şebekesi boyunca hareket eden temel harmonik akımı nedeniyle sistem seri empedanslarında bir gerilim düşümü ve bunun sonucunda bir harmonik gerilimi üretilecektir. Her bir harmonik gerilim düşümlerinin toplamı toplam harmonik distorsiyonunu vermektedir. Harmonik akımları, aynı zamanda kayıpların artmasına ve şebekenin yüklenme kapasitesinin azalmasına neden olur. Buna ilave olarak harmonik akımlarından dolayı

sayaç ve sistem korunmasında hatalar meydana gelir. Eğer bir harmonik frekansı şebekenin rezonans frekansı ile çakışırsa aşırı gerilimle sonuçlanan ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, harmonikler transformatör ve motorlarda vibrasyonun artmasına neden olabilmektedir.



Şekil 5.2 6 ve 12 darbeli doğrultucu

- a. 6 darbeli
- b. 12 darbeli

Şekil 5.1.a' da gösterilen devre en basit üç fazlı doğrultucu devresidir ve bir periyot süresince çıkışta üç darbe akımı (i_1 , i_2 , i_3) elde edildiği için üç darbeli doğrultucu olarak bilinir. Bu devreyi geliştirerek tam dalga doğrultucusu elde etmek için, şekil 5.2.a' da gösterildiği gibi her faza iki adet diyot eklenmesi yeterlidir. Bu durumda bir periyot süresince çıkışta altı adet doğru akım elde edilir. Bu nedenle bu devreye altı darbeli doğrultucu denmektedir.

Harmonikleri bastırma açısından, giriş kısmı üç fazlı alternatif gerilimden beslenen doğrultucuların en iyisi 6 darbeli köprü doğrultucudur. Faz sayısı artırılarak daha fazla iyileştirme istendiği zaman özel bir transformatörün kullanılması gereklidir. Örneğin bir sargısı yıldız, diğer sargısı üçgen bağlı çift sekonder sargılı bir transformatörden aralarında 60 derece faz farkı olan altı faz elde edilir. Şekil 5.2.b' de

gösterildiği gibi her sekonder sargıya bir çift doğrultucu bağlanmasıyla alternatif giriş geriliminin her periyodunda doğru gerilim çıkışında 12 darbe elde edilecektir. Benzer şekilde, 24 darbeli ve daha yüksek darbeli doğrultucular gerçekleştirilebilir.

İdeal bir doğrultucunun ürettiği harmonikler mertebeleri,

$$N = kp \pm 1 \quad (5.1)$$

ile hesaplanır. Burada,

p: darbe sayısı,

k: 1' den sonsuza kadar herhangi bir tamsayı,

N: harmonik sayısı

dir.

Böylece, basit üç darbeli doğrultucu üç ve üçün katları hariç tüm harmonikleri üretir. 6 darbeli bir doğrultucu, 5., 7., 11., 13., 17., 19., 23., 25., v.s. harmonikleri üretir. 12 darbeli bir doğrultucu ise 11., 13., 23., 25., 35., 37., v.s. harmonikleri üretir. Genellikle, endüstriyel tesislerde 6 darbeli doğrultucular kullanılır. Yaklaşık 1 MVA' nın üzerindeki yüklerde 12 darbeli doğrultucuların kullanılması tercih edilir [8].

Devre girişindeki dalga şekline ait harmonik akımların genliklerini elde etmek üzere Fourier analizi yapılır. Bu analizi yapabilmek için akım darbelerinin dikdörtgen şeklinde olduğu kabul edilir. Gerçekte ise, kaçak empedanslar nedeniyle akım dalga şekillerinde ihmal edilecek kadar küçük distorsiyonlar meydana gelmektedir. Bu durumda,

$$\frac{I_N}{I_F} = \frac{1}{N} \quad (5.2)$$

yazılabilir. Burada,

I_N : N. frekansdaki harmonik akımı

I_F : temel frekansdaki akım

dır.

Görülebileceği gibi, darbe sayısı artarken harmonik akımlarının genliği daha da küçüldüğü için, herhangi bir harmonik akımının genliği harmonik sayısı ile ters orantılıdır. Pratikte ölçülen harmonik akımları yukarıda hesaplanan değerlerden daha küçüktür ve yukarıda verilen ifadenin k gibi bir katsayı ile çarpılması ile aşağıdaki denklemdeki gibi

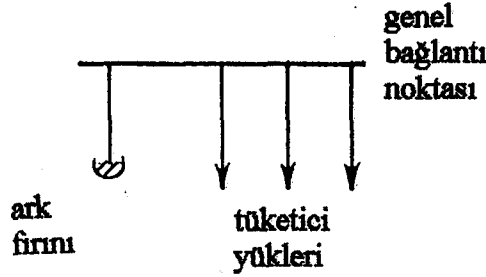
$$I_N = \frac{I_F}{N} \cdot k_N \quad (5.3)$$

elde edilir. Bu denklemde k_N katsayısı 1' den küçüktür ve çeviricinin kumandasına bağlı olarak farklı değerler alır. Gerilim dalga şeklinin harmonik distorsiyonunun azaltılması hem teknik ve hem de ekonomik açıdan önemlidir. Daha önce de açıklandığı gibi, bazı harmonikler doğrultucunun darbe sayısının artırılmasıyla yokedilebilmektedir. Bununla birlikte, doğrultucular, (5.1) denkleminde belirtilen harmoniklerden başka, fazlar arasında dengesizliğe neden olan tristör gecikme açılarındaki sapmalar nedeniyle ilave harmonikler üretmektedir [8], [9].

5.2 Ark Fırınları

Elektrikli ark fırınlarının çalışması sırasında görülen en belirgin özelliği ham metal yük ile elektrodlar arasında meydana arasında sık sık tekrarlanan kısadevrelerin meydana gelmesidir. Çoğu kez erimiş hurda metal bir elektroddan ayrıldığı zaman, ark sönecektir ve akım geçmeyecektir. Ergime işlemi süresince, iki veya üç fazlı kısadevreler ya da bir fazın açık devre olması gibi durumların sonucunda akımda rastgele değişimler meydana gelecektir. Kısadevre ile açıkdevre arasında sürekli bir şekilde devam eden bu salınımlar, fırının plakasında yazılı anma değerinden birkaç kat daha büyük şiddetli akım dalgalanmaları üretebilmektedir. Bu ise, genel bağlantı noktasında büyük gerilim değişimlerine neden olacaktır. Fırından kaynaklanan dalgalı yük akımı, şekil 5.3' de gösterildiği gibi genel bağlantı noktasından (point of common coupling-PCC) beslenen diğer müşterilerde dalgalanmalara yolaçacaktır.

Ark fırınlarının ürettikleri harmonik akımlarının mertebelerinin ve etkin değerlerinin matematiksel olarak hesaplanması imkansızdır. Arkın meydana gelişi o andaki birçok iç ve dış fiziksel etkiye bağlıdır. Ark fırınlarındaki harmonikler konusunda bilgi edinebilmek için çekilen akım osilogramla kaydedilir ve analizör yardımıyla harmonikler tesbit edilir [8], [10].



Şekil 5.3 Genel bağlantı noktası

5.3 Motorlar

Motorların besleme şebekesine bağlanmasının sonucunda üç temel problem meydana gelir. Birincisi, motorun kalkış durumunda anma hızına ulaşım ulaşmayacağıdır. İkincisi, motorun durma konumundan kalkışa geçtiği sırada meydana gelen gerilim darbesinin diğer tüketicilerde yol açtığı etkilerdir. Üçüncüsü ise, şebekedeki bir arıza nedeniyle besleme geriliminin aniden düşmesinden dolayı motorların şebekeye enerji vermesi durumudur [8].

5.3.1 Kalkış Akımları

Şebeke kısıadevre hata akımının yaklaşık % 0.25' inden daha büyük güç çeken herhangi bir yükün anahtarlanması, şebekeye bağlı diğer yüklerde bozucu etkilere neden olabilir. Karışma derecesi yalnızca akımın genliğine bağlı değildir, aynı zamanda referans sistem gerilimine göre faz açısına ve akım değişiminin hızlı veya yavaş olup olmamasına ve hangi sıklıkta meydana geldiğine bağlıdır. Ayrıca, sık sık meydana gelen değişimler diğer tüketicilerde daha fazla olumsuz etkilere yolaçabilmektedir.

Motorun durma konumundan direk olarak kalkışa geçtiği durumda, motor kalkış akımı tam yükteki motor akımından birkaç kat daha yüksektir. Bu durumda güç faktörü anma değerine göre düşük ve genellikle değeri 0.3' ün altındadır. Kalkış akımı

yalnızca motorun iç empedansı ve sistem empedansı ile sınırlandırılır. Motor anma hızına çıkarken, ürettiği zıt EMK nedeniyle akım düşecek ve güç faktörü artacaktır. Kafesli bir asenkron motora direk yol verildiğinde kalkış akımı tam yükteki değerinin 5-8 katına ulaşır. Özel çift kafesli asenkron motor kullanıldığında bile kalkış akımı tam yükteki değerinin 3.5-5 katı olmaktadır. Kalkış akımını sınırlandırmak için kullanılan yıldız/üçgen bağlantısı ile kalkış akımı anma değerinin 2.5-3.5 katına kadar düşürülebilir. Ototransformatör kullanıldığında kalkış akımı anma değerinin 1.5,-3.5 katı olmaktadır. Tristör kontrollü yumuşak kalkış devreleri gittikçe daha çok tercih edilmektedir. Bu devrelerle kalkış akımının otomatik olarak sabit kalması sağlanmaktadır. Daha pahalı olan rotoru sargılı motorlarda kullanılan kalkış direnciyle kalkış akımı tam yükteki değerinin 1.5-2.5 katına kadar düşer [8].

5.3.2 Gerilim Değişimleri

Motorun kalkışta neden olduğu gerilim değişim yüzdesi

$$\%V = (\sqrt{3} \cdot I) \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi) \times 100 \quad (5.4)$$

ile hesaplanabilir. Burada,

I : motor kalkış akımı

R ve X : sistem empedansının rezistif ve endüktif bileşenleri

V : sistemin fazarası gerilimi

dir.

Tek fazlı motorlarda gerilim değişiminin hesaplanmasında R ve X' in uygun değerlerinin seçilmesine dikkat edilmelidir. Yapılan incelemeler sık kalkış yapan motorların neden olduğu ani gerilim değişimlerinin, aynı genel bağlantı noktasından beslenen diğer müşteri cihazlarını etkilememesi için gerilim değişiminin anma gerilim değerinin % 1' inden daha küçük olması gerektiğini göstermiştir [8].

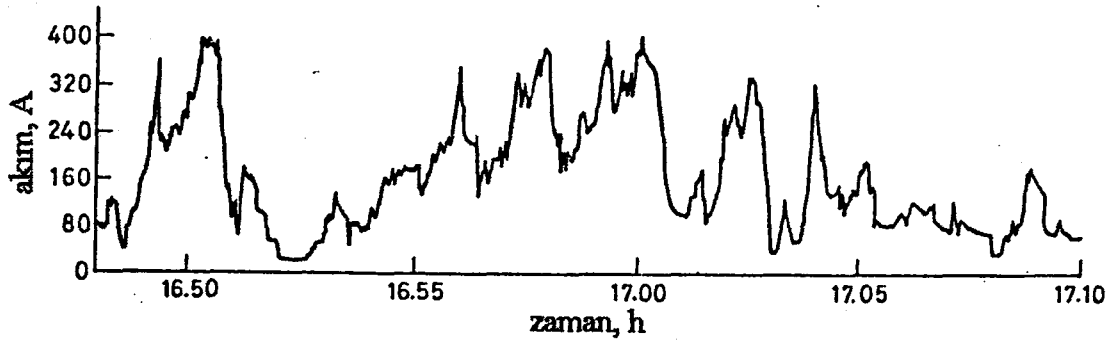
5.4 Elektrikli Trenler

1980 yılına kadar dünyadaki demiryollarının yaklaşık % 15' inin elektrikleştirildiği ve yaklaşık üçte birinin sinyalizasyona sahip olduğu tahmin

edilmektedir. 20. yüzyılın sonuna kadar tüm demiryollarının % 40' ının elektrikleştirileceği ve % 75' inin sinyalizasyona sahip olacağı tahmin edilmektedir. Özellikle kentsel alanlarda bazı trenler 3 fazlı doğrultuculardan beslenmelerine karşın günümüzde trenlerin büyük çoğunluğu tek fazlı alternatif gerilimden beslenmektedir. Özellikle ağır tren yüklerinde kalkış yapıldığında şebekeden büyük akımlar çekilmektedir. Şekil 5.4' de banliyö trenlerinin en kalabalık olduğu saatler başlangıç seçilerek bir ana besleme istasyonuna ait kayıtlar gösterilmiştir.

DA motorları kullanmak için cer giriş ünitelerinde diyotlu doğrultucular ya da tristörlü çeviriciler kullanılmaktadır. Diyot ve tristör devreleri ise şebekede harmonik distorsiyonlara neden olur. Üç fazlı enerji sisteminden tek fazlı olarak motorların beslenmesi gerilim dengesizliğine yol açar. Bu iki faktör, negatif faz akımlarının aşırı yayılmasına neden olabilmektedir.

Motorların beslenmesi genellikle şekil 5.5.a' daki gibi iki adet tek fazlı Scott bağlı transformatör kullanılarak elde edilen iki fazlı yüksek gerilimden sağlanmaktadır. Fazör diyagramı ise şekil 5.5.b' de verilmiştir. Diğer bir alternatif ise şekil 5.5.c' de gösterildiği gibi, üç fazlı şebekeden beslenen LeBlanc transformatör düzeninin kullanılmasıdır [8].



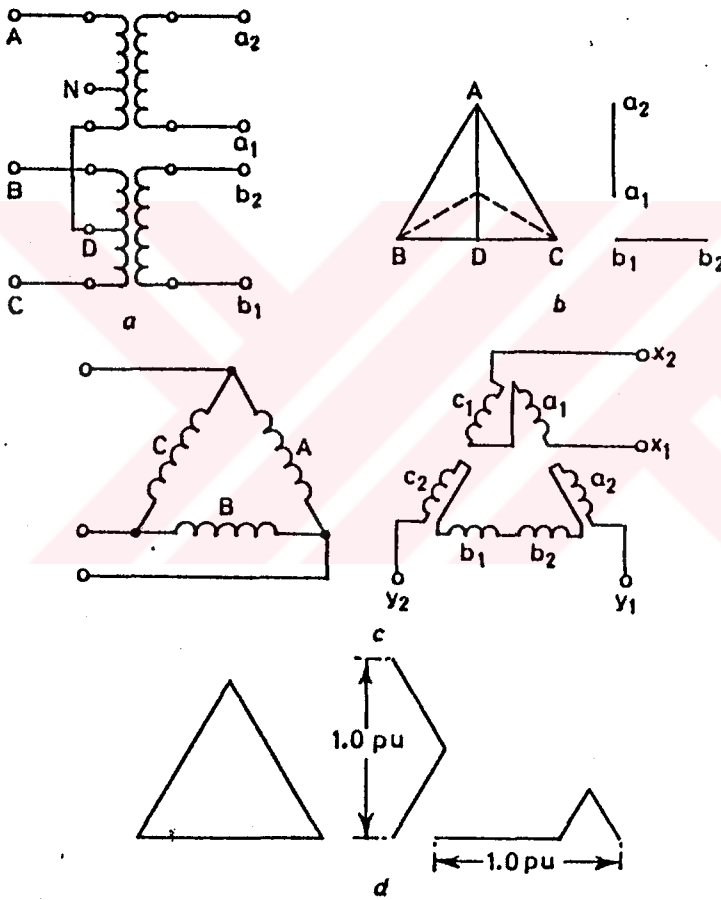
Şekil 5.4 Tren motorunun besleme noktasında kaydedilen akımlar

5.5 Floresan Aydınlatma Harmonikleri

Deşarjlı aydınlatma ve özellikle floresan lambalar nolineer yükler olduğu için önemli ölçüde tek mertebeli harmonik akımları üretir. Üç fazlı dört telli yüklerde, üç

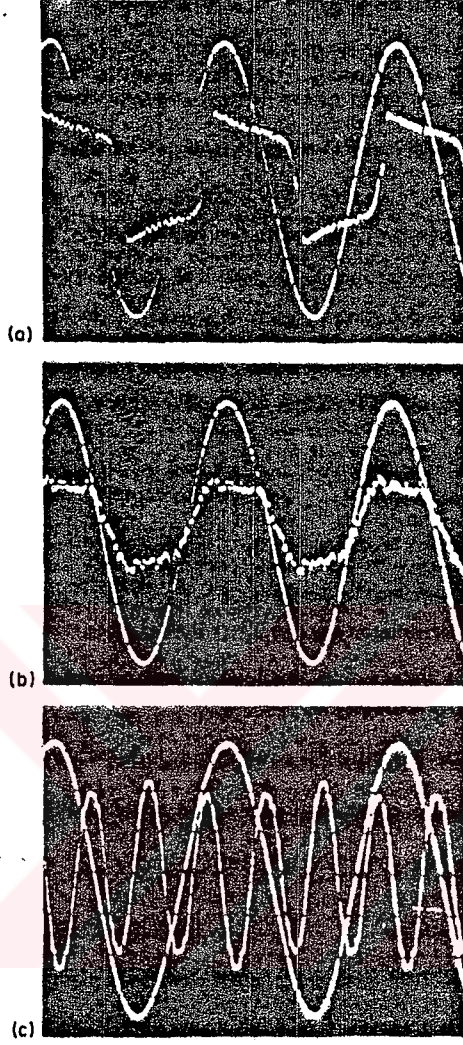
ve üçün katı harmonikler esas olarak nötrde toplanır ve bu harmonik akımları arasında en etkili üçüncü harmoniktir.

Şekil 5.7' deki temel floresan devresine ilişkin gerilim ve akım osilogramları şekil 5.6' da gösterilmiştir. Bu dalga şekilleri sinüsoidal kaynak gerilimi ile birlikte gösterilmiştir. Şekil 5.6.a' dan tüp üzerindeki gerilimin nolineer olduğu açık bir biçimde görülmektedir. Şekil 5.6.b' deki dalga şekli faz akımını ve şekil 5.6.c' deki dalga şekli yıldız bağlı lambaların nötr akımını göstermektedir.



Şekil 5.5 Scott ve LeBlanc transformatörleri

- Scott transformatörün sargı bağlantısı
- Scott transformatörünün fazör diyagramı
- LeBlanc transformatörünün sargı yapısı
- LeBlanc transformatörünün fazör diyagramı $a_1 = c_1 = 0.577 \text{ pu}$
 $a_2 = c_2 = b_1 = b_2 = 0.333 \text{ pu}$



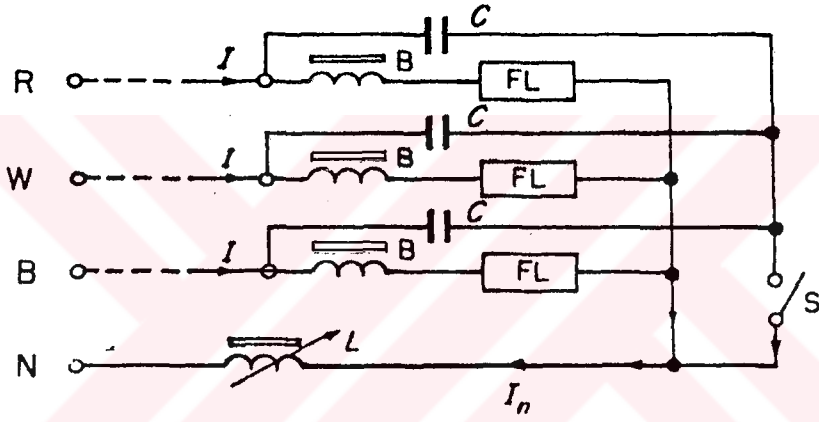
Şekil 5.6

- a. Tüp gerilimi
- b. bir lambanın kondansatörlü faz akımı
- c. yıldız bağlı üç fazlı lambanın nötr akımı

Aydınlatma devreleri çoğunlukla beslendikleri yere göre uzak mesafelerde bulunur ve diversiteleri küçüktür. Güç faktörünü düzeltten kondansatörlerin kullanılmasıyla meydana gelen kompleks LC devresi, üçüncü harmonikte bir rezonans durumu meydana getirebilir. Şekil 5.8'deki grafikte apsis ekseninde üçüncü harmonik gerilimi verilmiştir. Her bir faza bağlı lambanın ürettiği harmonik akım ve sıfır sistem akımı, kondansatör yıldız noktası nötr ile birleştirildiği zaman, 3. harmonik nötr akımı klasik metodla hesaplanan anma değerini büyük bir oranda (lamba anma akımından üç kat daha büyük) aşabilir. Şekil 5.8'de bu durum görülmektedir.

Yıldız noktasının nötrden ayrılmasıyla, nötr akımının değeri anma değerinden daha küçük olacaktır.

Mümkünse, rezonansdan kaçınmak için nötr kaymalı yıldız veya üçgen bağlı dağıtım panolarına bitişik kondansatör gruplarının sağladığı özel lamba kompanzasyonu kullanılmamalıdır [11].



Şekil 5.7 Üç fazlı floresan aydınlatmasına ait test devresi.

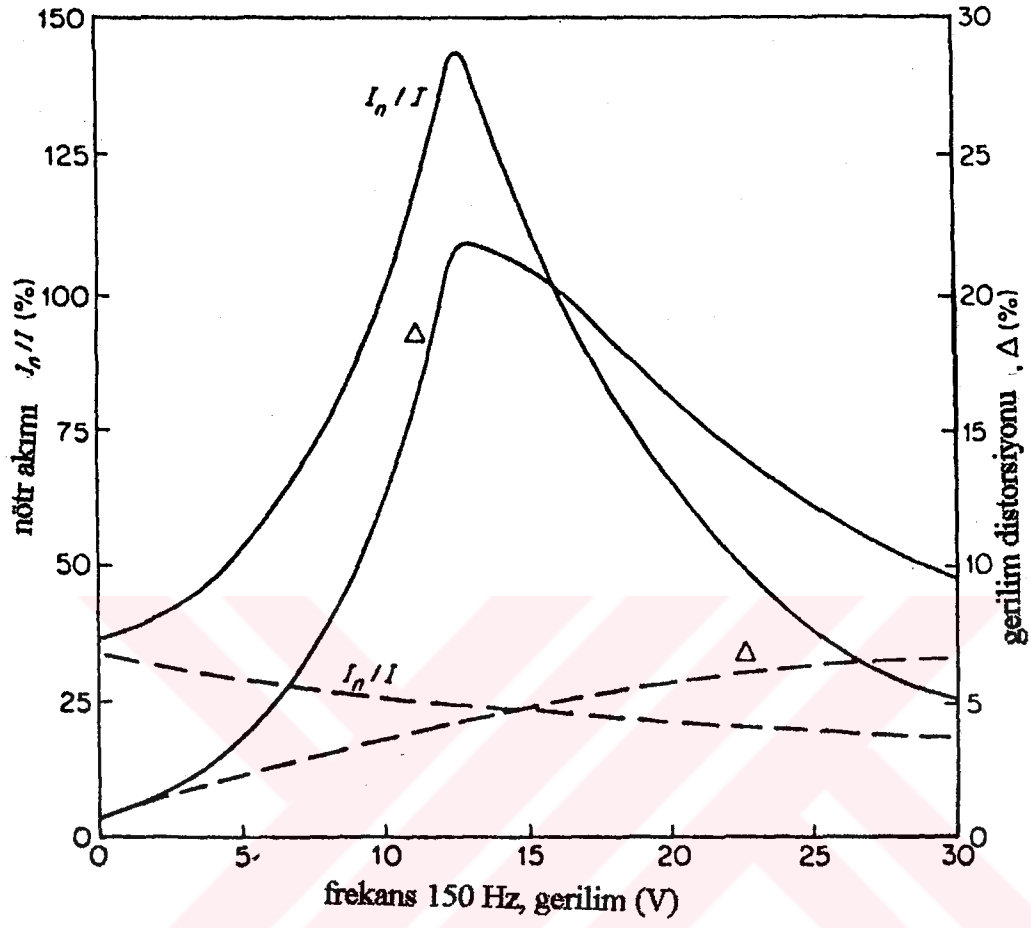
FL: floresan lamba,

B: balast,

C: güç faktörü düzeltici kondansatör,

L: değişken bobin,

S: kondansatör yıldız noktasını yalıtım için kullanılan anahtar.



Şekil 5.8 Floresan aydınlatma test devresinin karakteristikleri

BÖLÜM 6

GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN NEDEN OLDUĞU SORUNLAR

Enerji sistemi ve tüketici cihazlarında güç kalitesi ile ilgili problemler geniş kapsamlıdır. Bu problemler birçok devre tarafından üretilir ve hem tüketiciyi hem de enerji sistemini etkiler [2].

Güç kalitesi problemleri topraklama, radyo parazitleri, geçici olaylar, kesintiler, harmonikler gibi konulardan oluşur. En sık görülen güç bozucu etkileri arasında bilgisayarlarda donanım hasarı, sistem çöküntüleri ve yöntem hataları gibi problemler sayılabilir [3].

Bu bölümde, güç kalitesi sorunları ve bu sorunların tüketici yüklerindeki etkileri incelenecektir.

6.1 Güç Kalitesi Etkenleri

Güç kalitesi problemlerine pek çok faktör etki eder. Bu faktörler aşağıda kısaca ele alınmıştır.

6.1.1 Gerilime Bağlı Etkenler

Güç yarıiletken devrelerinin gelişmesi ile, alt periyot geçici gerilim olaylarına olan duyarlılık önemli bir sorun olmuştur. Aynı zamanda harmonik üreten nolineer yükler hızla çoğalmaktadır. Düşük gerilimde ve yüksek frekans seviyesinde çalışan veri işleyen mikroişlemci esaslı devrelerin ortaya çıkmasıyla, bu cihazların alt periyot gerilim geçici olaylarına olan duyarlılığı daha da artmıştır. Aynı zamanda kısa süreli kesintiler bellekli kontrol sistemlerine çok ciddi zararlar verir. Gerilim saptmaları geçici ve sürekli olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Gerilim flikeri ise geçici ve sürekli saptmanın bileşiminden oluşmaktadır [3].

6.1.2 Akıma Bağlı Etkenler

Sırasıyla akıma bağlı etkenler aşağıda verilmiştir.

Yüksek harmonik bileşenli akımlar temel akıma göre amper başına daha fazla kayıp üretir.

Güç sistemi endüktansı ile güç faktörü düzeltici kondansatör veya kablo kapasitesi arasında meydana gelen rezonans, nolineer yükler tarafından üretilen akımı kuvvetlendirir.

Dört telli sistemlerdeki üç fazlı harmonikler, nötr iletkeninde aritmetiksel olarak birbirleriyle toplanma eğilimi göstermektedirler. Bu ise aşırı akım devresi bulunmayan nötr iletkenini yangın tehlikesiyle karşı karşıya getirmektedir.

Özellikle elektrik motorları gibi cihazlar yüzünden meydana gelen temel frekansdaki aşırı akımlar, işletme geriliminin anma geriliminden daha küçük olmasına neden olmaktadır [3].

6.1.3 Topraklama Etkenleri

750 V' dan daha düşük işletme gerilimlerinde, bir kimsenin erişebileceği yerdeki iki metal cisim arasındaki öldürücü gerilimlerden insanları korumak ve düşük empedanslı bir hata akımı devresi elde etmek amacıyla topraklama sistemleri kullanılmaktadır. Bu düşük empedanslı devre, bir toprak hatasında aşırı akım korumasının daha hızlı çalışmasını sağlayacaktır. Bazı cihaz tasarımcıları, veri iletimi için güvenlik topraklamasından ayrı olarak, değişik sinyaller yerine güvenlik topraklamasına ilişkin tek uçlu sinyaller kullanmayı tercih etmektedirler. Şasi yerine güvenlik topraklama sisteminin kullanılması daha etkili bir yöntemdir [3].

6.2 Harmonikler

Harmoniklerin neden olduğu güç kalitesi problemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [2].

- i. Dielektrik arızası veya reaktif gücün aşırı yüklenmesinden dolayı kondansatörlerde meydana gelen arızalar,
- ii. Uzaktan kumanda, yük kontrolü ve ölçme yapan sistemlerin enerji taşıma hattı sistemlerine ait dalga kontrolü (ripple control) ile karışması,
- iii. Asenkron ve senkron makinelerin ısınmasına neden olan aşırı kayıplar,
- iv. Şebeke üzerindeki rezonans sonucunda meydana gelen harmonik gerilim ve akımlardan dolayı sistem üzerindeki aşırı gerilim ve akımlar,
- v. Harmonik aşırı gerilimlerin sonucunda yalıtkan kablolarda meydana gelen dielektrik arızaları,
- vi. Haberleşme sistemleriyle endüktif karışma
- vii. Ölçüm okumadaki hatalar,
- viii. Özellikle katıhal ve mikroişlemci kontrollü sistemlerde sinyal karışması ve hatalı röle çalışması,
- ix. Büyük motor kontrolörleri ve santral uyarma sistemlerinin karışması,
- x. Asenkron ve senkron makinelerde meydana gelen mekanik salınımlar,
- xi. Ateşleme anları gerilimin sıfırına göre ayarlanmış devrelerde kararsız çalışma,
- xii. Transformator çekirdeğine bağlı olan frekanslardan dolayı transformatorlerin aşırı ısınması,
- xiii. Harmoniklerin tepe gerilimini etkilemesi sonucu TV resim boyutu ve parlaklığındaki değişimler,
- xiv. Bilgisayar ve bilgisayar otomasyonlu üretimdeki etkiler [5].

6.2.1 Kondansatör Grupları

Elektrik tesislerinde, reaktif güç kompanzasyonu amacıyla tüketicilerin bulunduğu baraya paralel kondansatörler bağlanır. Eğer bu baraya transformator, ark fırınları gibi harmonik üreten tesislerde bağlı ise kondansatörler harmonik gerilimlerden beslenir. Kondansatörlerin aşırı akım çekmesinin nedeni budur. Gerilimdeki harmoniklerden dolayı kondansatörün gücü artar. Harmoniklerin neden olduğu gerilimlerden dolayı akımın %10 artması, bir kondansatör grubunun çalışma sıcaklığını yaklaşık %7 artırır. Bunun sonucunda kondansatör grubunun ömrü %30'a kadar düşer. Filtrelerin yerleştirilmesi bu tür problemleri önleyebilir. Şebeke işletmesinde sadece temel harmoniğe ait güç önem taşır. Buna karşılık kondansatörün dielektrik kayıpları, yani termik zorlanma bakımından toplam kondansatör gücü dikkate alınır. Toplam gücü tam olarak bulabilmek için gerilim ve akımın temel ve harmonik değerleri ayrı ayrı hesaplandıktan sonra ayrı ayrı temel ve harmonik güçleri

hesaplanır. TS 804' e göre kondansatörlerin sürekli olarak anma güçlerinin % 135' i ile yüklenmesine izin verilir [4], [11].

Sinüsoidal bir V faz gerilimi ile beslenen bir kondansatörün çektiği akım,

$$I = \omega \cdot C \cdot V \quad (6.1)$$

ve faz başına gücü,

$$Q = \omega \cdot C \cdot V^2 \quad (6.2)$$

dir. Eğer gerilim sinüsoidal değilse, n. harmoniğin V_n gerilimi altında kondansatör akımı,

$$I_n = n \cdot \omega_1 \cdot C \cdot V_n \quad (6.3)$$

ve gücü,

$$Q_n = n \cdot \omega_1 \cdot C \cdot V_n^2 \quad (6.4)$$

olacaktır. Burada, ω_1 temel harmoniğin açısal frekansıdır.

n. harmonik için kondansatör gücü

$$Q_n = I_n \cdot V_n = n \cdot \omega \cdot C \cdot V_n^2 = \frac{I_n^2}{n \cdot \omega \cdot C} \quad (6.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Kondansatörün Q_C gücü akım ve gerilimin etkin değerlerinin çarpımıyla hesaplanamaz. Kondansatör gücü, yalnızca

$$Q_C = \sum_1^{\infty} Q_n = \omega_1 \cdot C \cdot \sum_1^{\infty} n \cdot V_n^2 \quad (6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Sinüsoidal olmayan bir gerilimin veya akımın etkin değeri, harmonik bileşenlerinin karesel ortalamasına eşittir. Buna göre gerilimin etkin değeri,

$$V = \left[\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 \right]^{1/2} \quad (6.7)$$

olacaktır. (6.7) denkleminde,

$$V_1^2 = V_C^2 - \sum_2^{\infty} V_n^2 \quad (6.8)$$

yazılabilir. (6.6) denklemini (6.8)'de yerine yazılırsa

$$Q_C = \omega_1 \cdot C \cdot V_C^2 \cdot \left[1 + \sum_2^{\infty} (n-1) \frac{V_n^2}{V_C^2} \right] \quad (6.9)$$

elde edilir.

V_C ile aynı etkin değerde olan ω_1 açısal frekanslı gerilim altında kondansatörün gücü, bu gücün değerinden,

$$Q_C / Q_{Cn} = 1 + \sum_2^{\infty} (n-1) \frac{V_n^2}{V_C^2} \quad (6.10)$$

oranı kadar daha büyüktür.

Harmonikli gerilim altında kondansatörün çektiği gerçek güç, akımın ve gerilimin ölçülen etkin değerlerinin çarpımının ile bulunan güçten daha küçüktür.

Temel harmonikten başka, sadece bir tane n' gibi bir harmonik varsa, toplam kondansatör gücü,

$$Q_C = \frac{n'}{n'+1} \cdot \omega_1 \cdot C \cdot V_C^2 + \frac{1}{n'+1} \cdot \frac{I_C^2}{\omega_1 \cdot C} \quad (6.11)$$

ile hesaplanabilir.

Burada I_C^2 ,

$$I_C^2 = \omega_1^2 \cdot C^2 \cdot V_C^2 \cdot \left[1 + \sum_2^{\infty} (n^2 - 1) \frac{V_n^2}{V_C^2} \right] \quad (6.12)$$

dir [10].

Harmonikler nedeniyle kondansatörlerde,

$$C = \sum_2^{\infty} C(\tan \delta) \omega_n V_n^2 \quad (6.13)$$

ile ifade edilen ilave güç kayıpları meydana gelecektir. Burada, $\tan \delta = R / (1 / \omega \cdot C)$ kayıp faktörü, $\omega_n = 2\pi f_n$ ve V_n n. harmoniğin efektif gerilimidir [11].

6.2.2 Senkron ve Asenkron Makinelerde Harmoniklerin Etkisi

Harmonik gerilimleri veya akımları, stator sargıları, rotor devreleri, stator saçları ve rotor saçlarında ilave kayıplara yol açar. Girdap akımları ve deri etkisi nedeniyle, stator ve rotor iletkenlerindeki kayıplar, doğru akım dirençlerinden kaynaklanan kayıplardan daha fazladır. Stator ve rotor uç-sargılarındaki harmonik akımların oluşturduğu kaçak alanlar ilave kayıplar üretir.

Eğik rotorlu asenkron motorlarda, hem stator ve rotor ve hem de yüksek frekansdaki akı değişiklikleri büyük demir kayıpları üretebilmektedir. Bu kayıpların genliği eğrilik derecesine ve saçların demir kayıp eğrisine bağlıdır. Senkron makinelerin rotorundaki harmonik ısı kayıpları dikkate alındığı zaman, çift stator harmoniklerine ait frekansların rotor frekansı ile aynı olduğu görülür. Örneğin 5. ve 7. harmonikler $6f_1$ frekansında endüklenen akımları verir. Bu akımların görünümü, rotor çevresinde ters yönde $6 \cdot \omega_1$ hızında dönen söndürüm çubuk akımlarının sinüsoidal uzay dağılım eğrisiyle aynıdır. Böylece lineer bir sistem için, rotor çevresindeki ortalama rotor yüzey akımı yoğunluğu ($I_5^2 + I_7^2$) ile orantılı olacaktır. Bununla birlikte, bu akımlar ters yönde döndükleri için, rotor çevresindeki bazı noktalarda kısmi yüzey kaybı yoğunluğu ($I_5^2 + I_7^2$) ile orantılı olacaktır.

Harmoniklerin alternatif akım makineleri üzerindeki en ciddi etkileri genellikle ilave güç kayıplarıdır. Bir makine, ilave harmonik akımlara göre boyutlandırılırken esas olarak toplam ek kayıplar, tüm makinenin sıcaklığındaki artışın etkisi ve rotordaki kısmi aşırı ısınma dikkate alınır. Harmonik akımları ve ısınmalar statorda aşırı ısınmaya yol açmadığı sürece, kafesli asenkron motorlar yüksek harmonik akımlara ve sıcaklıklara daha fazla dayanabilmektedir. Oysa, rotoru sargılı makineler bu bakımdan daha fazla sınırlandırılmıştır. Generatörler için sürekli negatif yarım dalga akımının maksimum seviyesi yaklaşık %10, asenkron motorlar için sürekli negatif peryot geriliminin maksimum seviyesi yaklaşık %2' dir. Bu nedenle, harmonik bileşenleri negatif peryot limitlerini aştığı zaman problemler ortaya çıkabilmektedir [11].

6.2.3 Rezonans

Enerji tesislerinde hatlar, transformatörler ve motorlar gibi işletme cihazlarının çektikleri reaktif gücü kompanze etmek için veya başka amaçlarla kondansatörler kullanılır. Şebekelerdeki cihazlar tek başına ele alınabildiği halde kondansatörler hiç bir zaman yalnız olarak incelenmez. Bu cihazlar incelenirken şebekeye bağlı diğer endüktif cihazların da dikkate alınması gereklidir. Çünkü, kondansatörler endüktif cihazlarla birlikte rezonans olaylarına neden olabilirler [9].

6.2.3.1 Paralel Rezonans

Paralel rezonans sonucunda, rezonans frekansında harmonik kaynağı olarak davranan yüksek bir empedans meydana gelir. Harmonik kaynakları çoğunlukla akım kaynağı olarak dikkate alındığı için, bu durumda her bir empedans kolunda yüksek harmonik akımları ve harmonik gerilimleri ortaya çıkar.

Paralel rezonanslar değişik şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Aynı baraya harmonik kaynağı olarak bir kondansatörün bağlanması en basit durumdur. Sonuç olarak, kondansatörler ile şebekedeki diğer endüktif tesisler birlikte paralel rezonans devresi oluştururlar.

Kaynağın tamamıyla endüktif olduğu varsayılırsa, rezonans frekansı,

$$f_p = f_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{S_s}{S_c}\right)} \quad (6.14)$$

olur. Burada,

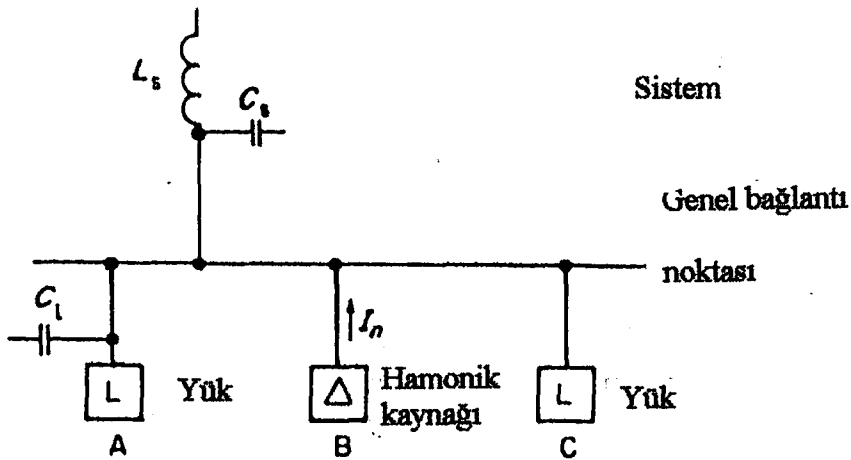
f_1 : temel frekans,

f_p : paralel rezonans frekansı,

S_s : kaynak kısadevre oranı (VAr)

dır.

Hangi harmonik rezonansların mevcut olduğunu belirlemek için, genel bağlantı noktasındaki harmonik gerilimle birlikte, şebekedeki ve her bir tüketici yükündeki harmonik akımların ölçülmesi gerekir. Genellikle, harmonik gerilimi yüksek olduğu halde, genel bağlantı noktasından güç sistemine geçen akım küçük ise, bu durum güç sisteminde rezonans olduğunu göstermektedir. Şekil 6.1' den görülebileceği gibi, tüketici A yüküne büyük bir harmonik akım akıyorsa ve bu harmonik akım genel bağlantı noktasında harmonik gerilime yol açıyorsa, sistem endüktansı ile yerel kondansatör arasında rezonans olduğu söylenebilir [11].



Şekil 6.1 Genel bağlantı noktasındaki harmonik üreten cihazlar

Hesap kolaylığı açısından gerçel güç kayıplarının olmadığı varsayıldığı zaman şekil 6.2' deki basit eşdeğer devre elde edilir. Paralel devre reaktansı şebeke frekansında,

$$X_s = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L + X_C} \quad (6.15)$$

olur.

Başka bir frekansta

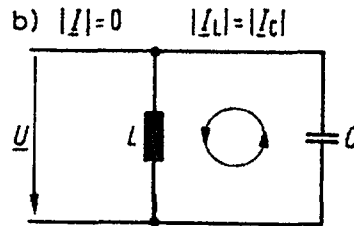
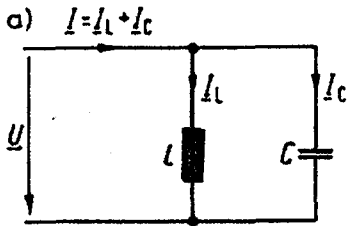
$$n = f/f_1 \quad (6.16)$$

$$X_s = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L \cdot n + \frac{X_C}{n}} \quad (6.17)$$

olur. Burada,

n : bağıl frekans,
 f : frekans,
 f_1 : temel frekans

dır.



Şekil 6.2 Kapasite ve endüktansın paralel bağlantısı

- Genel durum
- Rezonans durumu

Rezonans durumunda $\omega \cdot L = 1/(\omega \cdot C)$ ve $X_s \rightarrow \infty$ olacağından akım,

$$I = \frac{U}{X_s \rightarrow \infty} = 0 \quad (6.18)$$

olur.

Kısmi akımlar I_L ve I_C burada aşırı yüksek değerler alabilir ve besleme devresindeki I toplam akımının birkaç kat üstüne çıkabilir [12].

6.2.3.2 Seri Rezonans

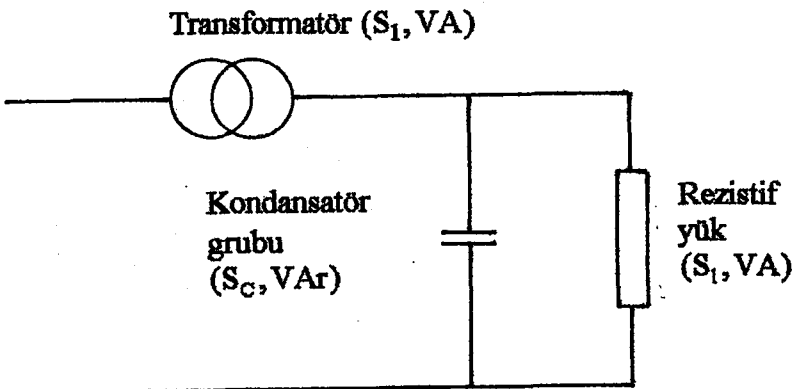
Şekil 6.3' deki tesisi gözönüne alalım. Yüksek frekanslarda kapasitif empedans düştüğü için yük empedansı ihmal edilebilir. O halde,

$$f_s = f_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{S_t}{S_C \cdot Z_t} - \frac{S_1^2}{S_C^2} \right)} \quad (6.19)$$

durumunda seri rezonans meydana gelecektir. Burada;

- f_s ; seri rezonans frekansı (Hz),
- S_t ; transformator anma gücü,
- Z_t ; transformator birim empedansı,
- S_1 ; rezistif yük değeri

dir.



Şekil 6.3 Seri rezonans devresi

Kolaylık açısından bobin ve kondansatör kayıpları ihmal edildiğinde eşdeğer devre şekil 6.5' deki gibi olur. Bu devrede seri bağlı kondansatör ile bobin bir salınım devresi oluşturur. Bu devrenin davranışı paralel rezonans devresinden farklıdır. X_L ve X_C cebirsel olarak toplanırlar. Toplam empedans

$$X_s = X_L + X_C \quad (6.20)$$

dir. Başka bir frekansta $n = f/f_1$ ile,

$$X_s = X_L \cdot n + \frac{X_C}{n} \quad (6.21)$$

olur. Rezonans durumunda ($X_L = X_C$), kayıplar ihmal edildiği düşünülürse, $X_s = 0 \cdot \Omega$ olacağından akım teorik olarak sonsuz büyük olur. Buradan,

$$I = \frac{U}{X_s} \rightarrow \infty \quad (6.22)$$

elde edilir. Pratikte kayıpsız salınım devresi olmayacağı için akım sonsuz büyük değerler alamaz. Seri rezonans devrelerinde akım R, L ve C hesaba katılarak aşağıdaki biçimde hesaplanır.

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}} \quad (6.23)$$

Rezonans durumunda akımı yalnızca R direnci sınırlar. Rezonans durumunda geçen akım,

$$I = U/R \quad (6.24)$$

olur. Bağlı rezonans frekansı n_r , rezonansta,

$$n_r = \frac{f_r}{f_1} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (6.25)$$

değerini alır. Seri devre, düşük frekansta ($f_1 < f_r$) kapasitif, yüksek frekansta ($f_1 > f_r$) endüktif olur.

Ayrıca seri rezonansda kondansatörler üzerinde çok yüksek gerilimler oluşabilir.

$$U_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (6.26)$$

Burada,

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}} \quad (6.27)$$

$$U_C = \frac{U}{\omega \cdot C \cdot \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}} \quad (6.28)$$

dir. Seri rezonansda $\omega \cdot L = 1/(\omega \cdot C)$ olduğu için kondansatördeki gerilim

$$U_C' = \frac{U}{R \cdot \omega \cdot C} \quad (6.29)$$

olur. Burada,

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (6.30)$$

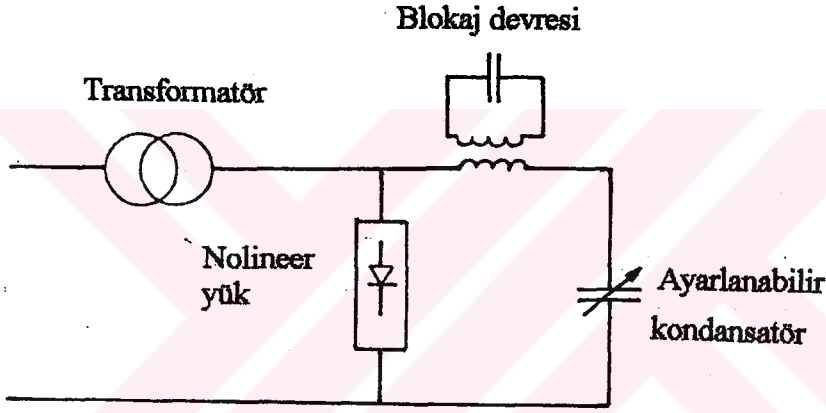
alınırsa,

$$U_C' = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6.31)$$

elde edilir. Bu durumda kondansatör uçlarındaki gerilim şebeke geriliminin X_C/R katına eşittir. Ohmik direnç genellikle çok küçük olduğundan kondansatör ve bobin uçlarındaki gerilim, şebeke geriliminden çok daha büyük olur. Bu durumda devreden çok yüksek akımlar geçtiğinden bobin sargılarının izolasyonu ve özellikle kondansatörler aşırı derecede zorlanabilir [12].

6.2.3.3 Sistem Davranışına Rezonansın Etkisi

Özellikle güç faktörü düzeltici kondansatörlerin değişik aşırı yük akım kapasitesi standartlarda belirtilmiştir. TS 804' e göre kondansatörler sürekli olarak anma gücünün % 135' ine kadar yüklenebilir. Rezonansın şebeke elemanlarında neden olabildiği diğer bir sorun da, yük yönetimi için kullanılan güç hattı sinyalizasyon uygulamaları ile ilgilidir. Bu gibi sistemlerde, genellikle güç faktörü düzeltici kondansatörler gibi düşük empedanslı elemanlardan çekilen sinyalizasyon frekansını önlemek için çok defa akortlu durdurucular kullanılır. Şekil 6.4' de rezonansları filtreleyen basit bir akortlu devre gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Dalgacık kontrolü için akortlu durdurucu devre

Yerel rezonansların mevcut olduğu yerlerde aşırı harmonik akımlardan dolayı akortlu kondansatörler arızalanabilir. Bu tip bir arızanın meydana geldiği bir tesisatda kaydedilen harmonik akımları şekil 6.4' de gösterilmiştir [11].

6.2.4 İletim Sistemi

Şebekedeki harmonik akımları başlıca iki etki üretir. Birincisi, akımın efektif değerinin artışından dolayı ilave iletim kaybının oluşmasıdır. Bu durum,

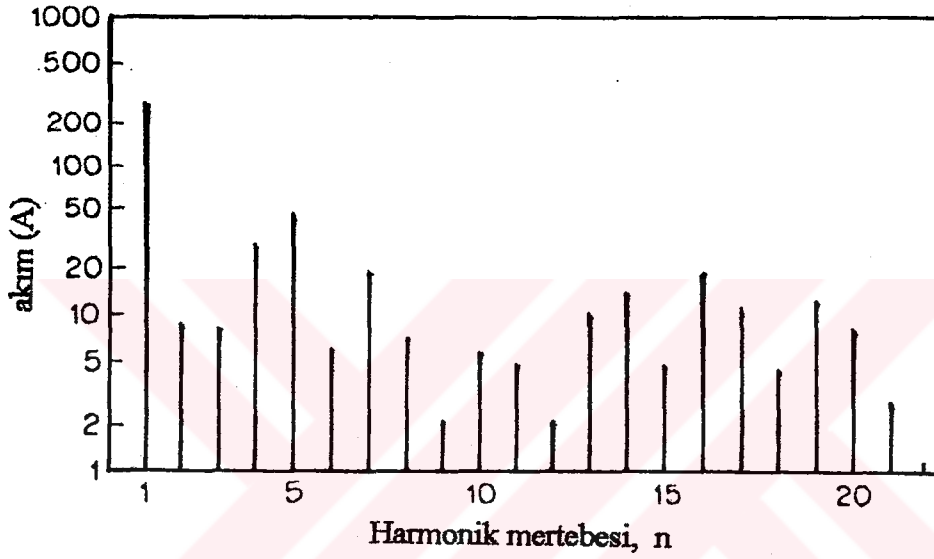
$$\sum_{n=2}^1 I_n^2 \cdot R_n \quad (6.32)$$

denkleminde görülebilmektedir. Burada,

I_n : n. harmonik akımı,

R_n : harmonik frekansındaki sistem direnci

dir.



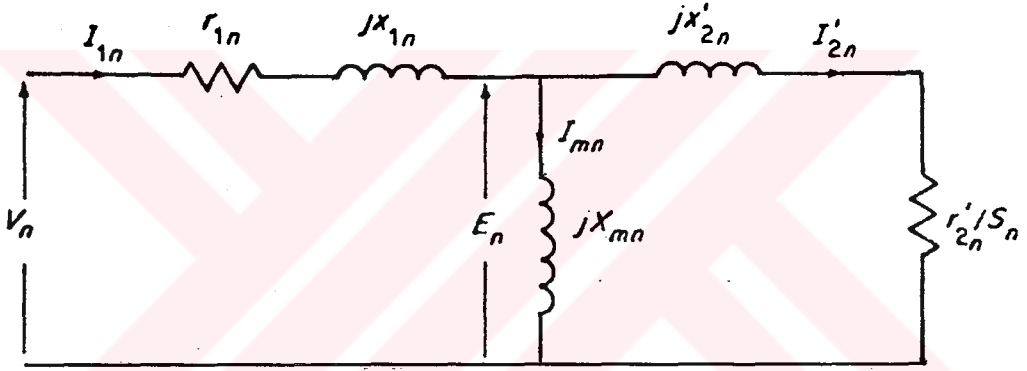
Şekil 6.5 Bir blokaj devresiyle ölçülen harmonik akımları

Harmonik akımının ikinci etkisi değişik devre empedansları üzerinde harmonik gerilim düşümleri oluşturmaktır. Bir başka ifadeyle, büyük empedanslı sistemler, düşük empedanslı sistemlere göre daha büyük gerilim bozucu etkilerine neden olacaktır.

Kablolu enerji iletiminde harmonik gerilimler tepe gerilimleriyle orantılı olarak dielektriksel zorlanmayı artırır. Bu etki kablonun kullanım ömrünü kısaltır. Aynı zamanda hata seviyesini ve bu nedenle onarım masrafını artırır. Harmoniklerin korona başlangıcı ve sönme seviyeleri üzerindeki etkileri gerilimin tepeden tepeye değerinin bir fonksiyonudur. Tepe gerilimi, temel ve harmonik gerilim arasındaki faz ilişkisine bağlıdır [11].

6.2.5 Asenkron ve Senkron Makinelerde Mekanik Salınımlar

Her bir harmonik akım için asenkron makinenin eşdeğer devresi şekil 6.6' deki gibi çizilebilir. Bu devrede asenkron makinenin tüm parametreleri sargı akımlarının frekanslarına bağlıdır. Bir alternatif akım makinesinin statorundaki harmonik akımlar, örneğin, pozitif harmonik kaymaları s_n asenkron motor çalışmaya yol açar. Negatif yarım dalga harmonikleri zıt etkiye yol açmadığı sürece, bu motor çalışmada, bütün pozitif yarım dalga harmonikleri mil dönmesine yardımcı olacak şekilde mil momentini arttıracaktır.



Şekil 6.6 Asenkron makinenin harmoniklere ilişkin tek fazlı eşdeğer devresi

I_n harmonik akımının faz başına momenti, harmonik hızına bağlı olarak $I_n^2 (r'_{2n}/s_n)$ bağıntısıyla verilir. Temel hızda bu moment,

$$T_n = (I_n^2 / n) (r'_{2n} / s_n) \quad \text{senkron wat} \quad (6.32)$$

dir. Burada n moment doğrultusunu göstermektedir.

Eğer I_n ve r'_{2n} birim olarak ifade edilmişse, s_n yaklaşık 1.0 olduğu için yukardaki bağıntı

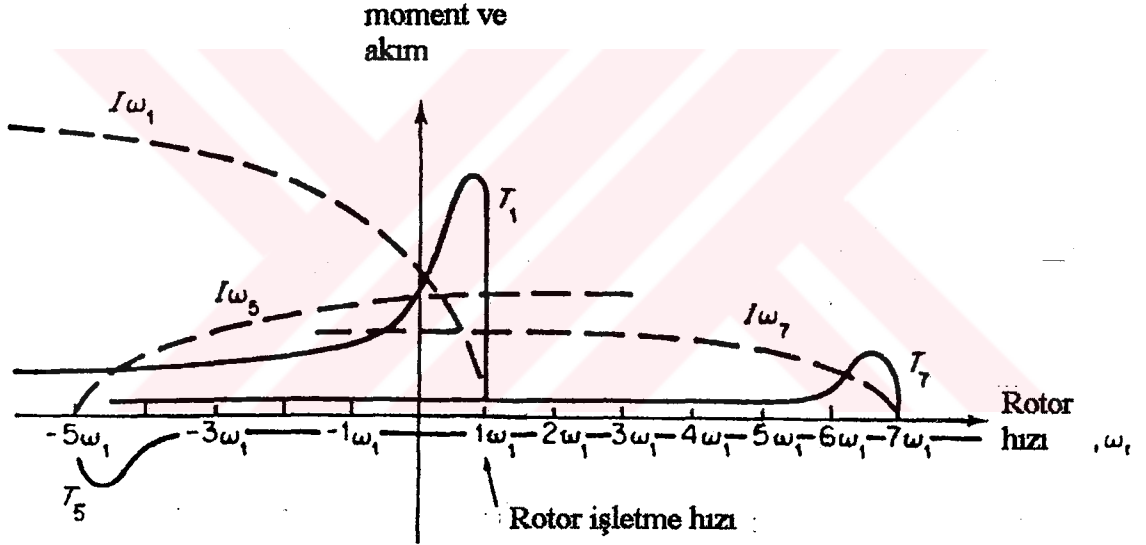
$$T_n = (I_n^2 / n) \cdot r'_{2n} \quad \text{p.u.} \quad (6.33)$$

olarak yazılabilir.

$V_n = I_n \cdot Z_n$ ve $Z_n \approx n \cdot X_1$ bağıntısını kullanarak, harmonik gerilimlere bağlı olarak moment aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T_n = (V_n^2 / n^3) (r_{2n}' / X_1^2) \quad (6.34)$$

Harmonik frekansların kayması hemen hemen momentlerle aynı olduğu için, pratikte birim sistemde harmonik akımlarının ürettiği momentler ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu etki şekil 6.6' da gösterilmiştir. Bu nedenle, çoğu zaman harmoniklerin ortalama momentler üzerindeki etkisi ihmal edilir.



Şekil 6.7 Rotor harmonik momentleri ve akımları

Harmoniklerin ortalama moment üzerindeki etkisi küçük olduğu halde, önemli moment darbeleri meydana gelebilir. Anma gerilimindeki moment darbelerinin genliği yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T_{3k} = \left[I_{n+}^2 + I_{n-}^2 - 2I_{n+} \cdot I_{n-} \cos(\phi_{n+} - \phi_{n-}) \right]^{1/2} \text{ p.u.} \quad (6.35)$$

Burada I_{n+} ve I_{n-} , birim değerleri; $n+$, $1+3k$. harmonik mertebelerini; ve $n-$, $1-3k$ harmonik mertebelerini göstermektedir. Bu ifade ile olası mil burulma titreşim problemlerinin ön hesaplanması mümkündür.

Örnek olarak 5. ve 7. harmonikler için sırasıyla 0.03 ve 0.02 p.u. makine akımlarına yol açan ve yaklaşık toplam harmonik distorsiyonu % 4 olan bir besleme gerilimini dikkate alalım. Eğer her iki harmoniğin faz açısı ayrıysa, 50 Hz frekans ve anma geriliminde çalışan bir makinede, momentin 300 Hz frekansında ve 0.01 p.u. genliğinde değişken bir bileşeni olacaktır. Eğer harmonikler zıt fazda ise momentin genliği 0.05 p.u. olacaktır [11].

6.2.6 Transformatörler

Harmonik gerilimler histerezis ve girdap akım kayıplarını artırır ve transformatörün izolasyonunu zorlar. Ayrıca, harmonik akımları bakır kayıplarını artırır. Filtreler normalde transformatörlerin primer tarafına bağlanır. Bu nedenle transformatörün çıkışındaki bir çevirici devresinin ürettiği harmonikler olduğu gibi transformatörden geçer. Filtreler, yalnızca harmoniklerin şebekeye geçmesini önler. Dolayısıyla 12 ve 24 darbeli çevirici devrelerinde kullanılan transformatörler başta olmak üzere bu tür çevirici devrelerinde kullanılan diğer transformatörler üzerinde harmonikler son derece önemli sorunlar oluşturur. Harmoniklerden dolayı, çeviricilerin bağlı olduğu transformatörlerin kazanlarının içinde çoğunlukla beklenmedik sıcak noktalar oluşur. Harmoniklerin güç transformatörlerindeki önemli etkilerinden biri de üçgen bağlı sargılarda sıfır sistem akımlarının dolaşmasıdır. Tasarım sırasında bu akımlara gerekli önem verilmediği zaman, sargılardan aşırı ilave akımlar geçebilir.

Diğer bir önemli sorun da, transformatörlerin dengesiz bir yükü beslemesidir. Yük akımı, D.A. bileşeni içeriyorsa, transformatör manyetik devresinin doymasının sonucunda A.A. uyarma akımına ait tüm harmonik bileşenlerin seviyesi önemli ölçüde artacaktır [11].

6.2.7 Bilgisayarlar

Hassas yüklerden biri olan bilgisayar sistemleri, yalnızca bozucu etkilerden etkilenmekle kalmayıp aynı zamanda birer bozucu etki kaynağıdır. Bilgisayarların

nolineer yük karakteristikleri, güç sistemlerinde anormal gerilim düşümleri, nötr iletkeninin aşırı yüklenmesi veya hat gerilim distorsiyonları gibi bozucu etkilere neden olabilmektedir.

Enerji sistemleri, kaliteli bir elektrik enerjisi sağlanmak üzere dizayn edilir. Bununla birlikte, bilgisayarların tam olarak problemsiz bir şekilde çalışması elektrik kurumu açısından mümkün değildir. Bilgisayar arızalarına yol açan problemlerin yapısı, şiddeti ve etki oranı bölgeden bölgeye farklılık gösterir.

Bununla birlikte, zayıf kaliteli güç bilgisayar arızalarının birçok nedenlerinden yalnızca bir tanesidir. Donanım problemleri, yazılım problemleri ve operatör hataları da aynı zamanda bilgisayar arızalarının nedenleri arasında sayılabilir. [4].



BÖLÜM 7

BOZUCU ETKİ MONİTÖRLERİ

Bir enerji hattının düzeltilmesi gerektiğinde herşeyden önce, bu hattaki bozucu etkilerin tesbit edilmesi gerekir. Enerji hattındaki bozucu etkilerin tesbit edilmesi için bazı sınırlandırmalar yapılır. Örneğin, şiddetli bozucu etkiler, seyrek olarak ya da belirli mevsim dönemlerinde ortaya çıkar. Bu nedenle herhangi bir bölgede güç bozucu etkisinin tam bir profilini elde etmek için sözkonusu bölgenin en az bir yıl izlenmesi gerekir.

Bu bölümde, bozucu etkiyi tesbit eden cihazlar ve özellikleri ele alınacaktır.

7.1 Bozucu Etki Monitörlerinin Gelişmesi

Tarihsel olarak ilk monitörler doğal olarak mevcut güncel yüklerdi. Ancak daha sonra nedeni bilinmeyen arızalar ve yanlış çalışmalarla karşılaşıldığı için kullanıcılar, güç kalitesini izlemeye başladılar. Temel frekansda güç kalitesinin izlenmesi elektrik kurumu tarafından uzun zamandır gerçekleştirilmekteydi. Fakat, 1960' ların başlarında mikrosaniye süreli büyük dalgaların tam olarak karakterize edilmesi için özel osiloskoplara ihtiyaç duyuldu. Gelecek 15 yıl süresince aşırı gerilimi tesbit etmek için, birleştirilmiş osiloskoplar ya da basit tepe değeri kaydeden osiloskoplar kullanıldı. 1970' lerde ticari amaçla üretilen sayısallaştırıcılar ortaya çıktı ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte hızlı sayısallaştırıcı devreler geliştirildi.

İlk saha çalışmaları genel olarak normal moddaki gerilim ölçmeleri ile sınırlandırılmıştı. Bu sınırlandırmanın nedeni ise, hatta bağlı hassas elektronik cihazlarda meydana gelebileceği düşünülen zararlardı. Kullanımı gittikçe yaygınlaşan zener diyotlar ya da metaloksit varistörler gibi kaskı koruma devrelerinde sapmaya uğrayan büyük dalgalar nedeniyle, uygun devre seçimi çok önemli bir konu haline gelmiştir.

Çok kanallı sayısallaştırıcı cihazların gelişmesi ile birlikte, yakın bir gelecekte normal moddaki gerilim ve akımın genel moddaki kadar iyi bir şekilde izlenmesi mümkün olacaktır.

Yeni izleme cihazları, genel mod bozucu etkilerinin bir türünü oluşturan nötr ve toprak iletkenleri arasındaki potansiyel farkları kaydetme olanağı sağlamaktadır [4].

7.2 Montörlerin Türleri

Bozucu etki parametrelerinin elde edilmesinde ilk olarak kullanılan cihazlar voltmetrelerdi. Bu cihazlar, gerilimin tepe değerini veya önceden belirlenmiş bir eşik geriliminin üzerindeki gerilim değeri gibi bir tek parametreyi kaydetmekteydi. Bozucu etkilerin değerlendirilebilmesi için gerilimin yanında zamanın da kaydedilmesi gerekir. Genel incelemelerde kullanılan cihazlar kaydetme işlevine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Eşik sayıcıları : Bu cihaz önceden belirlenen bir eşik değerinin aşıldığı anlarda bir sayıcının tetiklenmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu cihazların ilk tipleri analogdu. Fakat günümüzde çoğu dijitaldir.

Sayısal tepe kaydedicileri : Meydana gelen büyük dalganın daha sonra printerden çıktısını alabilmek veya tekrar izleyebilmek için söz konusu dalga tampon bellekte sayısal değerlere dönüştürülür. İlk kaydediciler yalnızca gerilim tepe değerini kaydetmekteydi. Daha sonra gelişmiş dalga şekli kaydedicilerinin ortaya çıkmasıyla büyük dalganın süresi de kaydedildi.

Kameralı osiloskop : Bu tür bir osiloskopta otomatik film sarmalı ve objektif kapağı olmayan bir fotoğraf makinesi bulunur. Büyük dalga meydana geldiği anda, osiloskobun CRT (katod ışınlu tüp) ünitesi tetiklenir ve bu suretle büyük dalganın fotoğrafı çekilerek kaydedilir.

Ekran saklama osiloskobu : Büyük dalga katod ışınlu tüpde izlenir ve aynı zamanda kaydedilir.

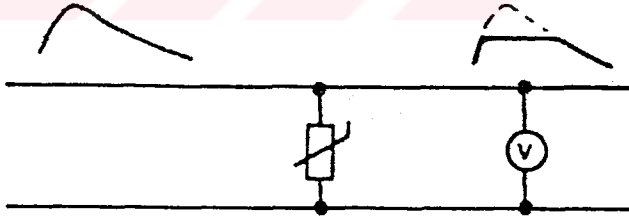
Sayısal saklama osiloskobu : Büyük dalga sayısallaştırılır ve önceden belirlenen eşik değeri aşıldığı anların daha sonra tekrar izlenmesi ve görüntülenmesi

için bir kayan saklayıcıda depolanır. Bu osiloskobun önemli bir diğer özelliği ise büyük dalganın başlangıcından önceki olayları da görüntüleyebilmesidir.

Sayısal dalga şekli kaydedici : Büyük dalga sayısallaştırılır ve sayısal saklama osiloskobuna benzer tarzda saklanır. Bu cihazların sayısal saklama osiloskobundan farkı, zamana bağlı olarak gerilimle ilgili çok çeşitli bozucu etki parametrelerini de kaydedebilmesidir [4].

7.3 Bozucu Etkilerin İzlenmesi

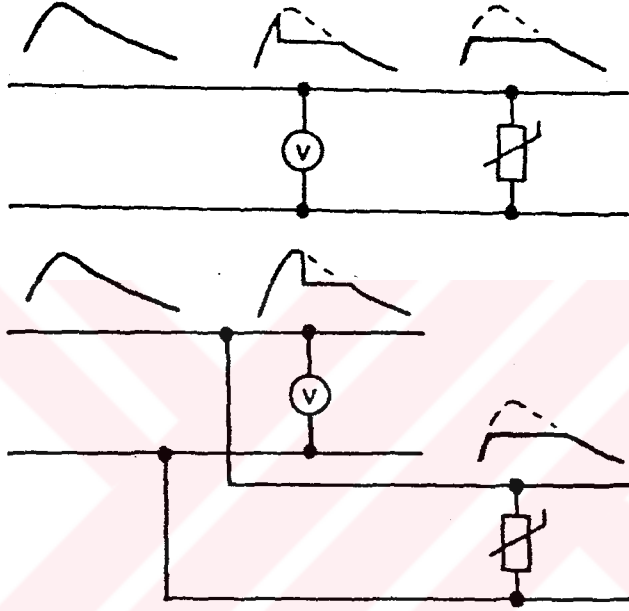
Bozucu etkilerin izlenmesiyle ilgili saha çalışmaları uzun süreli bir inceleme yapılmasını gerektirir. Ancak bu inceleme süresince şebekede yapılan düzenleme ve değişikliklerin dikkate alınması gerekir. Özellikle gittikçe daha fazla sayıda kullanılan büyük dalga koruma devreleri, ölçülen bozucu etkilerin dalga şeklini ve genliğini değiştirdiği için uzun süreli incelemelerde bu durumun dikkate alınması gerekir.



Şekil 7.1 Monitörün varistörün ters tarafına bağlanması

Şekil 7.1, ve 7.2' de görüldüğü gibi büyük dalga koruma devreleri, izlenen gerilimin hem genliğini ve hem de dalga şeklini değiştirir. Şekil 7.1' den de görülebileceği gibi, büyük dalganın meydana geldiği yer ile kaynak arasına yerleştirilen kaydedici cihaz ile varistörün kaskı gerilimi kaydedilecektir. Gerçek büyük dalgaya göre kaydedilen büyük dalganın genliği daha küçük fakat süresi daha uzun olacaktır.

Eğer kaydedici cihaz büyük dalganın meydana geldiği yer ile bir varistör arasına yerleştirilirse, kaydedici cihaz sivri uçlu bir dalga şekli kaydedecektir. Bu durum şekil 7.2' de görülmektedir [4].



Şekil 7.2 Monitörün varistör doğrultusunda bağlantısı

BÖLÜM 8

GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN AZALTILMASI

Güç kalitesini düzeltmek için değişik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler istenen amaca ve maliyete bağlı olarak çok büyük farklılıklar gösterir. Başka bir deyimle, güç sistemi problemlerinin çözümü için en az etkili ve en ucuz cihazlardan biri olan impuls bastırıcısından (impuls suppressor) en etkili ve de en pahalı kesintisiz güç kaynağına kadar çok çeşitli cihazlar kullanılır [6].

Endüstriyel ve ticari kuruluşlar, güç kalitesini düzeltmek için kesintisiz güç kaynağı sistemleri, büyük dalga bastırıcıları ve yalıtım transformatörleri gibi cihazları kullanır. Bununla birlikte, güç kalitesinin çok iyi olması için atılacak ilk adım genellikle özel koşullara bağlıdır. Bir bina içinde aynı hatta bağlı değişik elektriksel yükler arasında meydana gelen harmonik karışması gibi bazı problemler çok defa müşteri binasında son derece kolay bir şekilde çözülür. Yıldırım düşmesinin neden olduğu geçici enerji kesilmeleri veya dağıtım merkezlerindeki bağlama işlemleri gibi problemlerin elektrik kurumu tarafından düzeltilmesi ekonomik açıdan daha uygun bir çözümdür. Bu nedenle güç kalitesi problemlerinin çözülmesinde ekonomik koşullar da dikkate alınarak optimum çözüm sağlanmalıdır.

Güç kalitesi sorunları çözümlenirken aşağıdaki hususlarda dikkate alınmalıdır.

- i. Güç kalitesi problemleri konusunda daha fazla bilgi elde etmek,
- ii. Müşterilerini uyarmak üzere elektrik kurumlarının yeni analitik aletleri geliştirmesi,

Elektrik donanımının güvenilirliğine, yeterliliğine ve arızaların şiddetine bağlı olarak değişik hat düzeltme yöntemlerinden yararlanılabilir. Bu amaçla filtreli veya filtersiz aşırı akım kesicisi , yalıtım transformatörü, gerilim transformatörü, manyetik sentezleyici, motor generatör grubu veya kesintisiz güç kaynağı gibi cihazlar kullanılabilir

Güç kalitesi problemleri esas olarak radyo parazitleri, geçici olaylar, kesintiler, harmonikler gibi konulardan oluşmaktadır. En sık görülen güç bozucu etkileri arasında bilgisayarlarda donanım hasarı, sistem çöktürmeleri ve yöntem hataları gibi problemler sayılabilir [4].

Bu bölümde, güç kalitesi sorunlarının düzeltilmesi için kullanılan cihazlar ve yöntemler konusunda bilgi verilecektir.

8.1 Önlemler

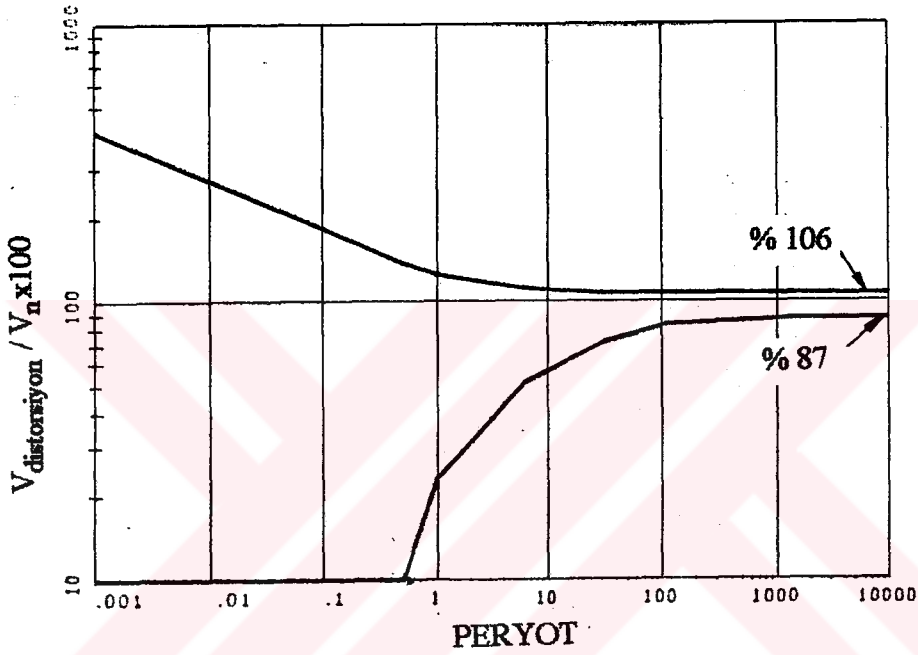
Güç kalitesi problemleri genel olarak meydana geldiği saha açısından iki gruba ayrılabilir. Birinci grup genellikle müşterilerin binalarında meydana gelen ve en uygun bir şekilde yine buralarda çözümlenebilen dalga şekli distorsiyonlarını içermektedir. İkinci grup, dağıtım sisteminden kaynaklanan gerilim çöktürmelerini ve enerji kesintilerini içermektedir. Bölüm 4 tablo 4.1' de bozucu etkilerin nedenleri ve sözkonusu bozucu etkiyi önlemek için şebeke ve müşteri tarafındaki çözümler gösterilmektedir.

Güç sistemi ile cihazların özellikleri arasındaki uygunluğa bağlı olarak güç kalitesi sorunlarının önlenmesi ile ilgili etkenler aşağıda üç madde halinde verilmiştir [3].

8.1.1 Bozucu Etki Geriliminin Düzenlenmesi

Bozucu etki tolerans eğrisi (Disturbance Tolerance Envelope -DTE), en çok kullanılan gerilim düzenleme eğrisidir. Şekil 8.1' de DTE' ye ait bir örnek verilmiştir. Şekil 8.1' de cihazların uygun çalışması için maksimum ve minimum gerilim/zaman kesiti gösterilmiştir. DTE' nin altında kalan ve güç sistemi bozucu etkilerine ait olan alanda, cihazların arıza yapması ya da hatalı çalışması gibi durumlar sözkonusudur. Bozucu etkilerin nedenleri, etkileri ve düzeltilmesi açısından gerilim bozucu etkileri en uygun biçimde kısmi peryot düzlemi ve tam peryot düzlemi olmak üzere iki ayrı grupta değerlendirilebilir. Şekil 8.2' deki DTE eğrisinde, kısmi peryot bölgesine ilişkin güç bozucu etkilerinin nedenleri, etkileri ve düzeltilmesine ait eğriler gösterilmiştir. Şekil 8.3' deki DTE eğrisinde ise, tam peryot bölgesine ilişkin bozucu etkilerin nedenleri, etkileri ve düzeltilmesine ilişkin eğriler gösterilmiştir. DTE eğrisinin dışında kalan bölgedeki problemlerin çözülmesi her zaman ekonomik değildir. Bununla birlikte, yıldırım düşmesi veya saatlerce süren kesintileri önlemek amacıyla, bir

işletmenin maliyeti çok yüksek olabilen koruma cihazlarını kullanması söz konusu olabilir. Bir endüstriyel veya ticari kuruluş yöneticisi ya bu problemleri olduğu gibi kabul edip bu doğrultuda çözüm geliştirir ya da yıldırım gibi olaylara karşı daha iyi bir koruma ve yüksek bir besleme güvenilirliği sağlamak üzere elektrik kurumu ile görüşerek bu sorunları en aza indirmeye çalışır [3].



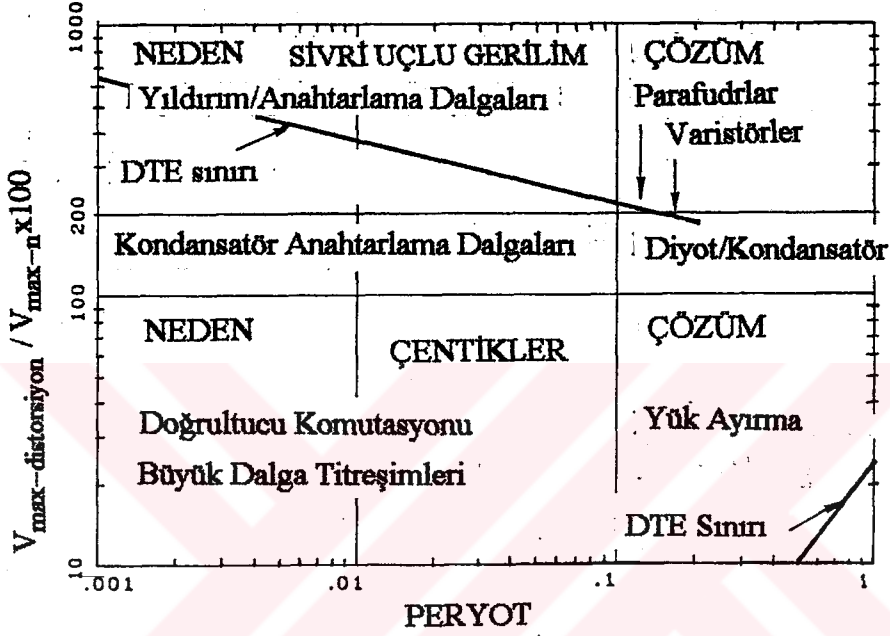
Şekil 8.1 Bilgisayar ve elektronik cihazların tasarlanmasındaki kriter

8.1.2 Akıma Bağlı Etkenler

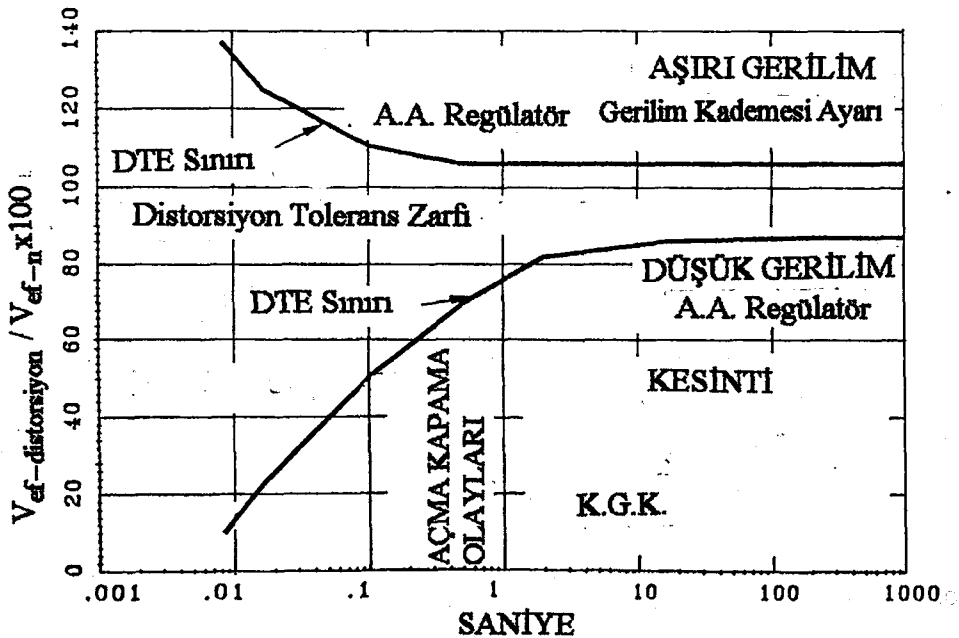
Aşağıdaki maddeler uygulanarak akıma bağlı etkenler önlenabilir.

- i. Transformator ve iletkenlerin belirli bir sınır değerin üzerinde sürekli distorsiyonlu akım taşımamasını önlemek,
- ii. Güç faktörü düzeltimi için daima ayarlı bir bobin kullanmak. Başlangıçta, belli bir baradaki harmonik üreten cihazlar için ilave bir masraf yapılması zorunlu olmasa bile, ileride harmonik üreten yüklerin çoğalması ayarlama özelliği olmayan kondansatörlerde problemler e neden olabilecektir.
- iii. Çok sayıda kişisel bilgisayarı ya da floresan lambaları besleyen üç fazlı dört telli sistemlerde, nötr iletkeni her üç harmoniğin bileşkesine göre

boyutlandırılmalıdır. İlave bir tedbir olarak, efektif akıma duyarlı bir nötr aşırı akım tertibatı kullanılabilir [3].



Şekil 8.2 Kısmi peryot durumunda distorsiyon nedenleri ve eğrileri



Şekil 8.3 Tam peryot durumunda distorsiyon nedenleri ve eğrileri

8.1.3 Topraklamaya Bağlı Etkenler

Aşağıdaki tedbirlerle topraklama problemleri önlenabilir.

- i. Tüm topraklamayı iyi bir şekilde tesis etmek ve bununla ilgili tüm yönetmelik ve kurallara uymak,
- ii. Birkaç metrenin üzerindeki iletişim sinyallerinde sinyal referansı olarak enerji sistemi güvenlik topraklamasını kullanmamak,
- iii. Mümkünse, bölgesel nötr topraklaması sağlamak amacıyla elektronik cihaz gruplarını bir yalıtım transformatöründen beslemek,
- iv. Özellikle binalar arasında birkaç metrenin üzerindeki sinyallerde optik yalıtım kullanmak [3].

8.2 Güç Kalitesini Geliştirmek İçin Kullanılan Cihazlar

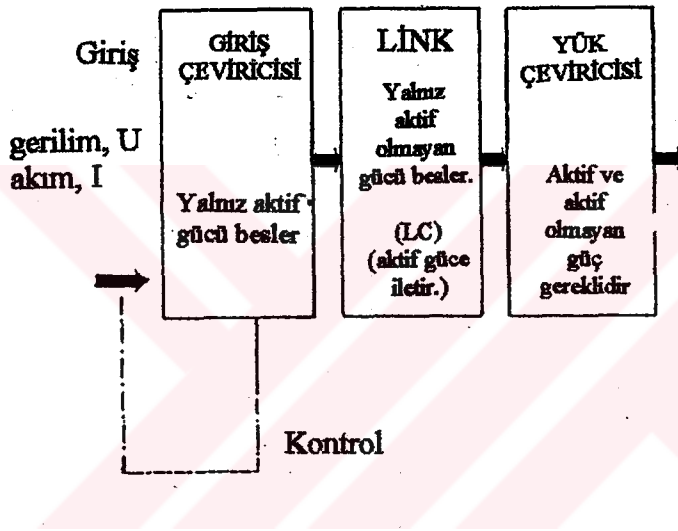
Harmonik distorsiyonlar, gerilim çöktürmeleri, enerji kesintileri, geçici aşırı gerilimler gibi farklı problemleri önlemek için değişik cihazlar kullanılır. Şebekeden kaynaklanan problemlerin genellikle elektrik kurumu tarafından, tüketiciden kaynaklanan harmonik distorsiyonları gibi problemlerin ise tüketici tarafından çözümlenmesi gerekir. Bu alt başlıkta bu amaçla kullanılan cihazlar anlatılacaktır.

8.2.1 Dinamik Giriş Filtreleri

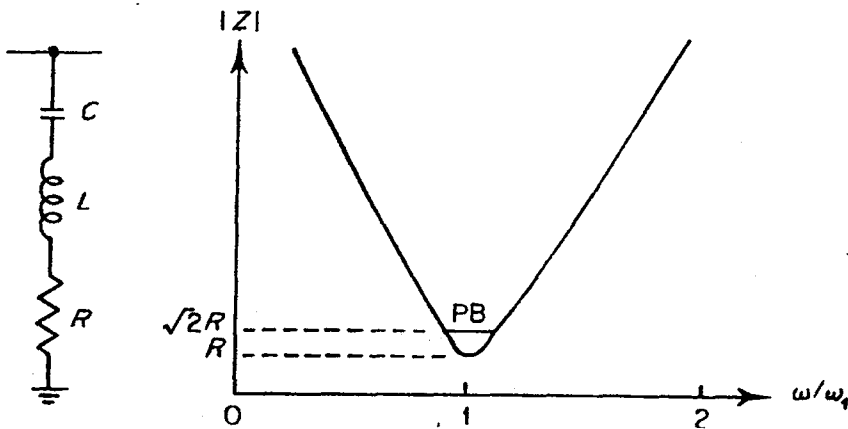
Yükün ihtiyaç duyduğu aktif olmayan gücü link içindeki (Şekil 8.4) kapasitif ve endüktif empedanslar veya yükün kendisi sağladığı için, giriş konverterleri yalnızca şebekeden çekilen aktif gücü kontrol eder. Bu temel kural, en küçük güçteki switch mod kaynaklarından, asansör hız denetim sürücülerinde kullanılan orta güçlü 3 fazlı konverterlere ve büyük güçlü lokomotiflere kadar değişik güç seviyelerindeki cihazlara doğru bir biçimde uygulanmalıdır. Küçük güçlerde maliyet ve devrenin kompleks oluşu kontrol ve konverterle ilgili problemleri ön plana çıkarırken, büyük güçlerde anahtarlama frekansının sınırlandırılması gibi problemler ön plana çıkmaktadır. Distorsiyonun yokedilmesi için kullanılan bu teknik genellikle yük ve uygulama amacıyla benimsendiği için, cihazın seçimi sistemin geliştirilmesi ve tasarımı sırasında yapılır. Mevcut kötü güç kalitesini düzeltmek için elektrik kurumunun böyle bir sistemi kurması zorunlu değildir [12].

8.2.2 Filtreler

Büyük güçteki harmonik üreten yüklerin bulunduğu sistemlerde güç faktörünü düzeltmek için kullanılan paralel kondansatörler nedeniyle rezonans olayları meydana gelir. Çözüm olarak genellikle ayarlanabilme özelliği olan bir reaktörün kondansatöre seri olarak bağlanmasıyla oluşan filtre sistemleri kullanılır. Şekil 8.5' de, bir tek frekansa ayarlanan ve ayarlandığı frekansta çok yüksek admitansa sahip olan basit bir ayarlı filtre devresi verilmiştir [11].



Şekil 8.4 Güç şebekesindeki distorsiyonu yok eden giriş konverterinin prensip şeması



Şekil 8.5 Şönt filtre devresi ve filtre empedansının frekansa göre değişimi

8.2.2.1 Ayarlı Filtreler

Sistemde yok edilmesi istenen her bir harmonik frekansı için ayrı bir filtre devresi kullanılır. Her bir filtre ayarlandığı frekansta kısa devre göstererek harmonikleri yokeder. Filtrelerde küçük endüktanslı reaktörler ve yüksek kapasiteli kondansatörler kullanıldığı için bu devreler aynı zamanda kompanzasyonda görevini üstlenir. Reaktörler nedeniyle harmonik akımlarının tümü kondansatör üzerinden geçemeyeceğinden şebekenin gerilim dalga şekli bir miktar bozulur. Ancak bozulma büyük çapta olmadığından sistemdeki diğer cihazları pek etkilemez. Bu tip filtrelerin diğer bir sakıncası da şebeke üzerinden alçak frekanslı kontrol ve kumanda sistemlerinde sözkonusu sinyallerin genliklerini önemli ölçüde etkilemesidir. Daha çok toplam yükünün %20' sinden fazlası doğrultuculardan oluşan işyerlerinde bu tip filtrelerin kullanılması uygundur.[9], [12], [13]

Rezonans frekansında empedansı R' ye eşit olan şekil 8.5' deki RLC filtre devresinin empedansı

$$Z_f = R + j \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right) \quad (8.1)$$

olacaktır. R, L ve C elemanlarının seçiminde iki parametre dikkate alınır. Bu iki parametre kalite faktörü Q ve bağlı frekans sapması δ dır. Filtre empedansını Q ve δ 'ya göre ifade etmek için,

$$\omega = \omega_n \cdot (1 + \delta) \quad (8.2)$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (8.3)$$

$$X_0 = \omega_n \cdot L = \frac{1}{\omega_n \cdot C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8.4)$$

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (8.5)$$

$$C = \frac{1}{\omega_n \cdot X_0} = \frac{1}{\omega_n \cdot R \cdot Q} \quad (8.6)$$

$$L = \frac{X_0}{\omega_n} = \frac{R \cdot Q}{\omega_n} \quad (8.7)$$

denklemleri kullanılır. (8.2), (8.6), (8.7) denklemleri (8.1)'de yerine konursa,

$$Z_f = R \cdot \left(1 + j \cdot Q \cdot \delta \cdot \left(\frac{2 + \delta}{1 + \delta} \right) \right) \quad (8.8)$$

bulunur.

Bağıl frekans sapması δ , 1'in yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu için denklem daha basit hale gelir.

$$Z_f \approx R \cdot (1 + j \cdot 2 \cdot \delta \cdot Q) = X_0 (Q^{-1} + j \cdot 2 \cdot \delta) \quad (8.9)$$

$$Z_f \approx R \cdot (1 + 4 \cdot \delta^2 \cdot Q^2)^{1/2} = X_0 \sqrt{(Q^{-2} + 4 \cdot \delta^2)} \quad (8.10)$$

Pratikte filtre tasarımında empedanslar yerine admitansları kullanmak daha çok tercih edilir. Filtre değerleri admitansa göre ifade edilirse

$$Y_f \approx \frac{1}{R \cdot (1 + j \cdot 2 \cdot \delta \cdot Q)} = G_f + j \cdot B_f \quad (8.11)$$

$$G_f \approx \frac{Q}{X_0 \cdot (1 + 4 \cdot \delta^2 \cdot Q^2)} \quad (8.12)$$

$$B_f \approx \frac{2 \cdot \delta \cdot Q^2}{X_0 \cdot (1 + 4 \cdot \delta^2 \cdot Q^2)} \quad (8.13)$$

Filtrenin uçlarındaki gerilim

$$V_n = \frac{I_n}{Y_{nf} + Y_{sn}} = \frac{I_n}{Y_n} \quad (8.14)$$

dir. (8.14) denkleminde de görüldüğü gibi gerilim distorsiyonunun minimum olması için enerji sistemine paralel bağlı filtrenin admitansının artırılması gereklidir. Kesin

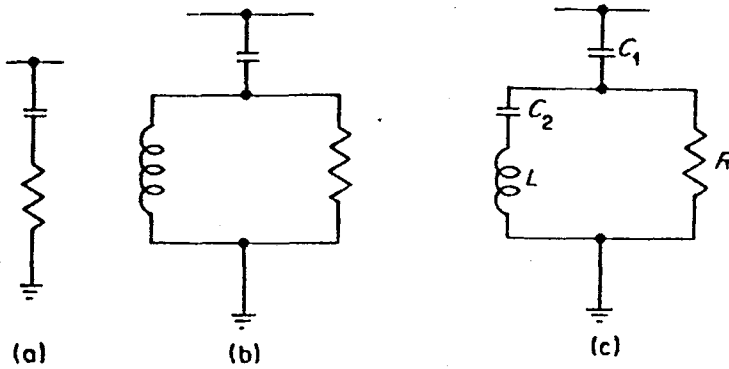
değerleri bilinmeyen değişkenler için en kötü durumdaki değerler seçilerek maksimum V_n belirlenir.

8.2.2.2 Sönümlü Filtreler

Sönümlü filtrelerin ayarlı filtrelere göre bazı üstünlükler vardır. Bunlar sırasıyla;

- i. Sıcaklık değişimi, frekans sapması, filtre elemanlarının toleransları ve kondansatörlerdeki kayıplardan daha az etkilenirler.
- ii. Geniş bir harmonik frekansında düşük empedans gösterdiği için daha iyi filtreleme sağlarlar.
- iii. Genellikle düşük frekansa ayarlı filtrelerde, ayarlanan frekansın altındaki değerlerde hatalar meydana gelir.

Şekil 8.6' da değişik sönümlü filtre tipleri gösterilmiştir [11].



Şekil 8.6 Yüksek geçiren sönümlü filtreler

- a. Birinci dereceden geçiren filtre
- b. İkinci dereceden geçiren filtre
- c. C tipi filtre

8.2.2.3 Filtre Tasarımı

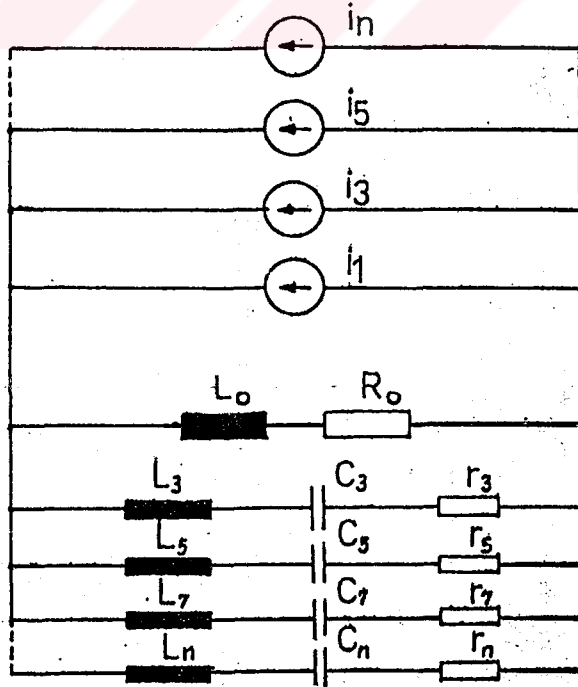
Filtre devrelerindeki kondansatörlerin kapasitesi endüktif yükün gücüne göre seçilir. Pratikte reaktörlerin reaktansı kapasite reaktanslarının % 6-% 7' si oranında seçilir. Buna boğma çarpanı denir. Bu durumda rezonans frekans oranı

$$n = \frac{f_r}{f_n} = \frac{10}{\sqrt{6} \approx 7} \quad (8.15)$$

dir. Burada; f_N şebeke frekansı, f_r seri rezonans frekansıdır.

$p=6\%$ seçilirse $n=4.08$ olur ve 50 Hz şebeke frekansında $4.08 \cdot 50 = 204$ Hz dir.

Yokedilmesi istenen her bir harmonik için ayrı bir filtre devresi kullanılır. Şekil 8.7' de bu tip filtre devresinin eşdeğer şeması gösterilmiştir.



Şekil 8.7 Harmonik tasarımı için kullanılan eşdeğer devre

Eşdeğer devrede L_n , C_n ve r_n ile elde edilen seri devre, k . filtre devresini oluşturmaktadır. Her seri filtre devresi, ilişkin frekansındaki harmoniği süzmek için kullanılmaktadır. Böyle bir sistemin bir transformatör üzerinden şebekeye bağlanması durumunda şebekenin empedansını da hesaba katmak gereklidir. Şebeke elemanları $R_0 - L_0$ ile gösterilecektir. Filtre devresinin admitansı Y_n ile gösterilirse, filtre devrelerinin toplam admitansı için, $n=2k+1$, $k=1,2,3,\dots$ olmak üzere

$$Y = Y_3 + Y_5 + Y_7 + \dots + Y_n + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} Y_{2k+1} \quad (8.16)$$

yazılabilir. Öte yandan

$$Z_0 = R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0 \quad (8.17)$$

$$Z_3 = j \cdot \omega \cdot L_3 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3} + R_3$$

$$Z_5 = j \cdot \omega \cdot L_5 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_5} + R_5 \quad (8.18)$$

$$Z_n = j \cdot \omega \cdot L_n + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_n} + R_n$$

bağıntıları ile, (8.17)'den

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = \frac{R_0}{R_0^2 + \omega^2 \cdot L_0^2} + j \frac{-\omega \cdot L_0}{R_0^2 + \omega^2 \cdot L_0^2} \quad (8.19)$$

ve (8.22)'de Z_n bağıntısından,

$$Y_n = \frac{1}{Z_n} = \frac{R_n}{R_n^2 + \left(\omega \cdot L_n - \frac{1}{\omega \cdot C_n} \right)^2} + j \frac{\left(\frac{1}{\omega \cdot C_n} - \omega \cdot L_n \right)}{R_n^2 + \left(\omega \cdot L_n - \frac{1}{\omega \cdot C_n} \right)^2} \quad (8.20)$$

elde edilir. Burada Y_0 şebekenin admitansı, Y_n ise k. filtre devresinin admitansıdır.

$$Y_0 = \text{Re}(Y_0) + j\text{Im}(Y_0)$$

$$Y_n = \text{Re}(Y_n) + j\text{Im}(Y_n) \quad (8.21)$$

Yukardaki bağıntıdan tüm filtre devrelerin toplam admitansı için

$$Y = \sum_{n=1}^{\infty} Y_n = \text{Re}(Y) + j\text{Im}(Y) \quad (8.22)$$

bulunur. Y ve Y_0 ' in toplamı ise toplam admitans

$$Y_g = Y + Y_0 = \text{Re}(Y + Y_0) + j\text{Im}(Y + Y_0) \quad (8.23)$$

bağıntısını verir. Buradan toplam empedans

$$Z_g = \frac{1}{Y_g} = \frac{1}{\text{Re}(Y + Y_0) + j \cdot \text{Im}(Y + Y_0)} \quad (8.24)$$

ifadesinden

$$Z_g = \frac{\text{Re}(Y + Y_0)}{\text{Re}(Y + Y_0)^2 + \text{Im}(Y + Y_0)^2} + j \frac{-\text{Im}(Y + Y_0)}{\text{Re}(Y + Y_0)^2 + \text{Im}(Y + Y_0)^2} \quad (8.25)$$

elde edilir.

Filtre devreleri harmonik akımlarını iyilik katsayılarına göre süzerler. Filtre devreleri ideal bir şebekeye bağlı değilse, bu durumda iyilik katsayısının yanında S süzme katsayısı oranında harmonikler şebekeye yansır. Süzme katsayısı, harmonik frekansta toplam empedans Z_g 'nin filtre devrelerinin toplam empedansına oranı olarak,

$$S = \left| \frac{Z_g}{Z} \right| \quad (8.26)$$

tanımı ile

$$S = |Z_g \cdot Y| = |\operatorname{Re}(Z_g) + j\operatorname{Im}(Z_g) \cdot \operatorname{Re}(Y) + j\operatorname{Im}(Y)| \quad (8.27)$$

$$S = |(\operatorname{Re}(Z_g)\operatorname{Re}(Y) - \operatorname{Im}(Z_g)\operatorname{Im}(Y)) + j(\operatorname{Re}(Z_g)\operatorname{Im}(Y) + \operatorname{Re}(Y)\operatorname{Im}(Z_g))| \quad (8.28)$$

filtre devrelerinin herbirinin, şebekenin etkisini de dikkate alınarak süzebilme özelliği için bir ölçüdür. Buradan şebekenin filtre devrelerine etkisi belirlenebilir.

Filtre devrelerinde kullanılan kondansatörler arasındaki

$$C_0 = C_3 + C_5 + \dots C_n \quad (n = 2k + 1, k = 1, 2, \dots) \quad (8.29)$$

bağıntıdan, harmonik akımların temel bileşene göre maksimum genliklerini % olarak N_n ile gösterilirse, filtre devreleri için kondansatör eleman değerleri

$$C_n = N_n \cdot C_0 \quad (8.30)$$

ile belirlenir. k . filtre devresine ait endüktans elemanlarının değerleri ise

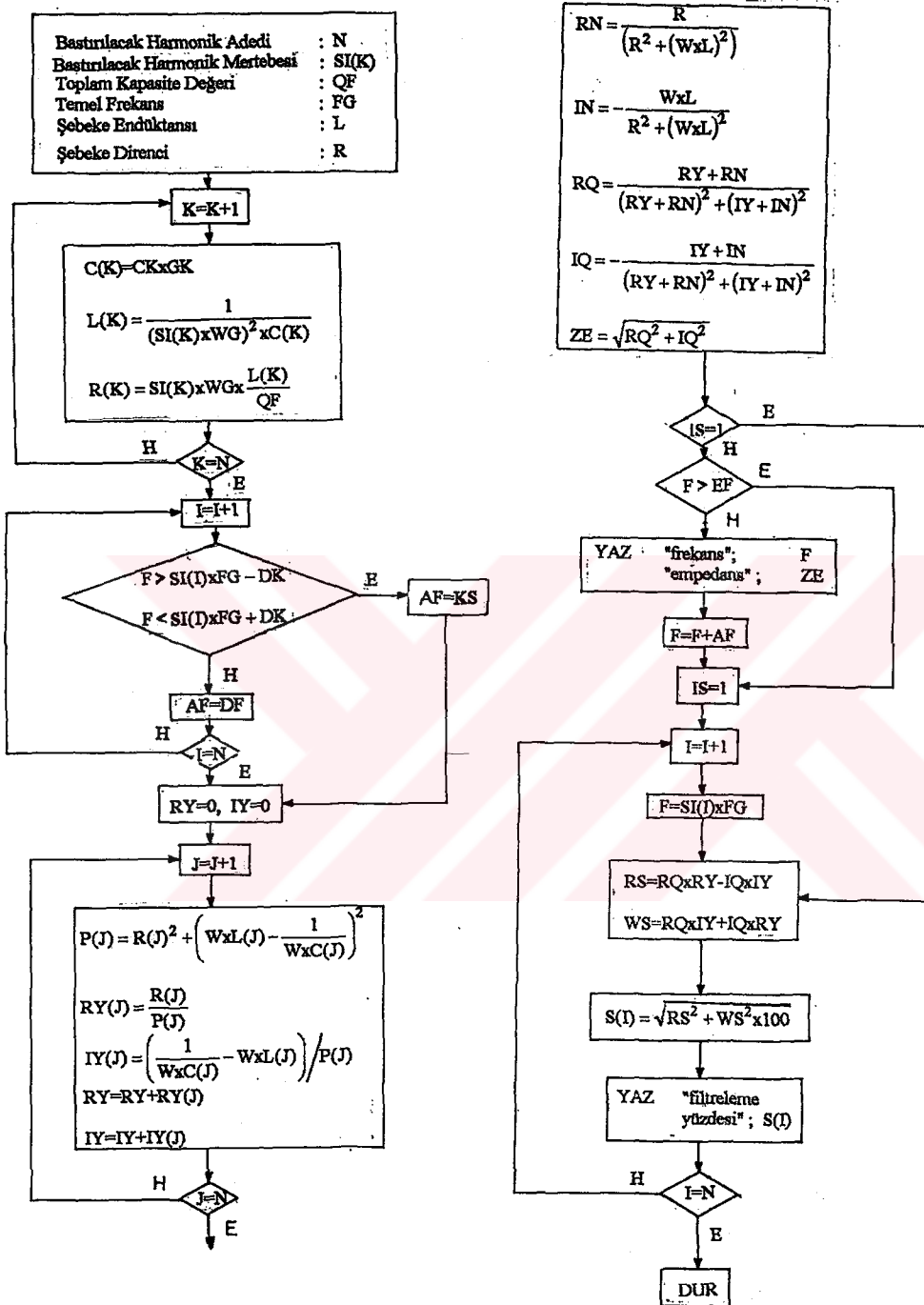
$$L_n = \frac{1}{(n \cdot \omega)^2 \cdot C_n} \quad (n = 3, 5, 7, \dots) \quad (8.31)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Her bir filtre devresinin iyilik katsayısı ise,

$$Q_n = \frac{n \cdot \omega \cdot L_n}{r_n} \quad (8.32)$$

bağıntısı ile bulunur [13].

Bu bölümde bulunan ifadeler kullanılarak filtre devresi tasarımı yapan bir bilgisayar programı ekte verilmiştir. Bu programda yok edilmesi istenen harmonik mertebeleri, filtre sayısı, şebeke empedansı, harmonik akımların ağırlıkları ve C_0 değerinden hareketle filtre elemanları boyutlandırılmaktadır. Şekil 8.8' de bu programa ilişkin akış şeması verilmiştir.



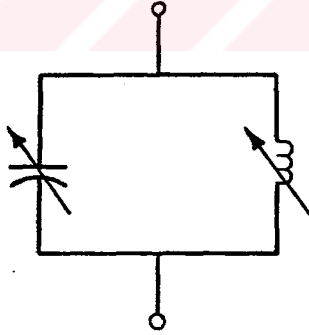
Şekil 8.8 Harmonik yokeden filtrenin akış şeması

8.2.3 Dinamik Filtre

Dinamik filtreler subcycle ve intracycle distorsiyonların neden olduğu kötü güç kalitesini düzeltme olanağı sağlayan devrelerdir. [12].

8.2.3.1 Statik VAR Kompanzasyonu

Çok değişik tipde statik VAR kompanzatörleri mevcuttur. İdeal bir kompanzatör, sürekli reaktif güç ayarlaması yapabilen, yanıt gecikmesi olmayan ve sonsuz bir aralıkta çalışabilen bir cihaz olarak düşünülebilir. Şekil 8.9 'da ideal bir kompanzatör görülmektedir. Bu kompanzatör ayarlanabilen reaktör ve kondansatörden meydana gelir. Bir statik VAR sistemi, kompanzatörlü ve aynı zamanda mekanik anahtarlama paralel kondansatör grubundan oluşur. Statik VAR kompanzatörleri mekanik anahtarlama şönt kondansatörler ve reaktörlere göre yüksek yanıt hızı nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Statik VAR kompanzatörünün prensip şeması şekil 8.10' da verilmiştir [12],[14].



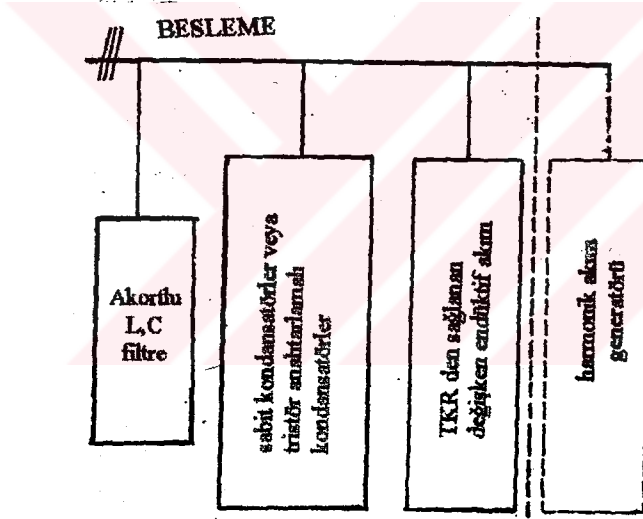
Şekil 8.9 İdeal statik güç kompanzatörü

Bu sistemin hızlı ve sınırsız gerilim ayarı, geniş bir bölgede geçici olaylardan bağımsız olması gibi üstünlükleri vardır. Fakat bu cihazlar subcycle gibi kısa sürelerde reaktif güç ihtiyacını pasif bir kaynak gibi karşılayarak gerilim regülasyonunu sağlamaktadır. Gerilim eğik bir karakteristikle ayarlanır. Eğik karakteristik sürekli hal kazancına olarak sağlar ve kontrol alanı genellikle %1-5 arasındadır. En üst sınırdaki statik VAR kompanzatörü paralel bir kondansatör grubu olarak çalışır. Statik VAR kompanzatörlerinin en önemli özelliği güç sistemindeki

reaktif güç ihtiyacını sürekli karşılayarak uç gerilimini sürekli sabit tutmasıdır. İkinci önemli özelliği ise yanıt hızıdır. Kompanzatorün reaktif gücü, uç gerilimindeki küçük bir değişikliğe hızlı yanıt verecek şekilde değişmelidir [15].

Başlıca statik VAR sistemleri şunlardır [14].

- i. Tristör kontrollü reaktör (TKR)
- ii. Tristör anahtarlama kondansatör (TAK)
- iii. Tristör anahtarlama kondansatör ve tristör kontrollü reaktör (TKR-TAK)
- iv. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör (TKR-SK)

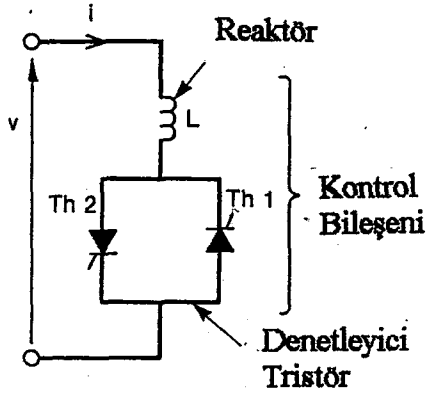


Şekil 8.10 Statik VAR kompanzatorünün prensip şeması

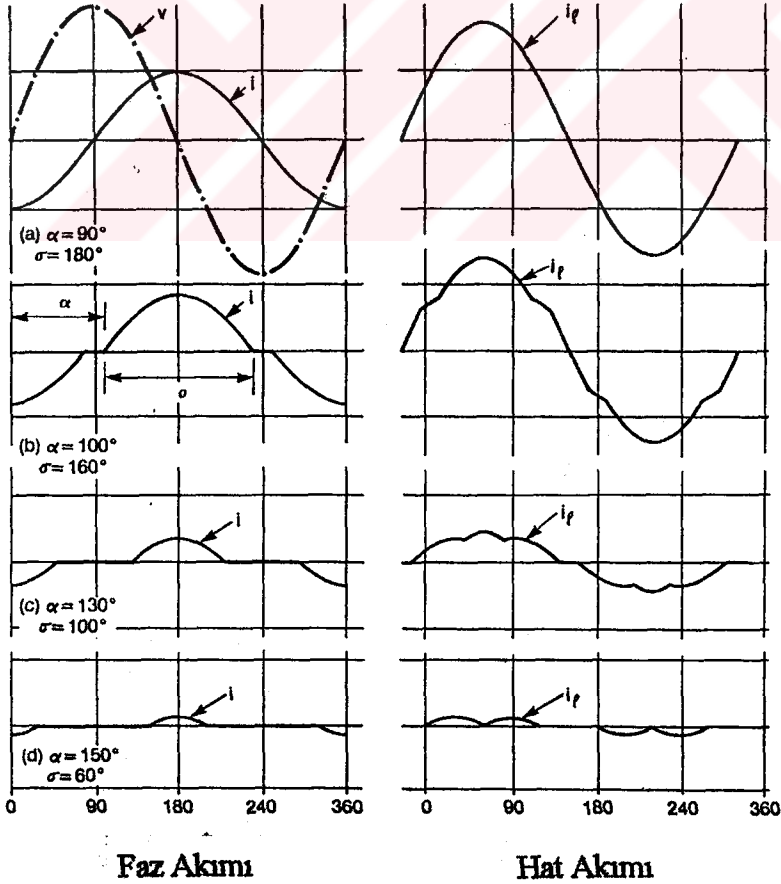
Tristör Kontrollü Reaktör :

Tristör kontrollü reaktörün prensip şeması şekil 8.11' de verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi tristörler birbirlerin ters yönde yerleştirildiği için her bir tristör besleme geriliminin yarım periyodunda iletimde kalır. Eğer tristörler gerilimin maksimum olduğu noktada tetiklenirse, reaktörler sürekli iletimde kalacaktır. Bu özel durumda akım dalga şekli, tristörler kısa devre edildiği durumla aynıdır. Akım temel olarak reaktifdir ve gerilimden yaklaşık 90° derece geridedir. Tetikleme açılarına göre akım dalga şekilleri şekil 8.12' de gösterilmiştir. Ateşleme açısı 90° olduğu zaman

tristörler tam iletimde bulunur. Tetikleme açısının artmasıyla akımın temel harmonik bileşeni azalır. Bunun sonucunda reaktörün endüktansı artar ve aynı zamanda reaktif güç ve akım azalır.



Şekil 8.11 Tristör kontrollü reaktör



Şekil 8.12 Üçgen bağlı TKR'de akım dalga şekilleri ve faz açısı

i akımının ani değeri,

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{X_L} (\cos \alpha - \cos \omega t), \quad \alpha < \omega t < \alpha + \sigma \quad (8.33)$$

$$i = 0 \quad \alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi \quad (8.34)$$

dir. Burada V, efektif gerilim; $X_L = \omega \cdot L$, ohm olarak reaktörün temel frekansdaki reaktansı; α tetikleme açısıdır. Akımın temel bileşeni Fourier analiziyle hesaplanır. Fourier analizi ile

$$I_1 = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi \cdot X_L} V \quad A \quad (8.35)$$

elde edilir. Burara σ iletim açısıdır. α ile σ arasında

$$\alpha + \sigma/2 = \pi \quad (8.36)$$

bağıntısı vardır.

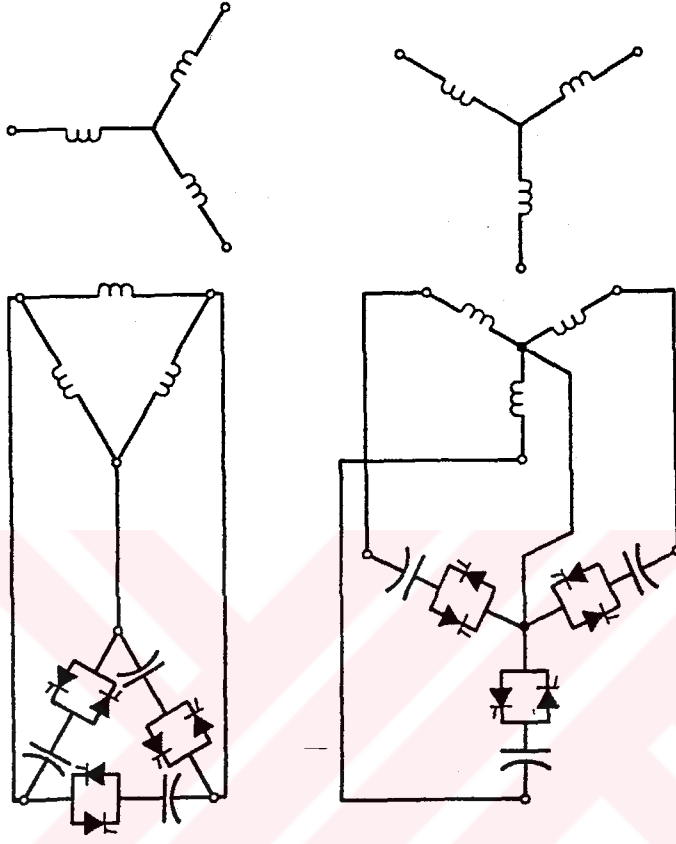
Tristör Anahtarlamaalı Kondansatör :

Tristör anahtarlamaalı kondansatörün temel prensip şeması şekil 8.13' de gösterilmiştir. Pratikte yüksek di/dt yi önlemek için tristöre seri bir endüktans bağlanır. Devrenin direnci çok küçük olduğundan ve gerilimin ve akımın tepe değerine önemli bir etkisi olmadığı için genellikle hesaplamalarda ihmal edilir. Endüktans ve kapasitansın varlığı geçici osilasyonlar oluşturur.

Tristör anahtarlamaalı kondansatör devresi için,

$$V = L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (8.37)$$

denklemi yazılabilir.



Şekil 8.13 Değişik tristör anahtarlmalı kondansatörler

Laplas transformu ile gerilim denklemi

$$V(s) = \left(Ls + \frac{1}{Cs} \right) \cdot Is + \frac{V_{c0}}{s} \quad (8.38)$$

olur. Laplas transformu çözüldüğünde

$$i = V \cdot \omega \cdot C \cdot \left(\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2} (\cos \omega t - \cos \omega_0 t) \right) + I_0 \cos \omega_0 t \quad (8.39)$$

bulunur. Burada $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ doğal frekanstır.

Akımın kararlı ifadesi ise

$$i = V_m \frac{n^2}{n^2 - 1} \omega \cdot C \cdot \cos \omega t \quad (8.40)$$

olarak verilebilir. Bu denklemde $n = \sqrt{X_C/X_L} = 1/\sqrt{\omega^2 L \cdot C}$ dir [14].

8.2.3.2 PWM

Modern güç yarıiletken teknolojisi ile yapılabilen darbe genişlik modüleli güç elektroniği konverterleri, güç sistemlerindeki distorsiyon kompanzasyonuna yeni bir boyut getirmektedir. Şekil 8.14.a, şebekeye seri bağlı ve gerilim kaynağı olarak davranan dinamik filtreyi göstermektedir. Şekil 8.14.b, ise şebekeye paralel bağlı ve akım kaynağı olarak davranan dinamik filtreyi göstermektedir.

PWM tekniği ile bir i_c akım kaynağı oluşturmak ve genel bağlantı noktasına (PCC) bu akıma iletmek mümkündür.(Şekil 8.14.a)

$$i_s = i_c + i_L \quad (8.41)$$

ve kontrol yasası ile

$$i_s = i_a \quad (8.42)$$

Eğer i_a aktif akım ise ve şebeke gerilimi U_s sinüsoidal ise, U_{pcc} geriliminin sinüsoidal dalga şeklinde kontrol edilebilir.

Eğer besleme geriliminin efektif değeri U_s ile ve akımların efektif değerleri I_c ve I_L ile verilirse PF' in anma değeri

$$S_{PF} \approx U_s \cdot I_c \quad (8.43)$$

dir.

Distorsiyonun intra-cycle kompanzasyonu durumunda

$$I_c \ll I_L \quad (8.44)$$

$$S_{PF} \ll S_L \quad (8.45)$$

olarak ifade edilebilir.

Diğer yandan, bir U_c gerilim kaynağı uygun bir PWM devresi ile birleştirildiği zaman ve U_{PCC} 'nin sinüsoidal olduğu kontrol yasasıyla

$$U_{PCC} = U_c + U_L \quad (8.46)$$

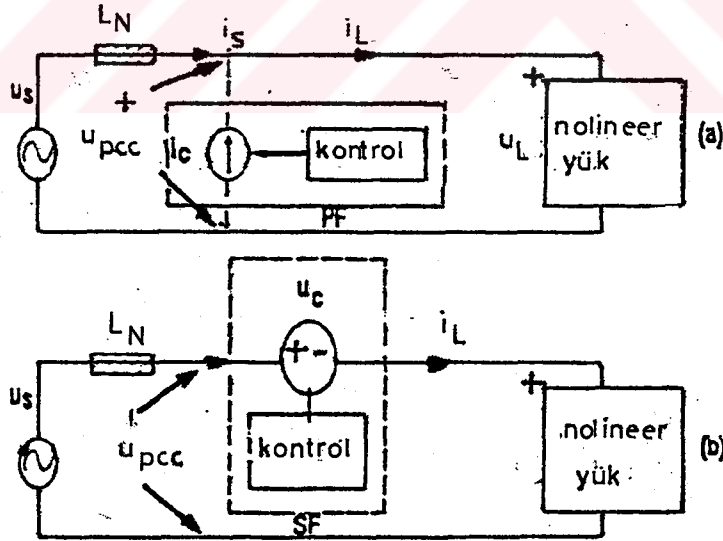
olduğundan yine

$$i_s' = i_s \quad (8.47)$$

bulunacaktır. Daha önceki anma değerlerine göre $S_{SF} \ll S_L'$ ve $U_c \ll U_s$ olması için

$$S_{SF} \ll (U_c \cdot I_L') \quad (8.48)$$

olacaktır.



Şekil 8.14 PWM konverterler kullanılarak gerçekleştirilen dinamik filtreler

- a. paralel filtre (PF) şeması
- b. seri filtre şeması (SF)

Intra-cycle distorsiyon kompanzasyonunda PF ve SF' in anma değeri, yükün görünür gücünden çok daha küçük olacaktır. Paralel filtre durumunda, gerilim şebeke

gerilimine eşittir, fakat akım değeri şebekeden çekilen akımdan çok küçüktür. Seri dinamik filtre durumunda ise, filtreden anma yük akımı geçtiği halde filtre üzerindeki gerilim düşümü çok küçük olur. Bu nedenle, temel anma değerleri açısından, dinamik filtreler giriş çeviricileri yöntemine göre daha kullanışlıdır. Bu bakımdan, dinamik filtreler hem başlangıç ve hem de işletme yatırımı açısından dinamik giriş çeviricilerine göre daha avantajlıdır [12].

8.2.3.3 Karma Kompanzasyon

Güç kalitesini geliştirmek amacıyla değişik temel düşüncelerin bir araya getirilmesiyle, şekil 8.15' de gösterilen temel karma kompanzasyon kavramı ortaya çıkmaktadır.

Bu yapıda aşağıda verilen bir çok durumun dikkate alınması gereklidir.

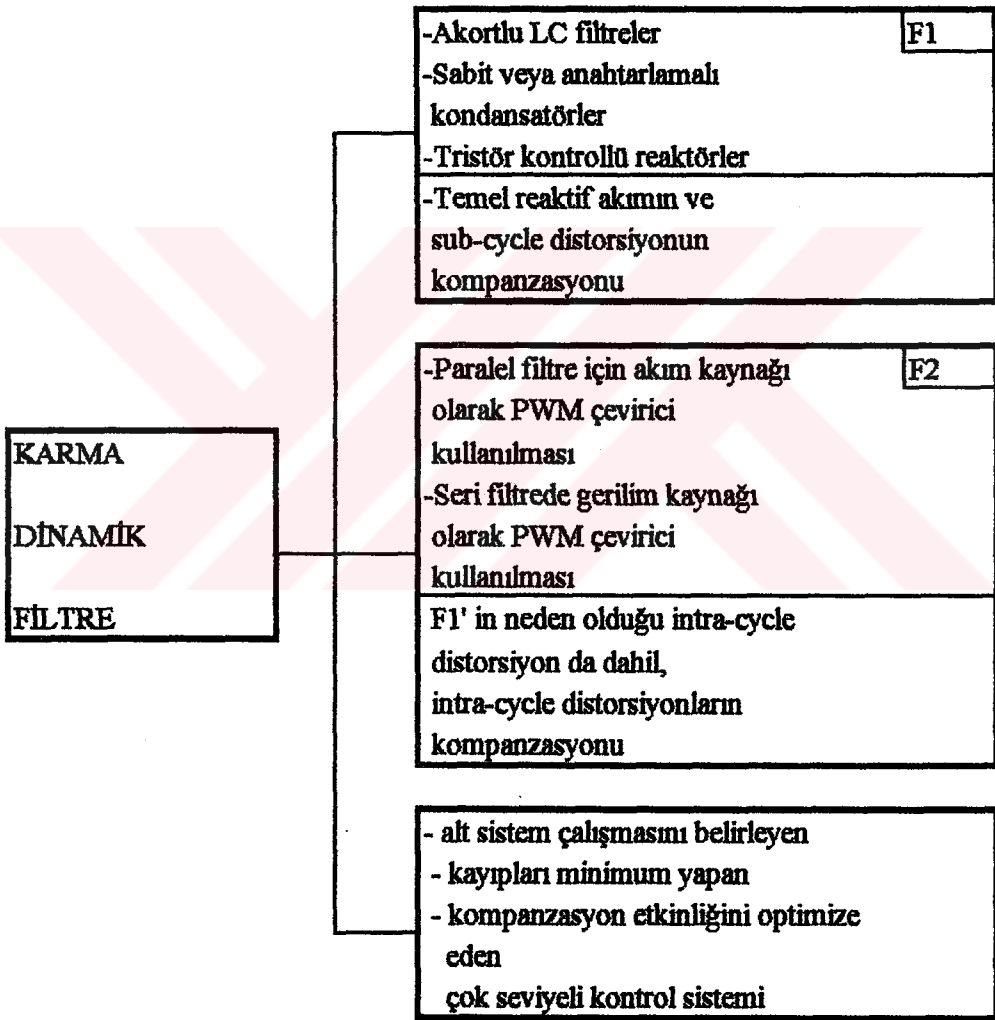
- i. Intra-cycle ve sub-cycle distorsiyonlar genellikle şebekede eşzamanlı olarak meydana gelir.
- ii. Q_1 reaktif gücü dikkate alındığı zaman, statik VAR kompanzatörlerinin ve PWM filtrelerinin kVAR başına maliyeti farklıdır.
- iii. Her iki tip aygıtın farklı yanıt zamanları, dinamik yanıt kontrol optimizasyonuna olanak sağlamaktadır.
- iv. Genellikle şebekelerde, halihazırda statik VAR kompanzatörleri mevcuttur. Fakat intra-cycle distorsiyonu kompanze edecek yükdek hızlı yanıt verecek tedbirlerin alınması gereklidir.
- v. Hibrid filtre kompanzasyonu, minimum kompanzasyon durumunda gereğinden fazla bazı gereksinimleri de karşılamaktadır [12].

Paralel Kondansatörlü TKR :

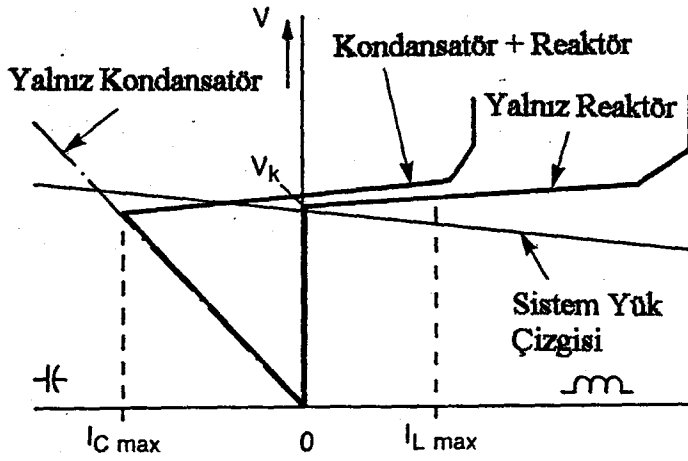
TKR' nin akımı 0 ve maksimum değer arasında basamaksız ve sürekli olarak ayarlanabilir. Sürekli reaktif güç çekildiği için akım daima geridedir. Şekil 8.16' dan da görülebileceği gibi, TKR' ye kondansatör eklendiği zaman akım endüktif veya kapasitif olabilir. Üç fazlı bir sistemde şekil 8.17' deki yıldız bağlı kondansatörlerle oluşturulan düzen uygulamalarda tercih edilmektedir. Şekil 8.16' daki temel pozitif akım yarım dalga bileşenini göstermektedir. Eğer bu akım I_{Cmax} ve I_{Lmax} arasında bulunuyorsa, kontrol karakteristiği

$$V = V_k + j \cdot X_s \cdot I_1 \quad 0(I_1(I_{\max} \quad (8.49)$$

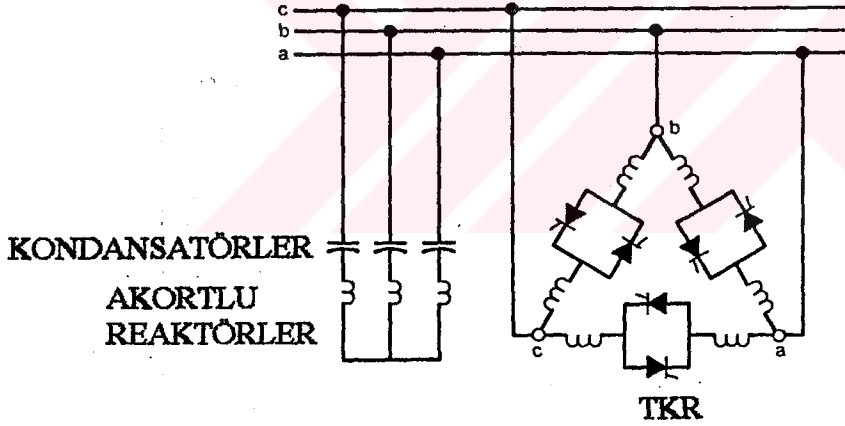
denklemleri ile ifade edilir. Bununla birlikte, gerilim regülasyon kazancı değişmezse, kondansatörler ilave edildiği için X_s reaktansı bir miktar artacaktır.



Şekil 8.15 Distorsiyon kompanzasyonu için hibrid dinamik filtre tekniği ile oluşturulan alt sistemler



Şekil 8.16 TKR' nin gerilim/akım karakteristiği

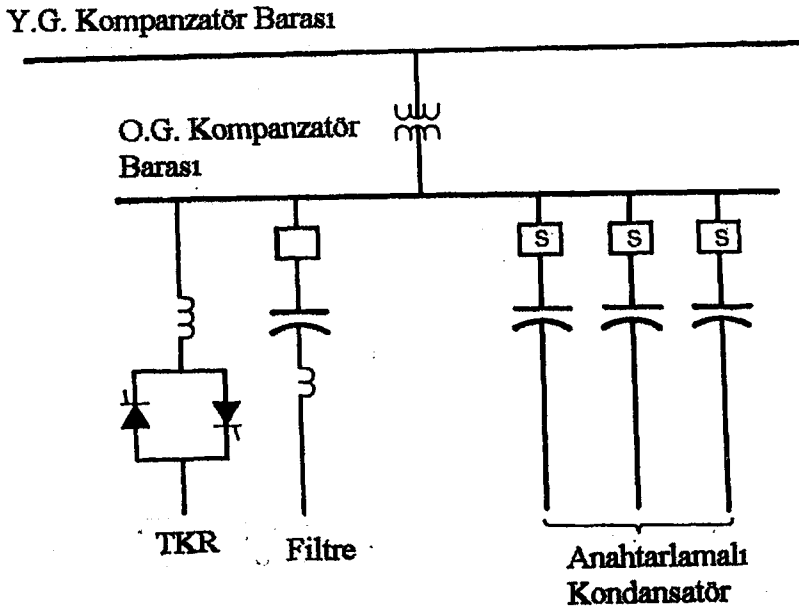


Şekil 8.17 Paralel kondansatörlü ve 3 fazlı TKR. Her bir fazda iki ayrı reaktörün kullanımı reaktör hatalarından kaynaklanan durumlarda tristörlere ilave bir koruma sağlar.

Genellikle üç fazlı paralel kondansatörlü sistemlerde, her fazda kesiciyle bağımsız olarak anahtarlanan birden fazla kondansatör bulunur. TKR' nin ürettiği harmonikleri filtrelemek ve dış sistemlere geçmesini önlemek için her faza küçük seri reaktörler yerleştirilerek kondansatör grupları temel frekanslara ayarlanabilir. Diğer bir seçenek, 5. ve 7. harmoniklere ayarlı yüksek geçiren filtrelerin kullanılmasıdır. Filtre olarak düzenlenen kondansatörlerin bağlantı noktasında rezonans meydana getirmemesine dikkat edilmelidir.

TKR' nin reaktif gücü kondansatörün gücünü geçmedikçe sabit kondansatörlü bir TKR' de akım faz olarak ilerdedir. Reaktif güç küçük ya da geride ise, TKR ve kondansatörler arasında büyük reaktif akımlar dolaşacaktır. Bu nedenle, gerilim ve akım karakteristiğindeki kapasitif eğilime uygun olarak basamaklı anahtarlama için kondansatörlerin gruplar halinde anahtarlama tasarlanır. Böyle bir tasarımda küçük güçlü kondansatörlerden oluşan TKR sistemi kullanılır. Örnek olarak, şekil 8.17' de 3 ayrı paralel kondansatör grubundan oluşan bir devre gösterilmiştir. TKR bağlı kondansatörlerin sayısını gösteren bir sinyal elemanı ile donatılır ve sürekli gerilim/akım karakteristiği sağlayacak şekilde tasarlanır. Bir kondansatör grubu on-off anahtarlendiğinde, kapasitif reaktif gücü arttırmak ya da azaltmak suretiyle TKR' nin reaktif gücündeki değişimin dengelenmesi için, diğer referans sinyallerle birlikte iletim açısı da ayarlanır. Daha sonra diğer bir kondansatör anahtarlancaya kadar iletim açısı sistem koşullarına bağlı olarak sürekli değişir.

Paralel kondansatör anahtarlama ve TKR' den oluşan bir karma devrenin performansı büyük ölçüde kondansatörlerin anahtarlama şekline ve anahtarlama prensibine bağlıdır. Kondansatörlerin anahtarlama için kullanılan en ucuz yöntem kesici devreleridir. Çalışma noktasının gerilim/akım karakteristiği sürekli olarak değişmesi kısa süre içerisinde çok fazla anahtarlama işlemine neden olacağından kesicilerde bakım problemleri oluşabilir.



Şekil 8.18 TKR ve anahtarlama kondansatörlerinden oluşan bir karma kompanzasyon. S anahtarları mekanik olarak veya tristörlerle anahtarlama yapılabilir.

Bu sakıncaları gidermek amacıyla mekanik anahtar yerine tristörler kullanılır. Şekil 8.18' de tristör anahtarlama kondansatörlerden oluşan bir TKR devresi görülmektedir [14].

8.2.4 Aktif Güç Hattı Düzelticisi

Güç bozucu etkilerinin düzeltilmesi için geliştirilen devrelerden biri de aktif güç hattı düzelticisidir (Active Power Line Correction-APLC). Bu devre, aktif harmonik filtre, hat gerilim regülatörü ve bir adet geçici aşırı gerilim regülatöründen oluşmaktadır.

Bir hattaki yalnızca belirli harmonikleri temizleyen klasik pasif filtre devrelerinin yerine kullanılan APLC güç elektroniği devreleri, harmonik spektrumundaki değişikliklere otomatik olarak adapte olmaktadır ve aktif olarak bozucu etkilere engel olmak amacıyla enerji hattına sinyaller göndermektedir. Bu yaklaşımla yükteki değişimlere bağlı olarak filtrelerin ayarlanması için gerekli harmonik akımlarının hesaplanması da ortada kalmaktadır.

Buna ilave olarak, APLC elektrik hattındaki gerilim çöküntülerini ve büyük dalgaları kompanze ederek giriş gerilimini düzenlemektedir. 5 kVA' lık bir APLC yaklaşık bir kişisel bilgisayar boyutlarında olduğu için ve ağırlığı yalnızca 56.7 kg. olduğu için, çok kolay bir şekilde hassas yüklerin yanına yerleştirilebilir. APLC' ler aynı zamanda, şiddetli yıldırım ve fırtınalar esnasında sistemin güç kalitesini korumaktadır.

APLC ler birkaç çeşit güç kalitesi probleminde düşük maliyetli çözümler sağlamaktadır. Aynı zamanda, hassas yüklerin çalışmasının etkilenmemesi için APLC' ye enerji depolayan bir eleman ilave edilebilir [5].

8.2.5 Katı Hal Kesici ve Statik Kondansatör

Güç kalitesini düzeltmek için geliştirilen ve henüz tasarım aşamasında olan yöntemlerden biri de müşteri yükünün bir katı hal kesici (solid state breaker-SSB) ve bir statik kondansatör (static condenser-STATCON) üzerinden iki ayrı enerji iletim hattından beslenmesidir. Bir enerji iletim hattında elektrik kesintisi meydana geldiğinde, bir katı hal kesicisi devreye girerek diğer enerji iletim hattını anahtarlar.

Bu anahtarlama işlemi 1 peryottan daha küçük olduğu için enerji kesilme süresi de kısalmır. Aynı zamanda diğer enerji iletim hattının anahtarlama sırasında müşteri yükünün etkilenmemesi için statik kondansatör kullanılır. Buradaki statik kondansatör hem gerilimi sabit tutar ve hem de geçici enerji sağlar. Bu sistemde kapıdan söndürmeli tristörler kullanılır.

Katı hal kesicilerinin günümüzde yaygın olarak kullanılan mekanik kesicilere göre bazı üstünlükleri vardır. Katı hal kesiciler mekanik benzerlerine göre çok daha hızlı çalışmakla kalmaz, aynı zamanda çalışma yeteneğini kaybetmeksizin defalarca kullanılabilir. Oysa klasik bir kesicinin kullanıldıktan sonra tekrar ilk konumuna getirilmesi gereklidir. Her katı hal kesicide normal yük akımını ileten ve aşırı hata akımlarını kesen tristörler bulunur. Anahtarlama tristörlerine paralel bir parafudr arıza esnasında büyüyen geçici aşırı gerilimlere karşı korumayı sağlar.

Bir statik kondansatör dağıtım hattı ile toprak arasına paralel olarak bağlanır. Statik kondansatör, bir peryot gibi kısa sürelerde meydana gelen enerji dalgalanmalarını azaltır. Statik kondansatörde bulunan ve tristörlerden oluşan bir çevirici, hattın alternatif enerjisinin bir kısmını doğru gerilime dönüştürür. Bu doğru gerilim ile büyük sığalı bir kondansatör şarj edilir ve daha sonra ihtiyaç duyulduğu zaman doğru gerilim tekrar alternatif gerilime çevrilerek enerji hattı beslenir. Her iki durumda da kondansatör sabit gerilim kaynağı olarak çalışır. Böylece, gerilim çöküntüsü veya enerji kesintisi meydana geldiğinde birkaç peryotluk bir süreyle enerji hattı beslenir [5].

BÖLÜM 9

GÜÇ KALİTESİ LABORATUARI

Büyük HP makinelerinden oluşan birinci kuşak güç laboratuvarlarında cihazların belirli bir deney için bir araya getirilmesi ve deneylerin kurulması fazla zaman kaybına yol açıyordu. 1960' larda ortaya çıkan ikinci kuşak güç laboratuvarlarında, uygun konsollar üzerinden işletilen çok küçük HP makineleri kullanılıyordu. Böylece deney kurma süresi de minimuma indirgenmiş oldu. Bu sırada, büyük şebeke olaylarının incelenmesinde bilgisayarların kullanımı ön plana çıktı. 1980'lerde 3. kuşak güç laboratuvarlarının kurulmasına başlandı. Daha sonra ise bilgisayar simülasyonu, kontrol ve önceden elde edilen data verileri ile donatılan laboratuara fiziksel elemanlar yerleştirildi. Bu bölümde esas olarak güç kalitesi, güç elektroniği ve güç sistemleri konularının araştırıldığı 3. kuşak laboratuvarlar ele alınacaktır [2].

9.1 Laboratuvarın Yapısı

Fiziksel testlerle karşılaştırıldığı zaman, bilgisayar simülasyonları ile tasarım ve güvenilirlik, araştırmalara paralel olarak sürekli bir şekilde artmaktadır.

Bilgisayar simülasyonlarının güvenilirliği ve emniyeti, kullanım, hız ve düşük maliyet gibi avantajları da beraberinde getirmiştir. Güç kalitesi laboratuvarındaki bilgisayarların, programların ve bu donatımların işletilmesinin maliyeti, fiziksel bir laboratuvarın geliştirilmesine ve işletilmesine göre daha düşüktür. Ancak uzun süreli çalışmalarda, bilgisayar simülasyonlarının aşırı kullanımı, tasarım veya analizin yanlış olmasından dolayı daha yüksek maliyete neden olabilir. Tablo 9.1' de Bilgisayar simülasyonları ve fiziksel testler karşılaştırılmıştır.

Tablo 9.1 Bilgisayar simülasyonları ve fiziksel testlerin karşılaştırılması

Bilgisayar simülasyonları	Fiziksel testler
+ Büyük sistemlerin incelenebilmesi. + Her bir simülasyonun çalışmasının maliyetinin düşük olması + Sonuçların çok hızlı elde edilebilmesi	+ Sistemin fiziksel yapısı daha iyi öğrenilir. + Sonuçlar modellerin oluşturulabildiği güncel testlerden elde edilir.
- Sonuçlar yalnızca database kadar iyidir. - Bir uzmanın geliştirdiği programı sınırlamaları tam olarak bilmeyen bir kişi yanlış bir şekilde kullanabilir.	- Test maliyeti yüksek olabilir. - Büyük sistemlerin oluşturduğu problemlerin incelenmesi zordur. - Sonuçlar ancak kullanılan donanım kadar iyi olabilir.

Şekil 9.1' de güç kalitesi laboratuvarının birkaç bölümden oluşan kuruluş planı gösterilmektedir. Laboratuvar yapısal olarak iki adet yüksek hız kontrolü üzerinden fiziksel test ile bilgisayar simülasyonu çalışmaları ve veri edinme sistemlerinin biraraya gelmesinden oluşmuştur. Bilgisayar sistemi, ana hatlarıyla "ana iş istasyonu" ve "özel görevli bilgisayar" şeklinde düzenlenmiştir. Ana istasyon bütün veri yönetimi, aygıt kontrolü, depolama ve bazı analiz işlemlerini yönetmektedir. Özel görevli bilgisayar istasyonlarının herbiri laboratuvarında bir ya da birkaç simülasyon ve test ile ilgili görevleri üstlenmiştir.

Şekil 9.1' de gösterilen ve birkaç ayrı bölümden oluşan laboratuvarın işlevsel alanları şunlardır:

1. Güç test alanı
2. Elektronik test ve dönüştürücü geliştirme alanı
3. Fotokondüktif devre elemanı (PCE) test alanı
4. Ağ bağlantısı ve öğrenim alanı
5. Enerji yönetimi güç kalitesi değerlendirme alanı.

Bu laboratuvar bölümleri tüm yönleri ile ele alınacaktır. "Güç test alanı" 100 kVA' ya kadar hız denetim sürücülerini gibi 3 fazlı devreleri test edebilmektedir. Şekil 9.2' de "güç test alanı" gösterilmektedir. "Dönüştürücü geliştirme alanı"nın alt



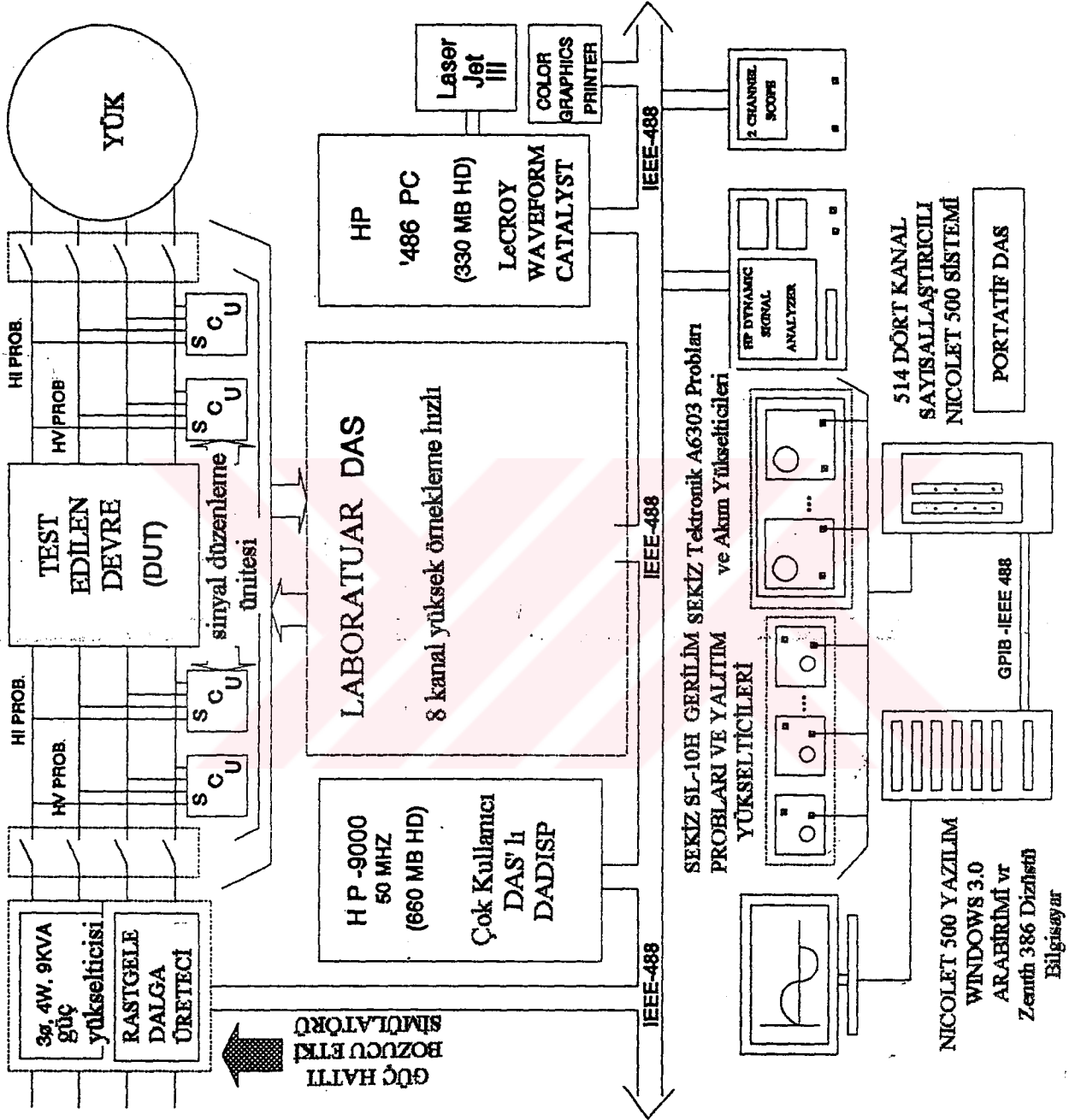
Şekil 9.1 Enerji ve güç elektroniği sistemleri laboratuvarının kuruluş şeması

katında PCE test alanı vardır. Bu oda tamamen kapalıdır ve kullanımda iken bu durumu göstermek üzere bir uyarı lambası ve güvenlik kilidine sahiptir. PCE test alanının içersinde bir Zenith 386 bilgisayar tarafından kontrol edilen bir adet 50 W lazer ünitesi ve örnekleme hızı 100MSa/s olan bir LeCroy osiloskobu mevcuttur. "Ağ bağlantısı ve öğrenim alanı"nda, her biri değişik devreler ve döner makine grupları, tek ve üç fazlı transformatörler, hız denetim sürücüler ve HP-9000 ana istasyonuna bağlı bir X terminalinin bulunduğu üç makine istasyonu mevcuttur.

Makine istasyonları 9 istasyonlu fiziksel bir test alanı oluşturmak için bir küçük panel aracılığı ile birleştirilmektedir. Esas olarak bilgisayar donanımının çoğu "Enerji yönetimi ve güç kalitesi değerlendirme alanı" nda bulunduğu için bu bölüm laboratuvarın beyni olarak düşünülebilir. (HP9000) ana istasyonu, (matematik işlemcili) emülasyona uygun, 286 AT' li, 50 MHz, 68040 sistem, UNIX tabanlı bir istasyondur. Mevcut disk kapasitesi, yaklaşık 1GB' dir. Güç test alanındaki 30' a yakın alanı gözleme imkanı olan ve programlanabilir örnekleme hızı 5MSa/s (100 MSa/s e kadar genişletilebilen) olan Le_Croy veri edinme alanı, şebeke bağlantı ve öğretme alanındaki patch panel üzerinden HP9000' e bağlıdır. Çalışma istasyonundaki UNIX tabanlı veri edinme yazılımı X_windows için DADISP ve DACQ/UX' den oluşmaktadır. Sistemde aynı zamanda, güç yükselticisine bağlanan üç adet rastgele dalga üretici (arbitrary wave form generators-ARBs) bulunmaktadır. ARBs, dalga şeklinin ne derecede distorsiyonlu olduğuna bakmaksızın (taşınabilir DAS alanından elde edilebildiği gibi) kayıt alanından elde edilen verileri inceleme altındaki sisteme injekte edebilmektedir.

Diğer DAS taşınabilir bir ünedir ve programlanabilir 1 MSa/s örnekleme hızlı, eşzamanlı olarak sekiz kanallı gözlemeye uygun iki digitizer' ı, genellikle kollu 5 yuvalı bir NICOLET 500 Pedestal ünitesinden oluşmaktadır. Bu sistem gözleme amacıyla, hızı 10 MSa/s'e ve 20 kanala kadar genişletilebilir. Bu alandaki sözkonusu ünite, üç yuvalı genişletilebilir şasili (120 MB HD, 8 MB RAM) 386 SX bir dizüstü bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bu portatif bilgisayar aynı zamanda, genişleme şasisi içersinde 100 K örnek/saniye hızında çalışan (16 Kanal Metrabyte kartlı) diğer bir veri edinme sistemi içermektedir. Bu test alanından elde edilen veriler, ya ana istasyonun dosya aktarım yazılımı (Laplink) tarafından uzaktan yüklenebilir ya da analiz için uzaktan yüksek hızlı bir modem tarafından yüklenebilir.

Özel görevli bilgisayar sistemleri iki adet IBM PS/II Mod. 80, birkaç adet 486PC, 2 adet 386 PC (dizüstü ünitesi dahil) ve çeşitli terminaller arasında bağlantı sağlayan 4 disksiz X-Terminali' nden oluşmaktadır. DAS ve taşınabilir ünite içindeki



Şekil 9.2 Çok kullanıcı ve çok amaçlı sistem kontrolü ve veri edinme sisteminin kuruluş yapısı

ön uç 486 PC, ASYT ve NIC500 veri edinme yazılımı ve kontrolü ile birlikte DOS altında çalışmaktadır. PC' ler aynı zamanda harmonik analizi için kullanılmaktadır ve örneğin harmonik analiz programları olan HARMFLO ve V-HARM programlarını çalıştırmaktadır. 386 PC' lerden biri PCE deneyleri için kullanılmaktadır. Diğer PC'ler, "Elektromanyetik Geçici Olaylar Programı", (EMTP aynı zamanda ana bilgisayar istasyonundan da çalıştırılmaktadır) durum kestirimi, iletim ve dağıtım güç akışı ve değişik kararlılık ve ekonomik değerlendirmeler gibi değişik modelleme ve analiz programlarını çalıştırmaktadır.

Bütün PC' ler birbirleri ile ve ana istasyon ile LAN üzerinden bağlanabilir. Güç sistemi laboratuvarı, geniş bir UNIX iletim sistemi altında çalışan bir iş istasyonu temelli bir laboratuardır ve iki adet Sun 3, üç adet AT&T makinesi ve üç adet PC' den oluşmaktadır. Yüksek gerilim laboratuvarı birçok cihazlardan oluşmaktadır. Özellikle HF sinyallerini kaydetme ve analiz etmeye elverişlidir. Ana bilgisayar 100 Mhz örnekleme hızlı bir Masscopmp 500' dür. Bu alanda çok kanallı kaydetme için

- i. 100 MS/s digitizer' lı bir adet 5 kanal bilgisayar kontrollü LeCroy sayısallaştırma sistemi
- ii. 2 MHz band genişlikli 14 kanal teyp kaydedici mevcuttur.

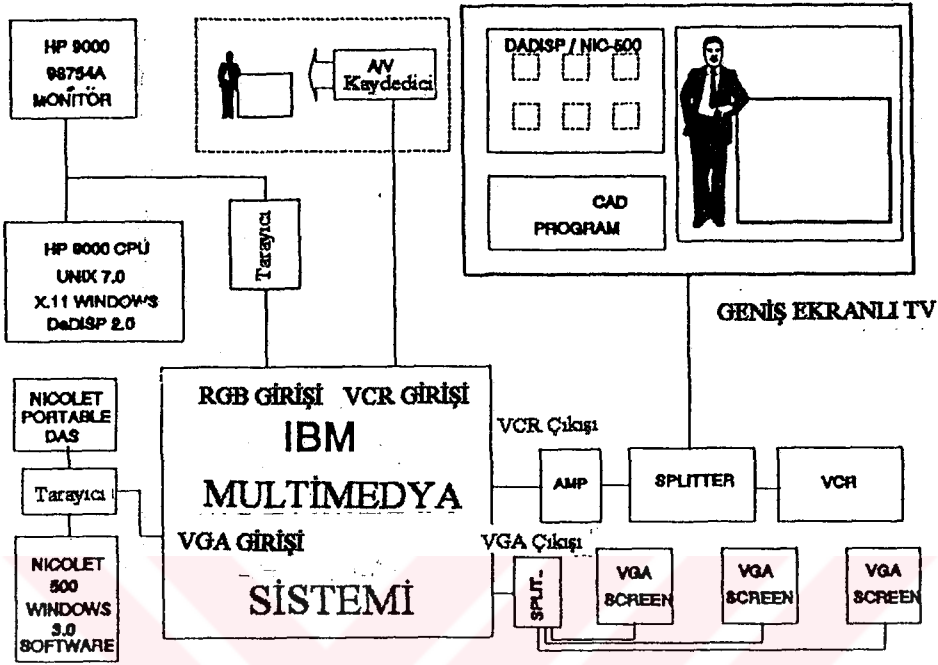
Laboratuvar da gerçekleştirilen inceleme sonuçlarının normal bir şekilde rapor edilmemesi gözlemcinin doğru bir fikir edinmesini önleyebilir. Laboratuvarın en önemli yanlarından biri de insan-makina bilgi ara birimidir. Bu arabirim bir multimedya biçimindedir ve şekil 9.3' te gösterilmektedir.

IBM PC' lerden bir tanesi multimedya sistemine ayrılmıştır. Bu PC ana istasyon ve DAS' a, comcorder, ses ve görüntü sistemleri ve bir dinamik eşlem panosu (60 inç geri projeksiyon) üzerindeki DAS çıkışını görüntüleyen projeksiyon sistemi ile irtibatlandırılmıştır. Böylece laboratuvar multimedya sistemi, görüntü, ses ve bilgisayar tekniklerini birleştirmektedir [2].

9.2 Güç Kalitesi Deneyleri

Güç kalitesi deneyleri genel olarak üç başlık altında toplanabilmektedir.

- i. Sürekli durum güç kalitesi testleri
- ii. Kesintili güç kalitesi tesleri
- iii. Özel güç kalitesi testleri



Şekil 9.3 Multimedya sistemi

9.2.1 Sürekli Durum Güç Kalitesi

Bu testler sırasıyla şunlardır:

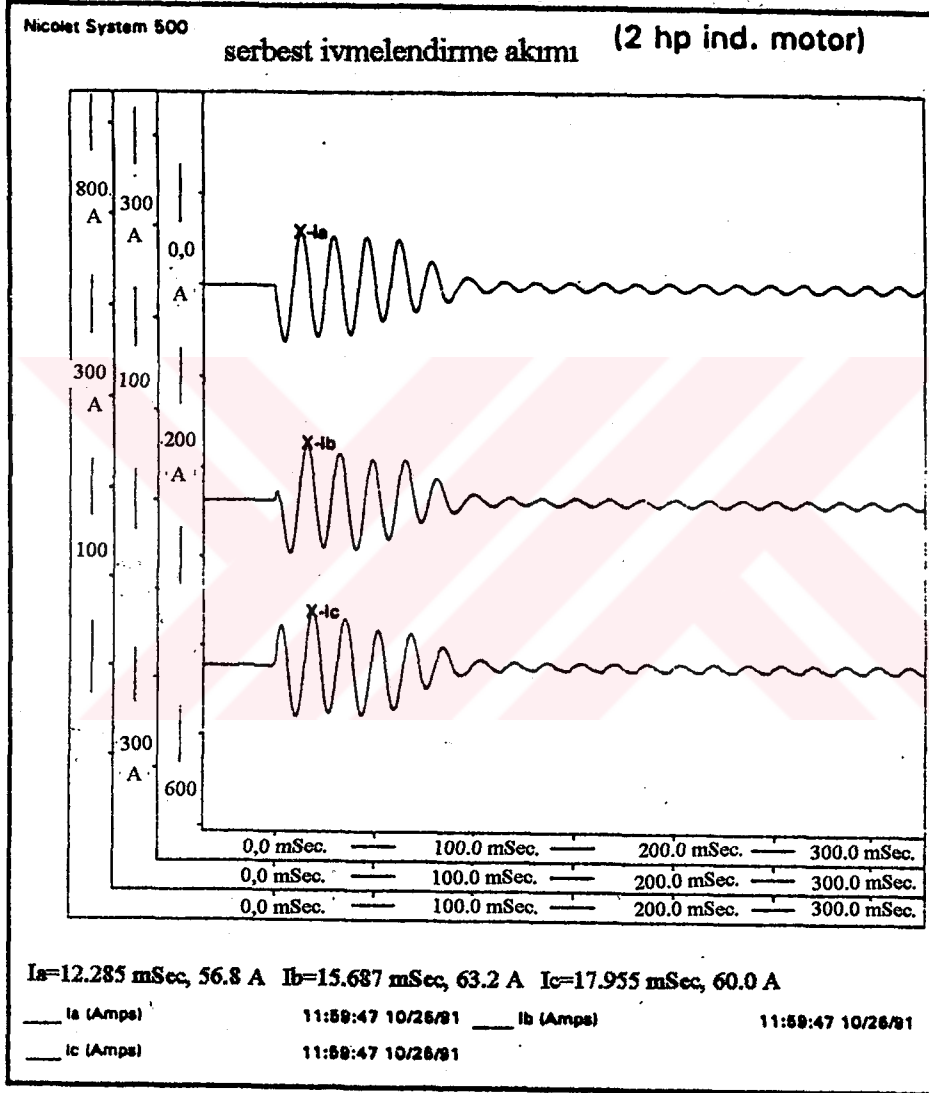
- i Gerilim, akım, frekans, N faz dengesizliği testleri,
- ii. Harmonik testleri,

Bu deneyler bölüm 3' de açıklanmıştır.

9.2.2 Kesintili Güç Kalitesi Deneyleri

Yıldırım veya geçici anahtarlama olayları, devrelerin hatalı çalışmasına ve arızalara neden olabilir. Bu duruma örnek olarak bir asenkron makinenin serbest ivmelendirme akımlarının eşzamanlı olarak elde edilmesi verilebilir. Şekil 9.4 6.2 A anma akımlı, 2 HP, 220 V, 60 Hz olan bir asenkron motora ait kalkış akımlarının

NIC_500 yazılımı ile doğrudan elde edilen grafiklerini göstermektedir. Bu grafikte, tepe akımlarının örneğin C fazında 60 A tepe değerini ulaştığı görülmektedir.



Şekil 9.4 2 HP gücündeki asenkron motora ait kalkış akımları

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Özellikle son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte hassas elektronik cihazların kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Bunun sonucunda sözkonusu cihazları kullanan müşterilerin yüksek kaliteli elektrik enerjisine olan talepleri teknolojinin gelişmesine paralel olarak artmıştır.

Dalga şekli distorsiyonlarının ve bozucu etkilerin hassas tüketici yükler üzerindeki olumsuz etkilerini belirlemek amacıyla elektrik kurumları ve konuyla ilgilenen diğer kuruluşlar tarafından öncelikle cihazların nasıl etkilendiği tesbit edilmeli ve ilgili standartlar hazırlanmalıdır. Daha önceden çıkarılan standartlar ise değişen koşullara uygun olarak yeniden gözden geçirilmelidir.

Enerji iletim sisteminin tipi de güç kalitesini etkileyen önemli etkenlerden biridir. Çöküntüler havai hatlarda yeraltı şebekesine göre dört kat daha fazla meydana gelmektedir. Aynı şekilde kesintiler de havai hatlarda iki kat daha sık olarak görülmektedir.

Elektronik cihazlar dalga şekli distorsiyonlarından etkilenmeleri yanında aynı zamanda birer distorsiyon kaynağıdır. Büyük güçlü elektronik aygıtlar, elektrik motorları, ark fırınları gibi yükler şebekenin genel bağlantı noktasında büyük gerilim dalgalanmalarına neden olur. Bu ise aynı noktadan beslenen hassas cihazlara sahip diğer tüketicilerde önemli güç kalitesi problemlerine yol açar. Elektrik kurumları güç kalitesi problemlerinin azaltılması için genel bağlantı noktasındaki gerilimleri azaltmak için gerekli önlemleri alması gereklidir. Büyük güçlü endüstriyel tesislerden kaynaklanan problemler standart değerlerin üzerinde ise elektrik kurumu bu kuruluşlardan güç kalitesini düzeltmesini istemelidir.

Ayrıca projelendirme aşamasındaki endüstriyel ve ticari kuruluşlarda bulunan ve güç kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek yüklerin neden olabileceği güç kalitesi problemlerini minimum olması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu tesisler işletmeye alındıktan sonra elektrik kurumu tarafından şebekeye bağlantı noktasındaki gerilim dalga şekillerinin tesbit edilmelidir. Eğer kaydedilen bozucu etkiler standart değerlerin üzerinde ise elektrik idaresi sözkonusu kuruluşun bu olumsuz etkiyi gidermek için filtreleme gibi ilave tedbirleri alması da şart koşabilmelidir.

Ayrıca, büyük sistemlerin incelenmesinde güç kalitesi laboratuvarlarından ve bilgisayar simülasyonlarından yararlanılabilir. Böylece uzun süreli güç kalitesi çalışmalarının süresi kısaldığı gibi maliyetler de düşer. Fakat burada laboratuvarda kullanılacak verilerin gerçek değerlere uygun olması gerekir. Aksi halde, elde edilen sonuçlar yanlış olduğu gibi uygulamada daha yüksek masraflar da meydana gelebilir.

Hassas elektronik cihaz üreticileri de dalga şekli distorsiyonlarının cihazları üzerindeki etkileri konusunda müşterilerini bilgilendirmelidir. Üretimi yapılan cihazların tolerans değerleri belirlenen standart değerlerin altında olmalıdır.

Tüketiciler elektrik kurumlarından kesintisiz ve sürekli bir elektrik enerjisi talep ederler. Bu amaçla elektrik kurumları da tüketiciye sürekli ve kesintisiz güç temin etmek üzere kendi üzerine düşen görevleri yerine getirmelidir. Özellikle elektrik kurumlarının fırtına, yıldırım gibi atmosferik olaylar ve hatalı röle çalışması gibi nedenlerle meydana gelen gerilim çöküntüsü ve kesintilerin sayısını minimum yapması gereklidir. Tüketicilerin elektrik cihazlarını verimli ve ekonomik bir şekilde kullanması için seminerler düzenlenerek eğitilmesi sağlanmalıdır.

Tezin sonunda harmonikleri yoketmek için filtre tasarımı yapan bir bilgisayar programı verilmiştir. Bu programda yokedilmesi istenen harmonik mertebeleri, filtre sayısı, şebeke empedansı, harmonik akımların ağırlıkları ve toplam kapasite değerinden hareketle filtre elemanlarının değerleri bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] DOMLIAN A., HEYDT G.T., MELIOPOULOS A.P.S., VENKATA S.S.,
WEST S.-'Directions of Research on Electric Power Quality'. IEEE Trans.
on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, Jan. 1993
- [2] DOMLIAN A., SANTANDER E.-'A Novel Electric Power Laboratory for Power
Quality and Energy Studies'. IEEE Transactions on Power Systems,
Vol. 7, No. 4, Nov. 1992
- [3] LUDBROOK A.-'Manager's Guide to Electrical Power Quality'. Iron and Steel
Engineer, Vol. 70, May. 1993
- [4] MARTZLOFF F., THOMAS G.-'Power Quality Site Surveys'. IEEE Transactions
on Industry Applications, Vol. 24, No. 6, Nov./Dec. 1988
- [5] DOUGLAS J.-'Power Quality Solutions'. IEEE Power Engineering Review,
March 1994
- [6] ASPNES J.D., EVANS B.W., MERRITT R.P.-'Rural Alaska Elektrik Power
Quality'. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,
Vol.PAS-104, No. 3, March 1985
- [7] SOĞUKPINAR K.-'Gerilim Değişmelerinin Azaltılması' TEK İletim Şebekeleri
İşletme Dairesi Başkanlığı, SA 79/7
- [8] LAKERVI E., HOLMES E.J.-'Electricity Distribution Network Design'. Peter
Peregrinus Ltd., London, UK, 1989
- [9] BAYRAM M.-'Kompanzasyon Tesislerinde Rezonans ve Bunların Önlenmesi'.
Elektroteknik Mecmuası, Temmuz 1985
- [10] BAYRAM M.-'Harmoniklerin Kompanzasyon Tesislerindeki Tesirleri'.
Elektroteknik Mecmuası, Temmuz 1984

- [11] ARRILAGA J., BRADLEY D.A., BODGER P.S.,-' Power System Harmonics'.
Wiley & Sons, New York, 1985
- [12] WYK J.VAN.,-'Power Quality, Power Electronics and Control'. The European
Power Electronics Association, 1993
- [13] UZUNKAYA A.T.,-'Reaktif Enerji Kompanzasyonu ve Filtreler'. Kaynak
Dergisi, Ocak-Şubat 1992
- [14] MILLER T.J.,-'Reactive Power Control in Electric Systems'. John Wiley &
Sons, 1982
- [15] TAYLOR C.W.,-'Power System Voltage Stability'. McGraw-Hill, 1994



EK

Bu programda yokedilmesi istenen harmonik mertebeleri, filtre sayısı, şebeke empedansı, harmonik akımların ağırlıkları ve C_0 değerinden hareketle filtre elemanları boyutlandırılmaktadır.

```
1 CLS
  PI = 3.14
  RY = 0: IY = 0: ZS = 0: SVS = 0
2 SCREEN 12
3 GOSUB 800
4 GOSUB 1500
  PRINT "EMPEDANSLA FREKANSIN DEGISIMI"
  INPUT "AF BASLANGIC FREKANSI"; AF
  INPUT "BITIS FREAKNSI"; EF
  INPUT "KABA ADIM UZUNLUGU"; DF
  INPUT "HASSAS ADIM UZUNLUGU"; KS
  INPUT "HASSAS ADIM UZUNLUGU ARALIGI "; DK: PRINT
  PRINT "FREKANS    EMPEDANS DEGER"
  F = AF: DF = 5: KS = .5: DK = 1
5 GOSUB 1700
6 GOSUB 1730
7 GOSUB 1750
  GOSUB 1800
8 GOSUB 1900

800 CLS
810 SCREEN 12
820 COLOR 6
830 LOCATE 3, 23: PRINT "ELEKTRİK TESİSLERİNDE GÜÇ KALİTESİ"
850 PRINT
860 LOCATE 5, 23: PRINT "HARMONİKLERİN FİLTRELERLE
YOKEDİLMESİ"
870 LOCATE 20, 80: PRINT "DEVAM ETMEK İSTİYOR MUSUNUZ? (E/H)"
890 INPUT DVM$
900 IF DVM$ = "E" OR DVM$ = "e" THEN
903 GOTO 4
910 ELSE IF DVM$ = "H" OR DVM$ = "h" THEN END
913 REM PRINT "E VEYA H YAZINIZ"
920 ELSE IF DVM$ <> "H" OR DVM$ <> "E" THEN GOTO 890
925 ELSE GOTO 2200
1110 PRINT "DOĞRU İŞLEM"
1115 END IF
1120 RETURN
```

```

1500 CLS
1505 KEY OFF
1510 SCREEN 12
1515 PI = 3.14: K = 0
1520 REM PAINT (10, 10), 2, 8
1525 LOCATE 1, 5: PRINT "KAC ADET HARMONIK YOKEDILECEK": INPUT
N
1530 REM DIM L(N), C(N), R(N), RY(N), IY(N), P(N), G(N), SI(N), S(N)
1533
1540 LOCATE 3, 5: PRINT "YOKEDILECEK HARMONIKLERIN
MERTEBELERI"
1544 LOCATE 6, 25: PRINT "TOPLAM KAPASITE DEGERI"
1545 LOCATE 8, 25: PRINT " KALITE FAKTORU"
1546 LOCATE 10, 25: PRINT "TEMEL FREKANS DEGERI"
1550 LOCATE 12, 25: PRINT "SEBEKE ENDUKTANSI"
1551 LOCATE 14, 25: PRINT "SEBEKE OMİK DIRENCİ"
1552 LOCATE 18, 50: PRINT "HARMONİK AGIRLIGI"
1553 LOCATE 20, 50: PRINT "-----"
1554 FOR K = 1 TO N
1555 LOCATE 3 + K, 3: PRINT "SI("; K; ") "
1556 LOCATE 20 + K, 50: PRINT "G("; K; ") "
1557 NEXT K
1558 FOR K = 1 TO N
1559 LOCATE 3 + K, 8: INPUT SI(K)
1560 NEXT K
1561 LOCATE 6, 50: INPUT CK
1562 LOCATE 8, 50: INPUT QF
1563 LOCATE 10, 50: INPUT FG: WG = 2 * PI * FG
1564 LOCATE 12, 50: INPUT L
1565 LOCATE 14, 50: INPUT R
1569 LOCATE 16, 50
1570 FOR K = 1 TO N
1572 LOCATE 20 + K, 55: INPUT G(K)
1574 NEXT K
1601 RETURN

1700 CLS
1710 FOR K = 1 TO N
1720 C(K) = CK * G(K)
1722 L(K) = 1 / (SI(K) * WG) ^ 2 / C(K)
1724 R(K) = SI(K) * WG * L(K) / QF
NEXT K
1726 RETURN

1730 REM
FOR I = 1 TO N
IF F > SI(I) * FG - DK AND F < SI(I) * FG + DK THEN 1735
AF = DF
NEXT I: RETURN
1735 AF = KS

```

```

1740 RETURN

1750
1752 RY = 0: IY = 0: W = 2 * PI * F
1754 FOR J = 1 TO N
  REM PRINT C(J); W; R(J)
1756 P(J) = R(J) ^ 2 + (W * L(J) - 1 / W / C(J)) ^ 2
1758 RY(J) = R(J) / P(J)
1760 IY(J) = (1 / W / C(J) - W * L(J)) / P(J)
1762 RY = RY + RY(J)
1764 IY = IY + IY(J)
1766 NEXT J
1768 RN = R / (R ^ 2 + W ^ 2 * L ^ 2)
1770 IN = -W * L / (R ^ 2 + W ^ 2 * L ^ 2)
1772 RQ = (RY + RN) / ((RY + RN) ^ 2 + (IY + IN) ^ 2)
1774 IQ = -(IY + IN) / ((RY + RN) ^ 2 + (IY + IN) ^ 2)
1776 ZE = SQR(RQ ^ 2 + IQ ^ 2)
1778 IF ZS = 1 THEN 1787
1780 IF F > EF THEN 1784
1781 PRINT F; " "; ZE: F = F + AF
  DIM UVS(1000), UFS(1000)
  SVS = SVS + 1
  UVS(SVS) = F
  UFS(SVS) = ZE
  KTK = SVS
  GOTO 6
1784 ZS = 1: PRINT
1785 FOR I = 1 TO N
1786 F = SI(I) * FG: GOTO 1752
1787 RS = RQ * RY - IQ * IY
1788 WS = RQ * IY + IQ * RY
1789 S(I) = SQR(RS ^ 2 + WS ^ 2) * 100
  PRINT I; "NOLU FILTRENIN SUZME YUZDEST"; "S("; I; ")"; S(I); "%":
PRINT
  NEXT I
  RETURN
1800
1900 CLS
1903 SCREEN 12

1905 DIM X(10000): A = 4
  REM (300, 100), 7
  COLOR 13
1920 LINE (150, 260)-(151, 220), 2, BF
1925 LINE (150, 210)-(151, 150), 2, BF
1928 LINE (130, 220)-(170, 223), 2, BF
1930 LINE (130, 210)-(170, 207), 2, BF
1933 LINE (140, 240)-(160, 300), 4, BF
1935 LINE (150, 300)-(151, 340), 2, BF
1938 LINE (140, 340)-(160, 400), 1, BF

```

1940 LINE (150, 400)-(151, 440), 2, BF

1943 GET (130, 180)-(175, 450), X

CLS

SCREEN 12

REM PAINT (300, 100), 7

COLOR 8

FOR K = 1 TO N STEP 1

PUT (75 * K, 200), X, PSET

LOCATE 10, (9.5 * K + 2): PRINT K

LINE (80, 200)-(75 * K + 70, 203), 4, BF

LINE (80, 460)-(75 * K + 70, 463), 9, BF

LOCATE 4, (9.5 * K + 1): PRINT "C="; 100 * C(K)

LOCATE 6, (9.5 * K + 1): PRINT "L="; 100 * L(K)

LOCATE 8, (9.5 * K + 1): PRINT "R="; 100 * R(K)

NEXT K

1955 PRINT "FREKANSLA DEGISIMI GORMEK ISTIYOR MUSUNUZ E / H":

INPUT YYS

IF YYS = "E" THEN 2150

1960 RETURN

2110 CLS

SCREEN 12

2150 CLS

SCREEN 12

PRINT "FREKANSLA DEGISIM"

LOCATE 5, 20: PRINT "HARMONIK AGIRLIKLARINI GORMEK ISTIYOR
MUSUNUZ (E/H)"

REM PRINT KTK

UVS(0) = 0: UFS(0) = 0

FOR SVS = 1 TO KTK

REM LOCATE 20, 50: PRINT SVS

NEXT SVS

FOR SVS = 1 TO KTK

IF UFS(SVS - 1) > UFS(SVS) THEN TTK = UFS(SVS)

TKK = UFS(SVS)

NEXT SVS

P = 2.5 / TTK

PP = 500 / KTK

LINE (50, 400)-(600, 400), 5

LINE (50, 400)-(50, 100), 5

FOR SVS = 1 TO KTK STEP 5

TMT = INT(UVS(SVS - 1) * 3 + 50) / 13

SMT = INT(UFS(SVS - 1) * P / 32)

```

IF SMT > 24 THEN SMT = 24
IF SMT <= 0 THEN SMT = 0
LOCATE 10, TMT: PRINT SMT
LOCATE 28, TMT: PRINT UVS(SVS - 1)
REM LOCATE SMT, 3: PRINT UFS(SVS - 1)
NEXT SVS
LOCATE 28, 70: PRINT "FREKANS F"

```

```

FOR SVS = 1 TO KTK
  REM PRINT UVS(SVS) * 2 + 10, UFS(SVS) * 1 + 100: INPUT AAAA
  LINE (UVS(SVS - 1) * 3 + 50, 350 - P * UFS(SVS - 1))-(UVS(SVS) * 3 + 50,
350 - P * UFS(SVS)), 3
  REM PSET (UVS(SVS) * 2 + 30, 500 - 1 * UFS(SVS)), 4

```

```

  IF SVS = KTK THEN GOTO 2180
NEXT SVS

```

```

2180

```

```

LOCATE 5, 75: INPUT CEVAP$
  IF CEVAP$ = "E" THEN GOTO 2190
  END

```

```

2190 CLS

```

```

  DIM V(1000)
  WW = 314: V(0) = 0: TS(K) = 0: WEE = 0:
  LOCATE 20, 70: PRINT "wt"

```

```

  LOCATE 3, 2: PRINT "V(t)"

```

```

  FOR J = 1 TO 200

```

```

    FOR K = 0 TO N

```

```

      SI(0) = 1: G(0) = 1

```

```

      T = (.5 * 10 ^ -4) * J

```

```

      V(K) = G(K) * SIN(WW * T * SI(K))

```

```

      PSET (T * 30000 + 50, -1 * V(K) * 200 + 300)

```

```

      LINE (50, 300)-(500, 300), 6

```

```

      LINE (50, 300)-(50, 20), 6

```

```

      REM LINE ((T - .0001) * 10000 + 30, 300 * V(K - 1))-(T * 10000 + 30,
300 * V(K)), 3

```

```

      WEE = WEE + V(K)

```

```

    NEXT K

```

```

  PSET (T * 30000 + 50, -1 * WEE * 200 + 300)

```

```

  WEE = 0

```

```

  NEXT J

```

```

  LOCATE 2, 5: PRINT "PRINTER CIKISI ALACAK MISINIZ?": INPUT
DEVMS$

```

```

  IF DEVMS$ = "E" OR DEVMS$ = "e" THEN GOTO 2195
  GOTO 2200

```

```

2195 FOR K = 1 TO N

```

```
LPRINT "C(", K")="; C(K)
LPRINT "L(", K; ")="; L(K)
LPRINT "R(", K; ")="; R(K)
NEXT K
LPRINT "FILTRE EMPEDANSININ FREKANSI GORE DEGİSİMİ"
LPRINT "FREKANS    EMPEDANS"
FOR SVS = 1 TO KTK
  LPRINT UVS(SVS); "    "; UVS(SVS)
NEXT SVS
```

2200 END



ÖZGEÇMİŞ

Ali GEMİCİ 1967' de Giresun' da doğdu. 1984' de İstanbul Denizcilik ve Su Ürünleri Meslek Lisesi Güverte-Avlama Bölümünden mezun oldu. 1990' da İ.T.Ü. Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü' nden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim dalı Elektrik Mühendisliği Bölümü' nde öğrenime başladı.

