

19243.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GUÇ SİSTEM HARMONİKLERİNİN BİLGİSAYARLI

SİMULASYONU VE ÖLÇÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. VEYSEL ÖZBULUR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Haziran 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Temmuz 1991

Tez Danışmanını : Prof. Dr. R. Nejat TUNÇAY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emin TACER

: Doç. Dr. Adnan KAYPMAS

TEMMUZ 1991

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖNSÖZ

Güç sistemi harmoniklerinin bilgisayarla simülasyonu ve ölçümü ile tez konusu veren, çalışmalarımda hiç bir yardımı esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. R.Nejat TUNÇAY'a ve çalışmalarımda beni sürekli destekleyen eşim Mimar Meral ÖZBULUR'a teşekkür ederim.

Temmuz 1991

Veysel ÖZBULUR

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tanıtım.....	1
1.2 Harmoniklerin Üretilmesi.....	3
1.2.1 Generatörler.....	5
1.2.2 Transformatörler.....	6
1.2.3 Güç Elektronik Sistemleri.....	8
1.2.4 Arkla Çalışan İşletme Araçları....	10
1.3 Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerine Etkileri.....	11
1.3.1 Generatör ve Şebeke Gerilimleri Üzerine Etki.....	11
1.3.2 Gerilim Düşümünün Artması ve Fliker Olayı.....	11
1.3.3 Kondansatörler Üzerine Etki.....	12
1.3.4 Kayıpların Artması.....	15
1.3.5 Elektrik Makinaları Üzerine Etki..	16
1.3.6 Sayaçlar Üzerine Etki.....	16
1.3.7 Kontrol Cihazları Üzerine Etki....	16
1.3.8 Mikro Bilgi İşlemciler Üzerine Etki	16
1.3.9 İzolasyon Delinmesi.....	16
1.3.10 Yarı İletkenler Üzerine Etki.....	17
1.3.11 Haberleşme Tesislerine Etki.....	17
BÖLÜM 2. ELEKTRİK TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI VE BUNLARA KARŞI TEDBİRLER.....	18
2.1 Elektrik Tesislerinde Rezonans Olayları..	18
2.1.1 Seri Rezonans.....	18
2.1.2 Paralel Rezonans.....	25
2.2 Harmonik Rezonanslarına Karşı Tedbirler..	32
2.2.1 Seri Rezonansı Önleyici Tedbirler..	33
2.2.2 Paralel Rezonansı Önleyici Tedbirler	34
BÖLÜM 3. SİSTEM MODELLEMESİ VE SİMULASYON.....	37
3.1 Giriş.....	37
3.2 Güç Sistem Bileşenlerinin Modellenmesi...	37
3.2.1 YBARA Matris Oluşturma.....	42

3.3 Lineer Olmayan Yük ve Zamanla Değişen Yüklerin Modellenmesi.....	45
3.3.1 Ark ve Elektromagnetizma Prensibine göre alıřan Sistemler.....	48
BÖLÜM 4. ÖLÇÜMLER.....	51
4.1 Giriş.....	51
4.2 lm Sisteminin zellikleri	53
4.3 Düşünceler.....	55
BÖLÜM 5. ALIřMALAR.....	63
5.1 Petlas Uçak Lastik Fabrikası.....	63
5.2 Orpaş Modeli ve lmleri.....	69
SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	73
ZGEMİř.....	74

ÖZET

Güç sisteminde çalışan mühendisler için bilgisayar ile analiz önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Güç sistemindeki bozulmalar ve sorunların değerlendirilmesinde, güç sistemlerinin benzetişimi ve modellenmesi gerekli olur. Devredeki bozulmalar çok kez sistemdeki üç faz akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozulmalar olarak ortaya çıkar. Uluslar arası düzeyde çalışma konusu olan bir bozulma şekli ise, günümüz modern güç sistemlerini olumsuz olarak etkileyen, " Güç Sistemi Harmonikleri " dir. Bu konuda çeşitli ülkelerde belirlenmiş olan uluslar arası sınır değerler Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Güç sistemindeki AA harmonikleri, sistemi artan bir oranda etkilemekte, tesislerde zarara ve güç kesintilerine neden olmaktadır. Her ne kadar süzgeç devreleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanıncada süzgeçleme tesislerinin toplam maliyeti artırması, Statik VAR sistemi yada Ark Fırını gibi tesislerde kullanılan süzgeçlerde, maliyet optimizasyonunu gerekli hale getirmiştir. Sorunun en önemli kısmının ise güç sistemindeki harmoniklerin kuramsal olarak hesaplanmasında bulunduğu görülmektedir.

Bu çalışma, zamanla değişen yüklerin ve bunların meydana getirdiği harmoniklerin incelenmesi amacı ile geliştirilen, bilgisayarlı ölçüm ve benzetişim yöntemlerini içermektedir. Benzetişim sonunda hesaplanan kuramsal sonuçlarla ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçüm amacı ile gidilen Mahmut Bey'de Orpaş Ark Fırını Tesislerinde bazı datalar alınmıştır. Hesaplamalarda zaman domen ve " Hızlı Fourier Dönüşümü " (FFT) bağıntıları kullanılmıştır.

SUMMARY

COMPUTERIZED SIMULATION AND MEASUREMENT OF POWER SYSTEM HARMONICS

Computer analysis is an important tool for power system engineers. The simulation and modeling of the various power system networks is necessary to help evaluate problems and disturbances through practical solutions. An increase in the number, and influences, of nonlinear harmonic producing devices connected to the power system has increased significantly during the past decade. Industrial installations utilizing modern arc furnace technology, power electronic systems have been studied in this thesis. These applications cause nonlinearities to appear at the AC terminals of the high power transformers located at the power network substations. Due to the duty cycles and load profiles of these applications, the voltage and current waveforms are becoming distorted and more nonsinusoidal.

Through this thesis work a versatile and high speed computerized measurement and simulation technique has been formulated and implemented. Its capabilities demonstrated for the data acquisition of time-varying, nonlinear loads. A simulation technique based upon frequency and time domain modelling of the network components and harmonic producing devices has been developed for this thesis study.

Voltage and Current AC harmonics are penetrating today's power systems at an increasing rate. The propagation of AC harmonics throughout the power networks produce undesired voltage disturbances, causing damage to equipment and power outages. Computerized measurement and simulation techniques for the study of power system harmonics are becoming very important analysis tools. Both the suppliers and consumers of electrical energy must improve their understanding of the causes and utilize better analytical techniques for the prediction and solution of harmonic problems.

The power system network is primarily described and studied as a complex circuit with linear elements and sources with sinusoidal functions. Usually the performance conditions of the system define the applicable network model.

The study of harmonic penetration into the power system network, which involves computer analysis and simulation techniques, is one of the main objectives of this work. The prediction and estimation of voltage harmonics, propagation of current harmonics, and waveform distortion(s) caused by the various categories of nonlinear loads will be addressed. In addition, a new analytical approach and measurement results will be presented.

It is the objective of this study to develop alternate analytical and measurement approaches for the determination of AC harmonic penetration into the power system network.

As mentioned earlier, distortions in the power system are primarily due to the nonlinear V-I characteristics at the terminals of elements, loads, and sources in the network. Nonlinear loads are classified as devices which produce nonsinusoidal currents at the input side of its terminals. These types of devices are :

* Power Electronic switching devices

Device	Conversion
Rectifier	AC → DC
DC Linked Inverter	AC → DC → AC
Cycloconverter and AC choppers	AC → AC

* Magnetic circuits acting in their saturation region

> transformers, motors

* Arcing elements and systems

> mechanical rectifiers (commutator-type motors)

> Arc Furnaces

> gas-type florescent lighting systems.

Since nonlinear loads and sources are the primary causes for harmonics in the power system, further explanations and accepted interpretations have been identified.

The V-I characteristics of passive elements (resistors, inductors, capacitors) define the classification of whether or not these are linear or nonlinear components in the network. Nonlinear components which have nonlinear V-I characteristics are identified according to the distortions upon the input AC voltage and current waveforms. The following cases that one may come across are listed.

Input Waveforms		Loads, Elements	Harmonic Source	
Voltage	Current		Voltage	Current
sine	sine	linear	-	-
sine	non-sine	non-linear	-	x
non-sine	non-sine	linear or non-linear	x	x

Case I : The incoming input waveforms are sinusoidal and later transfer into a non-sinusoidal waveform due to the loads, elements, or devices connection combination.

Case II: The incoming input waveform(s) are originally non-sinusoidal.

The propagation of harmonic signals throughout a network are dependent upon how the admittances and impedances are effected by the harmonic currents flowing. The equivalent, lumped parameter circuit representation of a power system, therefore, can be modelled by using the YBUS Matrix or ZBUS Matrix approaches. The advantages and/or disadvantages between these two models are not addressed by this research effort. The utilization and benefits seen by using the YBUS Matrix approach for modelling the systems components and predicting voltage

and current harmonic distortion levels are documented here.

Frequency-domain harmonic studies require that the components be modelled as a function of the fundamental frequency and variations in the components characteristics based upon harmonic orders. The YBUS Matrix is used for determining the network admittance values. The construction of the YBUS and formation of the injected harmonic current vector values form the algorithm to determine the voltage harmonics in the network. Presented here, since

$$\left[\overline{V}_{bus} \right]_h = \left[\overline{Y}_{bus} \right]_h^{-1} \left[\overline{I}_{bus} \right]_h \quad (1)$$

both balanced and unbalanced case conditions can be analyzed. In the balanced case, the Ybus matrix is simply and the Ibus vector is mostly zeroes except at the bus locations where harmonic disturbances are specified.

In Chapter 1, harmonic sources, nonlinear loads are presented. Chapter 2 included harmonic resonance conditions (serial and parallel resonances). Chapter 3 deals with the modelling and simulation approaches used in this study. Power system component harmonic models, and several types of nonlinear load models have been described. Chapter 4 is mainly concerned with the harmonic measurement system specifications and the requirements considered to be important aspects for taking harmonic measurements of time-varying loads.

In Chapter 5, two case studies are presented. An Arc Furnace (ORPAS A.S.) in Istanbul. V-I waveforms are masured and FFT Analysis are studied. Figure S.1 shows current waveform and FFT Analysis. Figure S.2 shows voltage waveform and FFT Analysis. The second case studies PETLAS Rubber factory in Kirsehir. To estimate harmonic number and magnetuid, we modelled the system. On the other hand, for V-I waveforms are data aquired and FFT Analysis are made.

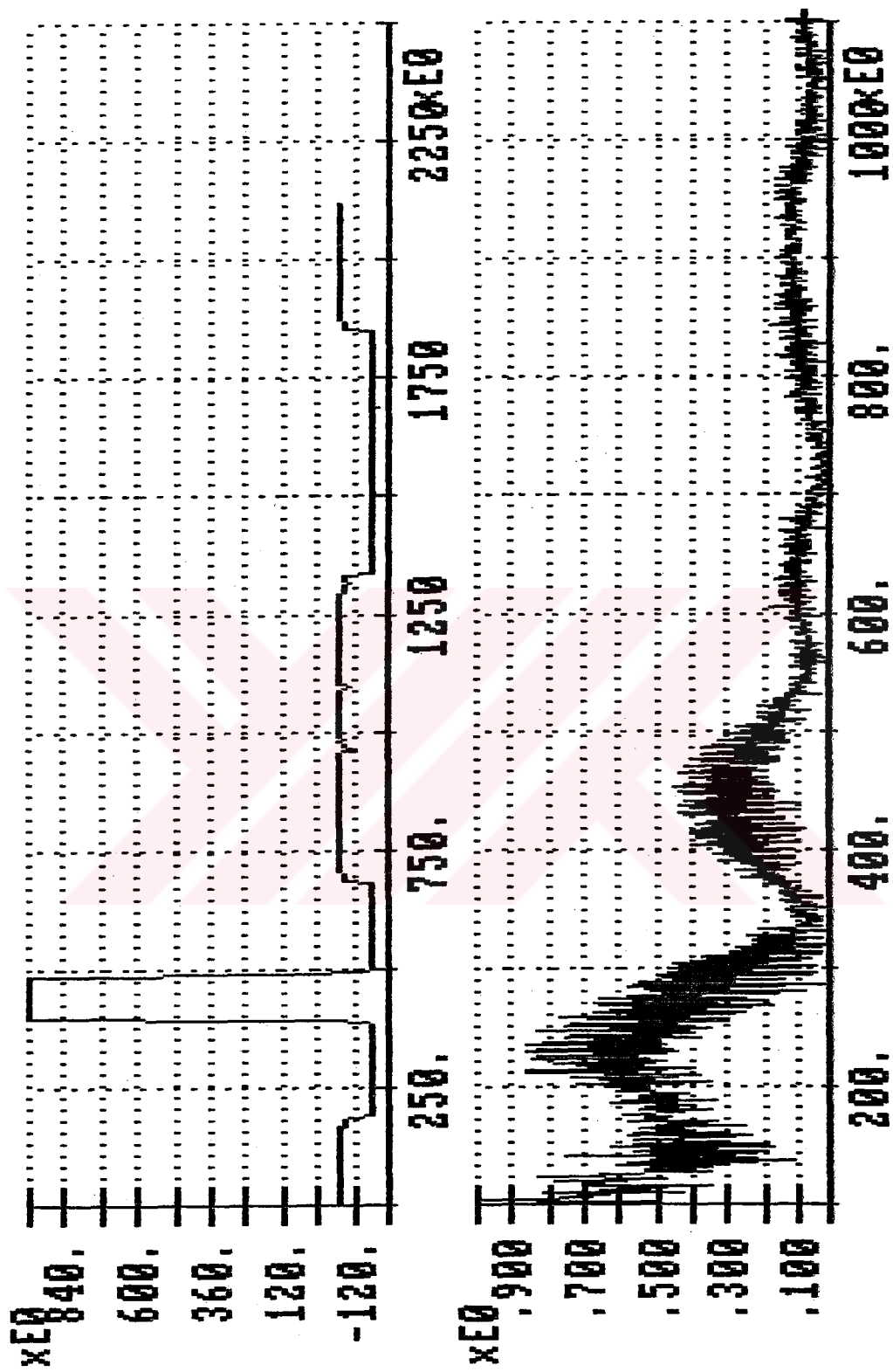


Figure S.1 Current waveform and harmonics

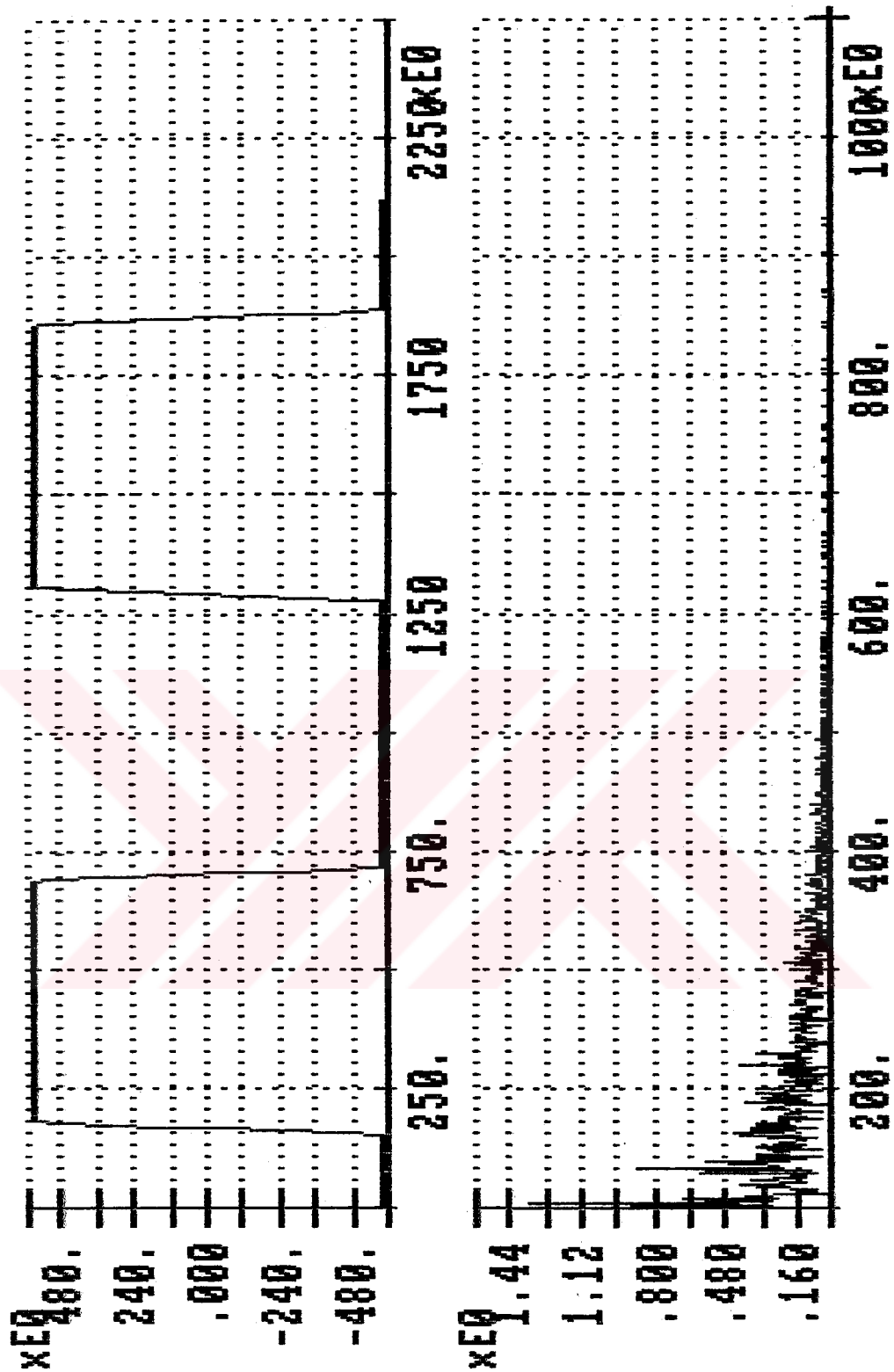


Figure S.2 Voltage waveform and harmonics

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 Tanıtım :

Güç sisteminde çalışan mühendisler için bilgisayar ile analiz önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Güç sistemindeki bozulmalar ve sorunların değerlendirilmesinde, güç sistemlerinin benzetişimi ve modellenmesi gerekli olur. Devredeki bozulmalar çok kez sistemdeki üç faz akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozulmalar olarak ortaya çıkar. Uluslararası düzeyde çalışma konusu olan bir bozulma şekli ise, günümüz modern güç sistemlerini olumsuz olarak etkileyen, " Güç Sistemi Harmonikleri " dir. Bu konuda çeşitli ülkelerde belirlenmiş olan uluslar arası sınır değerler Tablo 1.1' de sunulmuştur.

Güç sistemindeki AA harmonikleri, sistemi artan bir oranda etkilemekte, tesislerde zarara ve güç kesintilerine neden olmaktadır. Her ne kadar süzgeç devreleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmışsada süzgeçleme tesislerinin toplam maliyeti artırması, Statik VAR sistemi yada Ark Fırını gibi tesislerde kullanılan süzgeçlerde, maliyet optimizasyonunu gerekli hale getirmiştir. Sorunun en önemli kısmının ise güç sistemindeki harmoniklerin kuramsal olarak hesaplanmasında bulunduğu görülmektedir.

Bu çalışma, zamanla değişen yüklerin ve bunların meydana getirdiği harmoniklerin incelenmesi amacı ile geliştirilen, bilgisayarlı ölçüm ve benzetişim yöntemlerini içermektedir. Benzetişim sonunda hesaplanan kuramsal sonuçlarla ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Harmonik problemlerinin çözümü ve tahmini için

elektrik kaynak ve tüketicilerinin daha iyi incelenmesi gerekir. Güç sistem şebekesi, önceleri, sinüzoidal fonksiyonlu kaynaklar ve lineer elemanlı kompleks devreler olarak kabul edilirdi. Fakat pratikte güç sistemi

Tablo 1.1 Uluslararası Limitler

		THD_v	THD_i	V_h/V_1 tek	V_h/V_1 çift	I_h/I_1
Avusturalya						
dağıtım,	33KV	5.0		4.0	2.0	
iletim,	33-66KV	3.0		2.0	1.0	
	110KV	1.5		1.0	0.5	
Kanada						
	12KV	7.0	12.0	3.0	1.0	8.0
	12-44KV	6.0	10.0	1.5	1.0	6.0
	155KV	4.0	8.0	1.0	1.0	4.0
U. S. A.						
özel	2.4-66KV	8.0				
	>115KV	1.5				
genel	33-66KV	5.0				
	132KV	1.5				
Batı Almanya						
	harmonik seviyesi<15	3.0			5.0	
Türkiye						
	*	1.6		1.0	0.6	
İngiltere						
	.415KV	5.0		4.0	2.0	
	6.6-11KV	4.0		3.0	1.75	
	33-66KV	3.0		2.0	1.0	
	132KV	1.5		1.0	0.5	

* Tüm Gerilimler

Tablodaki Tüm Değerler (%) olarak verilmiştir.

şebekelerinde, kaynaklardaki, şebekelerdeki ve yük parametrelerindeki değişmelerden dolayı gerilim, akım, frekans ...vb değerler sürekli bozulmaktadır. Akım ve gerilimdeki bu bozulmalar, şebekeye harmonikli bileşenlerin verilmesi anlamına gelir. Akım ve gerilimde bozulmalar gözlemlendiğinde, sürekli ve geçici hal durumlarında devre modellemesi yapılırken, kaynaklarda, şebekede yada yük parametrelerinde lineersizlik olduğu düşünülür. Aslında bozulmuş olan akım ve gerilim dalga şekilleri, şebekede bulunan değişik frekanstaki gerilim ve akımların toplamlarından ibarettir. Bilgisayarlı ölçüm sistemi ile gözlenen gerilim ve akım dalgaları zamanla değişen işaretlerdir. Harmonik analizi açısından bu işaretlerin frekans domeninde incelenmesi gerekir. Bu amaçla " Hızlı Fourier Dönüşümü " (FFT) kullanılmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi V-I karakteristiğinde gözlenen bozulmalar, ya yükten yada kaynaktan kaynaklanmaktadır. Şimdi lineer olmayan yük ve kaynakları inceleyelim.

1.2. Harmoniklerin Üretilmesi:

Arızasız bir işletmede harmonikler çeşitli nedenlerle ortaya çıkarlar. Bunların başında magnetik ve elektrik devrelerindeki doğrusalsızlık gelir. Magnetik devrelerde doyma, elektrik devrelerinde ark ve güç elektroniğinde sinüs eğrisinin kesilmesi, doğrusal olmayan olaylardır. Örneğin generatörler, transformatör, motor ve bobin gibi demir çekirdek içeren cihazlar, doymanın baş göstermesi ile harmonikli akımlar üretirler. Ark fırınları ve kaynak makinaları gibi, normal işletmeleri gereği bir arkın oluşması sonucunda da harmonikler üretirler. Güç elektroniği kontrollü sistemler sinüzoidal

akım dalgasını keserlerken yine harmonikler oluşurlar. Kısaca karakteristiği doğrusal olmayan tüketiciler 50 Hz temel frekanslı aktif ve reaktif güç tüketirken, harmonik frekanslı akımlar üretirler. Bunlar devrelerini yakınlarında bulunan tüketiciler üzerinden kapatırlar ve harmonik frekanslı gerilimlerin meydana gelmesine neden olurlar. Böylece başlangıçta saf sinüzoidal olan gerilim dalga şekilleri bozulur. Normal çalışma koşullarının dışında yüksek gerilim hatlarındaki korona olayları, iki fazlı kısa devreler ve arklı kısadevreler de harmoniklerin meydana gelmesine neden olur [1].

Lineersizlik yüksek mertebeli, mesela karesel terimlerin meydana gelmesine sebep olur; bu da kendisini çeşitli şekillerde hissettirir:

- Karesel bir terim, bir doğru akım bileşeninin meydana gelmesine yol açar,
- akımın ve gerilimin temel harmoniklerinin tepe değerleri birbirleri ile orantılı olmazlar,
- her temel harmoniğin tepe değeri üzerine başka harmonikler tesir ederler,
- tam sayılı harmonikler meydana gelirler.

Bu açıklamadan anlaşılacağı üzere, işletme araçlarının elektriksel büyüklüklerinin hesaplanması esnasında karakteristiklerin lineer olmaması ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

Harmonik üretimi bakımından çok değişik imkanlarla karşılaşılır. En belirgin sınır haller şunlardır.

- Harmoniksiz gerilim ile işletme : İşletme araçlarının karakteristikleri lineer değilse harmonikli akım meydana gelir. Bu akımın, iç empedansı çok büyük olan bir akım kaynağında üretildiği kabul olunur.

- Harmoniksiz akım ile işletme : İşletme araçlarının karakteristiğinin lineer olmaması sebebi ile harmonikli bir gerilim meydana gelir. Bu gerilimin, iç empedansı ihmal edilebilecek kadar küçük olan bir gerilim kaynağından üretildiği kabul edilir.
- Bazı hallerde akım harmonikli ise, bunun tesiri ile gerilimde harmonik kazanır. Aksi olarak, gerilim harmonikli ise, bu, akımında harmonikli olmasını gerektirir.

Bunların en önemlisi ve pratikte en çok karşılaşılan durum, birinci hale tekabül eder; yani şebekeden tesise uygulanan faz arası gerilim sinüs şeklinde olduğu halde özellikle akım ve bu arada faz gerilimi harmonikli olurlar. Bu gibi harmonik kaynakları şunlardır:

- Generatörler,
- Transformatörler,
- Güç elektroniği sistemleri,
- Arkla çalışan işletme araçları.

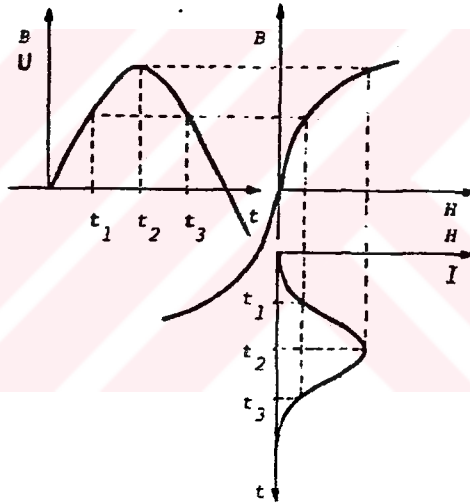
Aşağıda harmonik üreten işletme araçları ile ilgili olarak kısaca bilgi verilecektir [2,3].

1.2.1. Generatörler :

En doğal harmonik üreticisi generatörlerdir. Fakat oluk şekli, sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi konularda uygun konstrüktif önlemler alınarak ve generatörü amortisman sargısı ile donatarak gerilim eğrisinin sinüzoidal olması sağlanır. Onun için generatörler önemli bir harmonik üreticisi sayılmazlar.

1.2.2. Transformatörler :

Enerji tesislerinde en önemli harmonik üreticiler, transformatörler, bobinler ...vb gibi demir çekirdeği bulunan sargılardır. Bunların harmonik üretme özelliği, demir çekirdeğin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmayışına dayanır. Üç fazlı transformatörler şebekeden sinüs şeklinde bir gerilim ile beslendiklerinde, şebekeden bir mıknatıslanma akımı çekerler. Demir çekirdeğin magnetik karakteristiği lineer olmadığından, bu mıknatıslanma akımı artık sinüzoidal değildir. Şekil 1.1'de sinüzoidal şebeke gerilimi, mıknatıslanma karakteristiği ve mıknatıslanma akımı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Sinüzoidal şebeke gerilimi ile transformatörün demir çekirdeğine ait mıknatıslama eğrisi yardımı ile mıknatıslama akımının elde edilmesi. $U(t)$ şebeke gerilimi (verilmiş), $B(H)$ mıknatıslanma karakteristiği, $I(t)$ mıknatıslanma akımı (istenen).

Harmoniksiz Şebeke gerilimi

$$u(t) = \bar{U} \cos(\omega t + \phi_u) \quad (1.1)$$

olup sargı akısı

$$\phi(t) = \frac{1}{N} \int u(t) dt \quad (1.2)$$

ifadesine göre hesaplandığından, stasyon r durumda endüksiyon için

$$B(t) = \bar{B} \sin(\omega t + \phi_u) \quad (1.3)$$

ifadesi bulunur. Histerisiz ihmal edilirse, mıknatıslama eğrisi n derecelibir polinom ile ifade olunabilir. Bu eğri 0-noktasına göre simetrik olduğundan bu polinomda n derecesi, 1, 3, 5, ...vb gibi tek sayılar alınır.

Buna göre H alan Őiddeti ve I mıknatılama akımı için, h=1,3,5,7,9,... olmak üzere

$$H(t) = \sum \bar{H}_h \sin(h(\omega t + \phi_u)) \quad (1.4)$$

$$I(t) = \sum \bar{I}_h \sin(h(\omega t + \phi_u)) \quad (1.5)$$

ifadeleri bulunur. Arızasız stasyon r durumda Őu halde tek mertebeli akım harmonikleri meydana gelir.

Doyma arttıkk a harmoniklerin modülleri de büyür. Harmonik akımları transformatörün primer reaktansı, hat-tın reaktansı ve generatörün kaçak reaktansı üzerinden geçtiğinden, bunlar üzerinde harmonikli gerilim düşümleri

meydana gelir. Bu yüzden generatörde üretilen kutup tekerleği gerilimi sinüs şeklinde olduğu halde, generatör uçlarındaki endüi geriliminin ve şebeke geriliminin şekli bozulur. Başlangıçta transformatörün sinüzoidal bir gerilimle beslendiği yolunda yapılan kabul artık gerçekleşemez. Mıknatıslanma akımı ayrıca bundan da etkilenir.

Mıknatıslanma akımının harmoniklerinin tepe değerleri, temel mıknatıslanma akımının tepe değerinden bir hayli küçüktür. Esasen transformatörlerin mıknatıslanma akımları da, nominal akımların % 1 - % 10'u kadardır. Buna rağmen seri bağlı generatör, hat ve transformatör reaktansları frekansla orantılı olarak arttıklarından, düşük yüklerde yüksek harmonik akımlarının bunlar üzerinde sebep oldukları reaktif gerilim düşümleri büyük değerler alırlar.

1.2.3. Güç Elektroniği Sistemleri :

Enerji tesislerinde güç elektroniği gittikçe önem kazanmakta, doğrultucular ile tristörler geniş uygulama alanı bulmaktadır. Fakat bunlar da transformatörler kadar ve hatta daha çok harmonik ürettiklerinden, şebekede büyük sorunlara yol açmaktadır.

Doğrultucularda harmonik üretilmesi, akımın periyodik olarak kesilmesi esasına dayanır. Sinüs şeklinde bir alternatif gerilime bağlı olan bir doğrultucu, şebekeden I_1 temel harmonik akımı ile birlikte, yaklaşık olarak

$$I_h = \frac{I_1}{h}$$

(1.6)

harmonik akımlarını çekerler. Doğrultucularda darbe sayısı p olmak üzere, harmonik mertebesi

$$h = np \pm 1 \quad (1.7)$$

değerini alır. Burada $n = 1, 2, 3, \dots$ gibi tamsayılar alır. Genellikle doğrultucularda darbe sayısı 6, 12, 24 veya 36 dır. Mesela 6 darbeli doğrultucularda $h = 5, 7, 11, 13, \dots$ olup harmonik akımları $I_5 = I_1/5$, $I_7 = I_1/7$, $I_{11} = I_1/11$, $I_{13} = I_1/13$, ... gibi değerler alır. Buradan görüldüğü ki, darbe sayısı ne kadar büyük olursa, harmonik mertebeleri o kadar yüksek ve harmonik değerleri o kadar küçük olur.

Pratikte ölçülen harmonik akımları yukarıda hesaplanan değerlerden daha küçüktür ve yukarıda verilen ifadenin, k gibi bir katsayı ile çarpılması ile elde edilir:

$$I_h = \frac{I_1}{h} k_h \quad (1.8)$$

k_h katsayısı birden küçüktür ve doğrultucunun kumandasına bağlı olarak, çeşitli harmoniklerde farklı değerler alır. Mesela kesişim açısı $\mu = 20^\circ$, kumanda açısı $\alpha = 5^\circ$ ve endüktif doğru gerilim düşümü $u = \%4$ için

$$k_5 = \%92, k_7 = \%83, k_{11} = \%62, k_{13} = \%50$$

gibi verilmiştir.

Doğrultucularda darbe sayısı ne kadar yüksek olursa, harmonik mertebeleri de o kadar yüksek ve harmonik akımlarının değerleri de o kadar küçük olur. Böylece bunların zararlı tesirleride o nisbette azalır [4,5].

1.2.4. Arkla Çalışan İşletme Araçları :

Ark ocakları ve kaynak makineleri gibi normal işletmelerini ark ile sürdüren sistemler, tesislerde önemli harmonikler meydana getirirler. Ark, akım ile gerilim arasında lineer bir bağıntısının bulunmadığı fiziksel bir olaydır. Ark ocaklarının ve kaynak makinele-
rinin şebekeden çektikleri akımların harmoniklerini, ne efektif değer bakımından ve ne de mertebe bakımından hesap yolu ile tayin etmeye imkan yoktur. Zira arkın meydana gelişi, o anda tesir eden birçok iç ve dış fiziki faktörlere bağlıdır. Ark akımında her mertebeden harmonik bulunabileceği gibi, bunların değerlerinin zamana bağlı olarak sabit kalmaları beklenemez. Harmonikler ark ocağının gücüne ve çalışma safhasına bağlı olarak da değişirler. Onun için bir işletmedeki akım harmonikleri hakkında bilgi edinmek maksadı ile çekilen akım, osilogramla kaydedilebilir ve analizörlerle harmonikleri tesbit edilebilir. Biz bu çalışmada, arkla çalışan işletme araçlarından alınan akım ve gerilim numunelerini bilgisayarda izleyip, analizini yapma yolunu izleyeceğiz.

Belirli bir ark ocağı tesisi için aşağıdaki harmonik değerleri verilmiştir.

Genlik (%)

h	Ortalama	En Büyük
2	4....6	30
3	6....10	20
4	2....6	15
5	2....10	12
6	2....3	10
7	3....6	8
9	2....5	7

1.3.Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Uzerine Etkileri:

Harmonik Üreticilerinin bulundukları tesislerde bunların çeşitli tesis bölümlerine bir çok zararlı etkileri vardır; bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.3.1. Generatör ve Şebeke Gerilimleri Uzerine Etki :

Bilindiği gibi endüktif dirençler frekansla doğru orantılı olarak artarlar. Bu yüzden temel harmonikteki değeri X_L olan endüktif bir direnç, harmonik mertebesi h olan bir akımın karşısında

$$X_{L_h} = h.X_L \quad (1.9)$$

değerini alır, yani akımın frekansı büyüdükçe endüktif direnç de büyür. Her ne kadar boşa çalışan generatörlerde sinüs şeklinde bir gerilim endüklenirse de şebekede üretilen harmonikler nedeni ile, yüklenen generatörün sargılarından harmonikli akımlar geçtiğinde bunlar stator kaçak reaktanslarında kaçak alanlar ve yüksek harmonikli gerilim düşümleri meydana getirirler. Generatörde indüklenen gerilim sinüs olmasına rağmen bu yüzden generatör uçlarındaki gerilimin ve şebeke geriliminin şekli bozulur.

1.3.2. Gerilim Düşümünün Artması ve Fliker Olayı :

Harmonik akımlarının frekansları, normal şebeke frekansı 50 Hz'in h katlarına eşit olduğundan, bu akımlar karşısında generatör, transformatör ve hat reaktansları üzerinde meydana gelen gerilim düşümleri de h ile orantılı olarak artar. Bu gerilim düşümlerinin

frekansları 'h' ile orantılı olduğundan, bunların normal gerilim ile birleşmesi sonucunda gerilim şekli bozulur.

Örneğin ark ocakları gibi, olayların hızlı değiştiği yerlerde, harmonik akımlarının yol açtıkları gerilim düşümleri de zamana bağlı olarak hızlı değiştiğinden, şebeke geriliminde 2-15 Hz mertebesinde titreşimler baş gösterir; buna 'flicker olayı' denir. Bu olay yakında bulunan tesislerdeki cihazlara ve aydınlatma tüketicilerine olumsuz olarak etki yapar. Özellikle akkor telli lambalarda ışığın titreşimine yol açar; bu da gözleri çok rahatsız eder.

1.3.3. Kondansatörler Üzerine Etki :

Kapasitif direçler, frekansla ters orantılı olarak azalır. Bu yüzden temel harmonikteki değeri X_C olan kapasitif direnç, harmonik mertebesi 'h' olan bir akımda

$$X_{C_h} = X_C / h \quad (1.10)$$

değerini alır, yani akımın frekansı büyüdükçe kapasitif direnç küçülür. Bunun sonucu olarak büyük harmonik frekanslarında kondansatörler daha büyük akımlar çekerler ve aşırı yüklenirler. h. harmoniğin U_h harmonik gerilimi altında kondansatörün çektiği akım

$$I_h = \omega_h \cdot C \cdot U_h = h \cdot \omega \cdot C \cdot U_h \quad (1.11)$$

ve gücü

$$Q_h = h \cdot \omega \cdot C \cdot U_h^2 = I_h^2 / (h \cdot \omega \cdot C) \quad (1.12)$$

değerini alır burada $\omega = \omega_1$ temel harmoniğin dairesel

frekansıdır. Kondansatör uçlarındaki gerilimin efektif değeri

$$U_c = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2} \quad (1.13)$$

dir. Kondansatör akımının efektif değeri de, aynı şekilde harmonik akımlarının karesel ortalamasına eşittir.

$$I_c = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (1.14)$$

Bu akım, harmonikli gerilimin efektif değerine eşit sinüzoidal bir gerilim altında kondansatörün çektiği akımdan büyüktür. Onun için kondansatör tesislerinde besleme iletkeninin kesitinin, sigortaların ve anahtarların seçiminde, harmonikli akımın, sinüzoidal nominal akımdan daha büyük olduğu daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Harmonikli U_c ve I_c efektif değerleri uygun ölçü cihazları ile ölçülebildikleri halde kondansatörün Q_c gücü, akım ile gerilimin efektif değerlerinin çarpımı ile hesaplanamaz ve ayrıca normal vatmetre ile ölçülemez. Kondansatör gücü, gerekirse ancak

$$Q_c = \sum_{h=1}^{\infty} Q_h = \omega \cdot C \cdot \sum_{h=1}^{\infty} h \cdot U_h^2 = \frac{1}{\omega \cdot C} \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h^2}{h} \right) \quad (1.15)$$

ifadesine göre hesaplanabilir.

Gerilimdeki harmonikler dolayısı ile kondansatörün gücü de artar. Şebeke işletmesinde sadece temel harmoniğe

kondansatör gücü geçerlidir. Eğer temel harmonikten başka bir adet h_b gibi belirli bir harmonik varsa, toplam kondansatör gücünün nominal kondansatör gücüne oranı, yaklaşık olarak

$$Q_c/Q_{cn} = h_b/(h_b+1) \cdot (U_c/U_{cn})^2 + 1/(h_b+1) \cdot (I_c/I_{cn})^2 \quad (1.16)$$

ifadesine göre hesaplanır.

Mesela kondansatöre uygulanan gerilim, % 20 oranında 5. harmonik ihtiva ederse, yani $U_5 = 0,2 U_1$ ise, kondansatörün çektiği 5. harmonik akımı

$$I_5 = 5 \cdot w \cdot C \cdot 0,2 \cdot U_1 = w \cdot c \cdot U_1 \quad (1.17)$$

olur. Temel harmonik akımı ise $I_1 = I_n$ olduğu kabul olunarak

$$I_1 = w \cdot C \cdot U_1 \quad (1.18)$$

olduğuna göre

$$I_1 = I_5 \quad (1.19)$$

dir. Buna göre kondansatörün çektiği toplam akım

$$I_c = \sqrt{I_1^2 + I_5^2} = I_1 \sqrt{2} = 1,41 \cdot I_1 \quad (1.20)$$

değerini alır. Bu akım ise, temel harmonik akımından %41 oranında daha büyüktür. TS604'e göre kondansatörün en fazla $1,3I_n$ değerinde aşırı yüklenmesine müsaade edildiğinden, bu verilen örnekte bir kondansatörün dielektrikumu, müsaade edilen değere göre % 10 kadar daha fazla zorlandığı gibi, diğer taraftan kondansatörü besleyen iletkenler ve diğer tesis elemanları aşırı yüklenmiş olur.

% 20 oranında 5. harmoniği olan gerilimin efektif değeri-
nin

$$U_c = U_1 \sqrt{1+0,2^2} = 1,02U_1 \quad (1.21)$$

olduğu gözönüne alınırsa, denklem (1.16)'ya göre kondansatörün gücü, nominal değerin yaklaşık

$$Q_c/Q_{cn} = 1,2 \quad (1.22)$$

katı olur.

TS 804'e göre kondansatörler, sinüs şeklinde gerilim altında ve nominal frekansla sürekli olarak nominal efektif akım değerinin 1,3 katı ile yüklenebilirler. Aynı şekilde gerilim içinde $1,1.U_n$ gibi bir sınır değer konmuştur. Şu halde sinüzoidal olmayan bir gerilim altında, yukarıda söz konusu olan akım ve gerilim şartları ile kondansatörün sürekli olarak $1,35Q_n$ ile çalıştırılmasına müsaade edilmektedir.

1.3.4. Kayıpların Artması :

Harmonik akımları, şebekede faz başına $I_n^2.R$ gibi ek bir zayıtın meydana gelmesine neden olurlar. Gerilim eğrisindeki harmonikler makinelerin yüklenmeleri halinde zararlı ek akımların geçmesine yol açar. Bu yüzden makineler, transformatörler ve enerji nakil hatları ek olarak ısınırlar. Ayrıca generatörlerin amortisman sargıları, bir fazlı veya iki fazlı kısa devrelerde meydana gelen harmonikleri azaltacak ve ortadan kaldıracak şekilde etki ederken kendileri de çok ısınırlar ve generatörlerde ek kayıpların meydana gelmesine yol açarlar.

1.3.5. Elektrik Makinaları Uzerine Etki:

Harmonikli gerilimle beslenen senkron ve asenkron makinalar, aşırı ısındıkları gibi harmonikler bunların, salınım yapmalarına yol açarlar.

1.3.6. Sayaçlar Uzerine Etki :

Endüksiyonlu tip sayaçlarla yapılan enerji ölçümü, harmonikli devrelerde yanlış sonuç verir.

1.3.7. Kontrol Cihazları Uzerine Etki :

Özellikle ateşleme anları, gerilimin sıfırdan geçmesine göre ayarlanmış olan kontrol cihazları ve otomatik anahtarlar, harmonikler nedeni ile yanlış çalışırlar.

1.3.8. Mikro Bilgi İşlemciler Uzerine Etki :

Yarı iletkenli bilgi işlemci sistemlerde harmonikler hatalı çalışmalara yol açarlar.

1.3.9. İzolasyonun Delinmesi :

Sinüs şeklindeki gerilim eğrisine eklenen gerilim harmoniklerinin meydana getirdiği iğne ucu şeklindeki sivri, çok kısa süreli ani gerilim yükselmeleri, örneğin gerilim rezonansı gibi hallerde makina ve transformatör sargılarının izolasyonu ve kondansatörlerin dielektrik maddesi için büyük bir tehlike oluşturlar ve bazen

izolasyonda delinmeye yol açabilirler. Buna karşılık mesnet, askı ve geçiş izolatörleri için bu gibi aşırı gerilimler hemen hemen hiç bir tehlike yaratmazlar.

1.3.10. Yarı İletkenler Üzerine Etki :

Normal frekanslı gerilim üzerine bindirilmiş olan harmonik gerilimlerinin kısa süreli, iğne şeklinde ani yükselen uçları, yarı iletkenlerin delinmesine neden olurlar.

1.3.11. Haberleşme Tesislerine Etki :

Çok yüksek mertebeli harmonikler, genliklerinin küçük olması nedeni ile kuvvetli akım tesislerinde zararsız oldukları halde bunlar, haberleşme tesisleri için zararlı olurlar ve parazitler meydana getirirler [6].

BÖLÜM 2 ELEKTRİK TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI VE BUNLARA KARŞI TEDBİRLER

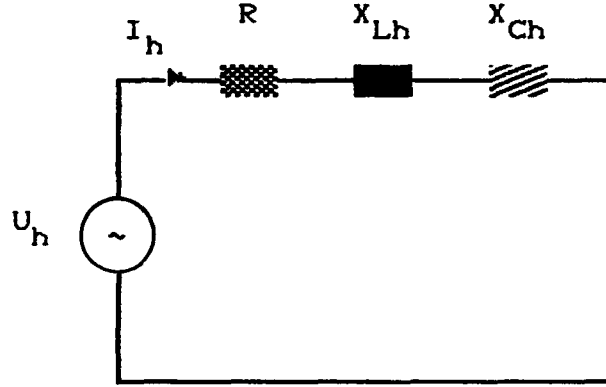
2.1 Elektrik Tesislerinde Rezonans Olayları:

Kompanzasyon maksadı ile kondansatörlerin bağlandığı ve/veya yüksek gerilim kablolarının mevcut olduğu tesislerde, sabit şebeke frekanslı titreşim devrelerine karşılık, harmonikli titreşim devrelerinde L ve C sabit kaldığı halde gerilimin ihtiva ettiği harmonik frekansları etkili olurlar. Bazı hallerde bazı motorların devreye sokulup çıkarılması sonucunda L değiştiğinde veya değişen L ye göre kompanzasyonu gerçekleştirmek için C değiştirildiğinde başka frekanslarda rezonans ihtimalleri doğar.

Yukarıda açıklandığı gibi, bu durumda şebeke frekansı ω_s artık sabit olmayıp $\omega = 2\pi f = 314 \text{ 1/s}$ değerindeki normal şebeke frekansının h katına eşit harmonikler ihtiva eder.

2.1.1. Seri Rezonans:

Seri titreşim devresine U_h gibi belirgin harmonik-leri olan bir gerilim uygulandığında devreden I_h gibi aynı harmonikleri bulunan bir akım geçer. Şebekenin lineer olmasından yararlanarak kolaylık olması için böyle bir devre her bir h harmonik mertebesi için ayrı ayrı incelenir ve sonuç süperpozisyon yolu ile genelleştirilir. Şekil 2.1de h. harmonik için bir seri titreşim devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 h. harmonik için seri titreşim devresi

h. harmonik frekansında

U_h Şebeke gerilimi

I_h Hat akımı

X_{Lh} Endüktif direnç

X_{Ch} Kapasitif direnç

R Ohmik direnç

Belirli bir h harmoniğinde devrenin empedansı

$$\begin{aligned} Z &= R + j\omega_h L + \frac{1}{j\omega_h C} = R + j \left[h\omega L - \frac{1}{h\omega C} \right] \\ &= R + jhX_{C1} \left[\frac{X_{L1}}{X_{C1}} - \frac{1}{h^2} \right] \end{aligned} \quad (2.1)$$

olup bunun mutlak değeri

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + \left(h\omega L - \frac{1}{h\omega C} \right)^2} = \sqrt{R^2 + (X_{Lh} - X_{Ch})^2} \\ &= \sqrt{R^2 + h^2 \left(X_{L1} - \frac{X_{C1}}{h^2} \right)^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Eğer devrenin bir sabit gerilim kaynağından beslendiği kabul edilirse devreden geçen toplam akım

$$I_h = \frac{U_h}{R + j \left[h\omega L - \frac{1}{h\omega C} \right]} = \frac{U_h}{R + j(X_{Lh} - X_{Ch})} \quad (2.3)$$

veya

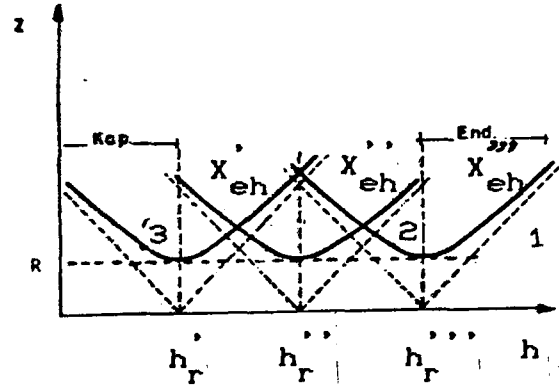
$$I_h = \frac{U_h}{\sqrt{R^2 + (X_{Lh} - X_{Ch})^2}} \quad (2.4)$$

dir. Seri bağlı endüktif ve kapasitif dirençlerinin eşdeğer reaktansı

$$\begin{aligned} jX_{eh} &= j \left[h\omega L - \frac{1}{h\omega C} \right] = j(X_{Lh} - X_{Ch}) \\ &= jhX_{C1} \left[\frac{X_{L1}}{X_{C1}} - \frac{1}{h^2} \right] \end{aligned} \quad (2.5)$$

dir.

ω sabit normal şebeke frekansına eşit olduğundan, değişik h harmonik mertebelerine veya değişen $h\omega$ frekansına göre X_e reaktansı ile Z empedansı da değişir. Şekil 2.2 de devre empedansının frekansa göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Seri titreşim devresinin empedansının ve devreye uygulanan gerilimin frekansa bağlı olarak değişimi
1,2,3 eğrileri farklı X_{eh} ler için geçerlidir.

h. harmonikte endüktif direncin kapasitif dirence göre büyük veya küçük olmasına göre şebeke endüktif veya kapasitif olur.

Kayıpsız ideal bir titreşim devresinde $R=0$ alınır ve empedans

$$Z = j X_{eh} = j h X_{C1} \left(\frac{X_{L1}}{X_{C1}} - \frac{1}{h^2} \right) \quad (2.6)$$

değerini alır.

Şekilde 1 ile gösterilen eğri C ve L nin belirli bir değeri için geçerlidir. Burada belirli bir $h_r \omega$ değerinde

$$X_{er} = h_r \omega L - \frac{1}{h_r \omega C} = 0 \quad (2.7)$$

olursa rezonans şartı gerçekleşir. Seri titreşim devresinin rezonans frekansı

$$h_r \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.8)$$

dir. Rezonans halinde empedans

$$Z_r = R \quad (2.9)$$

değerini alır. X_L ve X_C nin değişik değerlerinde başka harmonik frekanslarında da rezonanslar meydana gelebilir. Bu gibi haller için şekil 2.2 de mesela 1,2,3 gibi gibi empedans eğrileri elde edilir.

Devrenin sabit akım kaynağından beslendiği kabul edilirse, harmonik gerilimleri frekansa bağlı olarak, şekil 2.2 de gösterilen empedanslar gibi değişirler:

$$U_h = I_{hr} \cdot Z_h \quad (2.10)$$

Rezonans halinde ise harmonik gerilimleri

$$U_{hr} = I_{hr} \cdot R \quad (2.11)$$

gibi en düşük değerlerini alır.

İdeal durumda, yani kayıpsız titreşim devresinde $R=0$ olduğundan bir nevi kısa devre başgösterir ve sonsuz büyük bir akım geçer. Bu durumda endüktif ve kapasitif dirençler üzerinde çok büyük gerilimler meydana gelirler. Ancak bunların değerleri eşit fakat yönleri ters olduğundan birbirlerini götürürler ve devrenin gerilimi

sıfır olur. Bu yüzden buna gerilim rezonansı denir. Devreden geçen akımın ve kondansatör geriliminin frekansa göre değişimi şekil 2.3 de işaret edilmiştir. Burada da 1,2,3 vb. eğrileri, parametrik olarak değişen L ve C veya bunların toplam eşdeğeri olan X_e değerlerine aittir.

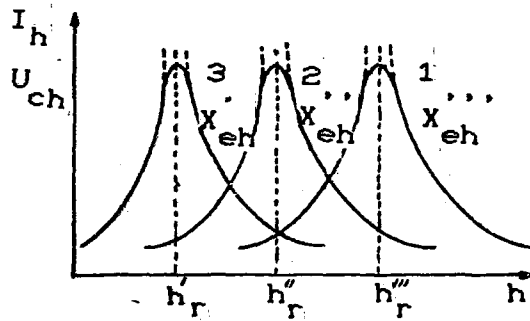
Genellikle devreye uygulanan gerilimin belirli bir h harmoniğine ait değeri, nominal sinüzoidal şebeke geriliminin a_h katına eşit olduğu kabul olunur. Buna göre

$$U_h = a_h \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad (2.12)$$

ve

$$I_h = a_h \frac{U_n}{\sqrt{3} Z} \quad (2.13)$$

bulunur. a_h için belirli değerler verilirse, U_h ve I_h kolayca hesaplanır.



Sekil 2.3 Seri titreşim devresinde akımın frekansa göre değişimi. 1,2,3 eğrileri farklı X_{eh} ler için geçerlidir.

Seri titreşim devresinde devreden geçen akım, aynı zamanda kondansatör akımına eşit olduğundan

$$I_h = I_{Ch} \quad (2.14)$$

alınır. Termik zorlama bakımından kondansatörden geçen akım önemli olduğundan, harmonikli U_n gerilimi altında kondansatörden geçen toplam $I_n = I_C$ akımının hesaplanması istenir. Çeşitli harmonik gerilimlerine göre devreden geçen akımlar $I_{C1}, I_{C5}, I_{C7}, I_{C11}, I_{C13}, \dots$ ise kondansatörden geçen akım

$$I_C = \sqrt{I_{C1}^2 + I_{C5}^2 + I_{C7}^2 + I_{C11}^2 + I_{C13}^2 + \dots} \quad (2.15)$$

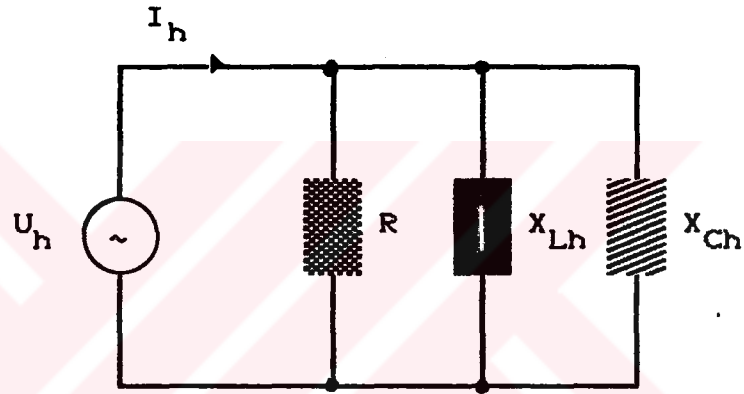
dir.

Bundan başka seri titreşim devresi elemanları belirli harmonik frekansı değeri için uygun değerler göre boyutlandırıldığı takdirde bu harmonik için bir filtre elde edilir.

Seri titreşim devrelerinde rezonansı önlemek için sabit kompanzasyon kondansatörü tercih edilmelidir. Rezonansın meydana gelmesi halinde devre sabitelerinden biri ve daha kolay olduğu için tercihan C değiştirilir. Pratikte enerji tesislerinde seri rezonans olayına oldukça az rastlanır. Bir transformatör tarafından beslenen uzun bir kablo hattı boşta çalışırken veya bir transformatörün sekonder tarafına bağlı kompanzasyon kondansatörleri boşta çalışırken şebeke ve transformatör reaktansı ile kapasitif dirençten oluşan seri titreşim devresi meydana gelir. Bu durumda şebeke oldukça büyük bir kapasitif paya sahip olur. Eğer bu esnada şebekede bir harmonik kaynağı tarafından bu devre beslenirse, herhangi bir harmonik frekansında rezonans şartı gerçekleşebilir.

2.1.2 Paralel Rezonans :

Paralel titreşim devresi, bir harmonik kaynağından beslenirse, L ve C sabit olduğu takdirde, devreden çeşitli harmonikleri ihtiva eden I_h gibi bir akım geçer. Şebekenin lineer olmasından yararlanarak, kolaylık olması için böyle bir devre, belirli bir h harmoniği için ayrı ayrı incelenebilir. Şekil 2.4 de h. harmonik için bir paralel titreşim devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 h. harmonik için paralel titreşim devresi

Devrenin empedansı

$$\begin{aligned} Z_h &= \frac{1}{\frac{1}{R} + j \left[\omega_h C - \frac{1}{\omega_h L} \right]} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{R} + j \frac{h}{X_{C1}} \left[1 - \frac{1}{h^2} \frac{X_{C1}}{X_{L1}} \right]} \end{aligned} \quad (2.16)$$

ve bunun mutlak değeri

$$\begin{aligned} Z_h &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega_h C - \frac{1}{\omega_h L}\right)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(X_{Ch} - \frac{1}{X_{Lh}}\right)^2}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

dir.

Bu devrede en önemli büyüklük kondansatör üzerinden geçen akımdır; zira harmonik frekansı büyüdükçe kondansatör üzerinden geçen akım büyür ve bu yüzden kondansatör aşırı yüklenir. Kondansatörün I_{C1} temel frekanstaki akım

$$I_{C1} = \frac{Q_{C1}}{\sqrt{3}U_n} \quad (2.18)$$

denklemine göre ve I_{Ch} harmonik akımı,

$$I_{Ch} = \frac{U_{Ch}}{-jX_{Ch}} = j \frac{U_{Ch}}{\frac{X_{C1}}{h}} = I_h \frac{1}{1 - \frac{1}{h^2} \frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \quad (2.19)$$

ifadesine göre hesaplanır. Kondansatör üzerinden geçen

toplam akım için ise, mesela kondansatöre uygulanan gerilim, temel harmoniğin %20'si oranında 5. harmonik ihtiva ederse, yani $U_5 = 0,2U_1$ ise, kondansatörün çektiği 5. harmonik akımı

$$I_5 = 5\omega_1 \cdot C \cdot 0,2 \cdot U_1 = \omega_1 C U_1 \quad (2.20)$$

olur. Temel harmonik akımı ise

$$I_1 = \omega_1 C U_1 \quad (2.21)$$

olduğundan,

$$I_5 = I_1 \quad (2.22)$$

olduğu görülür. Buna göre kondansatörün çektiği akım

$$I_C = \sqrt{I_1^2 + I_5^2} = \sqrt{2} I_1 = 1,41 I_1 \quad (2.23)$$

değerini alır. Bu değer, kondansatörün temel harmonik altında çektiği akımdan % 41 oranında daha büyüktür. Böylece bir taraftan kondansatörün dielektrikumu mücade edilen değere göre %10 - %15 kadar daha fazla zorlandığı gibi diğer taraftan kondansatörü besleyen iletkenlerde aşırı yüklenmiş olur.

Şekil 2.5'e göre paralel X_C ve X_L dirençlerinin eşdeğeri.

$$\begin{aligned}
 X_{eh} &= \frac{1}{\frac{1}{jX_{Lh}} - \frac{1}{jX_{Ch}}} = \frac{1}{\frac{1}{jhX_{L1}} - \frac{h}{jX_{C1}}} \\
 &= -j \frac{1}{\frac{h}{X_{C1}} \left(1 - \frac{1}{h^2} \frac{X_{C1}}{X_{L1}} \right)} \quad (2.24)
 \end{aligned}$$

dir.

h harmonik mertebesine bağlı olarak kapasitif direnç değerinin, endüktif dirence karşı büyük veya küçük olmasına göre devrenin eşdeğer reaktansı kapasitif yada endüktif karakterde olur. Eğer belirli bir h_r harmonik değerinde

$$1 - h_r^2 \omega^2 LC = 0 \quad (2.25)$$

veya

$$X_{Lhr} = X_{Chr} \quad (2.26)$$

ise $X_{Chr} \rightarrow \infty$ olur ve devrede sadece $Z=R$ direci kalır. Bu durumda rezonans baş gösterir ve

$$\omega_{hr} = \omega \cdot h_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega \sqrt{X_{C1} X_{L1}} \quad (2.27)$$

olunur. Buradaki $1/\sqrt{LC}$ değeri, şu halde titreşim devresinin rezonans frekansıdır ve rezonans baş gösterdiği harmonik değeri

$$h_r = \frac{1}{\omega \sqrt{LC}} \quad (2.28)$$

dir. Bu durumda empedans

$$Z_r = R \quad (2.29)$$

değerini alır.

R direnc değerinin çok büyük olması halinde $R \rightarrow \infty$ alınarak ideal bir kayıpsız titreşim devresi elde olunur. Böyle bir devrede rezonans halinde $I_{hr} = 0$ olur. Harmonik üreticide U_{hr} gerilimi mevcut olmasına rağmen, rezonans halinde titreşim devresinin direnci sonsuz olduğundan ve bu devre bir tıkaç gibi tesir ettiğinden devreden artık ω_{hr} frekanslı bir akım geçmez. Bu yüzden bu paralel rezonans devresine <tıkaç devresi> adı verilir. Akım kaynağından I_{hr} gibi bir akım geçmezse de devrenin içinde, paralel bağlı elemanlar arasında ω_{hr} frekanslı bir akım dolaşır; bu yüzden bu devreye <akım rezonans devresi> adı da verilir. Paralel rezonansın uçlarında U_{hr} gibi bir gerilim bulunduğundan, kondansatörden geçen akım

$$I_{Chr} = \frac{U_{hr}}{X_{Chr}} \quad (2.30)$$

ve bobin üzerinden geçen akım

$$I_{Lhr} = \frac{U_{hr}}{X_{Lhr}} \quad (2.31)$$

olup $X_{Chr} = X_{Lhr}$ olduğundan bu akımlar da birbirine eşittir:

$$I_{Chr} = I_{Lhr} \quad (2.32)$$

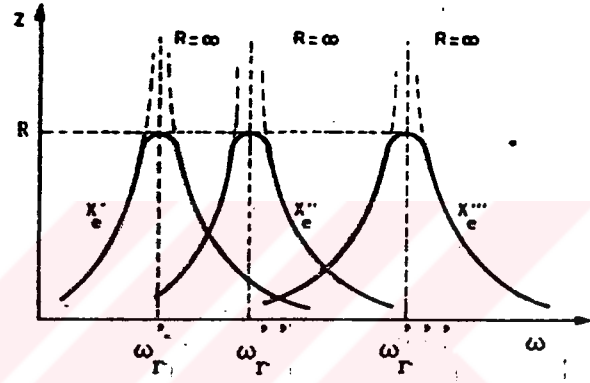
Su halde ωh_r frekansında bu akımlar hem değer ve hem de faz bakımından birbirini tam olarak kompanze ettiğinden bağlantı hatlarından akım geçmez. Bu olaydan temel frekansta $\cos\phi=1$ değerine kadar reaktif güç kompanzasyonu için yararlanılır ve hem teknik, hem ekonomik bakımından büyük avantaj sağlanır. Bu gibi hallerde bobin devresi mesela bir asenkron motora ve kapasite devresi kompanzasyon kondansatörlerine karşılık gelir. Yüksek harmonikli tesislerde ise hatların yüklerini hafifletmek için bu tıkaç devrelerinden yararlanılır.

Eğer paralel bağlı kondansatör ayarlı ise, kondansatörü değiştirmekle rezonans şartı bozulur. Fakat bu seferde başka bir harmonik değerinde rezonans baş gösterebilir.

Harmonik kaynağı genellikle bir akım kaynağı gibi etki yaptığından, devreyi yaklaşık sabit akımla besler. I_h harmonik akımları hesap veya ölçü yoluyla tayin edilir. Buna karşılık U_h harmonik gerilimi

$$U_h = I_h \cdot Z_h = -jI_h \frac{1}{\frac{h}{X_{C1}} \left[1 - \frac{1}{h^2} \frac{X_{C1}}{X_{L1}} \right]} \quad (2.33)$$

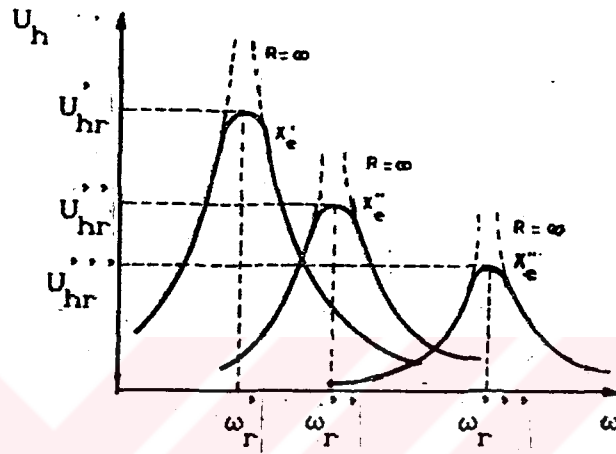
ifadesine göre hesaplanır ve devrenin direncine bağı olarak artar. Şekil 2.5 de paralel titreşim devresinin empedansının ve devrenin sabit bir akım kaynağından beslenmesi hali için, şekil 2.6 de ise harmonik gerilimlerinin frekansa göre değişimleri gösterilmiştir; burada devrenin eşdeğer reaktansının farklı değerleri, parametre olarak değiştiği işaret edilmiştir.



Şekil 2.5 Paralel titreşim devresinde toplam empedansın farklı eşdeğer reaktans değerlerine göre, frekansa bağı olarak değişimi.

Pratikte bir çok hallerde rastlandığı gibi, bir doğrultucu veya ark ocağı tesisine kompanzasyon maksadı ile bir kondansatör grubu paralel bağlandığında (doğru sistemde) yukarıda açıklanan şekilde bir paralel titreşim devresi meydana gelir. Böyle bir tesiste doğrultucuların ve ark fırınlarının sabit akım harmonik generatörü olarak tesisi beslediği kabul edilir. doğrultucu tesisi, şebekeyi sabit akım harmonikleri ile besler. Yani harmonik generatörünün şebekeye verdiği akımlar, şebekenin empedansına bağı değildir. Buna karşılık tesisi normal olarak besleyen normal frekans generatörleri, harmonik akımları karşısında sadece bir

reaktans gibi tesir ederler. Bunun sonucu olarak, titreşim devresindeki harmonik gerilimleri, devrenin direncine bağlı olarak artarlar. Titreşim devresinde rezonans şartı gerçekleştiğinde devreden akım geçmez ve harmonik gerilimi en büyük değerini alır.



Sekil 2.6 Paralel titreşim devresinde akımın ve gerilimin, farklı eşdeğer reaktans değerlerine göre frekansa bağlı olarak değişimi.

Normal frekansta sistemi besleyen yüksek ve orta gerilim şebekesinin reaktansı, harmonik generatörü için kompanzasyon kondansatörüne paralel bağlı reaktif dirençtir.

2.2 Harmonik Rezonanslarına Karşı Tedbirler:

Harmonik rezonanslarının zararlı tesirlerine karşı tesisleri korumak için genel olarak bazı tedbirler alınır. Bunlardan birincisi, doğrultucu tesislerinde darbe sayısının yüksek seçilmesidir. Mesela 6 darbeli doğrultucu yerine 12 veya daha yüksek darbeli doğrultucuların kullanılması ile harmoniklerin

mertebeleri yükselir ve genlikleri düşer. Bu sayede harmoniklerin etkisinde geniş ölçüde azalmış olur. İkinci olarak, kompanzasyon tesislerinin bulundukları yerlerde üçgen sargısı bulunan transformatörler seçilir. Bu gibi transformatörler, ya üst gerilim tarafında üçgen bağlı bir sargı ile yahut da, büyük güçlü transformatörlerde olduğu gibi, kapalı üçgen bağlı üçüncü bir sargı ile donatılırlar. Bu sayede genliği en büyük olan 3. harmonikler şebekeye geçemez. Başka bir tedbir de, doğrultucu tesisleri iki kısma ayrılıp bir kısmını, üç sargılı bir transformatörün yıldız bağlı sekonder sargısından ve ikincisini ise üçgen bağlı ikinci sekonder sargısından beslenmektedir. Bu sayede 5. ve 7. harmonikler önemli derecede azaltılırlar. Bu genel tedbirlerden başka harmonikleri önleyici özel tedbirler aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1 Seri Rezonansı Önleyici Tedbirler:

Evvelce de açıklandığı gibi, seri rezonans ender olarak görülür. Bununla beraber bir seri rezonans meydana geldiğinde devreden geçen büyük akımlar, anahtarların ve kontaktörlerin kontaklarında aşırı ısınmaya yol açar; böylece devreye artık kumanda etme imkanı kalmaz. Ayrıca devredeki bağlantı iletkenlerinde, özellikle kondansatör bağlamalarında aşırı ısınmalar ve kısa devreler başgösterir. Harmonik akımlarının tesiri ile kondansatör aşırı ısınır ve harap olma tehlikesi belirir.

Kondansatörünayarlı olması halinde, frekans rezonansından başka, belirli bir frekansta değişen kapasiteye görede rezonans şartları gerçekleşebilir. Bu yüzden, rezonans ihtimalini azaltmak için, kondansatörde regülatör kullanılmamalı ve tesis sabit bir kompanzasyon gücü ile çalıştırılmalıdır.

Bazı hallerde harmonik frekansları ve kondansatör sabit oldukları halde tesiste yapılan bir değişiklik, mesela bazı paralel transformatörlerin veya bazı motorların devreye girip çıkması, X_L değerinin değişmesine ve böylece yeni bir rezonans şartının oluşmasına yol açabilir. Bu gibi hallerde sadece devredeki kondansatör değeri değiştirilerek rezonans şartı bozulabilir.

Şebekeden gelen harmonik akımlarını etkisiz bir hale getirmek ve rezonansı önlemek için en uygun çare en belirgin harmonik frekansları için filtreler tesis etmektir. Filtrelerin yapılışından ve tesir tarzından ileride bahsedilecektir.

Kondansatörlerin $1,3I_n$ değerine kadar aşırı akımla çalışmalarına müsaade edilir. Alçak gerilim tesislerinde kondansatörler aşırı akımlara karşı özel koruma düzenleri ile korunurlar. Bunlar arasında sigortalat en uygun koruma elemanlarıdır. Magnetik aşırı akım açıcıları frekansa bağlı olduklarından, ayarlanan değer altında yanlış açmalara sebep olabilirler. Onun için otomatik anahtarlar, akım transformatörleri üzerinden bağlanan termik açıcılar ile donatılırlar.

2.2.2 Paralel Rezonansı Önleyici Tedbirler:

Paralel titreşim devrelerinde, rezonans bas göstermese de harmonik üreticilerden şebekeye oldukça büyük harmonik akımları çekilir. Yüksek harmonik frekansları ile orantılı olarak şebeke reaktansı da büyüdükünden büyük harmonikli gerilim düşümleri meydana gelir. Bu da şebeke geriliminin şeklinin bozulmasına yol açar. Harmonikli gerilimin ayrıca tüketiciler üzerine bozucu etkileri olur.

Bunun dışında harmoniklerin titreşim devrelerinde rezonansa yol açtıkları da bilinmektedir. İşte hem şebekenin harmonik akımları ile beslenmesini önlemek ve hem de harmonik rezonanslarına engel olmak için kondansatörler yerine filtre devreleri paralel bağlanır. Hem, şebekenin harmonik akımları ile beslenmesini önlemek ve hemde harmonik rezonanslarına engel olmak için kondansatörler iki, üç veya dört gruba ayrılır ve bunlarla $h = 5, 7, 11, 13$ harmoniklerine uygun filtreler tasarlanır. Bu durumda I_h harmonik akımları filtreler tarafından yutulurlar. Her bir filtre devresinin kondansatör gücü, buna ait I_h harmonik akımları ile I_{C1} temel harmonik akımının karesel ortalamasının, mücadele edilen kondansatör akımının efektif değerini aşmayacak şekilde tayin edilir.

Belirli bir harmonik akımı için filtre devresi, kompanzasyon için öngörülen kondansatörlerin bir kısmı ile söz konusu harmonik frekansına göre seçilmiş uygun bir self bobinin seri bağlanması ile elde olunur. Şu halde böyle bir filtre, belirli bir frekansa göre özel olarak teşkil olunan bir seri rezonans devresidir. Filtrenin, temel frekans için reaktansı X_{b1} olmak üzere, belirli bir harmonik frekansı için, filtre devresinin eşdeğer veya toplam reaktansı

$$X_{eh} = hX_{b1} - \frac{X_{C1}}{h} = 0 \quad (2.34)$$

yani I_h akımı için kısa devre teşkil eder. Akımlar direncin en küçük olduğu yolu tercih ettiklerinden, harmonik akımları devrelerini ilgili filtreler üzerinden kapatırlar ve şebekeye zararlı tesir yapmazlar.

Filtre kondansatörlerinin değerleri % 100 olarak alınır, buna uygun rezonans bobinlerinin yüzde cinsinden değerleri şu şekilde hesaplanır [7] :

$$X_{b1} = \frac{X_{C1}}{h^2} \quad (2.35)$$

BÖLÜM 3 SİSTEM MODELLEMESİ VE SIMULASYONU

3.1. Giriş :

Lineer olmayan, zamanla değişen anahtarlama güc elektroniği devrelerinin şebekede harmonikler oluşturduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Meydana gelen bu harmonikler akım ve gerilim dalgalarında bozulmalara sebep olur. Bu bozulmaların seviyelerinin tahmini için sistem modellemesinin ve simülasyonunun yapılması gerekir. Dağıtım şebekesinden beslenen yükün V-I karakteristiği bilinir. Bu yükler birer harmonik kaynağını oluşturdukları için, yük akımlarının da sinüzoidal olmadığı görülür. Yük akımının sinüzoidal olmaması, gerilim dalgalanmalarına yol açar.

Kuracağımız sistem modeli gerçek sistemin özelliklerini sağlayacak şekilde olmalıdır. Bunun içinde sistemin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Sistem modellemesi frekans ve zaman domeninde olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

3.2. Güç Sistem Bileşenlerinin Modellenmesi :

Güç sistemine baktığımızda transformatörler, iletim hatları, şönt kapasiteler, dirençler görülür. Tipik olarak modellemenin başladığı noktada şebeke bileşenlerinin lineer davrandığı ve harmonikler arasında hiç bir ilişkinin bulunmadığı kabul edilir.

Harmonik akımları, şebekede faz başına $I_h^2 \cdot R$ gibi ek bir zayıflamanın meydana gelmesine neden olurlar. Gerilim

eğrisindeki harmonikler makinaların yüklenmeleri halinde zararlı ek akımların geçmesine yol açar. Bu yüzden makineler, transformatörler ve enerji nakil hatları ek olarak ısınırlar. Ayrıca generatörlerin amortisman sargıları, bir fazlı veya iki fazlı kısa devrelerde meydana gelen harmonikleri azaltacak ve ortadan kaldıracak şekilde etki ederken kendileri de çok ısınırlar ve generatörlerde ek kayıpların meydana gelmesine yol açarlar.

Bilindiği gibi endüktif dirençler frekansla doğru orantılı olarak artarlar. Bu yüzden temel harmonikteki değeri X_L olan endüktif bir direnç, harmonik mertebesi h olan bir akımın karşısında

$$X_{L_h} = h \cdot X_L \quad (3.1)$$

değerini alır, yani akımın frekansı büyüdükçe endüktif direnç de büyür.

Kapasitif dirençler, frekansla ters orantılı olarak azalır. Bu yüzden temel harmonikteki değeri X_C olan kapasitif direnç, harmonik mertebesi ' h ' olan bir akımda

$$X_{C_h} = X_C / h \quad (3.2)$$

değerini alır, yani akımın frekansı büyüdükçe kapasitif direnç küçülür. Bunun sonucu olarak büyük harmonik frekanslarında kondansatörler daha büyük akımlar çekerler ve aşırı yüklenirler.

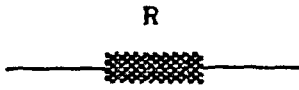
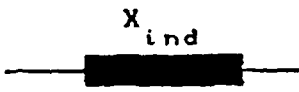
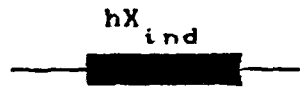
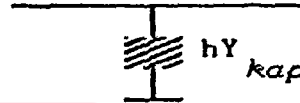
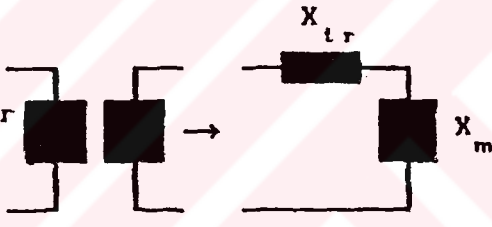
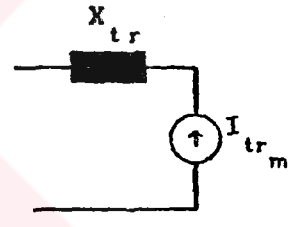
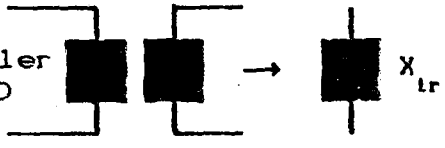
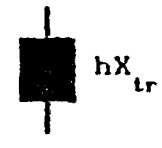
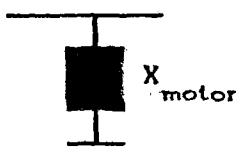
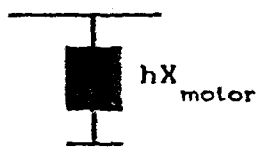
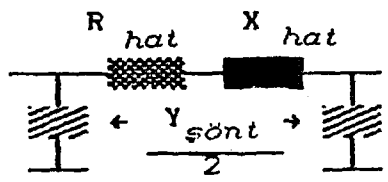
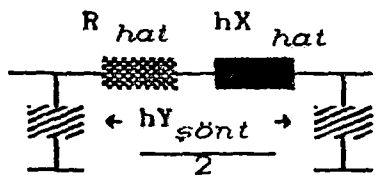
Modelleme yaparken, sistem bileşenlerini oluşturan direnç, kapasite ve endüktans değerlerinin sabit olduğu düşünülmektedir. Sistem bileşenlerinin empedans değerleri, YBARA matrisinin elemanları olan, admitanslara dönüştürülür. Dengeli çalışan sistemin modellenmesini yaparken bulunan bu YBARA matrisi bize doğru sistem

gösterimi için imkan sağlar. Dengesiz güç sistemlerinde modelleme yapmak istersek, simetrik bileşenler yöntemini kullanarak doğru, ters ve sıfır bileşenlerine dönüştürülür. Tablo 3.1'de sistem bileşenlerinin frekans domenindeki modelleri, Tablo 3.2'de temel elemanların frekans domen modelleri arasındaki ilişkiler verilmiştir.

İnceleme yapılacak sistemin admitans matrisi, şebeke bağlantılarına uygun olmalıdır. Bara gerilim noktalarındaki düğümler ve hatlar (dallar) bağlantı elemanlarıdır. Düğüm noktaları arasındaki dallardan akan akımlar, seri ve paralel hat akımlarıdır. Herhangi bir şebekenin admitans matrisi, lineer dönüşüm matrisi kullanılarak simetrik hale getirilebilir. Kurulan YBARA matrisinin harmonik analiz incelemesi için aşağıdaki adımlar izlenir.

- 1 : Şebekedeki iletim hatları ve baraları numaralandırılır.
- 2 : Şebekeyi tanımlayan noktalar arasındaki elemanlar bağlanır.
- 3 : Dal elemanlarının, yönlerini, hangi baradan hangisine olduğu tanımlanır.
- 4 : Empedans elemanlarını, admitans değerine dönüştürülür.
- 5 : YBARA metoduna uygun şebeke admitans matrisi oluşturulur.
- 6 : Analiz için harmonik seviyeleri tanımlanır.
- 7 : YBARA bara admitans matrisinin boyutu özel uygulamalar için küçültülerek şebekede değişiklik yapılabilir.
- 8 : 4. 5 ve 7. adımlar değişik harmonik seviyeleri için tekrarlanır.

Tablo 3.1 Sistem Bileşenlerinin Frekans Domeninde Modelleri

Bileşenler	Temel Model	Harmonik Modeli
Dirençler*		
İndüktanslar		
Kapasiteler		
Transformatörler (Doymalı Durum)		
Transformatörler (Seri Model)		
Motorlar		
		

* Bu çalışmada R_h için 0-3000 Hz aralığındaki değerleri ihmal edildi.

Tablo 3.2 Temel Elemanların Frekans Domen Modelleri Arasındaki İlişki

<u>Parametre</u>	<u>Temel</u>	<u>Harmonik</u>
ω	$2\pi f$	$\frac{h\omega}{h}$
ω_h	$2\pi f$	$h\omega$
X_{ind}	ωL_{ind}	hX_{ind}
Y_{ind}	$(X_{ind})^{-1}$	$(hX_{ind})^{-1}$
X_{motor}	ωL_{motor}	hX_{motor}
Y_{motor}	$(X_{motor})^{-1}$	$(hX_{motor})^{-1}$
X_{tr}	ωL_{tr}	hX_{tr}
Y_{tr}	$(X_{tr})^{-1}$	$(hX_{tr})^{-1}$
X_{hat}	ωL_{hat}	hX_{hat}
Y_{hat}	$(X_{hat})^{-1}$	$(hX_{hat})^{-1}$
X_{kap}	$(\omega C_{kap})^{-1}$	$(h\omega C_{kap})^{-1}$
Y_{kap}	ωC_{kap}	hY_{kap}
$Y_{şönt}$	ωC_{hat}	$hY_{şönt}$
X_f	$\left[\omega L_f - \frac{1}{\omega C_f} \right]$	$\left[h\omega L_f - \frac{1}{h\omega C_f} \right]$
Y_f	$(X_f)^{-1}$	$\frac{h\omega C_f}{h^2 \omega^2 L_f C_f - 1}$

3.2.1 YBARA Matris Oluşturma :

YBARA matrisi admitans elemanları Kirchhoff'un akımlar yasasına göre yazılabilir. Bu matris kompleks ve simetriktir. Bu matrisin elemanlarını yazacak olursak bunlar

Y_{ii} : Matrisin köşegeni üzerinde bulunan ve i. düğümüne bağılı olan admitanslar toplamıdır.

Y_{ij} : Matrisin köşegeni haricindeki i. ve j. düğümler arasındaki admitanslar toplamının negatif işaretlisidir.

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left[Y_{P_{ik}} + Y_{S_{ik}} \right] \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{S_{ik}} &= \frac{1}{\bar{Z}_{S_{ik}}} = \frac{1}{R_{S_{ik}} + jX_{S_{ik}}} \\ &= \frac{R_{S_{ik}} - jX_{S_{ik}}}{R_{S_{ik}}^2 + X_{S_{ik}}^2} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Sistemin i. ve k.düğümler arasındaki seri admitanslarıdır. Bu elemanların harmonikler için değeri,

$$\left[\bar{Y}_{sik} \right]_h = \frac{\left[R_{sik} \right]_h^{-j} \left[X_{sik} \right]_h}{\left[R_{sik} \right]_h^2 + \left[X_{sik} \right]_h^2} \quad (3.5)$$

R_{sik_h} = sistemin i. ve k. düğümleri arasındaki
h.harmonik için seri direnç değeri.

X_{sik_h} = hX_{sik} reaktans için

= X_{sik} / h kapasite için

Benzer şekilde paralel elemanlar içinde admitans değerleri yazılabilir. Şu ana kadar yazdığımız admitans değerleri doğru sistem içindir. Bu matrisi ters sistem için de yazabiliriz.

$$\left[Y_+ \text{ bara} \right] = \left[Y_- \text{ bara} \right] \quad (3.6)$$

Sıfır sistem bileşenleri için admitans değeri bu değerlerin % 10'u kadardır.

Güç sistemi bara gerilimlerindeki harmonikler, frekans domenindeki analizin sonucunda bulunur. Ancak bu yöntemi nonlinear yükü modellerken sinüzoidal bir gerilimin bulunduğunu varsayar. Gerilimin sinüzoidal olmaması durumunda lineer olmayan yükün davranışı durum değişkenleri yöntemi ile kapsama alınır.

Frekans domenindeki analizde, güç sisteminin Admitans Matrisi belirlenir ve çözülür.

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{bara} \end{bmatrix}_h = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{bara} \end{bmatrix}_h^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \bar{I}_{bara} \end{bmatrix}_h \quad (3.7)$$

Bu yöntemde simetrik devrelerde olduğu gibi simetrik olmayan devrelerde de harmonik analizi gerçekleştirilebilir (Simetrikli Bileşenler Yöntemi).

Buradan harmonikli bara gerilimleri bulunduğundan sonra gerilim ve akım için toplam harmonik distorsiyonunu hesaplayabiliriz.

$$\left[THD_v \% \right] = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \left(\frac{\left[v_{11} \right]_h}{\left[v_{11} \right]_1} \right)^2} \quad (3.8)$$

ve

$$\left[THD_I \% \right] = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \left(\frac{\left[I_{11} \right]_h}{\left[I_{11} \right]_1} \right)^2} \quad (3.9)$$

olarak buluruz.

3.3. Lineer Olmayan Yük ve Zamanla Değişen Yüklerin Modellenmesi :

Zamanla değişen ve lineer olmayan yükler başlıca üç türden ibarettir. Bunlar anahtarlama güç elektroniği devreleri, ark prensibi ile çalışan devreler ve doymalı elektromagnetik devrelerdir. Birinci grupta doğrultucu, evirici, direkt frekans çeviricisi ve AA kıyıcı yer alır. İkinci grupta ark fırınları, floresan, sodyum ve cıva buharlı armatürler bulunur. Üçüncü grup ise elektrik makinaları ve transformatörlerden ibarettir. Harmonik meydana getiren güç elektroniği devreleri, işlevlerine göre aşağıdaki gibidir :

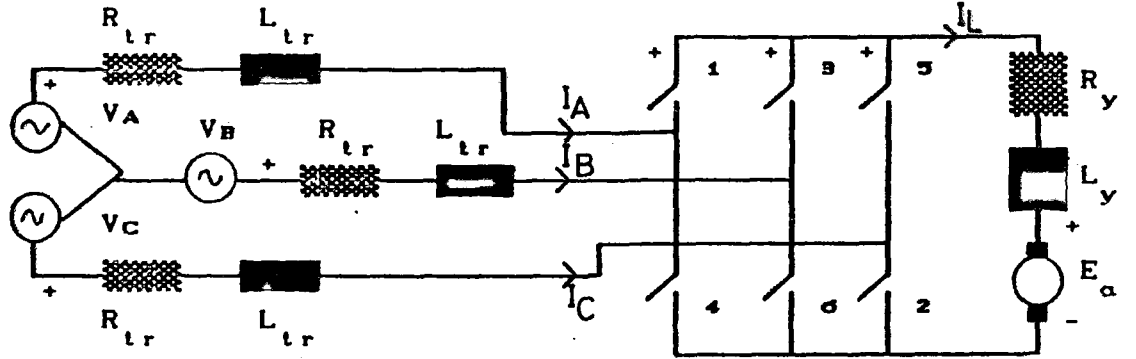
Güç Elek. Devresi	İşlevi
Doğrultucu	AA → DA
Gerilim Ara Devreli Evirici	AA → DA → AA
DFÇ ve AA Kıyıcısı	AA → AA

Normal devrelerde harmonik analizi için frekans domeninde yapılan bir benzetişim yeterli olmaktadır. Bu benzetişimde, çeviricinin birime indirgenmiş akım gerilim değerleri bulunmaktadır.

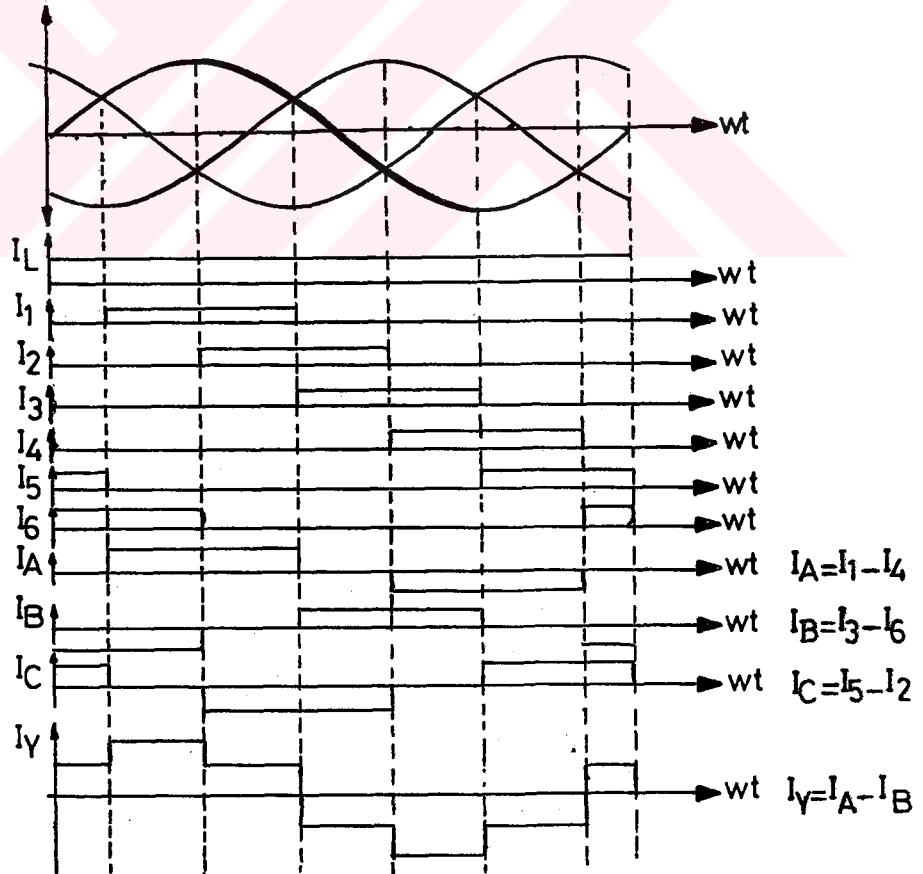
Güç sisteminde bulunan tüm devre elemanlarının frekans domenindeki değerleri yazılmış, hesaplanan harmonik değerleri ideal harmonik kaynağı ile temsil edilmiş süperpozisyon teoremi ile devre çözülerek harmoniklerin şebekedeki dağılışı hesaplanmıştır.

Modelleme tekniğini, simülasyon çalışması ve R, L, C ve E gibi sistem eleman değerlerinin, yük, nonlineer, zamanla değişen olduğu ve değiştikleri için, bunların analizi için kullanırız. Modelde tristör, GTO, Güç

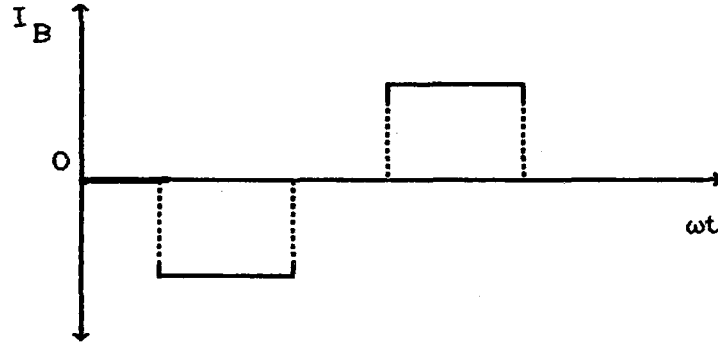
tranzistorları ... vb elemanlarını ideal anahtar olarak alabiliriz. Şekil 3.1'te altı darbeli ideal anahtar modeli gösterilmiştir. Şekil 3.2'te bu modelin akım dalga şekli verilmiştir [8,9].



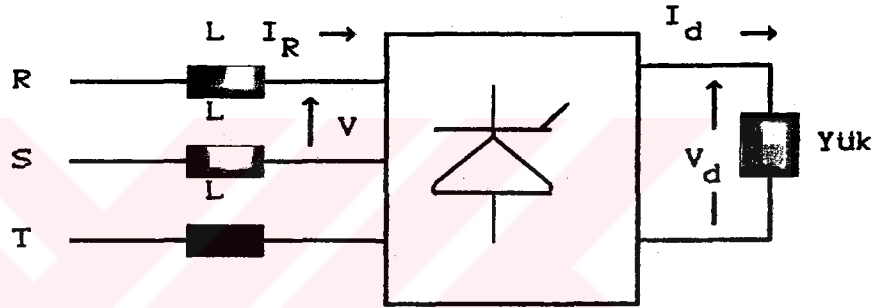
Şekil 3.1 Altı Darbeli İdeal Anahtar Modeli



Şekil 3.1 Yukarıdaki Modelin Akım Dalga Şekli
Transformatör Δ/Y bağlı.

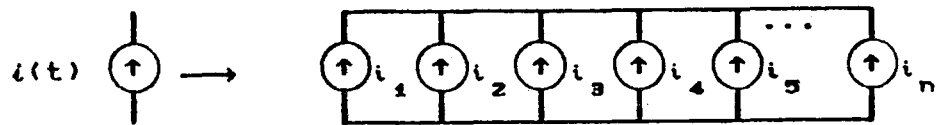
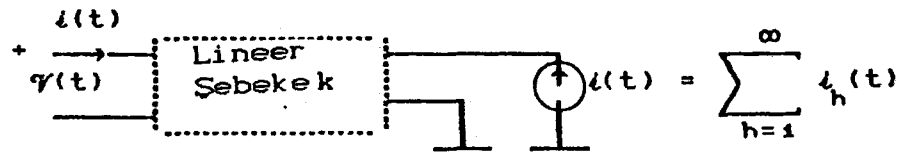


Şekil 3.2 Yukarıdaki modelin akım dalga şekli
Transformatör Y/Y bağlı.

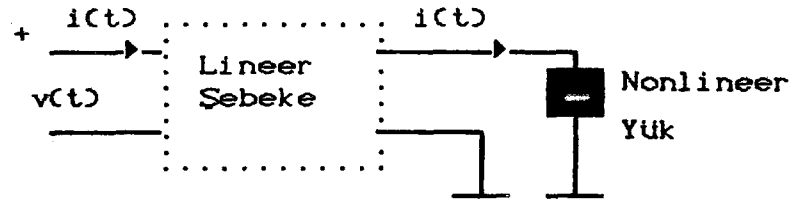


Şekil 3.3 Converter Eşdeğer Modeli

Lineer olmayan yükler şebekeye değişik frekansta akımlar akıttığı için, bu yükleri modellerken, yükü şebekeye değişik frekansta akım akıtan bir akım kaynağı olarak ele alırız.



Şekil 3.4 Lineer Olmayan Yük Modeli

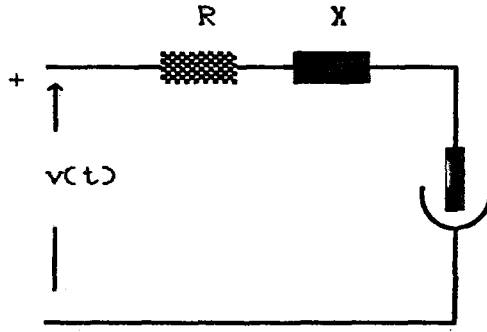


Şekil 3.5 Lineer Olmayan Genel Bir Devre

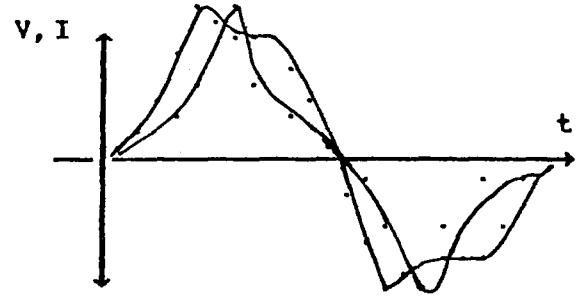
Süperpozisyon teoremine göre değişik noktalarda bulunan harmonik kaynakları, öncelikle tek tek göz önüne alınırlar (bu arada diğer harmonik kaynaklarının bulunmadığı kabul edilir). Her bir harmonik kaynağı için bu etkilenme oranı tesbit edildikten sonra bunları toplarız.

3.3.1 Ark ve Elektromagnetizma Prensibine Göre Çalışan Sistemler :

Güç sistem şebekelerinde ark prensibine göre çalışan bir çok sistem vardır. Bunlardan birisi olan ark fırınları şebekeleri etkileyen en önemli sistemlerdendir. Ark fırınlarının çalışma şartları çok karışıktır. Elektrik enerjisi ile metal eritme prensibine göre çalışan ark fırınları, metali eritme safhalarına göre yük çok ani bir şekilde değişmektedir. Yük sürekli bir şekilde değiştiği için bu tip yüklerin harmonik bileşenleri stokastik prosesle yapılması gerekir. Şekil 3.7'de ark prensibine göre çalışan bir sistemin basit bir modeli geliştirilmiştir. Şekil 3.8'de ise ark fırınının akım ve gerilim eğrisi verilmiştir.

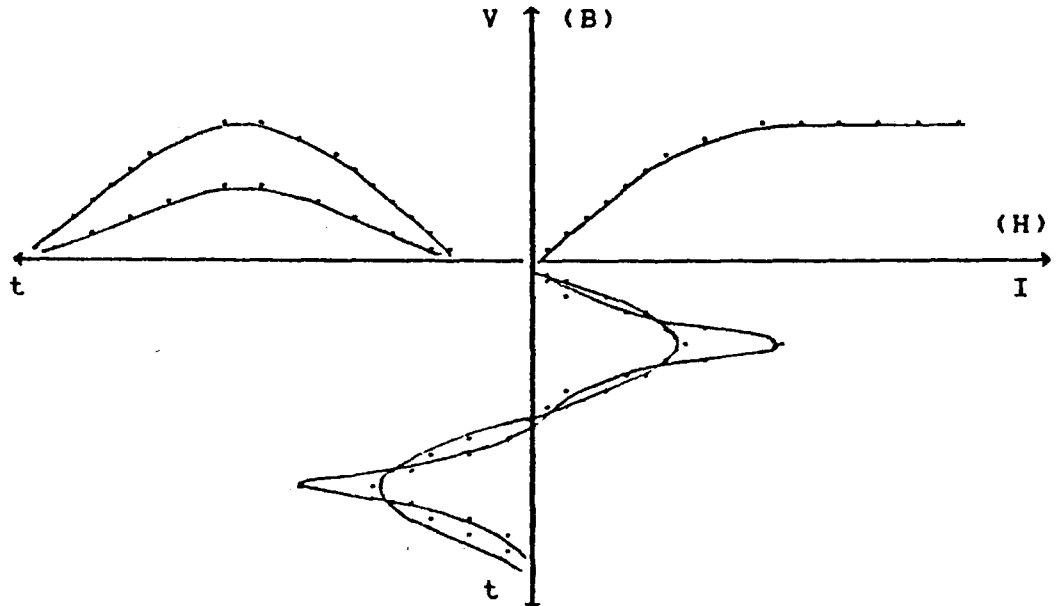


Sekil 3.6 Ark Fırın Modeli

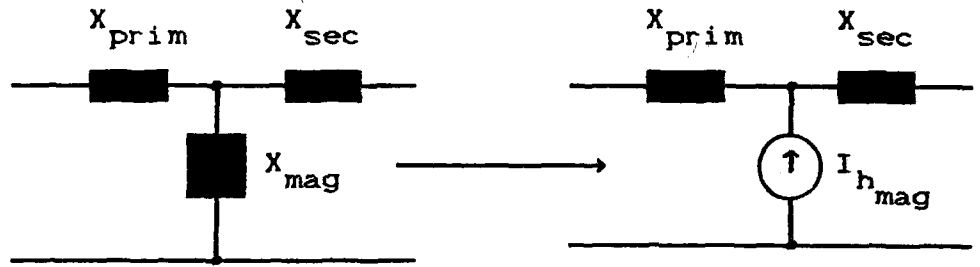


Sekil 3.7 V-I
Karakteristiği

Doyma prensibine göre çalışan sistemlerin de şebekeye harmonikli akım verdiği bilinmektedir. Bu sistemlerin matematiksel modelini kurarken akı, mıknatıslanma akımı ve çalışma şartlarına dikkat etmek gerekir. Şekil 3.8'de transformatörün pirimer sargılarına uygulanan sinüs şeklindeki gerilimin nominal değerinden sonra transformatör doymaya girer ve bu durumda mıknatıslanma akımı aşırı derecede artmaya başlar. Bu akım sinüs formundan uzaktır (harmonikli akım içerir). Transformatörde harmonikli akım çekilmesine neden olan magnetik kol, ideal bir harmonikli akım kaynağı olarak temsil edilir. [10]



Sekil 3.8 Transformatör V-I Karakteristikleri



Şekil 3.9 Basit transformator modelleri

BÖLÜM 4 ÖLÇÜMLER

4.1. Giriş :

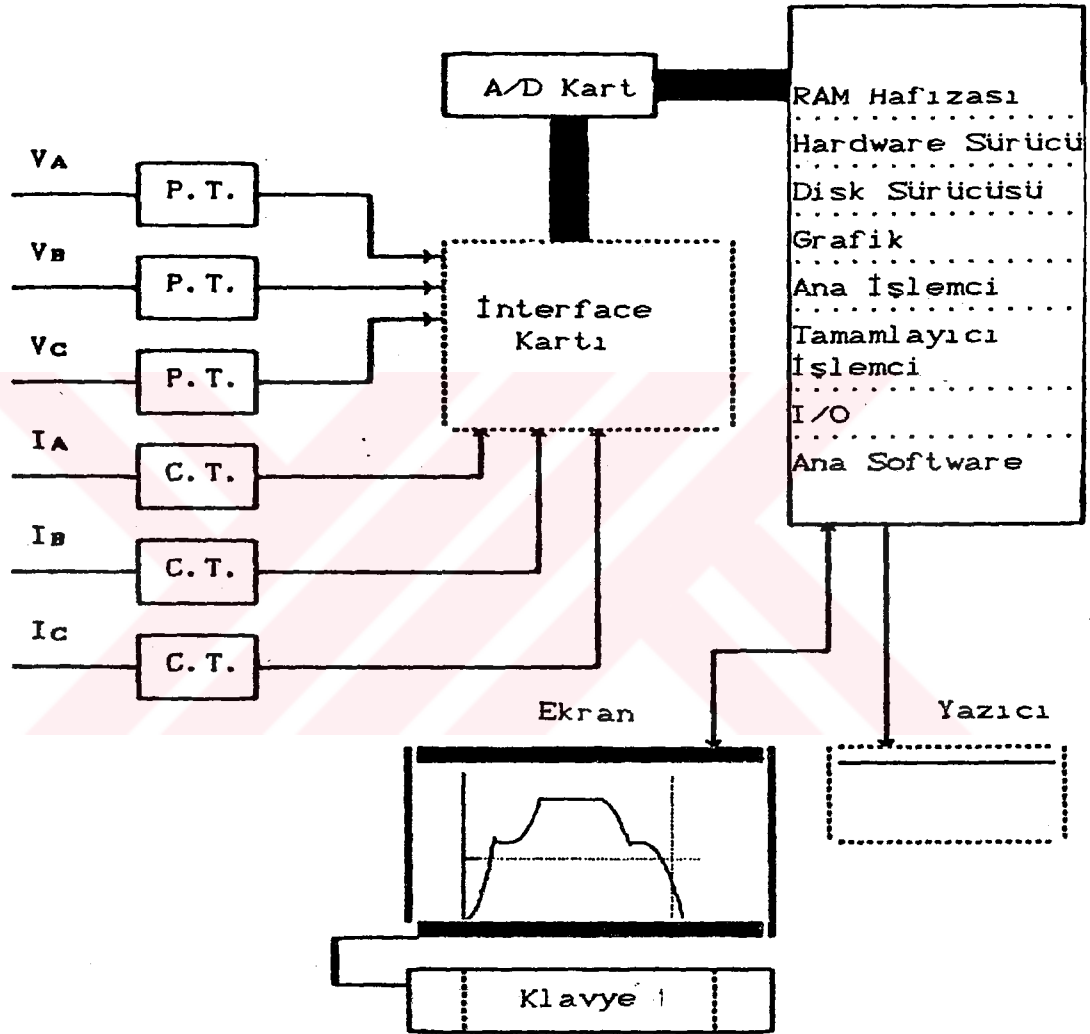
Şebekede oluşan harmonik distorsiyon seviyelerini akım ve gerilim dalga şekillerinin ölçümü ile belirlenmelidir. Bu amaca ulaşmak için uzun yıllar ölçüm teknikleri ve sistemleri geliştirildi. Bu konuda ana mesele, şebekede oluşan harmonik seviyelerinin özel bir PCC'de tanımlanması ve harmonik problemlerinin en iyi bir şekilde anlaşılabilmesidir. Bu ölçüm sırasında iki analiz yapılacaktır. Bunlar spektrum ve harmonik analizidir. Bu ölçüm yöntemleri çok iyi bilinmelidir.

1980'lere doğru, kişisel bilgisayarlarla ölçüm sistemlerindeki gelişme, ölçüm sistemlerini önemli bir biçimde etkiledi. Böylece bilgisayarlarla harmonik ölçümü büyük önem kazandı. Bu gün bile hala gelişmekte olan bir alandır. Bu çalışmada, PC-bağımlı harmonik ölçüm sistemi oluşturuldu. Bu işlem beraberinde şu gelişmeleri sağladı.

- a) Kişisel bilgisayarlarla değişik akım durumları için çok yönlü inceleme imkanı,
- b) Hızlı ölçüm ve bu ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi,
- c) Harmoniklerin grafiksel olarak gösterimi,
- d) Ölçüm sisteminin kolay taşınabilir olması.

Bu işlemlerin başarılı bir şekilde yapılabilmesi için hardware ve software'in optimum ve etkin performans kriterlerinin uygun seçilmesi gerekir. Yani harmonik ölçümünü yapan PC sisteminin, sistem şartlarına tamamen uyumlu olması gerekir.

Harmonik ölçümleri, bilgisayar simülasyon sonuçları ile analiz ve doğrulama için kullanıldı. Hem sürekli hal hem de dinamik olarak değişen olaylar için inceleme yapıldı. Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri zamanla değişen yüklerin incelenmesidir.



Sekil 4.1 PC Bağımlı Genel Amaçlı Ölçüm Sistemi

Sekil 4.1'de bu çalışma için geliştirilen ve yararlanılan ölçüm sisteminin genel şeması verilmiştir.

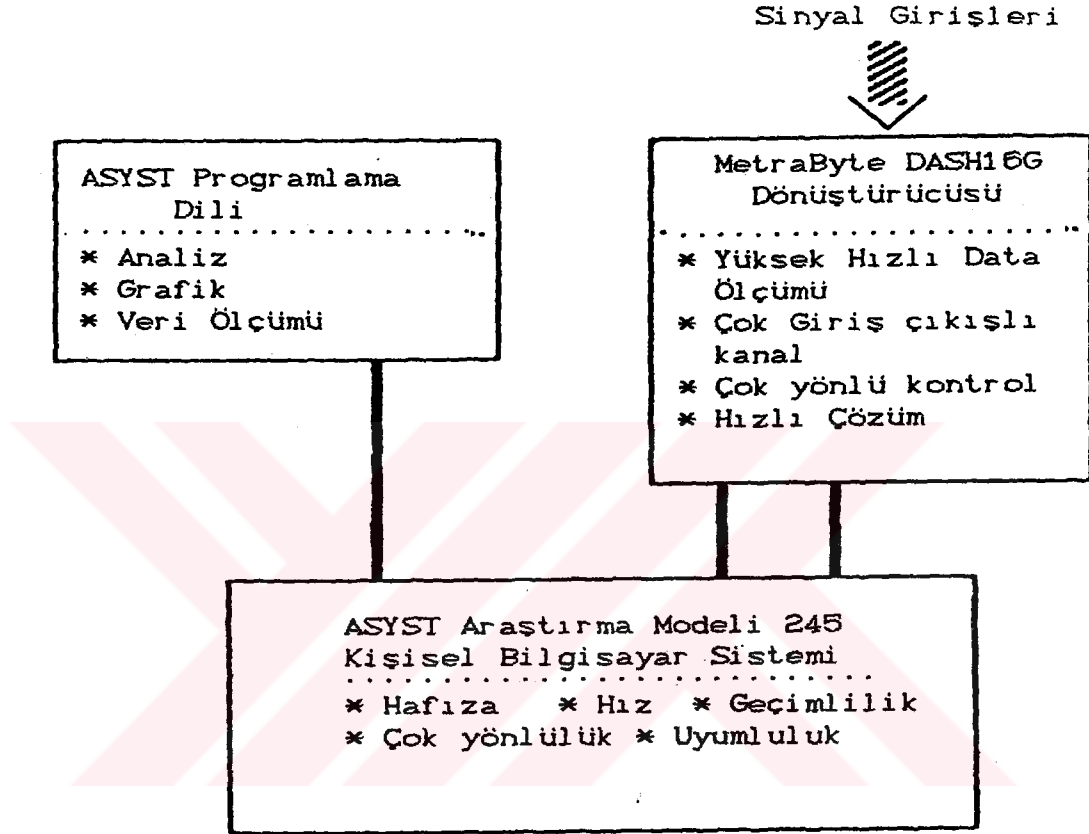
Tablo 4.1 Harmonik Ölçümü İçin İzlenmesi Gereken prosedür.

- 1) Problemi tanımla ve konunun özelliklerini belirt.
- 2) Gerilim ve akım distorsiyonları gibi karakterleri ve yük şartlarını sapt.
- 3) Öncelikle, sistemin simülasyon analizine yönelik olarak çalışma yapılır. Şebeke ve güç sistem devre parametreleri bulunur ve modellenmesi yapılır.
- 4) Uygun ve iyi bir ölçüm için inceleme yapılır.
- 5) Zamanlama programı, gerekli aletler, kalibrasyon kontrolü ve diğer önemli tedbirleri içeren detaylı bir test planı gerçekleştirilir.
- 6) Zamanlama testini planlamadan önce ölçüm sisteminin kalibrasyonu ve set-up'ı yapılır. Bağlantılar iyi, uygun ve doğru olmalıdır.
- 7) Ölçüm süresince, sistemden, bilgisayarlı ölçüm sistemine gönderilen işaretlerden dolayı kayıpların azaltılması gerekir. Bu amaçla baskılı ölçüm cihaz paketi kullanılır.
- 8) Ölçüm sisteminin bulunulan yerinde dikkatli set-up ve uygun bağlantı yapılmalıdır. Aşırı gerilim ve yanlış topraklamadan sakının.
- 9) Özel bir yerde data kaydı için uygun sıralama verilir. Hatalı kayıt azaltılmaya çalışılır. Ölçüme başlamadan önce çalışılacak sistemin doğruluğunu kontrol ediniz. Dijital voltmetre ile işaret seviyelerini kontrol ediniz.
- 10) Analiz ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırınız.

4.2. Ölçüm Sisteminin Özellikleri :

PCC'de harmonik seviyelerinin ölçümü için PC bağımlı data uyumlu sistemlerde üç önemli faktör vardır.

- 1) Gerilim ve akım seviyelerinin üstel okunuşu,
- 2) Dinamik olarak değişen yükün harmoniklerinin hızlı ve doğru ölçümü,
- 3) Tüm sistemin kolay taşınabilmesi.



Sekil 4.2 Ölçüm Sisteminin Gösterimi

Ölçüm sisteminde çok hızlı bir şekilde çalışan A/D dönüştürücü mevcuttur. Bu işlem IBM/XT/AT uyumlu DASH16G tarafından yapılmaktadır.

Asyst program dili yazılım yolu ile sistemin grafik ve analizi yapılabilir. Bu sistemin bileşenleri şekil 4.2'te gösterilmiştir. Sistemin hardware ve software özellikleri tablo 4.2'de verilmiştir.

4.3. Düşünceler :

Bu çalışmada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de, bilgisayarlı ölçüm sistemine gelecek olan akım ve gerilimlerin birbirlerine göre izalasyon meselesi ve bu işaretlerin bilgisayarlı ölçüm sistemine doğru bir şekilde ulaştırılmasıdır. Bilindiği gibi bilgisayarlar dijital işaretleri anlayabilirler. Fakat doğadaki işaretler ise daima analog işaretlerdir. Bu uyuşumun sağlanması için, yani analog işaretin dijital işarete hızlı ve kayıpsız olarak dönüştürülebilmesi için iyi bir A/D dönüştürücü kartı gereklidir. A/D kartının iyi çalışabilmesi için bu karta $\pm 10V$ işaret sınırına yakın fakat bu sınırı geçmeyecek işaretler verilmelidir. Ölçüm yapacağımız sistemlerde akım ve gerilim işaretleri çok değişik seviyelere sahiptir. Bu seviyelerin A/D dönüştürücü kart girişine uygun olmalıdır. Bu amaçla interface kartı kullanıldı. Doğru ölçüm için bu noktaya dikkat etmek gerekir. Bunun yanında analitik ve grafiksel olarak dikkatli ve doğru bir gösterim de yapmak gerekir.

A/D dönüşümünü sağlayan DASH16G kartıdır. Bu kart 12 bit'liktir. Dolayısıyla, tek kanal olarak

$$2^{12} = 4096$$

diferansiyel olarak min = - 2048, max = 2047 dijital değer okur. DASH16G kartı, $\pm 10V$ giriş sınırları içinde 16 tek , ya da 8 diferansiyel kanallı kullanılabilir. İçteki saatin yeniden çözümü $2\mu s$ 'de sağlar. Minimum ve maksimum saat periyodu $4\mu s$ ve 1,19 saat. A/D dönüştürme süresi çok kısadır. Bir kanal için bu süre minimum $60\mu s$ dir.

Tablo 4.2 Hardware ve Software Özellikleri

Hardware Özellikleri :

A/D Kartı

Güç Kaybı	: 5V, 800ma, -12V, +12V, 2ma/20ma
A/D Dönüştürücü	: Harris HI-774
D/A Dönüştürücü	: Analog Devices AD-7548
Analog Girişleri	: 16 tek/8 diferansiyel
Aşırı Gerilim Sınırı	: +/- 35V (sürekli)
Hassasiyet	: Okunan değerin .01%'i (+/-1 bit)
DMA Kontrolör *	: 3 mod seviyeli
Program zamanlayıcısı	: Intel 8254-2
* Doğrudan Hafızaya Giriş (DMA)	

Kişisel Bilgisayar Sistemi

Ram Hafıza	: 1 MBytes
Sürücü Kapasitesi	: 40 MB HD, 1.2MB, 5.25" FD
Grafikler	: EGA, 640X350, 16 color
Hız	: 10 MHz
Ana İşlemci	: 80286-10
Interface port	: 2 seri, 1 paralel çıkış

Software Özellikleri :

Asyst Programlama Dili 3.10 version

Model 1	: Sistem/Grafik/İstatistik
Model 2	: Analiz
Model 3	: Veri Ölçümü

A/D dönüştürme işleminde üç önemli ve temel noktaya dikkat etmek gerekir. Bunlar,

- yeniden çözüm,
- sinyal/gürültü (S/N) oranı,
- örnekleme oranı.

interface kartına gelen gerilimin seviyesine göre uygun kazanç seçilir. Örneğin 20V giriş gerilimi için her bir dijite,

$$\frac{20 \text{ V}}{2^{12}} = \frac{20 \text{ V}}{4096} = 4,88 \text{ milivolt}$$

gerilim düşmektedir.

Analog giriş gerilim oranı ve S/N oranı çok önemlidir. Analog giriş gerilim seviyesi küçük ise S/N oranı büyük tutulur. Yok eğer giriş gerilim seviyesi büyük ise bu durumda S/N oranı küçük tutulur. Bu noktaya dikkat edilmez ise hassas bir ölçüm yapmak mümkün olmaz. Doğru bir ölçüm için örnekleme oranı en az giriş işaretinin maksimum frekansının iki katına eşit olmalı.

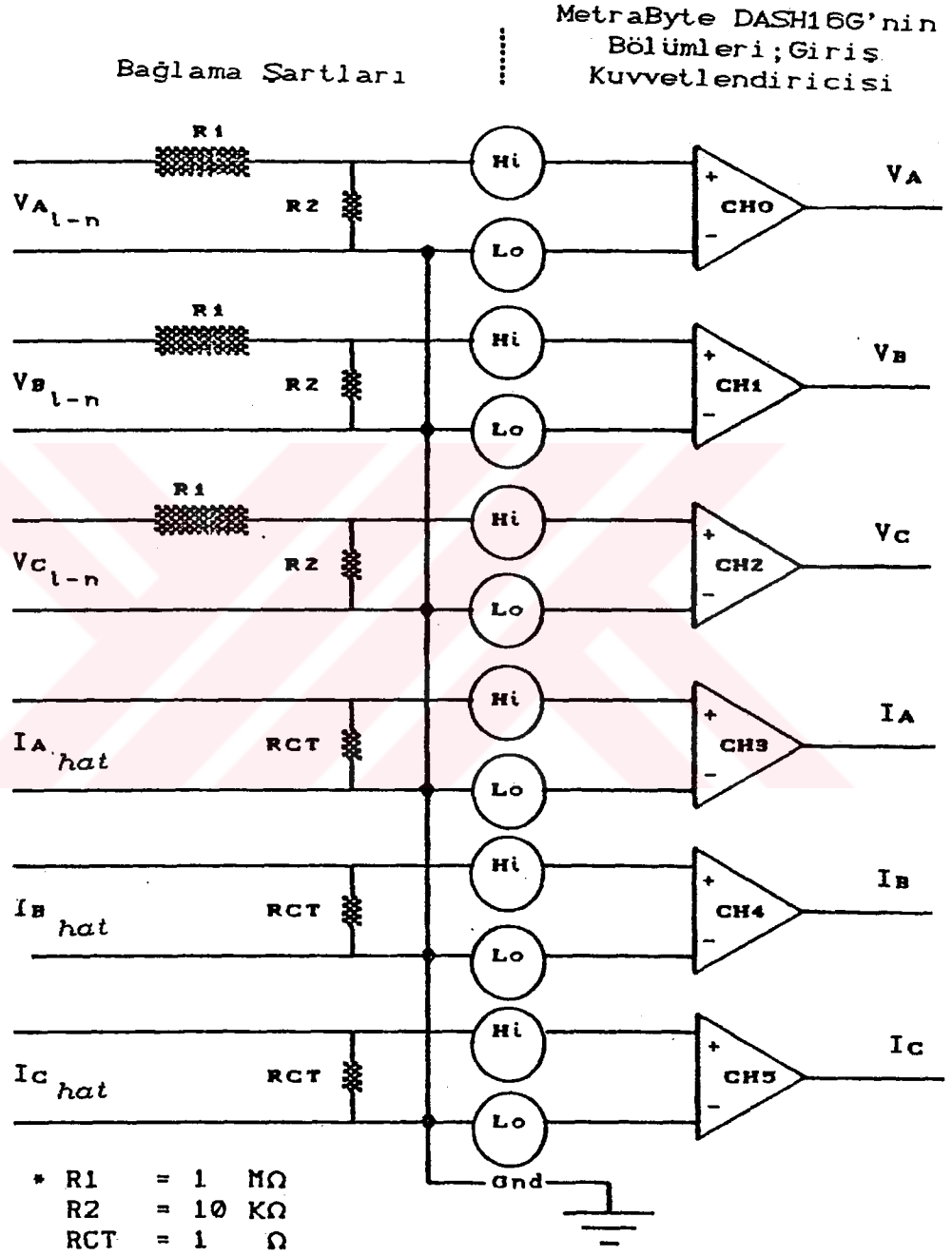
Bu çalışmada 50 Hz frekanslı üç fazlı akım ve gerilim dalga şekilleri olmak üzere altı kanaldan işaretler izlenmektedir. Data uyumlaştırma ve software kodları, her kanaldan 4096 Hz de 4096 data noktası olmak üzere altı kanaldan ölçülecek şekilde, seçilmiştir.

Ölçüm süresi için,

$$\begin{aligned} t_{\text{ölçüm}} &= \frac{1}{(\text{frekans/kanal sayısı}).(\text{kanal sayısı})} \\ &= \frac{1}{(4096 \text{ Hz/kanal sayısı}).(6 \text{ kanal})} \\ &= .04069 \text{ ms} \end{aligned}$$

olarak alınabilir. Ölçüm sırasında dikkat edeceğimiz noktalardan biride, ölçüm yapılacak sistemden alınan gerilim ve akım işaretlerinin interface kartına doğru bağlanmasıdır. Alınan işaretlerin notürleri hep beraber topraklanmalıdır. Bunun yanında interface kartında uygun büyüklüklerde gerilim bölücü dirençler kullanmak gerekir-ki, A/D dönüştürücü kartına gelecek olan işaretlerin $\pm 10V$ sınırını geçmesin. Bu bağlantı şekil 4.3'de gösterilmiştir.

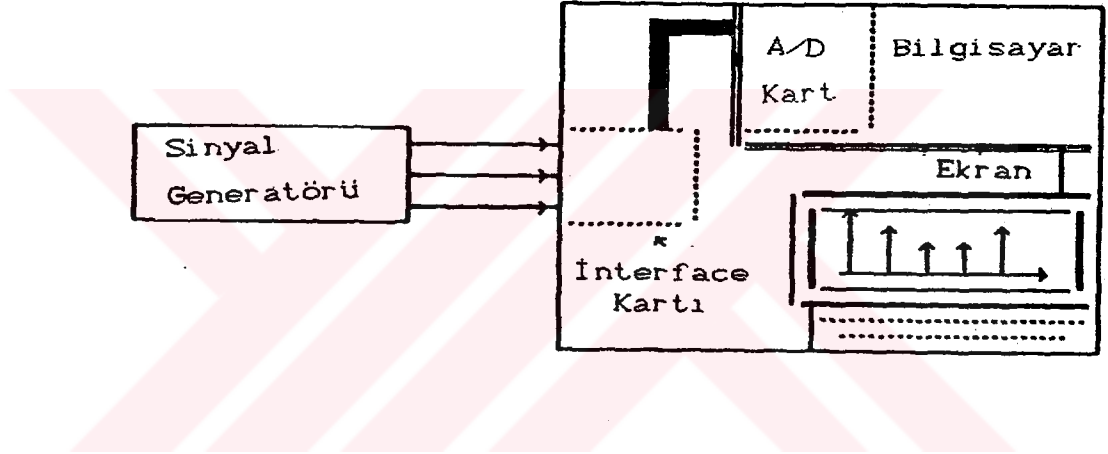
Analitik ve grafiksel karşılaştırma için ASYST programlama dili kullanılmıştır. Data analizi FFT dönüşümü kullanmaktayız. Analiz sırasında 4096 adet değer 10 ms de okunmakta olup, aşağı yukarı her 1 KByte için 2,5s analiz süresi gerekmektedir. Altı kanaldan ölçülen dataların bellekte saklanabilmesi için bellek hacmi, data değerlerini kapsamaması gerekir.



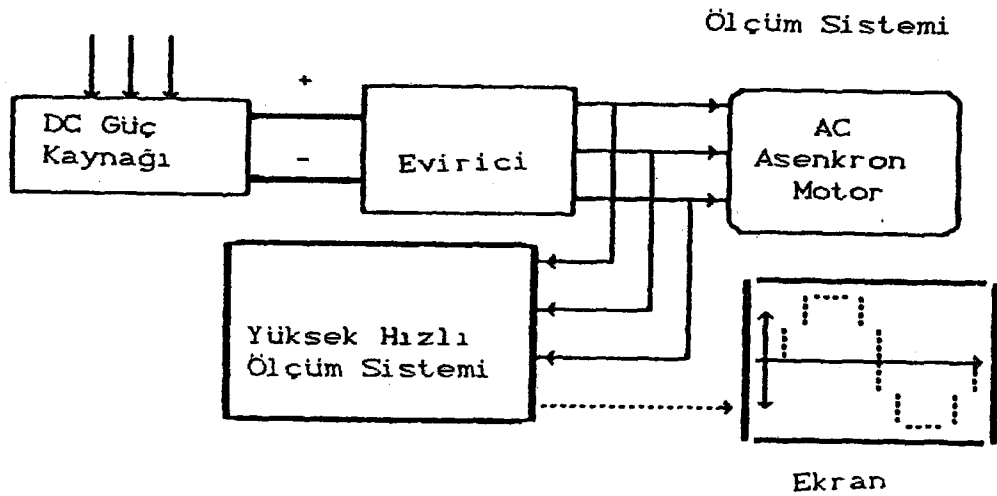
Şekil 4.3. Sistem bağlantıları ve giriş sinyalleri

$$\begin{aligned}\text{Bellek hacmi} &= 2 * \text{örnek sayısı} * \text{kanal sayısı} \\ &= 2 * 4096 * 6 \\ &= 50 \text{ KBytes}\end{aligned}$$

Ölçüm işlemine başlamadan önce kablo bağlantıları, kalibrasyonlar yapılır ve daha sonra doğru ölçüm açısından bir sinyal generatöründe test edilir. En sonunda ölçüm gerçek sistem üzerinde yapılır. Bu bağlantılar şekil 4.4 ve şekil 4.5 da gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Sinyal generatörü kullanarak kalibrasyon için bağlantı şeması



Şekil 4.5. Ölçüm sistemi için bağlama şeması

Tablo 4.3 Orpaş için Data Toplama Programı

\Program : Orpaş.Dmo

\Bu program Orpaş Ark Fırını tesislerinde data okumak için yazılmıştır. Datalar 6 kanaldan, 4096 Hz frekansla her kanaldan 4096 değer alınmaktadır.

DASH16G

INTEGER DIM(4096 , 6) ARRAY DATA.BUFFER

0 5 A/D. TEMPLATE DEMO.TEMPLATE

4096 template.repeat

DATA.BUFFER TEMPLATE.BUFFER

CYCLIC

.04069 CONVERSION.DELAY

A/D.INIT

LOAD.OVERLAY DATAFILE.SOV

FILE.TEMPLATE

7 COMMENTS

INTEGER DIM(4096 , 6) SUBFILE

END

FILE.CREATE OR15.DAT

FILE.OPEN OR15.DAT

" CH 0 = GERİLİM , R FAZ "

1 >COMMENT

" CH 1 = GERİLİM , S FAZ "

2 >COMMENT

" CH 2 = GERİLİM , T FAZ "

3 >COMMENT

" CH 3 = AKIM , R FAZ "

4 >COMMENT

" CH 4 = AKIM , S FAZ "

5 >COMMENT

" CH 5 = AKIM , T FAZ "

6 >COMMENT

" ORPAŞ ARK FIRINI TESİSLERİ 4096 Hz HER KANALDAN "

```
7 >COMMENT
: READ. VI
  5 0 DO
    .TIME
    a/d.in>array
DATA.BUFFER APPEND.ARRAY>FILE
  space. time
  1000 msec.delay
  CR CR
LOOP
;
```



BÖLÜM 5 CALIŞMALAR

5.1 Petlas Uçak Lastik Fabrikası :

Tez çalışmamızın bir bölümünü oluşturan Petlas Uçak Lastik Fabrikası, Kırşehir'de kurulmuştur. Tesisin elektrik projesine 1985 yılında ilgili firma tarafından başlanmıştır. Fabrika, şebekede oluşturduğu harmoniklerden dolayı dengesizlikler gözlenmiştir, dolayısı ile faaliyete tam olarak geçememiştir. Tesisin yapısına bakıldığında bu harmonikleri oluşturabilecek kaynakların

- Doğrultucular,
- Transformatörler,

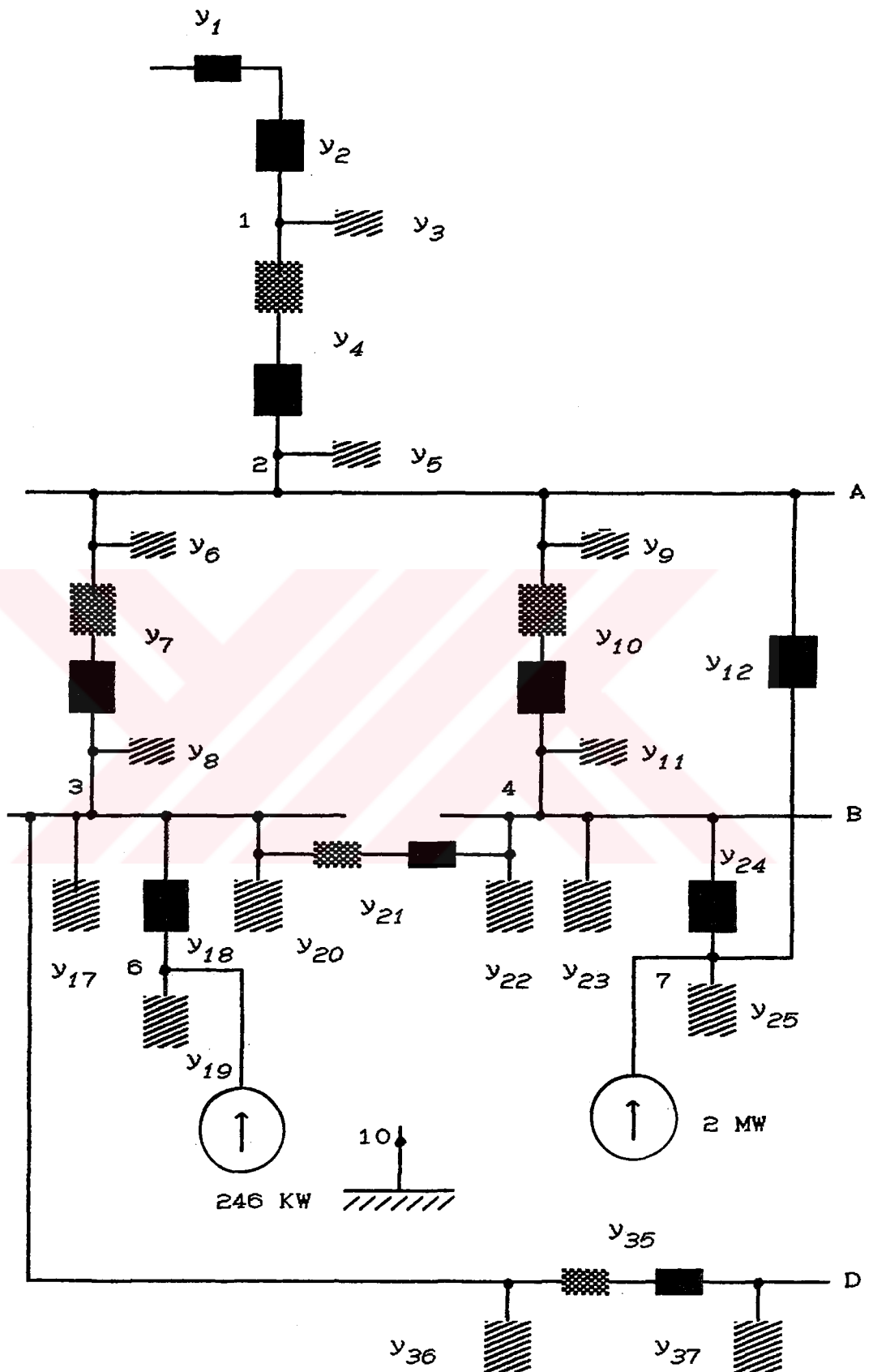
olduğu gözlenmiştir. Doğrultular $n = 3,4$ ve 6 darbeli olmak üzere değişmekte olup çeşitli güçlerdeki doğru akım motorlarını beslemektedir.

Tesise TEK'ten 154 KV gerilim gelmekte olup, 25MVA gücündeki iki transformatörle bu gerilim 6 KV'a indirilmektedir. Tesisin girişinde bulunan 25 MVA lık iki transformatör aynı anda devrede bulunmamaktadırlar. Tesisin simülasyonu için tesisin birime indirgenmiş değerlerini bulmak amacı ile güç için 1 MVA, gerilim için 154 KV, 6 KV ve 0,4 KV değerleri temel değer olarak alındı.

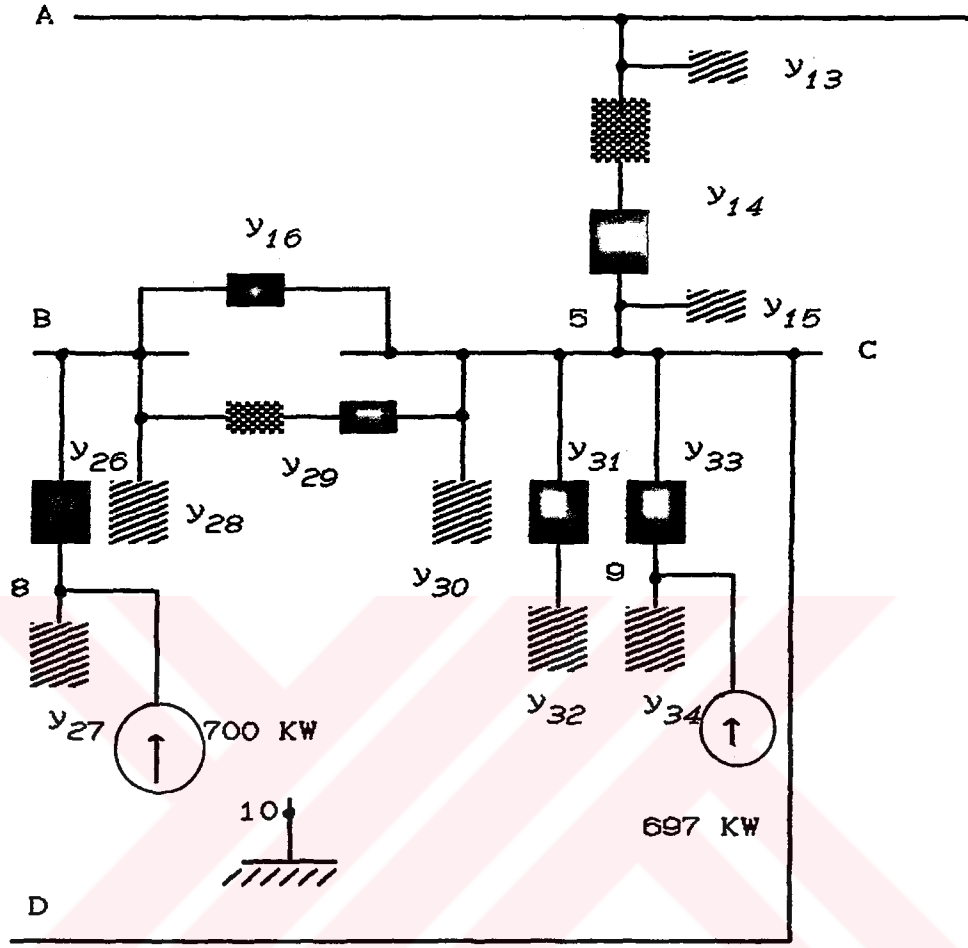
Tesisin genel yapısı şekil 5.1'de verilmiştir. Bu tesise ait birime indirgenmiş eşdeğer devre şekil 5.2'de gösterilmiştir. Hatların birime indirgenmiş değerleri kullanılırken pi eşdeğer devresi kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Petlas Lastik Fabrikası Tesis Genel Yapısı



Şekil 5.2 Petlas Lastik Fabrikası Eşdeğer Devresi



Şekil 5.2 Petlas Lastik Fabrikası Eşdeğer Devresi

Tesisin birime indirgenmiş eşdeğerler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}y_1 + y_2 &= -j125/h \\y_3 &= j0.027h = y_5 \\y_4 &= 10^5 / (6.028 + j6.861h) \\y_6 &= j4.712h \cdot 10^{-3} = y_8 \\y_7 &= 10^4 / (2.867 + j9.583)\end{aligned}$$

$$y_9 = j6.923h.10^{-4} = y_{11}$$

$$y_{10} = 10^4 / (1.233 + j1.406h)$$

$$y_{12} = -j2.016/h$$

$$y_{13} = j0.0197h = y_{15}$$

$$y_{14} = 10^4 / (0.927 + j0.95h)$$

$$y_{16} = -j5.4945/h$$

$$y_{17} = j1.739h$$

$$y_{18} = -j27.778/h$$

$$y_{19} = j0.546h$$

$$y_{20} = j6.674h.10^{-3} = y_{22}$$

$$y_{21} = 10^4 / (3.311 + j3.764h)$$

$$y_{23} = j0.32h$$

$$y_{24} = -j34.483/h$$

$$y_{25} = j0.546h$$

$$y_{26} = -j21.277/h$$

$$y_{27} = j0.407h$$

$$y_{28} = j8.496h.10^{-3} = y_{30}$$

$$y_{29} = 10^4 / (4.219 + j4.806h)$$

$$y_{31} + y_{32} = 1/j(0.15h - 7.32/h) + 1/j(0.028h - 1.831/h)$$

$$y_{33} = -j34.483/h$$

$$y_{34} = j0.546h$$

$$y_{35} = 10^4 / (4.219 + j4.806h)$$

$$y_{36} = j8.496h.10^{-3} = y_{37}$$

Yukarıda verilen h harmonik değerleri cinsinden verilmiş olan birim değer admitansları, Petlas'a ait değerlerdir. Simülasyon çalışması amacıyla harmonik

kaynaklarını oluşturan doğrultuculara bakıldığında $n=3$, 4 ve 6 darbeleri oldukları yukarıda bahsedilmiş idi. Bu doğrultucuların güçlerine bakıldığında, 3 ve 4 darbeleri doğrultucuların güçleri, 6 darbeleri doğrultucular yanında çok küçük kalmaktadır. Dolayısı ile bu doğrultucuların şebekeye etkisi, 6 darbeleri doğrultucuların şebekeye etkisi yanında ihmal edilmesi sonucu pek fazla etkilemeyecektir. Fakat hesaplamalarımızda bize kolaylık sağlayacaktır. Bu durumda şebekede

$$h= 1,5,7,11,13,17,19,23,25,....$$

harmonik değerleri bulunur. Bu harmoniklerin şebekeye etkilerini bulmak için YBARA admitans matrisi metodu kullanılmıştır. Hesaplamalar için $h=1,5$ harmonikler göz önüne alınmıştır. On baradan oluşan sistemin bara gerilimleri bu harmonikler için hesaplanmıştır.

$h=1$ için,

$$V_1 = 6345 \text{ V}$$

$$V_2 = 6304 \text{ V}$$

$$V_3 = 6280 \text{ V}$$

$$V_4 = 5920 \text{ V}$$

$$V_5 = 6100 \text{ V}$$

$$V_6 = 360 \text{ V}$$

$$V_7 = 300 \text{ V}$$

$$V_8 = 355 \text{ V}$$

$$V_9 = 300 \text{ V}$$

$$V_{10} = 45 \text{ V}$$

h=5 için

$$V_1 = 880 \text{ V}$$

$$V_2 = 805 \text{ V}$$

$$V_3 = 110 \text{ V}$$

$$V_4 = 340 \text{ V}$$

$$V_5 = 230 \text{ V}$$

$$V_6 = 40 \text{ V}$$

$$V_7 = 63 \text{ V}$$

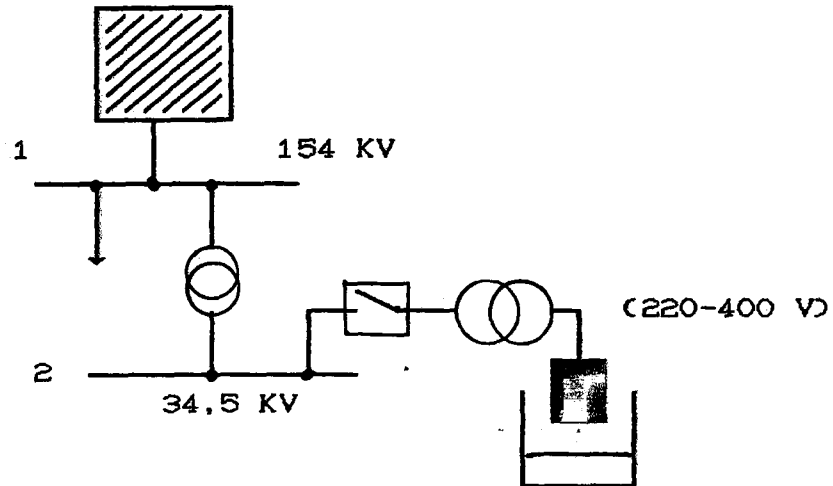
$$V_8 = 55 \text{ V}$$

$$V_9 = 52 \text{ V}$$

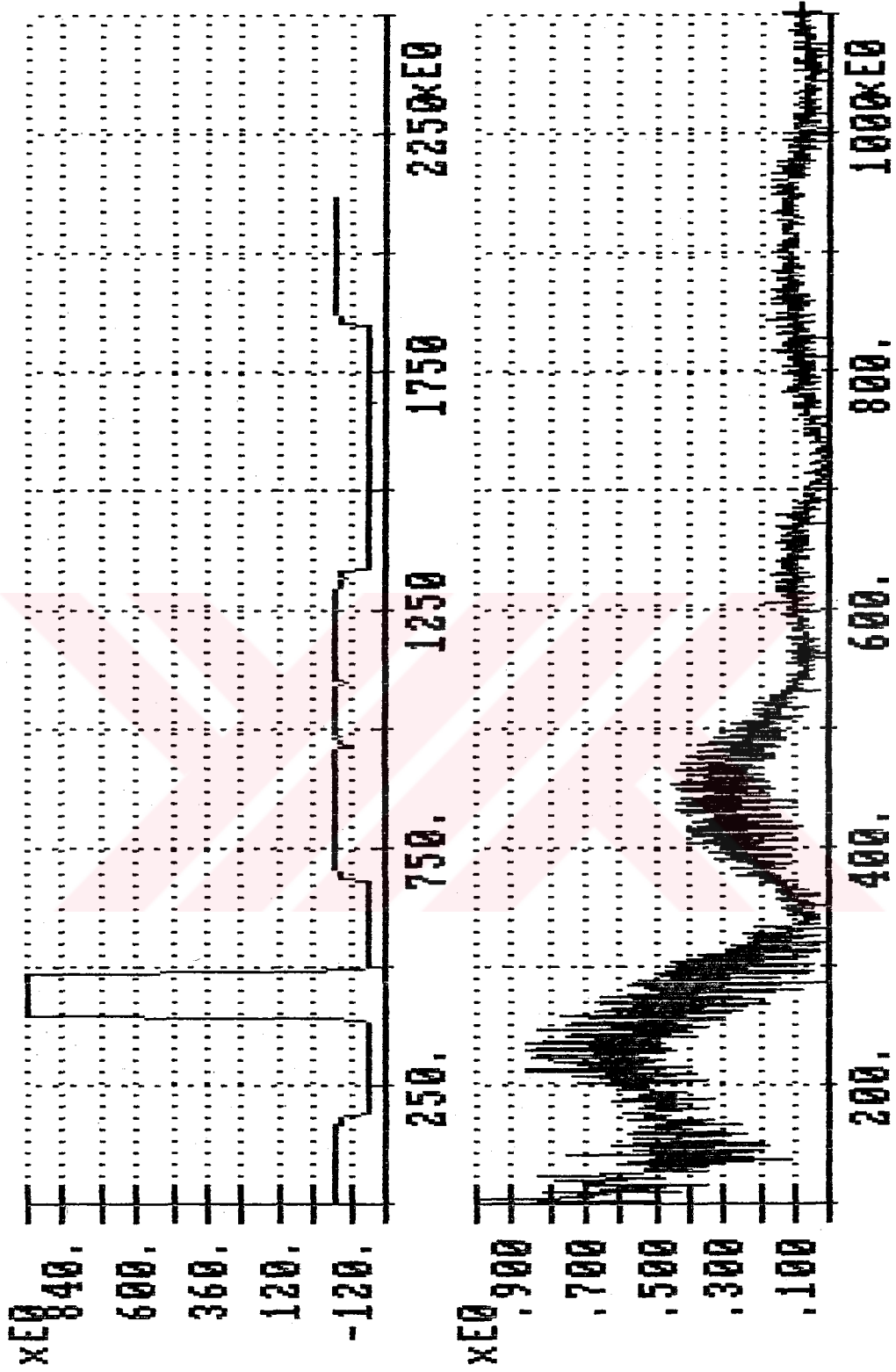
$$V_{10} = 380 \text{ V}$$

5.2 Orpaş Modeli ve Ölçümleri:

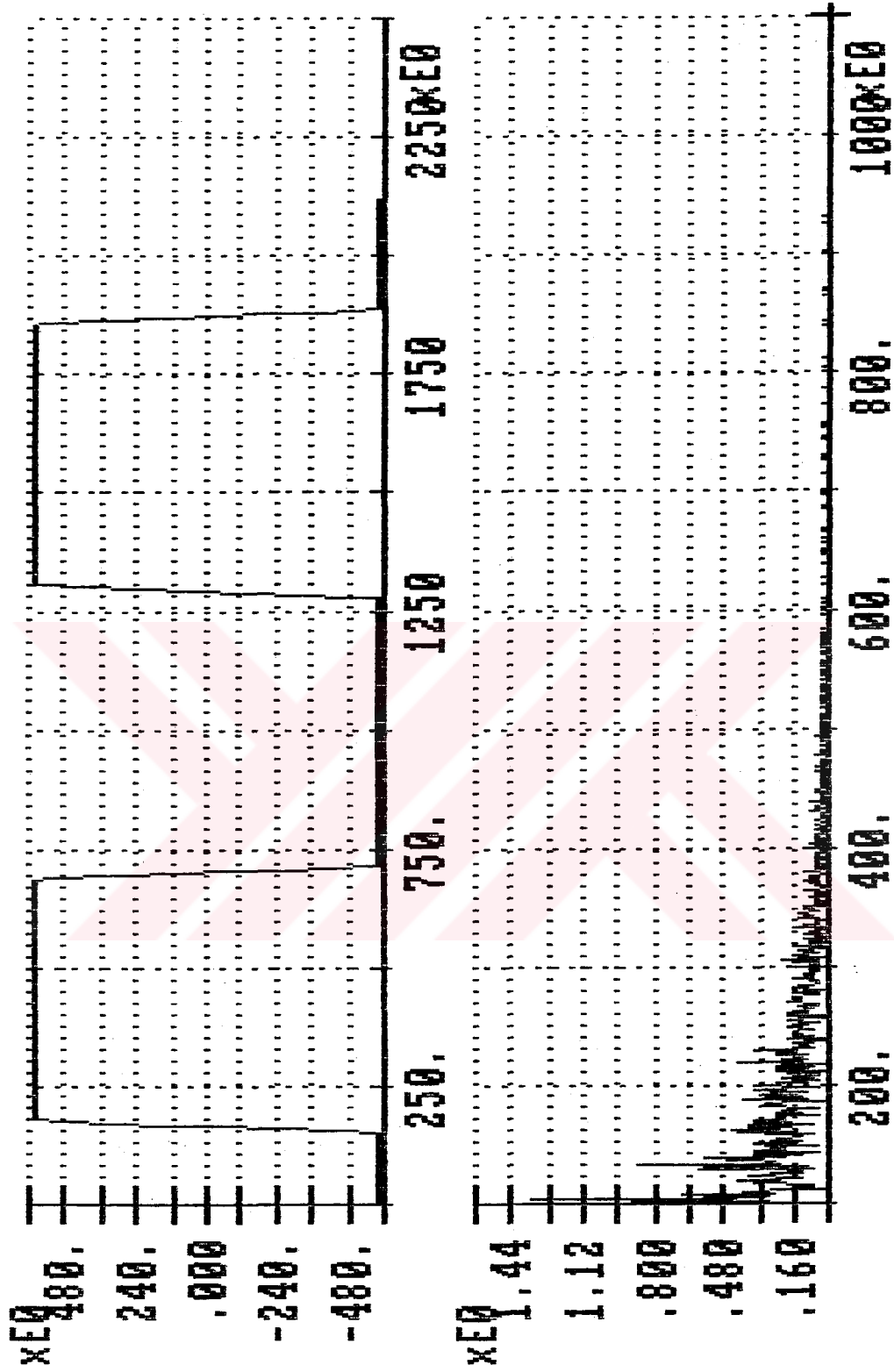
Ölçüm için Mahmutbey'de bulunan Orpaş Ark fırını tesislerini gidilmiştir. Ark fırınının şebekeye bağlama şeması şekil 5.3'te verilmiştir. İki no lu barada yapılan ölçümler şekil 5.4'te ve şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Ark Fırınının Şebekeye Bağlanma Şeması



Sekil 5.4 Orpaş Ark Fırını Akım Dalga şekli ve harmonik spektrumu.



Sekil 5.5 Orpas Ark Fırını Gerilim Dalga Sekli ve harmonik spektrumu.

SONUÇLAR

Güç sisteminde çalışan mühendisler için bilgisayar ile analiz önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Güç sistemindeki bozulmalar ve sorunların değerlendirilmesinde, güç sistemlerinin benzetişimi ve modellenmesi gerekli olur. Devredeki bozulmalar çok kez sistemdeki üç faz akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozulmalar olarak ortaya çıkar. Uluslararası düzeyde çalışma konusu olan bir bozulma şekli ise, günümüz modern güç sistemlerini olumsuz olarak etkileyen, " Güç Sistemi Harmonikleri " dir.

Güç sistemindeki AA harmonikleri, sistemi artan bir oranda etkilemekte, tesislerde zarara ve güç kesintilerine neden olmaktadır. Her ne kadar süzgeç devreleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmışsada süzgeçleme tesislerinin toplam maliyeti artırması, Statik VAR sistemi yada Ark Fırını gibi tesislerde kullanılan süzgeçlerde, maliyet optimizasyonunu gerekli hale getirmiştir. Sorunun en önemli kısmının ise güç sistemindeki harmoniklerin kuramsal olarak hesaplanmasında bulunduğu görülmektedir.

Bu çalışma, zamanla değişen yüklerin ve bunların meydana getirdiği harmoniklerin incelenmesi amacı ile geliştirilen, bilgisayarlı ölçüm ve benzetişim yöntemlerini içermektedir. Benzetişim sonunda hesaplanan kuramsal sonuçlarla ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçüm amacı ile gidilen Mahmut Bey'de Orpaş Ark Fırını Tesislerinde bazı datalar alınmıştır. Hesaplamalarda zaman domen ve " Hızlı Fourier Dönüşümü " (FFT) bağıntıları kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] OLLE, I. ELGERD., Electrical Energy Systems Theory, McGraw-Hill, 2nd edition, 1982
- [2] International Conference on Harmonics in Power Systems, UMIST, Manchester, England, 1981.
- [3] International Conference on Harmonics in Power Systems, Worcester Polytechnic Institute, USA, 1984.
- [4] Third International Conference on Harmonics in Power Systems, Purdue University, USA, 1988.
- [5] IEEE Tutorial/Special Publication : Power System Harmonics, 1984.
- [6] BAYRAM, MUSTAFA., Elektrik Tesislerinde Rezonans Olayları, Elektroteknik Mecmuası, Temmuz 1985.
- [7] BAYRAM, MUSTAFA., Elektrik Tesislerinde Rezonans Olayları, Elektroteknik Mecmuası, Ağustos 1985.
- [8] DENEM, T. J., BODGER P. S., ARRILLAGA, J., Three Phase Transmission System Modelling for Harmonic Penetration Studies, IEEE Trans. Pas, Vol. Pas-1-3, No.2, February 1984, pp.310-317.
- [9] LANDER, C., Rectifying Circuits , McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, England, 1981.
- [10] Brown, Peter James., Computerized Simulation and Measurement of Power System Harmonics, Ph.D. Thesis, March 1990.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖZGEÇMİŞ

Veysel ÖZBULUR 1965 yılında Şanlı Urfa'nın Birecik kazasında doğdu. 1982 yılında Mersin Dumlupınar Lisesi'ni bitirdi. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne, daha sonra 1983 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1987 yılında bu bölümden mezun oldu.

1987 yılında İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Ana Bilim Dalı, Elektrik programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu anda İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.