

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ga Elektronikli Devrelerin Sistemi

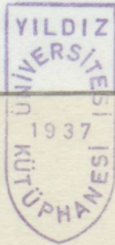
Fahri Arak

Yüksek Lisans Tezi

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	R 152 134
Alındığı Yer	FEN BİL. ENS.
Tarih	20.04.1992
Fatura	- - - - -
Fiyatı	20.000. TL.
Ayniyat No	1/2
Kayıt No	48345
UDC	621.3 378.242
Ek	

+



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜÇ ELEKTRONİKLİ DEVRELERİN SİSTEM VE DİĞER ALICILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ, HARMONİKLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK MÜH. FAHRİ ARCAK

TEZİ YÖNETEN : Doç. Dr. ASIM KASAPOĞLU



ÖNSÖZ

Tez çalışmamdaki yardımlarından dolayı sayın hocam Doç. Dr. Asım KASAPOĞLU'na,
ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET

İngilizce Özet (Summary)

1. Giriş	1
1.1. Konunun Tanıtılması	1
1.2. Genel Olarak Harmonik Kaynakları	2
1.3. Harmoniklerin Etkileri	6
1.4. Tezde İzlenen Yol ve Yapılan Çalışmalar	6
2. HARMONİK ANALİZİ	8
2.1. Etkin Harmonik Akımları ve Harmoniklerin Hesaplanması	8
2.2. Harmonik Analizörü	18
3. KİYİCİ İLE KONTROL EDİLEN GÜÇLÜ ELEKTRİK LOKOMOTİFİ DEVRESİNDE HARMONİKLER	20
3.1. Giriş	20
3.2. İlke-Darbe Genlik Modülasyonu	21
3.2.1. Dalga Şekilleri	21
3.2.2. Açıların Değerlendirilmesi	22
3.2.3. Filtre Olmadığında Sonuçlar	23
3.3. Filtre Kesim Frekansı	24
3.4. Güç Kaynağı, Konverter ve Yüğü Kapsayan Sistemin Çalışması	26
3.4.1. $\sqrt{2}$ Voltajına Bağlı Olarak Kıyıcı Kontrolü	26
3.4.2. Kontrolün Oluşturulması	27
4. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İÇİN KULLANILAN STATİK VAR GENERATÖRÜ VE HARMONİKLERİ	29
4.1. Giriş	30
4.2. Basit SK-TKB Devresi	30
4.3. SK-TBK Tam Devresi	31
4.4. Kayma Faktörü ve Güç Faktörü	32
4.5. Kompanzasyon	33
5. TKB KOMPANZATÖR KONTROL SİSTEMLERİ İÇİN HARMONİKSEL BOZULMUŞ ÜÇ FAZLI AKIMLARDAN POZİTİF-SEQUENCE AKIMININ HIZLA ÇIKARILMASI	39
5.1. Giriş	39

5.2. TKB Pozitif-Sequence Akım Çıkarmanın Prensibi_ _ _ _ _	40
5.3. TKB Pozitif-sequence Akım Düzelticinin Dizaynı_ _ _ _ _	42
5.3.1. Senkronizasyon ve Fonksiyon Tarama Devreleri_ _ _ _ _	43
5.3.2. Fonksiyon Generatörleri ve DAC Multiplier_ _ _ _ _	44
6. REZONANS OLAYI VE HARMONİKLERİN GİDERİLMESİ İÇİN	
TESİSLERDE ALINACAK ÜNLEMLER_ _ _ _ _	46
6.1. Teorik İnceleme: R,L,C, ve W'nın Değişimi_ _ _ _ _	46
6.2. Proje Aşamasında Alınacak Önlemler_ _ _ _ _	47
6.3. Harmoniklerin Bastırılması-Filtreler_ _ _ _ _	47
7. SONUÇLAR_ _ _ _ _	51
KAYNAKLAR_ _ _ _ _	53
ÖZGEÇMİŞ_ _ _ _ _	55

Ö Z E T

Güç elektroniği elemanları ve sistemleri faydalarının yanında bazı kötü tesirlerde oluşturlar. Bunlardan en önemlisi harmoniklerdir.

Tez de, giriş kısmında genel olarak harmonik kaynakları tanıtılmış, harmoniklerin kötü etkileri belirtilmiştir.

Daha sonra, ikinci kısımda harmonik analizi üzerinde durulmuştur. Harmonik tesirlerini inceleyebilmek ve uygun önlem alabilmek için harmoniklerin saptanması gereklidir. Bu bölümde çeşitli güç elektroniği devreleri için hesaplama yöntemleri gösterilmiş, ayrıca tesislerde harmonik içeriği tesbit eden ve spektrum analizi yapan harmonik analizörü incelenmiştir.

Üçüncü kısımda harmoniklerin önemli problem yarattığı elektrikli lokomotif besleme devresi üzerinde çalışılmıştır. Filtrenin fonksiyonu üzerinde durulmuş ve güç faktörü değişimi incelenmiştir.

Dördüncü kısımda reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan statik VAR generatörleri ve harmonikleri incelenmiştir. Yük açısı ve reaktörtristörü açısı ile güç faktörü ve harmoniklerin ilişkisi incelenmiştir.

Beşinci kısım, üç farklı şebekede kullanılan VAR generatörlerinin, güç sistemi hesaplamaları ve kontrol sistemi dizaynı için gerekli olan pozitif-sequence akımlarının bulunması için mikroprocessör tabanlı devre incelenmiştir.

Altıncı bölümde rezonans olayı ve tesislerde alınacak önlemler araştırılmış ve çözümler belirtilmiştir.

Yedinci bölümde ise tüm sonuçlar ele alınmış, tesis proje ve uygulama aşamasında gözönüne alınması gerekenler belirtilmiştir.

SUMMARY

The electronic power conversion circuits that convert and electrical power use power semiconductor devices. The devices operate in the switching mode, which causes the losses to be reduced and therefore the conversion efficiency to be improved. However the disadvantages of switching-mode operation are the generation of harmonics and the fact that the converter system model tends to be more complex. This study is applied to harmonics.

In the second part of the thesis, harmonic analysis is made for principal power electronics circuits and systems.

In the third part, study is applied to single-phase powerful electric lokomotives and AC-DC converter minimizing induced harmonics in Industrial power systems.

Then, in the fourth part, a fixed capacitor-thyristor controlled reactor (FC-TCR) type of power factor compensator with thyristor-controlled series load is analysed using an approximate and also a more exact circuit. The variation of power and power factor before and after compensation is examined for both cases.

In the last part of the thesis, study discusses the principle and implementation of a practical scheme for extracting the magnitude of the positive-sequence component from harmonically corrupted three-phase currents found in modern energy systems.

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1-1) KONUNUN TANITILMASI : Gelişen elektrik-elektronik teknolojisi, elektrik tesislerine çalışma karakteristikleri ve işletme giderleri açısından büyük yararlar sağlamaktadır. Bu iyi yanlarına karşın, yeni tesis ve yöntemlerin şebekeye ve diğer tüketicilere yaptığı olumsuz etkilerde artmaktadır. Olumsuz etkiler genelde, gerilim dalgalanmaları, simetrisizlik ve harmoniklerdir. Çalışmada yalnızca harmonikler ele alınacaktır.

Genelde, hesaplamalar yapılırken elektrik şebekesinde üretilen gerilimin sinüsoidal olduğu kabul edilmektedir. Buna karşılık iletim ve dağıtım hattı ile yükler, gerilimin dalga şeklinin saf sinüs şeklinden sapmasına yol açarlar. Gerilim dalga şeklindeki bozulmanın en önemli nedeni, uç gerilimi ve akımı arasındaki bağıntısı lineer olmayan yüklerdir. Bu tür nonlineer yükler, 50 Hz temel frekanslı aktif ve reaktif güç tüketen harmonik frekanslı akımlar üreten tüketiciler olarak kabul edilirler.

Bu tüketicilerin ürettiği harmonik frekanslı akımlar devrelerini şebeke ve civar tüketiciler üzerinden kapatarak harmonik frekanslı gerilimler meydana getirirler. Bu gerilimler ise başlangıçta saf sinüs kabul edilen gerilimin dalga şeklini bozarlar. Bu bozulma diğer bir değişle şebekenin değişik noktalarındaki gerilim harmoniklerinin değeri; yükün meydana getirdiği harmonik akımın değerine, civar tüketicilerin ve şebekenin parametrelerine doğrudan doğruya bağlıdır.

Güç şebekesindeki harmoniklerin meydana getirdiği sorunlar uzun yıllardır bilinmektedir. Önceleri bu sorunlar senkron ve asenkron makinalardaki ısınma ve salınımlar, telefon hatlarındaki karışımlar ve güç kondansatörlerinin arızaları olarak biliniyordu. Günümüzde ise gelişen güç teknolojisi, harmoniklerin artmasına yol açmıştır. Diyotlar, redresörler, tristörlü devreler, kıyıcılar ve konveterler gibi eleman ve sistemler başlıca harmonik oluşum sebepleridir.

Sanayide kullanılan ve harmonik üreten aygıtlara ek olarak elektrik makinalarının ve cihazlarının tasarım ilkelerindeki değişikliklerde şebekedeki harmoniklerin artmasına yol açmıştır. Elektrikli aygıtlara en büyük zarar, değeri 5 kHz'den küçük olan harmoniklerin verdiği kabul edilmektedir. Geçmişte şebekede harmonik meydana getiren etkenler ve bunların meydana

getirdiği harmoniklerin mertebeleri küçüktür. Bugün ise, güç elektroniğinde meydana gelen gelişmeler harmoniklerin hesabı ve tüketicilerde meydana getirdikleri zararların artık kabul edilemez boyutlara vardığını göstermektedir.

Bu nedenle yeni kurulacak, dizayn edilecek sistemlerde ve hesaplamalarda harmonikler gözönüne alınmalıdır. Özellikle kompanzasyon tesisleri kurulmasında bu çok faydalı olacaktır. Böylece hem reaktif güç kompanzasyonu sağlanacak hem de kötü harmonik etkiler giderilecektir.

1-2) GENEL OLARAK HARMONİK KAYNAKLARI :

Harmonik oluşturunca etkenler iki grupta incelenebilir. Bunlar :

- 1-) Bilinen Harmonik kaynakları,
- 2-) Yeni Harmonik kaynakları,

1-) BİLİNER HARMONİK KAYNAKLARI :

- a-) Elektrik makinalarındaki diş ve olukların meydana getirdiği harmonikler,
- b-) Çıkık kutuplu senkron makinalarda hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,
- c-) Senkron makinalarda ani yük değişimlerinin meydana getirdiği magnetik akı dalga şeklindeki bozulmalar,
- d-) Senkron makinaların hava aralığı döner alanın harmonikleri,
- e-) Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslama akımları,
- f-) Şebekedeki nonlineer yükler. Doğrultucular, eviriciler, kaynak makinaları ark fırınları, gerilim regülatörleri, frekans çeviriciler v.s.

2-) YENİ HARMONİK KAYNAKLARI :

- a-) Enerji tasarrufu amacı ile kullanılan aygıtlar ve uygulanan yöntemler,
- b-) Motor hız kontrol düzenleri, özellikle elektrikli demiryolu tesisatı,
- c-) Doğru akım ile enerji nakli,
- d-) Yeni enerji kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi üreten tesislerin şebekeye bağlanması,
- e-) Statik VArjenratörleri,
- f-) Kesintisiz güç kaynakları,
- g-) Direkt frekans çeviricisi ile beslenen momenti büyük hızı küçük motorlar,

h-) Endüstriyel ısıtma amacı ile fırınlarda "Integral cyle" kontrol tekniğinin kullanılması,

ı-) Olasılıkla elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve bunların akü şarj devrelerinin etkileri.

Yeni harmonik kaynakları aşağıda kısaca açıklanacaktır.

a-) Enerji tasarrufu amaca ile kullanılan aygıt ve uygulanan yöntemler Elektrik motorlarının yükü uyumunu sağlayarak verimini arttıran yöntemlerde güç elektroniği aygıtları kullanılmakta olup, bunlar şebeke de harmonikler meydana getirmektedir. ABD'de toplam elektrik enerjisi tüketiminin % 64'ü elektrik motorlarınca harcanmaktadır. Elektrik motorlarının % 90'ı 1-200HP güç bölgesinde olup pompalar vantilatörler gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Bu bakımdan asenkron motorlar ve hız kontrol düzenlerinde verim ayrıca önem kazanmıştır. Bunu sağlamak üzere;

- Motor tasarımındaki gelişmeler verim artışına yol açmaktadır.

Bu gelişmeler sonucu büyük çapta bir harmonik artışı umulmamalıdır.

- Motorun vermesi gereken mekanik güce uygun olarak giriş gücünün ayarlanması. Bu amaçla motora bir hız kontrol düzenin eklenmesi gerekmektedir. Bir alternatif akım kıyıcısı yada gerilimle birlikte frekansı da ayarlayan bir evirici kullanıldığında anılan güç elektroniği aygıtları şebekede harmonikler meydana getirecektir.

- Motorun güç faktörünün ($\cos \phi$) ayarlanması.

Asenkron motorlarının boşa çalışmada güç faktörü 0,1 ilâ 0,2 arasındadır. Motor yüklendiğinde güç faktörü 0,9'a kadar artmaktadır. Motor'un girişinde kullanılan alternatif akım kıyıcısı gerilimi sürekli ayarlayıp güç faktörünü sabit tutmakta , motor kayıplarının minimumda kalmasını sağlamaktadır. Alternatif akım kıyıcısı şebekede harmonikler doğuracaktır.

b) Motor Hız Kontrol Düzenleri

Bu çök genel başlık altında hızı bir evirici, direkt frekans çeviricisi ya da alternatif akım kıyıcısı yardımı ile ayarlanan asenkron makineler, statik kramer sistemi olarak bilinen bilezikli asenkron motorlar da hız kontrolü sağlayan sistemler, senkron motor hız kontrol düzenleri ve kontrollü doğrultucular ile beslenen doğru akım hız kontrol

düzenleri anlaşılacaktır.

Elektrikli trenler bu bölüm içinde ele alındığında önemli bir harmonik kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda, trenlerin ilk hareketi sırasında tren hattını besleyen büyük güçlü doğrultucunun şebekeye önemli harmonikler verdiği ve bu harmoniklerin civar tesislerde önemli etkiler doğurduğu saptanmıştır.

c-) Doğru akımı ile Enerji Nakli

Bu teknikte alternatif/doğru ve doğru/ alternatif çeviricileri kullanılmaktadır. Alternatif olarak üretilen gerilim doğrultulmakta ve enerji nakli hattını beslemekte, hattın ucunda tekrar alternatifte çevrilerek tüketiciye iletilmektedir. Doğru gerilim enerji naklinde kullanılan büyük güçlü çeviricilerin önemli büyüklükte harmonikler ürettikleri bilinmektedir.

d-) Yeni Enerji Kaynakları,

Gelişmeler, güç 5-10 MW civarında bulunan enerji depolayan sistemleri ile gücü daha küçük olan ve güç elektroniği çeviricilerini kullanan güç kaynaklarının şebekeye dahil olacaklarını göstermektedir. Bu tip sistemlerde güç kaynağı olarak rüzgar, fotoelektrik malzeme, fuel petekleri ya da gelişmiş akümülatörler kullanılacaktır. Bu sistemlerin devreye girişi ile şebekedeki harmoniklerde önemli artışlar beklenmektedir. Ayrıca doğrudan enerji dönüştüren sistemlerde (Örneğin magnetohidrodinamik) D.A./A.A çeviricisine gerek duyulurki bunlarda birer harmonik kaynağıdır.

e-) Statik VAR Genaratörleri,

Statik VAR generatörleri, alternatif akım kısıyıcısı ile akımı değiştiren bir reaktör, paralel bağlı kondansatörler ve kumanda kontrol elemanlarından oluşur. Bu sistemlerin çalışma özelliği gerekli reaktif gücü en hızlı bir şekilde ve her faz için ayrı ayrı verebilmesidir. Özellikle ark fırınlarının kompanzasyonu, flikerin azaltılması ve simetrimede olumlu etkisi olan statik VAR generatörleri kendisi bir harmonik kaynağı olarak şebekeyi olumsuz etkiler. Statik VAR generatörlerinde direkt frekans çeviricileri de kullanılabilir, bunlarda önemli ölçü de harmonik üretirler.

f-) Kesintisiz güç kaynakları

Gerilim kesintisinin zararlara yol açtığı bilgisayarlar ya da havaalanları gibi işletmelerde kullanılan kesintisiz güç kaynakları alternatif gerilimin doğru gerilime çevrilerek depolanması ve sonra evirici yardımıyla alternatifte çevrilerek tüketiciye iletilmesi esasına göre çalışır. Anılan statik çeviriciler gerek girişteki doğrultucu gerekse çıkıştaki evirici tarafından şebeke de harmonikler doğururlar.

g-) Direkt frekans çevircisi ile beslenen momentli büyük, hızlı küçük motorlar,

Bu yöntem aslında genel motor hız kontrol grubu içindedir. Ayrıca ele alınmasının nedeni direkt frekans çeviricisi ile beslenen uygulamaların giderek çok büyük güçlere (5-8 MW) yönelmesidir.

Bu uygulamalar arasında lineer motorlar, çimento ve maden sanayii sayılabilir. Artan güçlerle birlikte harmoniklerin etkisi de o denli büyük olmaktadır.

h-) Endüstriyel ısıtma sağlayan fırınlarda "Integral Cycle" kontrol tekniğinin kullanılması.

Bu yöntem en büyük 2MW gücündeki ocak, fırın ve nokta kaynakların kontrolün de kullanılmakta olup uygulamaların artışı ile bunların şebekeye verdiği harmoniklerde artmaktadır.

ı-) Elektrikli Taşıtlar ,

Elektrikli otoların tip çalışmalarının sonuçlandığı, bu otolarda elektrik enerjisinin akümülatörlerde depo edildiği bilinmektedir. Akümülatörlerin belli aralıklarla şarj edilmesi ise şebekenin giderek akü şarj doğrultucularının harmonik etkilerine daha fazla maruz kalmalarına neden olacaktır.

Tezde bu harmonik kaynaklarından yalnızca güç elektronikli temel devreli harmonik kaynakları ele alınacaktır.

1.3 HARMONİKLERİN ETKİLERİ

Harmonikler şebekede ve çevrede çeşitli sorunlar meydana getirmektedirler. Bunlar kısaca ;

- 1*) Kondansatör gruplarında tahribat; rezonans dolayısıyla aşırı gerilim meydana gelmesi ve elektrik delinmesi şeklinde ya da sürekli akımın çok büyümesi dolayısıyla aşırı yüklenme şeklinde yada sürekli akımın çok büyümesi dolayısıyla aşırı yüklenme şeklinde tahribat
- 2*) Güç hatlarında otomatik kontrol yapan elemanlarda karışmalar (Interference dolayısıyla çalışma bozuklukları),
- 3*) Asenkron ve senkron makinalarda aşırı kayıplar ve ısınma,
- 4*) Rezonans dolayısıyla güç sisteminde aşırı gerilimler ve akımlar meydana getirmesi,
- 5*) Aşırı gerilimler nedeni ile yalıtkan kablolarda delinme,
- 6*) Telekomünikasyon sistemleri ile karışmalar,
- 7*) Endüksiyon kWh' metrelerinde metrelerinde ölçme hataları
- 8*) Yarı iletkenli ve mikroişlemci sistemlerde işaretlerde karışmalar
- 9*) Santrallarda uyarma sistemlerinde ve büyük motor kontrol devrelerinde karışmalar,
- 10*) Senkron ve asenkron makinalarda mekanik salınımlar,
- 11*) Ateşleme onları gerilimin sıfırına göre ayarlanmış sıfır gerilim salterli devrelerde kararsız çalışmalardır.

1.4' TEZDE İZLENEN YOL VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tezin giriş bölümünde harmonik oluşumların meydana gelişi, şebekeye ve diğer alıcılara etkileri ve harmonik kaynakları genel olarak ele alınmıştır. Harmoniklerin gelecekte önemli sorunlar yaratacağı bir gerçektir.

Tezde üzerinde çalışılmış konular daha çok uygulamada önemli bir yer tutan ve yüksek harmonik içerikli sistemlerden seçilmiştir.

Giriş bölümünde anlatıldığı gibi birçok harmonik kaynağı vardır. İncelenen güç elektronikli sistemler de birçok değişik amaç ve yapıdadır.

İkinci bölümde harmonik analizi yapılmıştır. Harmoniklerin hesap yoluyla ve pratik olarak ölçme aygıtlarıyla bulunması hakkında bilgi verilmiştir.

Daha sonra üçüncü bölümde elektrikli tren sisteminde güç elektronikli devrenin harmonikleri incelenmiş ve kontrol konusu üzerinde durulmuştur. Bu sistemin ele alınış nedeni bu alanda büyük sorun yaratmasından dolayıdır.

Dördüncü bölümde harmonikler statik VAR generatörleri içinde incelenmiştir. Uygulamaya yönelik olarak VAR generatörleri ayrıca incelenmiş, tetikleme açıları güç faktörü, harmonik içerik ilişkileri üzerinde durulmuştur. Bu çalışma kompanzasyon tesisleri için geliştirilebileceği için üzerinde durulmuştur.

Beşinci kısımda üç fazlı güç sistemine bağlanmış VAR generatörlerinin pozitif sequence akımlarının değerlerinin digital yöntemlerle çıkarılması için gereken devreler oluşturulmuş ve kısaca incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise rezonans olayı ve harmoniklerin giderilmesi için alınacak önlemler ele alınmıştır. Filtreler incelenmiştir.

Yedinci ve son bölümde de konular genel olarak ele alınmış, alınabilecek önlemler tartışılmış, kompanzasyon tesislerinde yapılabilecekler ele alınmıştır.

İ K İ N C İ B Ö L Ü M

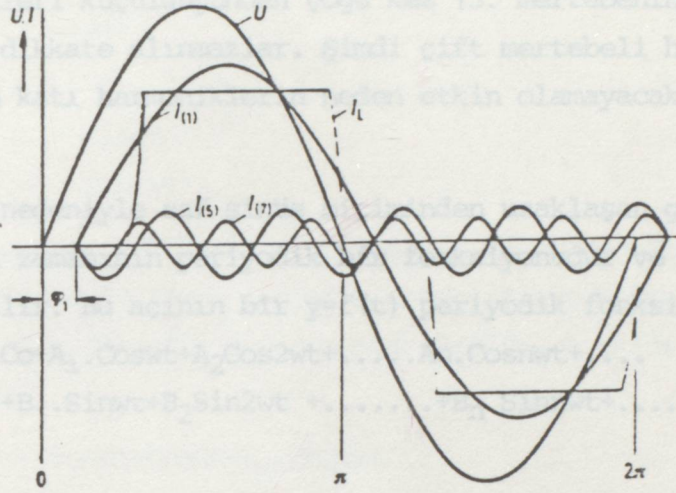
2.1 ETKİN HARMONİK AKIMLARI VE HARMONİKLERİN HESAPLANMASI

Elektrik makinalarının verimli şekilde çalışabilmesi için alternatif akım şebekelerinde gerilimin olabildiğince saf sinüs eğrisi biçiminde ve frekansında şebeke temel frekansında sabit tutulmasına özen gösterilir. Ancak işletmelerde bulunan bazı tüketiciler ve güç elektronikli sistemler beslendikleri alternatif akım şebekesinden sinüs biçiminde olmayan ve temel frekanslı akımla birlikte bunun tam katları kadar frekanslı yüksek harmonik akımlarını da çeker. Bu yüksek harmonik akımları şebeke geriliminin biçimini bozar.

Bu bölümde temel harmonik kaynakları ele alınarak bunların meydana getirdikleri harmonikler incelenecektir. Bu amaçla harmonik analizi yöntemlerinden yararlanılır. Bu analizde herhangi bir periyodik dalga şeklinin bir doğru bileşeni, bir temel frekanslı saf sinüs ile frekansları farklı saf sinüs dalgalarının toplamından oluştuğu gösterilir. Fourfer Analizi ve Fourfer Transformasyonu yöntemleri yardımı ile bir dalga şeklinin hangi harmonikleri içerdiği ve bu harmoniklerin genliği hesaplanabilmektedir.

Örnek olarak bir redresörün şebekeden çektiği harmonik akımları Şekil 2.1* görülmektedir. Redresör şebekeden I_1 temel harmonik akımını alırken, bunun beş katı frekanstaki I_5 ve yedi katı frekanstaki I_7 yüksek harmonik akımlarının da doğmasına neden olmaktadır.

Harmoniklerin mertebelerini şebeke frekansının kaç katı oldukları belirler. Yani 50 Hz'lik şebeke frekansı için 100 Hz ikinci harmonik, 150 Hz üçüncü, 200 Hz dördüncü ve $n \cdot 50$ Hz'de n. harmoniktir.



Şekil:2.1- Bir redresör akımına ilişkin ana ve yüksek harmonik bileşenleri

- I_L - Toplam yük akımı
- I_1 - Temel harmonik
- I_5 - 5. harmonik
- I_7 - 7. harmonik
- U - Faz gerilimi

Simetrik yüklü üç fazlı alternatif akım şebekelerinde stasyonær durumda bazı harmoniklerin bulunması söz konusu değildir.

Etkin olabilecek harmonikler :

$$n = 6k \mp 1 \quad (k=1,2,3,...) \quad (2.1)$$

Formülüyle bulunur. Yani 5,7,11,13... mertebeli harmonikler etkin olabilir. Görüldüğü gibi çift mertebeli harmoniklerle üç ve üçün katları olan harmonikler söz konusu değildir. Öte yandan harmonik akımlarının genlikleri harmonik mertebesiyle orantılı olarak azalır.

Bağlantı kollarındaki reaktanslar ve başka faktörlere de bağlı olmakla birlikte genellikle harmonik akımlarının genlikleri ana harmonik akımının :

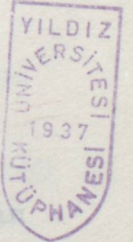
5. harmonik için % 25'i

7. harmonik için % 13'ü

11. harmonik için % 9'u

13. harmonik için % 7'si kadardır. Gerilim harmonikleri

içinde bu oranlar yaklaşık olarak : 5.harmonikte %10 ve 7.harmonik te % 3,5 mertebesindeir. Görüldüğü gibi harmonik mertebeleri yüksel-



dikçe genlikleri küçüldüğünden çoğu kez 13. mertebenin üzerindeki harmonikler dikkate alınmazlar. Şimdi çift mertebeli harmoniklerle üç ve üçüncü katı harmoniklerin neden etkin olamayacaklarını inceleyelim :

Harmonikler nedeniyle saf sintüs biçiminden uzaklaşan gerilim eğrisi yine de t zamanının periyodik bir fonksiyonudur ve fourter serisine açılabilir. Bu açının bir $y=f(t)$ periyodik fonksiyonu için :

$$f(t) = Co + A_1 \cdot \cos wt + A_2 \cos 2wt + \dots + A_n \cdot \cos nwt + \dots + B_1 \cdot \sin wt + B_2 \sin 2wt + \dots + B_n \sin nwt + \dots (2.2)$$

ya da ;

$$f(t) = Co + C_1 \cdot \sin (wt - \varphi_1) + C_2 \cdot \sin (2wt - \varphi_2) + \dots + C_n \cdot \sin (nwt - \varphi_n) + \dots (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. (2.2) açımında Co , A_n , B_n katsayıları :

$$Co = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.4)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos nwt dt \quad (2.5)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin nwt dt \quad (2.6)$$

İntegralleriyle bulunur.

(2.3) açımında C_1 katsayılı terim periyodik fonksiyonun ana harmoniğe karşı düşen temel terim, C_2 , C_3 , ..., C_n katsayılı terimlerde harmoniklerdir.

Eğer periyodik fonksiyonu oluşturan gerilim eğrisi apsis eksenine göre simetrikse, yani eğri birbirinin aynı fakat ters işaretli iki yarım periyottan oluşmuşsa, bu takdirde :

$$f(\pi + wt) = -f(t) \quad (2.7)$$

şartı gerçekleşir. Açınımında her terimde t yerine $\pi + wt$ koyup açının işaretini inceleyelim :

$$\cos (\pi + \omega t) = - \cos \omega t$$

$$\cos 2 (\pi + \omega t) = \cos 2\omega t$$

.....

$$\sin (\pi + \omega t) = - \sin \omega t$$

$$\sin 2 (\pi + \omega t) = \sin 2\omega t$$

olacağından, ωt 'nin tek katlarının kosinüs ve sinüslerinde ωt yerine $\pi + \omega t$ konduğu zaman işaretin değiştiği ve halbuki ωt 'nin çift katları için işaretin değişmediği görülür. O halde ωt yerine $\pi + \omega t$ konursa :

$$f (\pi + \omega t) = C_0 - A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t - \dots - B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t - \dots \quad (2.8)$$

elde edilir. Öte yandan (2.7) bağıntısı göz önünde tutularak ,
 $C_0 - A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t - \dots - B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t - \dots$
 $= -f (t)$

$= - C_0 - A_1 \cos \omega t - A_2 \cos 2\omega t - \dots - B_1 \sin \omega t - B_2 \sin 2\omega t - \dots$
 eşitliği yazılır. Bu eşitliğin gerçekleşmesi için her iki tarafta değişik işaretli olarak bulunan aynı termlerin açınımında bulunmaması gerekir. Şu halde $C_0 = 0$ olmalı ve aynı zamanda ωt 'nin çift katlarının kosinüs ve sinüsleri bulunmamalı yani bunların katsayıları da sıfır olmalıdır. Yani $C_0 = A_{2k} = B_{2k} = 0$ olmalıdır. Bu durumda fourier açılımı daha basit olan :

$$f (t) = A_1 \cos \omega t + A_3 \cos 3\omega t + \dots + B_1 \sin \omega t + B_3 \sin 3\omega t + \dots \quad (2.9)$$

Şeklini alır. Bunu yalnız sinüslü termler halinde yazacak olursak ;

$$f (t) = C_1 \sin (\omega t - \phi_1) + C_3 \sin (3\omega t - \phi_3) + C_5 \sin (5\omega t - \phi_5) + \dots$$

halini alır. Görüldüğü gibi, apsis eksenine göre simetri gerilim eğrileri için çift mertebeli harmonikler söz konusu değildir.

Öte yandan simetrik yüklü üç fazlı sistemlerde 3 ve üçün katları olan harmoniklerde simetri nedeniyle etkin değildir. Bunun da analitik yoldan ispatı mümkündür. Eğer fourier açılımında (2.9) ifadesinde üçüncü ve dokuzuncu harmoniklere ilişkin bulunan : $A_3 \cos 3\omega t$, $B_3 \sin 3\omega t$, $A_9 \cos 9\omega t$, $B_9 \sin 9\omega t$ termlerinde tek tek katsayı integralleri hesaplanırsa bunlar birbirini götürcektir.

Sonuç olarak 1.temel harmonik dışında 5., 7., 11., harmoniklerin etkin olabileceği söylenebilir. Bu durumda periodik fonksiyon :

$$y = f(t) = C_1 \cdot \sin(wt - \varphi_1) + C_5 \cdot \sin(5wt - \varphi_5) + C_7 \cdot \sin(7wt - \varphi_7) + C_{11} \cdot \sin(11wt - \varphi_{11}) + \dots \quad (2.11)$$

şeklini alır.

En genel olarak harmonikli bir dalga şekli aşağıdaki gibidir :

$$v = V_0 + V_{1m} \cdot \sin(wt + \varphi_1) + V_{2m} \cdot \sin(2wt + \varphi_2) + V_{3m} \cdot \sin(3wt + \varphi_3) + \dots + V_{nm} \cdot \sin(nwt + \varphi_n) \\ i = I_0 + I_{1m} \cdot \sin(wt + \varphi_1) + I_{2m} \cdot \sin(2wt + \varphi_2) + I_{3m} \cdot \sin(3wt + \varphi_3) + \dots + I_{nm} \cdot \sin(nwt + \varphi_n) \quad (2.12)$$

Burada v ve i ani değer olmak üzere,

V_0 : Doğru bileşen, V_1 : temel bileşenin genliği, V_{2m} : ikinci harmoniğin genliği, V_{nm} : n.harmoniğin genliği, ve φ, φ : faz açılarıdır.

Etkin değer ve aktif güç bağıntıları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{ef} = (V_{1ef}^2 + V_{2ef}^2 + V_{3ef}^2 + \dots + V_{nef}^2)^{1/2} \\ I_{ef} = (I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2 + I_{3ef}^2 + \dots + I_{nef}^2)^{1/2} \\ \sum P = \sum_{n=1}^{\infty} V_{nef} \cdot I_{nef} \cdot \cos \phi_n \quad (2.13)$$

Toplam güç, doğru bileşen V_0 ve I_0 dahil olmak üzere her harmoniğin gücünün toplamına eşittir. Yukarıdaki bağıntıda ϕ_n , n.harmonik gerilim ve akım bileşenlerinin arasındaki faz açısıdır.

$(\phi_n = \varphi_n - \varphi_i)$, ϕ_n açısı 90° den küçükse enerji yönü tüketiciye doğru, ϕ_n açısı 90° den büyükse enerji yönü şebekeye doğrudur.

Şebeke de harmonik meydana getiren aygıt ve yöntemlerin tümünü tek tek ele almak gereksizdir. Birçoğunda benzeri güç elektroniği aygıtı kullanılmaktadır. Çalışma ilkeleri açısından farklı olan harmonik kaynakları aşağıdaki gibidir.

- Yarı iletken AA/DA çeviricileri,
- Elektrik ark fırınları,

- Direkt frekans çeviricileri,
- Alternatif akım kıyıcıları,
- Statik Kramer Sistemi,

Yarı iletken AA/DA Çeviricileri

AA/DA çeviricileri motor hız kontrolunda, elektroliz tesislerinde doğru akımla enerji naklinde, kesintisiz güç kaynaklarında, akü şarj devrelerinde ve diğer pekçok uygulamada kullanılırlar. Doğrultucu kontrollü (tristörlü) yada kontrolsüz (diyodlu) üç ve bir fazlı olabilir. $p=6$ darbeli ve $p=12$ darbeli doğrultucular en çok kullanılan türleri oluşturmaktadır. Fourier analizi yardımı ile hesaplanan sürekli rejim harmonikleri $n=kp \pm 1$ mertebesindeirler. Burada $k=1,2,3..$ olup harmonik frekansı

$$f_n = n f_1 = (kp \pm 1) \cdot f_1 \quad (2.3)$$

bağıntısı uyarınca, n . harmonik akımı ise,

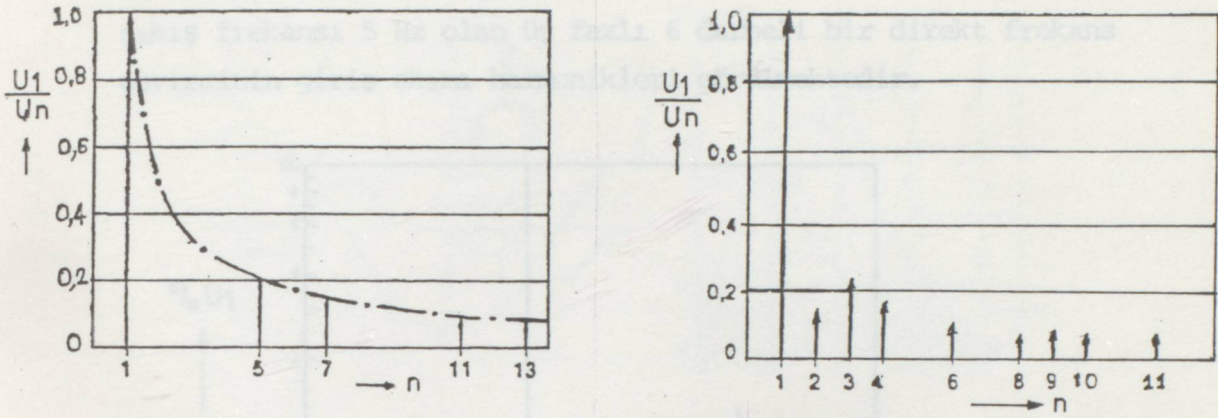
$$I_n = \frac{1}{n} \cdot I_1 \cdot F_n \quad (2.14)$$

bağıntısı uyarınca hesaplanabilir. Yukarıdaki bağıntılarda f_1 : Şebeke frekansı, I_1 : Çevirici akımın temel bileşeni, n : harmonik mertebesi, F_n : Düzeltme faktörüdür. Harmonik mertebesi arttıkça harmonik akımı azalmakta, kesişim açısı ve tetkikleme açısının etkisin gösteren $F_n < 1$ ise harmonik akımında ilave bir azalma meydana getirmektedir.

Tristörlü bir AA/DA çeviricisinin meydana getirdiği harmonikler tablo 1'de verilmistir.

Harmonik Sayısı,	6 darbeli % anma akımı	12 Darbeli % anma akımı
5	17.5	2.6
7	11.0	1.6
11	4.5	4.5
13	2.5	2.5
17	1.5	0.2
19	1.0	0.1
23	0.9	0.9
25	0.8	0.8

Tablo 1. yarı iletken doğrultucularda şebeke akım harmonikler her üç fazın ateşleme açılarındaki farklılıklar ve geçici olaylar yukarıda kilere ek olarak bazı olağan dışı harmonikler meydana getirirler. Bu harmonikler, temel harmoniklerle birlikte temel bileşenin yüzdesi olarak şekil 2.2a ve 2.2b'de görülmektedir.



Şekil 2.2 '6 darbeli bir çeviricinin harmonik spektrumu,

a) Olağan harmonikler

b) Olağandışı Harmonikler

Elektrik Ark Fırınları

Ark fırınlarının direncinin bir tam peryotta değişken oluşu, şebeke-
den çektiği akımın ise tam sinüs şeklinde olmamasına neden olmuştur.
Ayrıca hürdanın erigitilmesinin değişik aşamalarında harmonik genlik-
lerinin de değiştiği bilinmektedir. Tablo 2'de bir ark fırınındaki
harmonik akımlarının merteye ve genlikleri verilmektedir.

Harmonik Sayısı,	% Fırın akımı
2	10
3	11
4	3
5	9
6	1
7	4
8	1
9	1
10 ve üstü	< 1

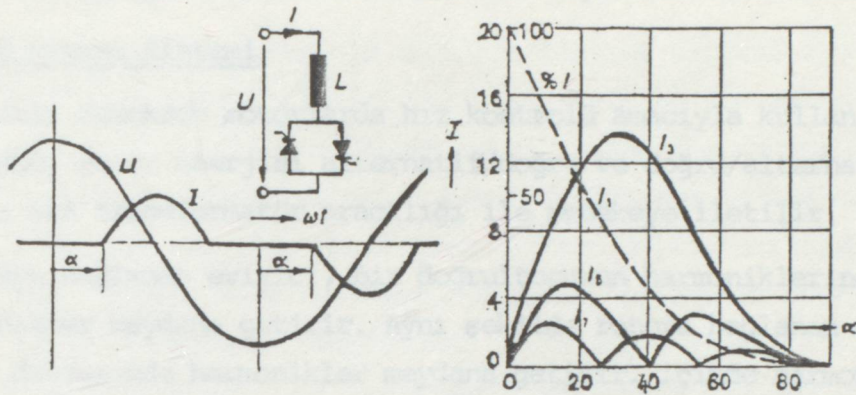
Tablo 2. Ark fırınlarının meydana getirdiği akım harmonikleri,

Direkt Frekans Çeviricileri

Direkt frekans çeviricilerinin ürettiği harmoniklerin mertebesi ve
frekansı sırasıyla,

$$n = (kp \mp 1) \mp 6 m \frac{f_0}{f_1} \quad (2.15)$$

$$fn = (kp \mp 1) f_1 \mp 6 m f_0 \quad (2.16)$$

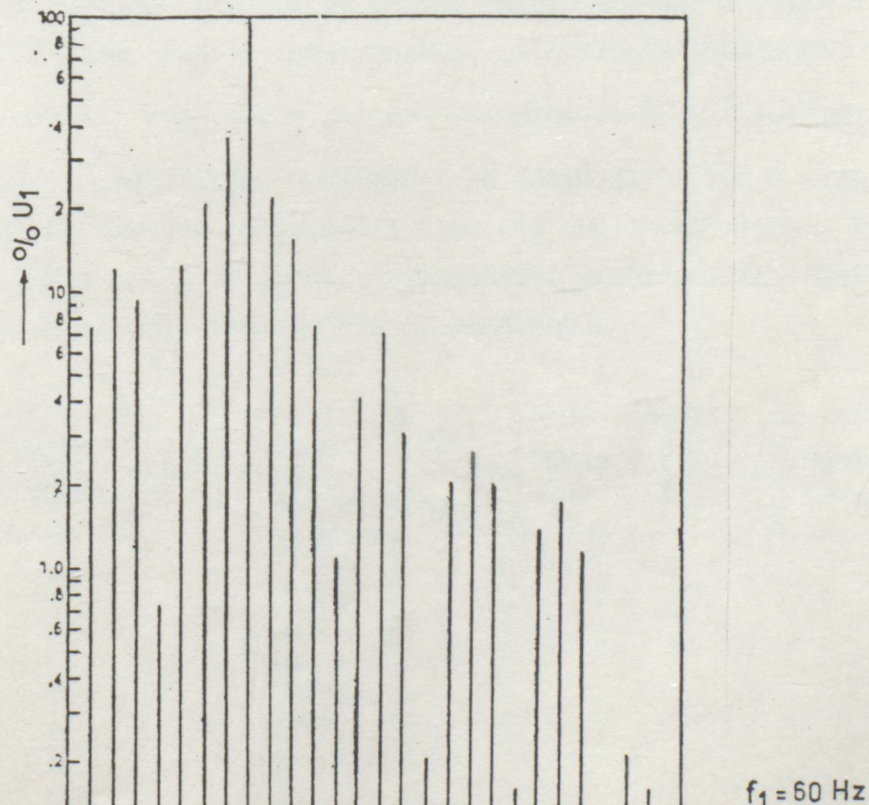


Şekil 2.4 Tristörü kontrollü bir reaktörün akım ve gerilim dalga şekli ile, harmonik spektrumu.

Integral Cycle Kontrollü Kıyıcılar

Isıtıcı tipi yüklerin termal zaman sabiti en küçük saniyeler mertebesinde. Bu bakımdan alternatif akımı belirli tam dalgalar için geçirip belirli tam dalgalar için tıkayan tristörlü kıyıcılar bu tür yüklerin ısı kontrolunda uygundur. En büyük 2MW'a kadar fırınlarda bu yöntem kullanılmaya başlanmıştır.

Şekil 2.5'de böyle bir sistemin meydana getirdiği harmonikler görülmektedir.

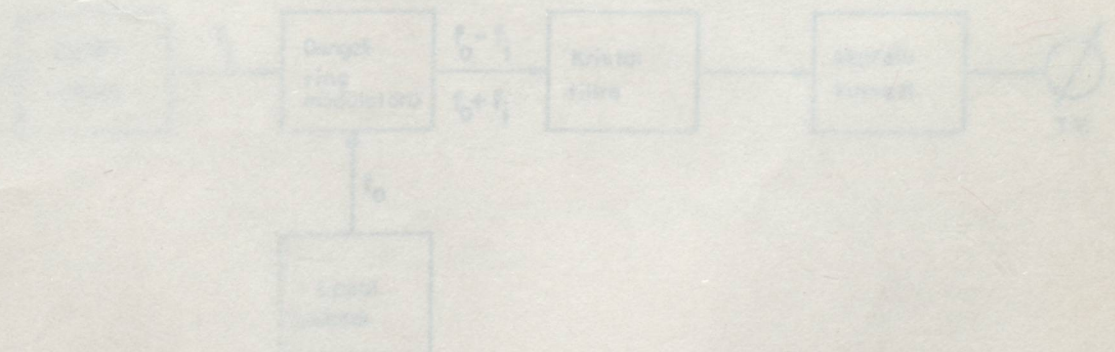


Şekil 2.5 Integral Cycle kontrollü bir kıyıcının akım harmonikleri.

Statik Kramer Sistemi

Bilezikli asenkron motorlarda hız kontrolü amacıyla kullanılan bu yöntemde, rotor enerjisi alternatif/doğru ve doğru/alternatif çeviricileri ve bir ara transformatör aracılığı ile şebekeye iletilir.

Şebekeye bağlanan evirici, bir doğrultucunun harmoniklerine benzer harmonikler meydana getirir. Aynı şekilde rotora bağlanan doğrultucuda rotor devresinde harmonikler meydana getirir. İçinde harmonikler bulunan rotor döner alanı ise stator sargılarında frekansı kaymanın fonksiyonu olan harmonikler oluşacaktır.



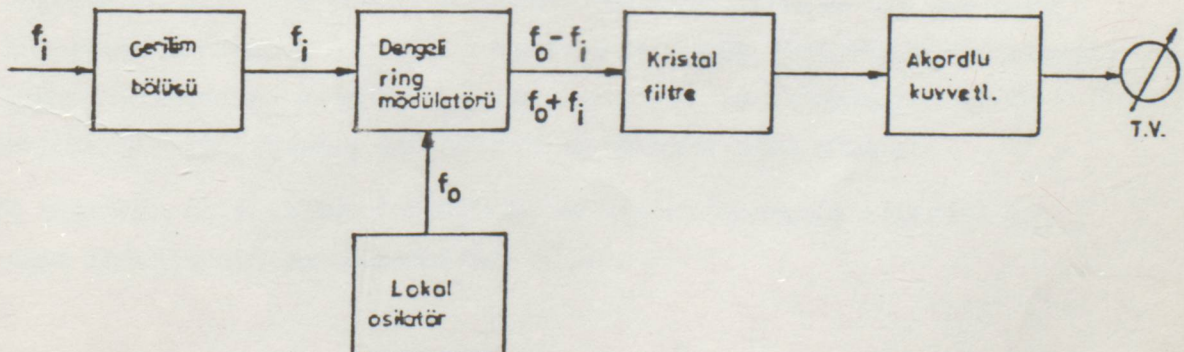
2.2 HARMONİK ANALİZÖRÜ

Harmonik bileşenlerinin sağlıklı biçimde saptanabilmesi, genlik ve frekanslarının belirlenebilmesi için bu yöntemlerden birinin kullanımı zorunludur. Ancak teorik hesaplama ve analizör ile tesbit yapılmadan da basit bir test sistemiyle tesiste harmonik akımların var olup olmadığının kabaca saptanması mümkündür. Bunun için kompanzasyon tesisinin yapımına başlamadan önce, işletmede harmonik üretmesi mümkün olan cihazların gerektirdiği reaktif güce denk güçte bir kondansatör bataryası bir sigorta koruma devresi üzerinden geçici olarak işletmeye alınır. (Örneğin tristörlerle doğrultulmuş gerilim kontrollü bir DC motor için test kondansatörü gücü motor gücünün yaklaşık %30'u kadardır. Yalnızca harmonik üretme olasılığı mevcut cihazlar çalıştırılır. Tüketici cihazlar belirli sürelerle tam ve yarı yükte çalıştırılır ve bu esnada kondansatör bataryasından geçen akım bir pensampermetre yardımıyla ölçülür. Hızlı akım değişimleri ve sigorta erimesi türünden olaylarla karşılaşılıyorsa tüketicilerin rezonansa yolaçabilecek ya da kompanzasyon tesisine zarar verebilecek ölçüde etkin harmonik üretmedikleri söylenebilir.'

Harmonik analizörler yardımıyla da herhangi bir gerilim eğrisinin bileşenlerinin frekans ve genliklerinin ölçümü ve çeşitli dalga biçimlerine ilişkin spektrumların çıkarılması mümkündür.

Aşağıda bir analizörün çalışma prensibi ve blok diyagramı mevcuttur.

Harmonik analizörde, harmonikli ve dalga şekli bozuk olan şebeke frekansı önceden belirlenmiş olan bir değere çıkarılır. Bunun için bir lokal osilatör ve bir modülatörden yararlanılır. Analizörün blok diyagramı Şekil 2.6'da görülmektedir.

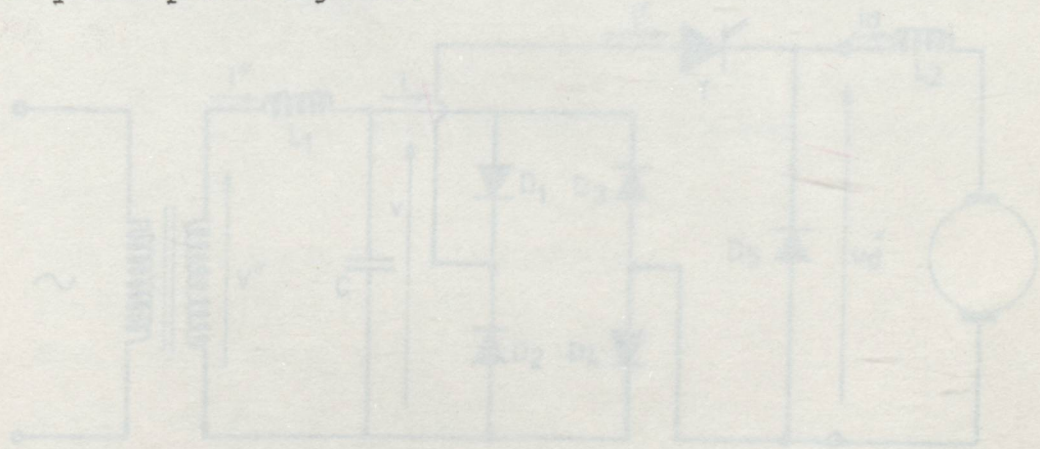


Şekil 2.6 Harmonik analizörün prensip şeması

Modüler çıkışında ortaya çıkan iki yan frekanstan biri filtreye süzülüp alınır ve akordlu bir kuvvetlendiriciyle kuvvetlendirildikten sonra bir tüplü voltmetreye verilir. Bilinmeyen bileşenin frekansı, bilinen ve önceden belirlemiş frekans değeriyle, osilatörün verdiği frekans değerinden bulunur. Kuvvetlendiricinin kazancı ayarlanıp etalonaj yapılarak harmonik genliğinde ölçülebilir.

Ana hatlarıyla sözedilen harmonik analizörleri kompanzasyon panosunun bağlanacağı baralar üzerindeki gerilimin niteliği hakkında oldukça sağlıklı bilgiler edinmemizi sağlar. Harmonik analizörleriyle yapılan inceleme tesiste rezonans olasılığının belirlenmesi açısından çok iyi bir kriter olmasına karşın bu cihazlar oldukça pahalıdır.

Harmonik tayininde bir başka yöntemde şablon kullanımıdır. Ancak bu yöntem pratik değildir.



Şekil 3.1 Konverter Prensip Şeması

Bu sistem, bir L_2 ile bir akım kaynağına yük ya da bir DC akım ya da bir akım kaynağına veya akım kaynağına değişken frekans ile besleyen bir akım kaynağına bağlıdır. L_1 endüktans, güç sisteminin endüktansı, yanal akım kaynağı, katmanlar (veya katmanlar) ve transistörünün akım kaynağına bağlıdır. Bu sistemin endüktansları, akım kaynağına bağlıdır.

Bu sistemin endüktansları, akım kaynağına bağlıdır ve akım kaynağına bağlıdır. Bu sistemin endüktansları, akım kaynağına bağlıdır.

ÜÇ ÜNC Ü B Ö L Ü M

3. Kıyıcı ile Kontrol Edilen Güçlü Elektrik Lokomotif Devresinde Harmonikler

3.1 GİRİŞ : AC hat voltajından kontrol edilebilir DC voltajı elde etmede, elektrik lokomotiflerinin girişinde bağlanmış doğrultucu, iki ana dezavantaj oluşturur :

1*) Güç sisteminin gerisinde harmonik akımlar oluşturur.

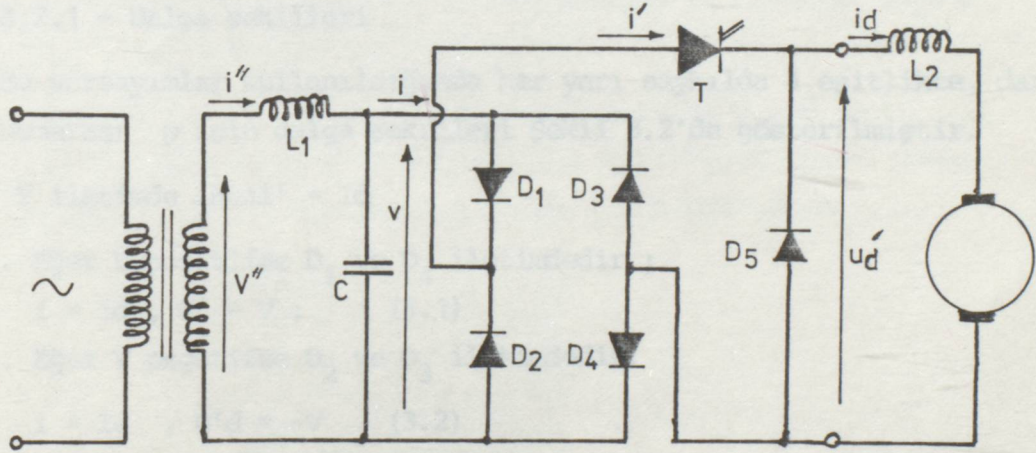
2*) Reaktif güce ihtiyaç gösterirler.

Üzerinde çalışılan konverter (Şekil 3.1) transformatörü ile aşağıdaki bölümlerden oluşur.

* Seri endüktans L_1 ve paralel kapasite C ile bir filtre,

* D_1, D_2, D_3, D_4 diyotları ile bir köprü,

* Açma ve kapama ile kontrol edilen, T tristörü ile gösterilen kıyıcı ve serbest dolaşım diyodu D_5 .



Şekil 3.1 Konverter Prensi Şeması

Süzücü reaktör L_2 'den sonra beslenen yük ya bir DC motor ya da senkron motoru veya asenkron motoru değişken frekans ile besleyen bir başka konverter izler. L_1 endüktansı ; güç sisteminin endüktansı, yerel istasyonun, katenerin (tren hattının) ve transformatörünün sekonderine indirgenmiş eşdeğerinin endüktansından oluşur.

Bu sistemin orjinallliği doğrultucu ve kıyıcı arasında kapasite ve seri endüktansın yok edilmesinde oluşur.

Her yarı saykılta i' için uygun darbe genlik modülasyonu kullanıldığında, en düşük harmonikler elimine edilebilir. Burada filtre kapasitörü C 'nin en küçük değeri gereklidir. Kırıyıcı kontrolü tesbit edildikten sonra filtre kesim frekansının kuvveti hesap içinde verilmiş olacaktır. Aşağıda filtre kapsayan sistem, konverter ve yük üzerindeki çalışmalar gösterilecektir.

3.2 İLKE-DARBE GENLİK MODÜLASYONU

Herşeyden önce ilgilenilen konvertörün bu tipinde şartların saptanmasında, aşağıdaki varsayımlar yapılır :

- 1*) Köprü diyodun V giriş voltajı saf sinüsoidaldır ve içempedansız voltaj kaynağıyla beslenir.
- 2*) i_d akımı mükemmel olarak süzölmüştür ve daima ortalama değeri i_d' 'ye eşittir.
- 3*) Yarı iletkenler mükemmeldir. (İletim yönünde gerilim düşümü sıfır, ters yönde sızıntı akımı sıfırdır.)

3.2.1 - Dalga şekilleri

Bu varsayımlar kullanıldığında her yarı saykılta 4 eşitlikte, darbe numarası p için dalga şekilleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

T iletimde iken $i' = i_d$

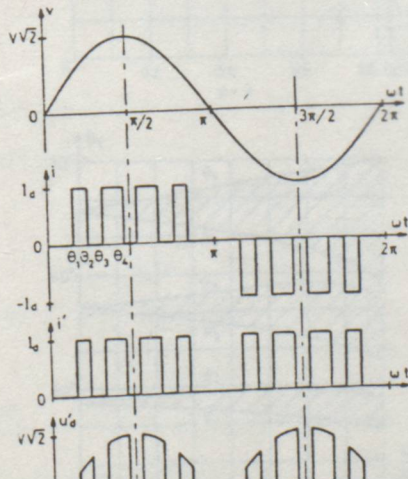
- . Eğer V pozitifse D_1 ve D_4 iletimdedir ;
 $i = i_d$, $U'd = V$; (3.1)

- . Eğer V negatifse D_2 ve D_3 iletimdedir.

$$i = i_d$$
 , $U'd = -V$ (3.2)

T kesimde iken D_5 iletimdedir.

$$i = i' = 0$$
 , $U'd = 0$ (3.3)



Şekil 3.2 p=4 için dalga şeklindedir.

3.2.2 Açıların Değerlendirilmesi

Çıkış voltajı U_d' nün ortalama değeri U_{d0} , kıyıcı vasıtasıyla kontrol edilmektedir. U_{d0}' , U_{d0} değeriyle karşılaştırılır.

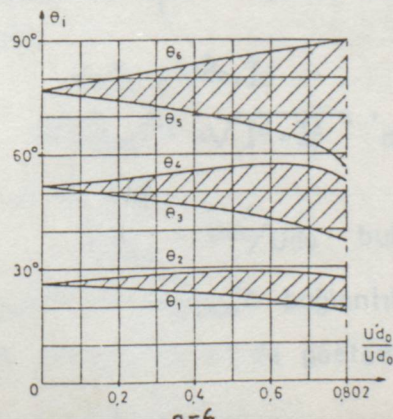
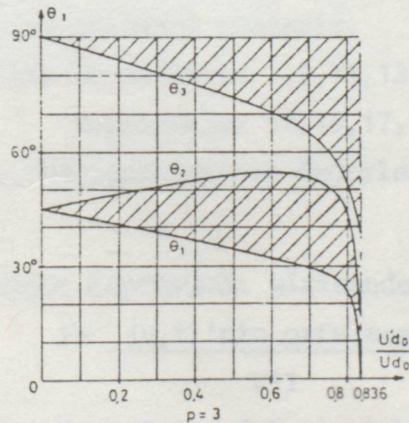
$$\frac{U_{d0}'}{U_{d0}} = \frac{U_{d0}}{\frac{2}{\pi} \cdot V \cdot \sqrt{2}}$$

p sayısı ve v voltajının her yarı periyodu esnasında akım darbelerinin fazı çalışma şartlarına göre karakterizedir. Darbe genişlik modülasyonu, i akımının distorsiyon faktörünü azaltmaz. Fakat ilk oluşan harmonikler daha yüksek seviyedendir ve bunlar filtre tarafından azaltılabilir. Açılar hesaplanır. Böylece ilk (p-1) tek sayılı harmonikler iptal edilir. Aşağıdaki eşitlikler yazılabilir :

$$\begin{aligned} \cos \theta_1 - \cos \theta_2 + \cos \theta_3 - \dots - \cos \theta_p &= U_{d0}'/U_{d0} \\ \cos 3\theta_1 - \cos 3\theta_2 - \dots - \cos 3\theta_p &= 0 \\ \cos(2k-1)\theta_1 - \cos(2k-1)\theta_2 - \dots - \cos(2k-1)\theta_p &= 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Bilinmeyen p değerleri ile p eşitliklerinin bu sistemin çözümü, digital hesaplayıcılar ile elde edilir.

Şekil (3.3)'de, p = 3 ve p = 6 için p açıları $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_p$ ile U_{d0}'/U_{d0} arasındaki bağlantının değerlendirilmesi gösterilmiştir. T'nin iletim açıları çizgi ile taramıştır.



Şekil (3.3)

Şekil (3.3) p=3 ve P=6 için kıyıcı iletim açıları ile çıkış voltajı arasındaki değişimler.

U_{d0} in maksimum değeri, U_{d0} 'dan daha azdır. Bu maksimum, eğer p tekse θ_1 sıfır olduğu zaman veya p çiftse θ_p 'nin değeri $\pi/2$ olduğu zaman elde edilir.

Çıkış voltajının kaybı, p'deki artımlar, U_{d0} ve U_{d0} 'ın maksimu mu arasındaki fark vasıtasıyla olur. U_{d0}/U_{d0} 'ın teorik olarak

maksimumu :

p=2 için	0,866
p=3 "	0,836
p=4 "	0,817
p=5 "	0,809
p=6 "	0,802 olacaktır.

3.2.3 Filtre Olmadığında Sonuçlar

i'nin esas bileşeninin I_1 efektif değeri ve bu harmonik bileşenlerin I_{2k+1} efektif değerleri kıyıcının iletim açılarına bağlıdır. Tüm bu değerler, eğer T daima iletimde ise esas bileşen I_{10} değerine normalleştirilir.

$$I_{10} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_d \quad (3.6)$$

Harmonikler : Şekil (3.4) mevcut bulunan ilk harmoniklerin U_{d0}/U_{d0} a bağlı olarak değişimlerini gösterir.

* p=3 için harmonikler 7,9,11,13

* p=6 " harmonikler 13,15,17,19

$2p+1, 2p+3, \dots$ harmoniklerinin değerleri tahmini olarak p'den bağımsızdır.

Güç Faktörü : Diyot köprüsünün girişinde güç faktörünün genel açıklaması :

$$F = \frac{(V \cdot i)' \text{nin ortalama değeri}}{V \cdot I} \quad (3.7)$$

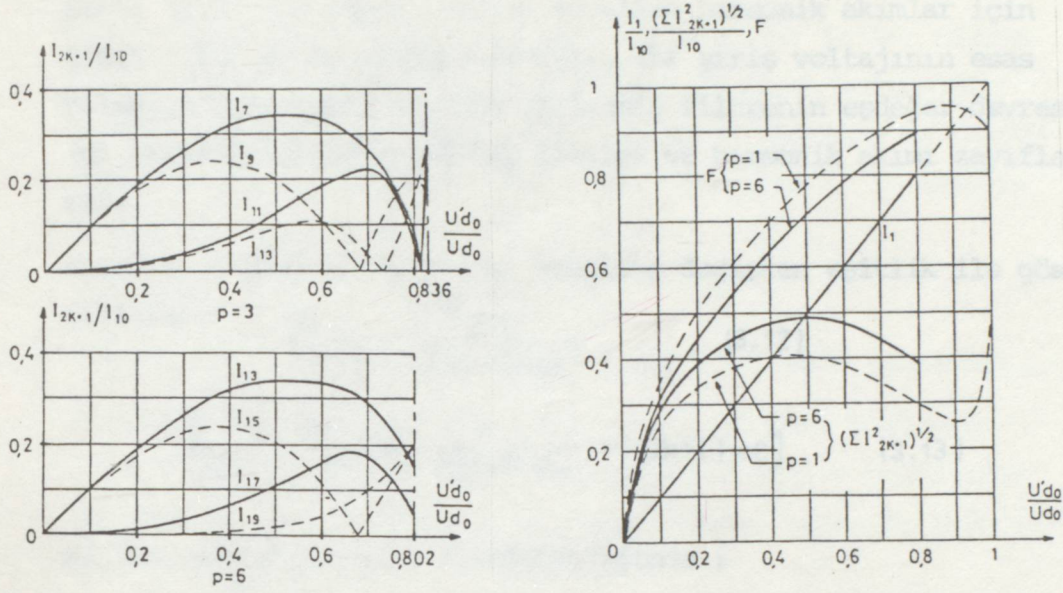
i'nin esas bileşeninin I_{1rms} değeri, sabit aktif gücün prensibinden doğrudan bulunur.

$$V \cdot I_1 = U_{d0} \cdot I_d \quad (3.8)$$
$$(\sum I_{2k+1}^2)^{1/2}, \quad (\sum I_{2k+1}^2)^{1/2} = \sqrt{I^2 - I_1^2} \text{ 'den elde edilir.} \quad (3.9)$$

Sonuçta (3.4) ve (3.6) 'dan

$$I_1/I_{10} = U_{d0}/U_{d0} \text{ bulunur.} \quad (3.10)$$

F, I_1 ve $(\sum I_{2k+1}^2)^{1/2}$ 'nın U_{d0}/U_{d0} 'a bağlantılı olarak değişimleri p=1 (noktalı çizgiler) ve p=6 için Şekil(3.4) de gösterilmiştir.



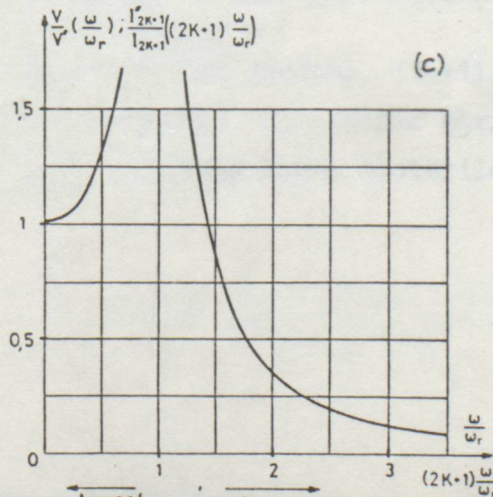
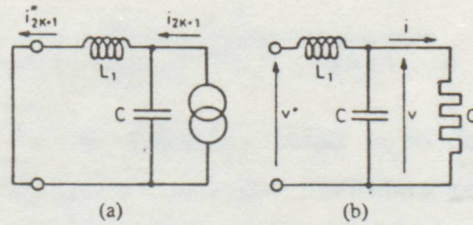
Şekil (3.4) $p=1$ ve $p=6$ için güç faktörü F , harmonik içerik $(\sum I_{2k+1}^2)^{1/2}$, i 'nin temel bileşeni I_1 'in çıkış voltajı ile değişimi.

3.3 FİLTRE KESİM FREKANSI

Filtre girişinin rezonans titreşimi ω_r olursa ;

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_1/C}} \text{ dir. } (3.11)$$

Sistem, doğrultucu ve kıyıcı bir harmonik akım generatörü gibi davranışta bulunan (Şekil 3-5a), (güç sistemi ve transformatör dirençleri ihmal edilmiş) L, C rezonans devresinin yükünden oluşur.



Şekil (3.5)

Şekil (3.5) (a) köprü diyotla üretilen harmonik akımlar için giriş filtresinin eşdeğer devresi, (b) giriş voltajının esas bileşeni için köprü diyotla yüklenmiş filtrenin eşdeğer devresi, (c) giriş filtresinin voltaj iletimi ve harmonik akımı zayıflatması

Akımlar, i_{2k+1}'' ve i_{2k+1} iki kompleks değişken eşitlik ile gösterilirler.

$$\vec{I}_{2k+1}'' = \frac{\vec{V}_{2k+1}}{j(2k+1)\omega L_1} \quad (3.12)$$

$$\vec{I}_{2k+1} = \vec{V}_{2k+1} * \left[\frac{1}{j(2k+1)\omega L_1} + j(2k+1)\omega C \right] \quad (3.13)$$

Bu iki eşitlik ve (3.11) irdelendiğinde ;

$$I_{2k+1}'' = I_{2k+1} * \frac{1}{|1 - [(2k+1)\omega / \omega_r]^2|} \quad (3.14) \text{ bulunur.}$$

Voltajın esas bileşenlerini ilgilendiren güç sistemi beslenmesi, köprü diyodun giriş ile paralelinde C kapasitesinden L_1 'e kadardır. (Şekil 3.5b) Bu esas bileşenler için, G gibi bir kondüktans vardır. v'' ve v' 'nin esas bileşenlerinin değişken eşitlik bağlantısı ;

$$\vec{V} = \frac{1}{G + j\omega C} * \frac{\vec{V}''}{j\omega L_1 + (1/(G + j\omega C))} \quad (3.15)$$

(3.15) ve (3.11) kullanılarak kapasiteye uygulanan voltajın esas bileşeninin V_{rms} değeri V ile kaynak voltajının V''_{rms} 'ne bağlıdır.

$$V = V'' * \frac{1}{\sqrt{(1 - (\omega/\omega_r)^2)^2 + (L_1\omega G)^2}} \quad (3.16)$$

G, çıkış akımı I_d ile değişir. Fakat $L_1\omega G$ daima bütün formülë ilişkisiyleihmal edilebilir. Çalışma frekansı rezonansa çok kapalı olmadığı zaman, ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V \approx V'' * \frac{1}{|1 - (\omega/\omega_r)^2|} \quad (3.17)$$

Esas frekans ω için V/V'' 'nin ifadesi, $(2k+1)\omega$ frekansının I_{2k+1}''/I_{2k+1}' 'ine benzerdir. Yalnız bir eğri Şekil (3.5)c'de ω_r 'de zorlanan şartlarda daha sonra gösterilebilir.

ω_r frekansı, ω 'dan çok daha yüksek olmalıdır. Benzer olarak ω_r frekansı i akımında mevcut bulunan en düşük harmoniğin frekansı $(2p+1)\omega$ 'dan daha küçük olmalıdır. Böylece bu harmonikler ve daha büyük mertebeden bütün diğerleri, i akımında çok iyi olarak azaltılmış olacaktır. Yani ;

$$1 \ll \frac{\omega_r}{\omega} \ll 2p+1 \text{ dir.} \quad (3.18)$$

3.4 GÜÇ KAYNAĞI, KONVERTER ve YÜKÜ KAPSAYAN SİSTEMİN ÇALIŞMASI

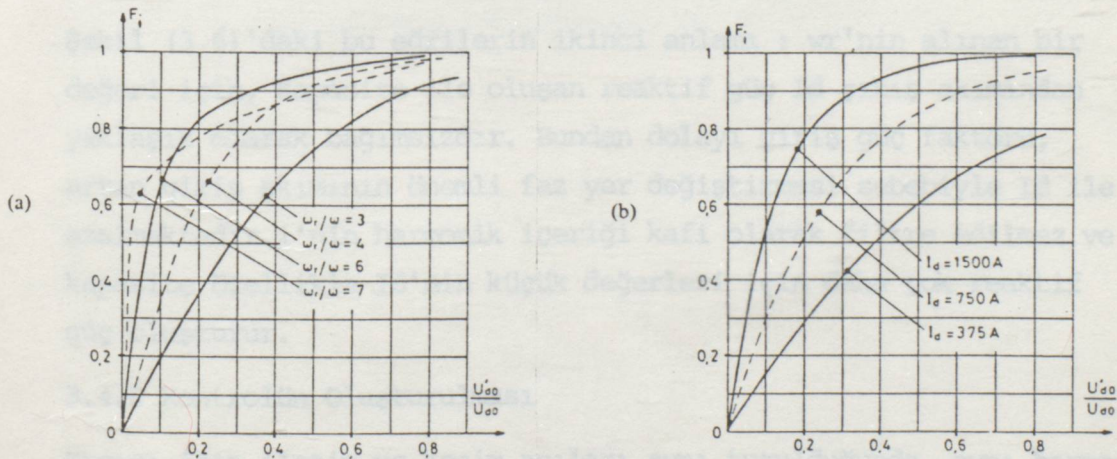
Konverterin performansı ve elemanlar üzerindeki zorlayıcı etkiler tam olarak saptanır. C'nin girişindeki v voltajının dalga şekli nonsinüsoidale uygundur. Bundan başka karakteristikler çıkış akımı I_d ile değişir.

3.4.1 V Voltajına Bağlı Olarak Kısıyıcı Kontrolü

Bütün sistem, güçlü elektrikli trenyolu lokomotifinin iki motorunun birine karşılayan değerleri ile sayısal olarak benzetilmiş olacaktır.

$$\begin{aligned} I_d &= 1500 \text{ A} & U_{d0} &= 1500 \text{ V} \\ \omega &= 100\pi & L_1 &= 1\text{mH} \end{aligned}$$

L_1 için alınan değer C'ye uygulanan voltajın % 25'nin $L_1 \cdot I_{10}$ gerilim düşümüne tekabül eder. Sonuçlar, Şekil (3.6)'da gösterilen p değeri 5 olan, v 'nin esas bileşeni ile aynı orijine sahip olan kısıyıcının kesim ve iletim açıları ile elde edilir.



Şekil(3.6) $p=5$ için F_i giriş güç faktörü ile çıkış voltajı ilişkisi
(a) ω_r/ω n ve belirlenmiş çıkış akımı I_d 'nin farklı değerleri için,
(b) $\omega_r/\omega=5$ ve I_d 'nin farklı değerleri için.

Şekil (3.6) $p=5$ için F_1 giriş güç faktörü ile çıkış voltajı ilişkisi (a) w_r/w 'nin ve belirlenmiş çıkış akımı I_d 'nin farklı değerleri için, (b) $w_r/w=5$ ve I_d 'nin farklı değerleri için Filtrenin girişinde güç faktörü F_i alınır ;

$$F_i = \frac{(V'' * I'') \text{ nün ortalama değeri}}{V'' * I''} \quad (3.19)$$

(V'' ve I'' nün efektif değerleri V'' ve I'' dır.)

(1*) üst eğriler, oranlanan I_d akım değeri ve w_r/w 'nin farklı değerleri için, giriş güç faktörü F_i ile U_{d0}'/U_{d0} arasındaki değişimleri verir.

(2*) Alt eğriler, w_r/w 'nin sabit değeri ve I_d akımının üç farklı değeri ile F_i ile U_{d0}'/U_{d0} arasındaki değişimlerdir.

Bu eğrilerin anlamları aşağıdaki gibidir. Önce I_d belirlenir. C 'nin azalmasıyla w_r arttığı zaman iki olay görünür. Birincisi kapasite ile oluşan reaktif gücün azalmasıdır. İkincisi, güç kaynağına doğru hareket eden harmonik akımların zayıflatılması daha kötüdür. w_r/w daha da küçük olduğunda C ile oluşan reaktif güç büyük miktardadır ve çıkış voltajı küçükse L_1 'de I'' , C ile oluşan reaktif gücü dengelemek için daha da küçük reaktif güç emmesine sebep olur.

Fakat aynı zamanda i'' ve i akımlarında harmonik muhteva'da artar ve F_i kötüleşir.

w_r/w daha da büyük ve C küçük olduğundan reaktif güç kompanzasyonu çıkış voltajının küçük değerleri için meydana gelir.

Şekil (3.6)'daki bu eğrilerin ikinci anlamı : w_r 'nin alınan bir değeri için, kapasite ile oluşan reaktif güç I_d çıkış akımından yaklaşık olarak bağımsızdır. Bundan dolayı giriş güç faktörü, artan giriş akımının önemli faz yer değiştirmesi sebebiyle I_d ile azalmaktadır. i 'nin harmonik içeriği kafi olarak filtre edilmez ve kapasite özellikle I_d 'nin küçük değerleri için daha çok reaktif güç oluşturur.

3.4.2 Kontrolün Oluşturulması

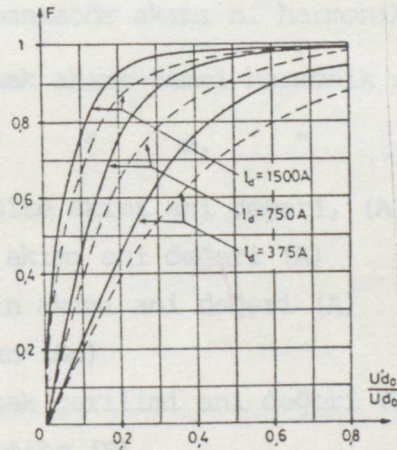
Kıyıcı için iletim ve kesim açıları aynı tutulduğunda, aynı harmonikle elimine edilir. Her ne kadar i' akımının esas bileşen fazı

değiştirilebilirse, bunun reaktif bileşenme, kapasitenin değeri eklenebilir ya da çıkartılabilir.

Yeni "bileşim" kontrol kuralları, I_d çıkış akımının hesap değeri içine, doğru alınmış v voltajının esas bileşenin götürülmesi ile verilen kontrol açılarının bulunmasıdır.

Şekil (3.7) elde edilen sonuçların örneğini verir. $p=6$ ve $w_r/w = 6$ için noktalanmış çizgili eğriler, v 'nin esas bileşeninde merkezlenmiş kontrol ile I_d 'nin üç değeri için F 'nin değerini verir.

Sürekli çizgili eğriler maksimum güç faktörü elde edilmesine çalışılan kontrol iyileştirmesi için F 'nin değerini verir. İlk sonuçlar daha şimdiden çok iyidir.



Şekil (3.7) $p=6$ ve $w_r/w=6$ için çıkış voltajı ile giriş güç faktörünün değişimi
----- i' nun faz kayması olmaksızın,
———— iyileştirilmiş kontrol ile.

D Ö R D Ü N C Ü B Ö L Ü M

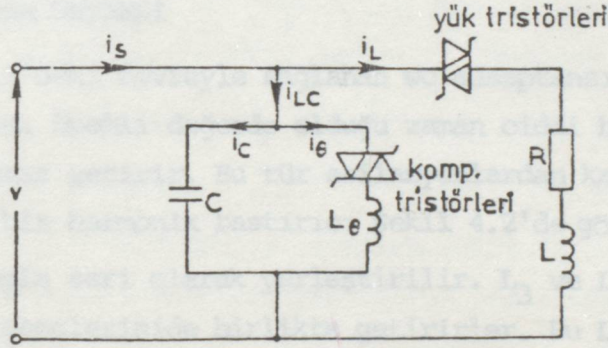
4. Reaktif Güç Kompanzasyonu için Kullanılan Statik VAr Generatörü ve Harmonikleri

K u l l a n ı l l a n S e m b o l ' l e r

a_{L1}, b_{L1}	Yük akımı temel harmonik sabitleri
a_{Ln}, b_{Ln}	Yük akımı n. harmonik sabitleri
a_{e1}, b_{e1}	Bobin akımı temel harmonik sabitleri
a_{en}, b_{en}	Bobin akımı n. harmonik sabitleri
a_{LC1}, b_{LC1}	Kompanzatör akımı temel harmonik sabitleri
a_{LCn}, b_{LCn}	Kompanzatör akımı n. harmonik sabitleri
a_{s1}, b_{s1}	Kaynak akımı temel harmonik sabitleri,
a_{sn}, b_{sn}	" " n. " " ,
i_c	Kapsite akımı ani değeri, (A)
i_L	Yük akımı ani değeri (A)
i_e	Bobin akımı ani değeri (A)
t	Zaman (Sn)
v	Kaynak gerilimi ani değeri (V)
c	Kapasite (F)
I_L	Yük akımı etkin değeri (A)
I_{L1}	Yük akımı temel harmonik etkin değeri (A)
L	Özendüktans (H)
P_{or}	Ortalama Güç (W)
G_{FY}	Yük güç faktörü
G_{FK}	Kompanze edilmiş güç faktörü
R	Direnç (Ω)
V_m	Sinüsoidal gerilimin tepe değeri (V)
V	Sinüsoidal gerilimin etkin değeri (V)
α	Yük tristörü tetikleme açısı (rad.)
θ	Kompanzatör tristörü tetikleme açısı (rad)
ω	Kaynak açısı frekansı (rad/s)
ϕ_L	Yük faz açısı, $\tan^{-1} (\omega L/R)$ (rad)
ϕ_{L1}	Uç gerilimi ile yük akımı temel bileşeni arasındaki faz açısı (rad)

4.1 GİRİŞ

Harmonik bastırıcı bobinle seri bağlı bulunan şönt kompanzasyon kapasiteleri güç faktörü düzeltilmesinde, tristör kontrollü gerilim stabilizasyonunda ve lineer olmayan yüklerde geniş bir şekilde kullanılırlar. Kapasitenin ve bobinin optimum değerleri, yük endüktansına ve yük tristörlerinin tetikleme açılarına bağlıdır. Kapasite değerinin değiştirilmesinin elverişli olmaması sebebiyle sabit değerli kapasiteyle tristör kontrollü bobinin paralel bağlanarak güç faktörü düzeltilmesinde, reaktif güçlerin sürekli bir şekilde değişimi sağlanabilir. Böyle bir sistem (Şekil 4-1) mekanik anahtarların kullanıldığı senkron makinalı sisteme göre birçok üstünlüklere sahiptir.



Şekil (4.1) SK-TKB tipi basit devre

Bu sistemlerin ele alınmasındaki amaç kompanzasyon için iyi bir yol olması ve yaygın olarak kullanılabilecek olmasındadır. Sistem güç faktörü amaçlı olarak incelenerek ayrıca her durumda harmonikler saptanacaktır. Hesapla bulunun harmoniklerde filtreler vasıtasıyla azaltılarak kompanzator ideal bir sistem haline getirilebilir.

4.2 BASİT SK-TKB DEVRESİ

Şekil (4.1) de tek fazlı tristör kontrollü bir endüktif yükün güç faktörünü düzeltmek için SK-TKB (Sabit Kapasite ve Tristör Kontrollü Bobin) tipi basit bir kompanzator devresi verilmiştir. Kompanzator, ideal bir kapasite (C) ile paralel bağlı tristör kontrollü ideal bir bobinden (L_e)'dan ibarettir. L_e ve C değerleri uygun seçilerek ya kapasitif reaktansı değişebilen veya endüktif reaktansı değişebilen bir devre elde edilebilir. Burada kapasitif reaktansın değiştiği durum gözönüne alınacaktır. Bu L_e -bobinine seri bağlı tristörlerin

θ -tetikleme açısı değiştirilerek elde edilebilir. θ -tetikleme açısı, kompansatörün kapasitif akım temel bileşenin yükün endüktif akım temel bileşenine eşit olacak şekilde otomatik olarak ayarlanabilir. Yükün endüktif akım temel bileşeninin, ϕ_L yük empedansı açısına ve yük tristörleri tetiklenme açısına bağlı olduğu bilinen bir gerçektir.

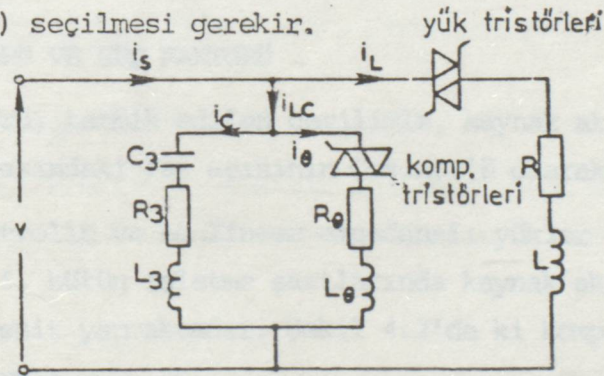
Kaynak geriliminin ideal ve $V(\omega t) = V_m \sin \omega t$ şeklinde değiştiği kabul edildiğine göre Şekil (4.1)'deki devre için Fourier serisi kullanılarak optimum kompanzasyon için α ve θ açıları arasında ;

$$I_{L1} \cdot \sin \phi_{L1} (\alpha) + V_m C \left(\frac{2\theta}{\pi} - 1 - \frac{1}{\pi} \cdot \sin 2\theta \right) = 0 \quad (4.1)$$

bağıntısı bulunur.

4.3 SK-TKB TAM DEVRESİ

Şekil 4.1'deki devreyle sağlanan ωC suseptansı, bilhassa kaynak endüktansı önemli değerlerde olduğu zaman ciddi harmonik asilasyonlar meydana getirir. Bu tür asilasyonlardan kaçınmak için uygun değerlerde bir harmonik bastırıcı Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, C kapasiteyle seri olarak yerleştirilir. L_3 ve L_θ bobinleri, R_3 ve R_θ dirençlerininide birlikte getirirler. Bu L_3 ve C_3 değerlerinin, güç faktörünü düzeltmek maksadıyla, temel frekansta gerekli kapasitif suseptansı verecek ve meydana gelen rezonans devresi açısal frekansının, ω temel frekanstan daha büyük olmasını sağlayacak şekilde (2ω) seçilmesi gerekir.



ŞEKİL (4.2) SK-TKB tipi tam devre

Şekil 4.2 deki devreye ait akımların temel bileşen katsayıları hesaplanırsa :

$$a_{L1} = \frac{I_{mL}}{2\pi} [\cos(2\alpha + \phi_L) - \cos(2x + \phi_L) - 2(x - \alpha) \sin \phi_L] \quad (4.2a)$$

$$b_{L1} = \frac{I_{mL}}{2\pi} [\sin(2\alpha + \phi_L) - \sin(2x + \phi_L) - 2(x - \alpha) \cos \phi_L] \quad (4.2b)$$

$$a_{\theta 1} = \frac{I_{me}}{2\pi} [\cos(2\theta + \phi_{\theta}) - \cos(2x_{\theta} + \phi_{\theta}) - 2(x_{\theta} - \theta) \sin \phi_{\theta}] \quad (4.2c)$$

$$b_{\theta 1} = \frac{I_{me}}{2\pi} [\sin(2\theta + \phi_{\theta}) - \sin(2x_{\theta} + \phi_{\theta}) - 2(x_{\theta} - \theta) \cos \phi_{\theta}] \quad (4.2d)$$

$$a_{c1} = I_{mc} \cdot \sin \phi_c \quad (4.2e)$$

$$b_{c1} = I_{mc} \cdot \cos \phi_c \quad (4.2f)$$

Burada yükten, kompensatör tristör tristöründen ve kapasiteden geçen akımların tepe değerleri I_{mL} , I_{me} ve I_{mc} ile, faz açıları ise ϕ_L , ϕ_{θ} ve ϕ_c ($\tan^{-1} \frac{X}{R}$) ile gösterilmiştir. Yük ve kompensatör tristörlerinin sönmeye açıları gösteren X ve x_{θ} değerleri,

$$\sin(X - \phi_L) - \sin(\alpha - \phi_L) e^{-(X - \alpha) \cot \phi_L} = 0 \quad (4.3a)$$

$$\sin(x_{\theta} - \phi_{\theta}) - \sin(\theta - \phi_{\theta}) e^{-(x_{\theta} - \theta) \cot \phi_{\theta}} = 0 \quad (4.3b)$$

ifadelerinden bulunabilir. Böylece şekil (4.2)'deki devre için optimum kompanzasyonu verecek α 'nın belli bir değerine karşı θ değeri ;

$$a_{L1} + a_{\theta 1} + a_{c1} = 0 \quad (4.4)$$

ifadesinden çözülebilir.

4.4 KAYMA FAKTÖRÜ VE GÜÇ FAKTÖRÜ

Kayma faktörü, tatbik edilen gerilimle, kaynak akımının temel bileşeni arasındaki faz açısının Cosinüs'ü olarak tanımlanır.

Tristör kontrollü ve nonlinear empedanslı yükler için kompanzatrörün görevi, bütün işletme şartlarında kaynak akımı kayma faktörünü 1'e eşit yapmaktadır. Şekil 4.2'de ki kompensatör için kayma faktörü ;

$$KF = \frac{B_{s1}}{\sqrt{A_{s1}^2 + b_{s1}^2}} \quad (4.5)$$

Burada ;

$$A_{s1} = a_{L1} + a_{\theta 1} + a_{c1}$$

$$B_{s1} = b_{L1} + b_{\theta 1} + b_{c1} \quad \text{'dir.}$$

Optimum kompanzasyonda, her iki devre için, kayma faktörü 1'e eşit olur. (Denklem 4.1 ve 4.4) Fakat güç faktörü, nonlinear empedanslar ile meydana gelen yüksek harmonik akım bileşenleri sebebiyle hâla 1'den azdır. Güç faktörü ;

$$GF = \frac{P_{or}}{V \cdot I_s} \quad (4.6)$$

Kaynak akımının etkin değeri I_s , kompensatör akımlarına bağlı olduğu kadar, yük akımının temel ve harmonik bileşenlerine de bağlıdır. Gerilim kaynağının ideal olması durumunda kompensatör harmonik akımları, L_s kolu tarafından meydana getirirler. Çünkü kapasite kolunun empedansı lineerdir.

Genel olarak yük akımı ve kompensatör akımının temel bileşenleri α ve θ tetikleme açılarının artmasıyla azalır. Bununla beraber bu akımların her ikisinin yüksek harmonikleri, tetikleme açısıyla oldukça değişir. Ve α ve θ 'nın büyük değerleri için toplam kaynak akımının önemli bir kısmının meydana getirirler.

Bu sebepten bu tür şartlar altında kayma faktörü 1 olsa bile, güç faktörü, yüksek harmonikler küçültülmedikçe çok düşük olabilir.

4.5 KOMPANZASYON

Şekil 4.1 deki devre için L_θ ve C'nin değerleri ;

$$wC = \frac{1}{w \cdot L_\theta} = \frac{1}{Z} \cdot \sin \phi_L \quad (4.7)$$

ifadesiyle belirlenir. ϕ_L yük faz açısının 45° den küçük olması durumunda, θ 'yı 180° 'nin altında tutmak için suseptansın minimum değerinin ;

$$wC_{min} = \frac{1}{Z} \cdot \sin 45 \quad (4.8)$$

olması gerektiği bulunmuştur. (4.3; 4.4)

(4.7) ve (4.8) denklemlerinde verilen L_θ ve C değerleri kullanılarak, (4.1) denklemi iteratif metodla çözülmüş ve $V=Z=1pu$ ve yük faz açısı ϕ_L 'nin farklı değerleri için, α 'ya karşı θ değişimleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1

Basit ve tam kompanzatörler için kompanzatör tristörü tetikleme açısı θ ile yük tristörü tetikleme açısı α 'nın değişimi

θ_1 : SK-TKB basit devresi için θ_2 : SK-TKB tam devresi için

α (derece)	$\phi_L = 10^\circ$		$\phi_L = 30^\circ$		$\phi_L = 45^\circ$		$\phi_L = 60^\circ$		$\phi_L = 75^\circ$	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
15	101.9	98.02	-	-	-	-	-	-	-	-
30	105.5	102.03	126.3	124.7	-	-	-	-	-	-
45	110.3	107.3	130.2	128.9	180	177.95	-	-	-	-
60	114.7	112.22	132.2	130.95	157.5	157.23	-	-	-	-
75	117.3	115.04	130.0	128.66	142.7	141.94	140.9	140.08	-	-
90	116.7	114.40	123.9	122.15	129.5	128.12	126.4	124.84	131.6	130.34
105	112.9	110.25	115.7	113.3	117.7	115.46	114.7	112.17	116.3	113.92
120	107.0	103.73	107.2	103.88	107.7	104.17	105.0	101.48	105.2	101.72
135	100.5	96.44	99.5	95.29	99.1	94.85	97.5	93.05	97.3	92.77
150	94.8	89.9	93.8	88.70	93.4	88.25	92.7	87.4	92.4	87.15
160	92.0	86.67	91.4	85.91	91.2	85.67	90.9	85.32	90.8	85.2
170	90.4	84.76	90.2	84.55	90.2	84.49	90.1	84.43	90.1	84.41

Burada, yukarda bahsedilen sınırlama sebebiyle, C'nin minimum değerinde (Denklem 4.8), α ve θ değişimleri $\phi_L > 45^\circ$ ve $\phi_L < 45^\circ$ olmak üzere iki farklı mod ortaya çıkarır. α ve θ 'nın değişimi Şekil 4.2 içinde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda L_θ ve L_3 bobinlerinin kaynak frekansında %10'luk bir reaktans ortaya koydukları kabul edilmiştir.

Şekil (4.2)'deki devrenin analizinden, iyi bir kompanzasyon için

$$wC = \frac{1}{Z} \cdot (1+d^2) \cdot \sin \phi_L \quad (4.9)$$

olmalıdır. Burada d R θ direncinin kapasite-bobin kolunun net

reaktansı $(\frac{1}{wC})$ 'na oranıdır. L_θ 'nın değeri : $wL_\theta = \frac{1+d^2}{1+h^2} \cdot \frac{1}{wC} \quad (4.10)$

olmalıdır. Burada : $h = \frac{R_\theta}{wL_\theta} = 0,1$ dir.

Önceden belirtildiği gibi L_3 - C_3 seri rezonans devresi $2w$ açısal frekansında rezonans yapacak şekilde seçilmelidir. Bunun için :

$$\frac{1}{wC_3} = \frac{4}{3} \frac{1}{wC} \quad (4.11a)$$

$$wL_3 = \frac{1}{3} \frac{1}{wC} \quad (4.11b)$$

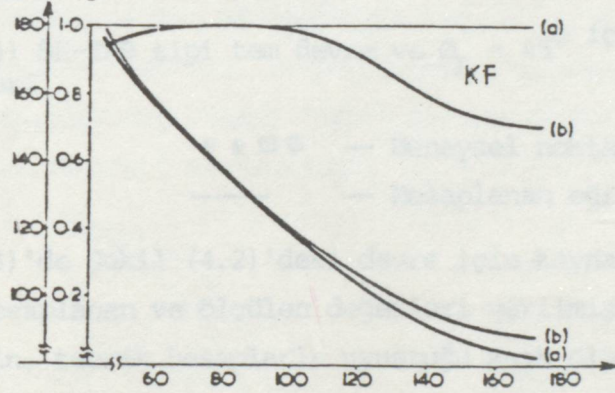
olmalıdır. Ayrıca $\phi_L < 45^\circ$, wC_{min} (Denklem 4.9)

$$wC_{min} = \frac{1}{Z} \cdot (1+d^2) \cdot \sin 45^\circ \quad (4.12)$$

ile belirlenir. Bu parametreler kullanılarak yine iteratif metodla (4.2) denklemi çözülmüş ve neticeler Tablo 1'de verilmiştir. Her

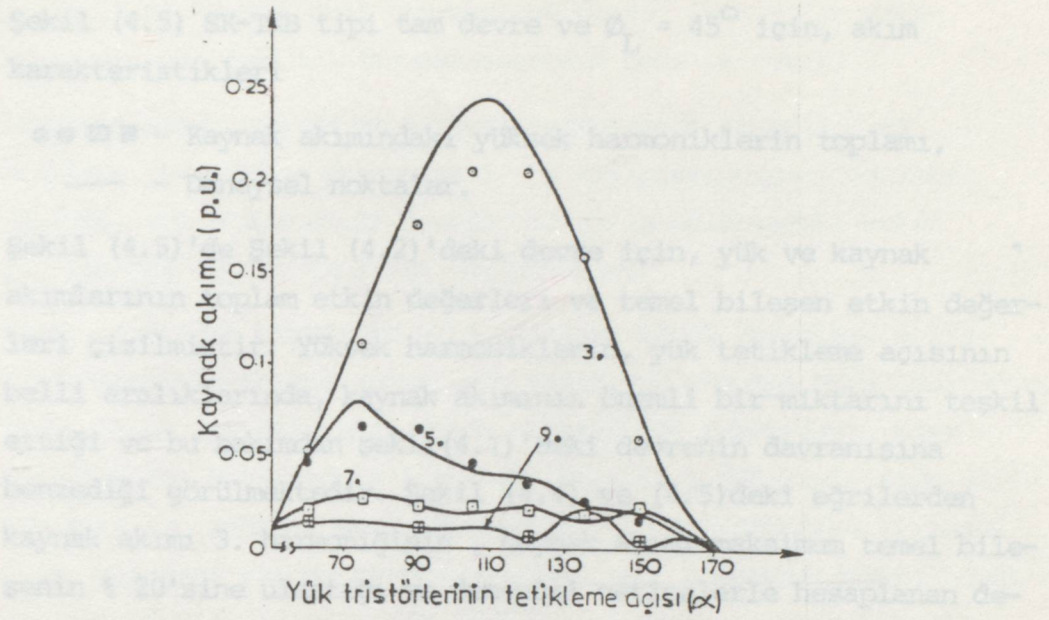
iki devre için aynı parametreler kullanılmasına rağmen α ve θ değişimlerinin biraz farklı olduğu görülmektedir. Genel olarak aynı α açısı için, Şekil (4.2)'deki devrede θ açısının, Şekil (4.1) devresindeki θ açısından daha küçük olduğu görülür. θ açısı arasındaki fark, α açıları arttıkça artma gösterir. Yine de bu fark yüzde birkaç mertebesinde.

(4.4) Denklemine çözmek daha karmaşık olduğu için (4.1) denklemi- nin çözülmesi tercih edilebilir ve Şekil 4.2 deki devre için bu bulunan α ve θ değerleri kullanılabilir. Fakat Şekil (4.2)'deki devrenin kayma faktörünü hesaplamak için Şekil 4.1'deki devre için hesaplanmış θ değerleri kullanılacak olursa α değerleri arttıkça kayma faktörünün 1 değerinden uzaklaştığı gözden kaçırılmamalıdır. (Şekil 4.3)



ŞEKİL (4.3) SK-TKB tipli tam devre ve $SL=45^\circ$ için α 'ya karşı θ ve kayma faktörünün değişimleri
(a) (4.4) denkleminden elde edilen eğri,
(b) (4.1) " " " " .

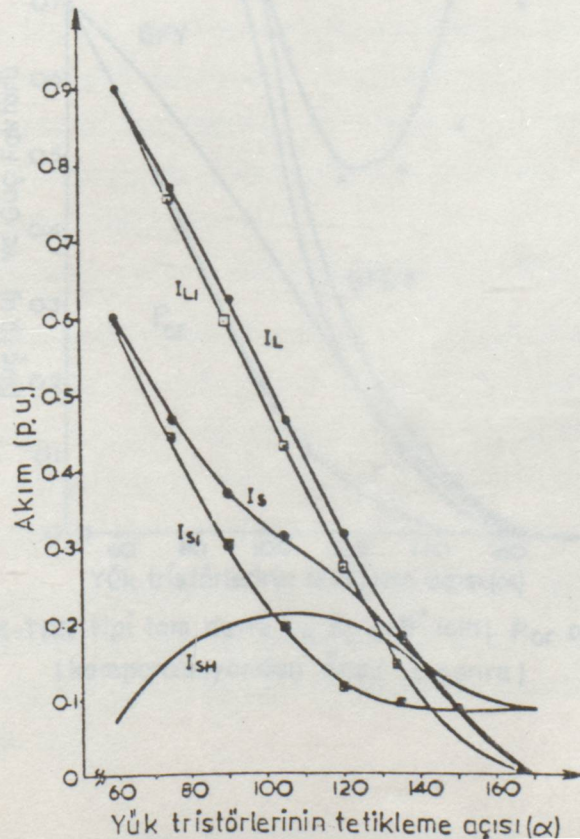
Bu türlü yaklaşık tetikleme açısının kullanımı, büyük tetikleme açılarında güç faktörünün az miktarda düzelmesine sebep olur. Tablo 1'deki α - θ değerleri kullanılarak Şekil (4.1) ve Şekil (4.2)'deki devreler için kompensatörün akım harmonikleri hesaplanacak olursa heriki devre içinde aynı harmoniklerin bulunduğu görülür.



Şekil (4.4) SK-TKB tipi tam devre ve $\phi_L = 45^\circ$ için kaynak akımı harmonikleri

-- Deneyisel noktalar
 -- Hesaplanan eğriler

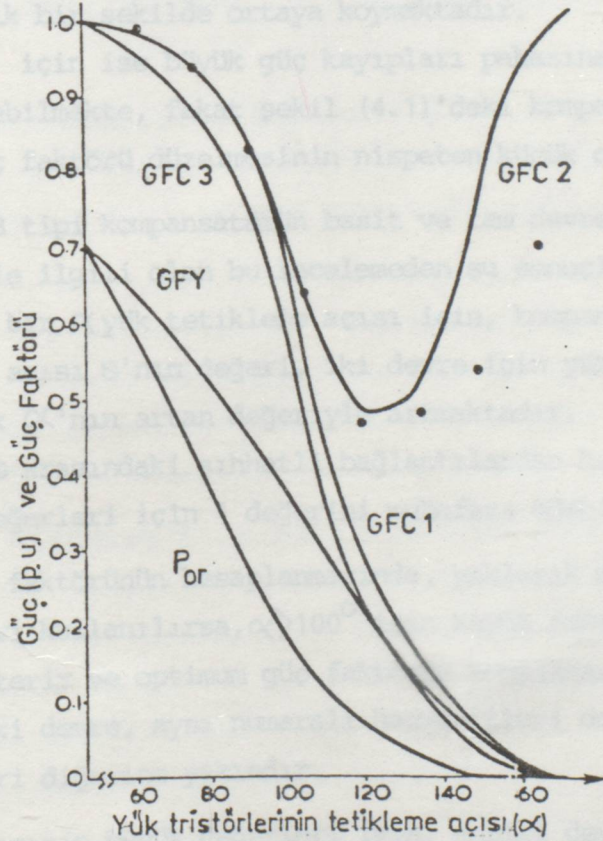
Şekil (4.4)'de Şekil (4.2)'deki devre için kaynak harmonik akımlarının hesaplanan ve ölçülen değerleri verilmiştir. Deneyisel neticelerin, teorik hesaplarla uyduğu açık olarak görülmektedir.



Şekil (4.5) SK-TKB tipi tam devre ve $\phi_L = 45^\circ$ için, akım karakteristikleri

- ⊙ ⊞ ⊠ ⊡ - Kaynak akımındaki yüksek harmoniklerin toplamı,
— - DeneySEL noktalar.

Şekil (4.5)'de Şekil (4.2)'deki devre için, yük ve kaynak akımlarının toplam etkin değerleri ve temel bileşen etkin değerleri çizilmiştir. Yüksek harmoniklerin, yük tetikleme açısının belli aralıklarında, kaynak akımının önemli bir miktarını teşkil ettiği ve bu bakımdan Şekil (4.1)'deki devrenin davranışına benzediği görülmektedir. Şekil (4.4) ve (4.5)deki eğrilerden kaynak akımı 3. harmoniğinin, kaynak akımı maksimum temel bileşenin % 20'sine ulaştığı ve deneySEL neticelerle hesaplanan değerlerin oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. Şekil (4.6)'da ise yük ortalama güç P_{or} , kompanzasyonun yapılmadığı (GFL), kompanzasyonun yapıldığı basit (GFC1) ve tam devre (GFC2) için yük güç faktörü eğrileri verilmiştir.



ŞEKİL (4.6) SK-TKB tipi tam devre ve $\phi_L = 45^\circ$ için; P_{or} ortalama güç, güç faktörü (kompanzasyondan önce ve sonra)

Şekil (4.6) SK-TKB tipi tamdevre ve $\phi L=45^\circ$ için ; Por ortalama güç, güç faktörü (kompanzasyondan önce ve sonra)

GFC2'nin hesabında $R\theta$ ve $R3$ 'deki kompensatör kayıpları da ortalama yük gücüne eklenmiştir. Bu kayıpların ihmal edilmesi halinde, yük kompensatör devresinin giriş uçlarındaki etkin güç faktörü eğrisi GFC3 ile verilmiştir.

Şekil (4.6)'dan görüldüğü gibi bilhassa küçük tetikleme açılarında kompensatör kullanımı, güç faktörünü oldukça düzeltmektedir. GFC2 olarak işaretlenmiş eğride, yüksek güç faktörleri, esas olarak α ile artan kompanzatör güç kayıpları sebebiyle elde edilmektedir. Bu sebeple GFC2 eğrisindeki güç faktöründeki iyileşme doğru olmasına rağmen büyük α açıları için kompanzatördeki büyük güç kayıplarını içine aldığından yanlış anlaşılmaya sebep olabilir.

Yük tetikleme açısının $125^\circ - 130^\circ$ 'ye kadar olan kısmı için yapılan daha sıhhatli hesaplar, Şekil (4.2)'deki kompensatörün üstünlüğünü açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

$\alpha > 130^\circ$ için ise büyük güç kayıpları pahasına iyi güç faktörü elde edilebilmekte, fakat şekil (4.1)'deki kompanzatör'den elde edilen güç faktörü düzelmesinin nispeten küçük olduğu görülmektedir.

Bir SK-TKB tipi kompensatörün basit ve tam devresinin, işletmesi ve analizi ile ilgili olan bu incelemeden şu sonuçlar çıkartılabilir :

(a) Belli bir α yük tetikleme açısı için, kompensatör tristörü tetikleme açısı θ 'nın değeri, iki devre için yüzde birkaç farketmekte ve bu fark α 'nın artan değeriyle artmaktadır.

(b) α ve θ arasındaki sıhhatli bağlantılardan hareketle kayma faktörü bütün α değerleri için 1 değerini muhafaza edebilir.

(c) Kayma faktörünün hesaplanmasında, yaklaşık devre için hesaplanan θ değerleri kullanılırsa, $\alpha > 100^\circ$ için kayma faktörü 1 değerinden sapma gösterir ve optimum güç faktörü kompanzasyon elde edilemez.

(d) Her iki devre, aynı numaralı harmonikleri doğururlar ve genlikleride biri diğerine yakındır.

(e) α açısının küçük değerleri için, heriki devrede güç faktörü, önemli derecede düzelir. α açısının büyük değerleri için tam devrede, büyük kompanzasyon kayıpları pahasına düzeltilmiş güç faktörlü çalışma elde edilir.

B E Ş İ N C İ B Ö L Ü M

5. TKB KOMPANSATÖR KONTROL SİSTEMLERİ İÇİN HARMONİKSEL BOZULMUŞ ÜÇ FAZLI AKIMLARDAN POZİTİF - SEQUENCE AKIMININ HIZLA ÇIKMASI

5.1 GİRİŞ : Tristör kontrollü bobin TKB kompensatör, basit yapım, düşük bakım maliyetleri, hızlı cevap, önemsiz geçici işlemler ve büyük kontrol esnekliği avantajlarından dolayı reaktif akım kontrolü uygulamaları için endüstride geniş olarak kullanılmaktadır. TKB Kompansatörler doğrudan kontrolü olmayan gerekli TKB akımında, yük kompanzasyonu ve voltaj regülasyonunda yaygın olarak uygulanır.

Hernekadar pratikte kullanılan kontrol sistemlerinde uygulanan TKB'lerde ilginç artmalar varsa da, efektif TKB akımlarının pratikte işleminin gerekli olduğu yerde TKB uyartımlı kontrol, güç sistem stabilitesini iyileştirir.

TKB kompensatörlerde balansız şartlar altındaki işlemlerde ve güç sistem kontrol probleminde efektif kontrol için değerlendirilen TKB pozitif-sequence akımı gereklidir.

Pratik kontrol için pozitif-sequence akımının çıkarılmasında iki problem vardır. Birincisi, hızlı cevap vermesi gereken kontrol sistemi için yüksek hız ihtiyacıdır. İkinci olarak kontrol edilen TKB akımları birçok sebep altında harmonikler ile bozulmuştur.

Bunlar, harmonik filtreleri ve özellikle kontrol edilen yalnızca kompensatör akımları olduğu zaman, ayrı üniteler olarak yapılandırılan TKB-SK (Tristör Kontrollü Bobin-Sabit Kapasite) kompensatöründeki olayları kapsar. Genel durumda TKB akımları 5., 7., 11., 13.,...vs'nin derecesinden harmonikleri kapsar.

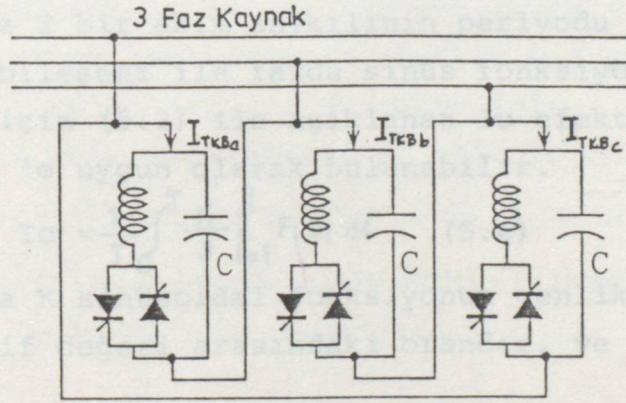
3. ve 9. dereceden harmonikler, eğer diğer harmonikler filtreler ile uygun olarak emilirse, kompanzatörün üçgen

bağlanmış üç TKB-SK kolu içinde dolaşacaktır.

Sistem etkin fiyatlı, hızlı; digital ve analog devreleri ve soft ware işleminin yeni kombinasyonu ile dizayında basittir. Mikroprocessor tabanlı tristör kontrollü bobin, kontrol sistemine başarılı olarak uygulanmıştır.

5.2 TKB-Pozitif-Sequence AKIM ÇIKARMANIN PRENSİBİ

Şekil (5.1) TKB-SK kompansatör (Kontrol edilen hat akımları)'ün üçgen bağlı devrelerinin üç kolunun şematik diyagramını gösterir.



Şekil (5.1) üç fazlı TKB-SK kompansatörünün şematik diyagramı.

TKB hat akımlarının efektif değerleri I_{TKBa} , I_{TKBb} , I_{TKBc} dir. ve TKB pozitif-sequence akımının efektif değeri I_c ile gösterilir. Bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$I_c = \frac{1}{3} * \left| (I_{TKBa} + h \cdot I_{TKBb} + h^2 \cdot I_{TKBc}) \right| \quad (5.1)$$

Burada h : 120° ile kayma fazörü olarak kullanılır. ve (I_{TKB}) fazör büyüklерidir.

TKB Kompansatör normal olarak kontrol edildiği için böyle hat voltajları denge şartlarında korunur. 120° faz farklı kısımlar arasındaki TKB akımları yalnızca biraz tesir eder. Sonuçta (5.1) denklemi herhangi bir

değer kaybı olmaksızın (5.2) ile yaklaşık elde edilir.

$$I_c = \frac{1}{3} * (I_{TKBa} + I_{TKBb} + I_{TKBc}) \quad (5.2)$$

Eğer, harmonik olarak bozulmuş TKB hat akımlarının ani değerleri, F_1 , F_2 , ve F_3 periyodik fonksiyonlarının formunda ise, I_{TKBa} , I_{TKBb} , ve I_{TKBc} 'nin değerleri ; A_1 , A_2 ve A_3 ile dizayn edilmiş, F_1 , F_2 ve F_3 'ün fourier transformasyonunda esas terimlerin sabitlerine oransal olacaktır. Bu miktarlar ;

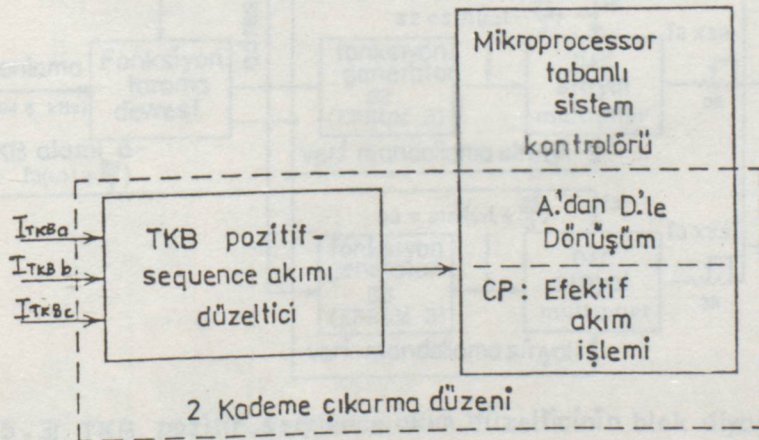
$$A_i = \frac{1}{T} \int_0^T F_i \cdot S_i dt \quad i=1,2,3 \quad (5.3)$$

Burada T bir akım saykılının periyodu ve S_i , F_i 'nin esas bileşeni ile fazda sinüs fonksiyonu birimidir. Onun için (5.2) ile açıklanan I_c efektif değeri (5.4) 'e uygun olarak bulunabilir.

$$I_c = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{K}{3} \sum_{i=1}^3 F_i \cdot S_i dt \quad (5.4)$$

Burada K sinüsoidal fonksiyonun genlik değeri ve efektif değeri arasındaki orandır. ve $1/\sqrt{2}$ ye eşittir.

Şekil (5.2) akım transducer (çevirici)'ler kullanılarak kontrol edilen F_1 , F_2 ve F_3 , harmoniksel olarak bozulmuş TKB akımlarından TKB pozitif-sequence akımının pratik olarak çıkarılması için proje gerçekleştirmesinin blok diyagramını gösterir.



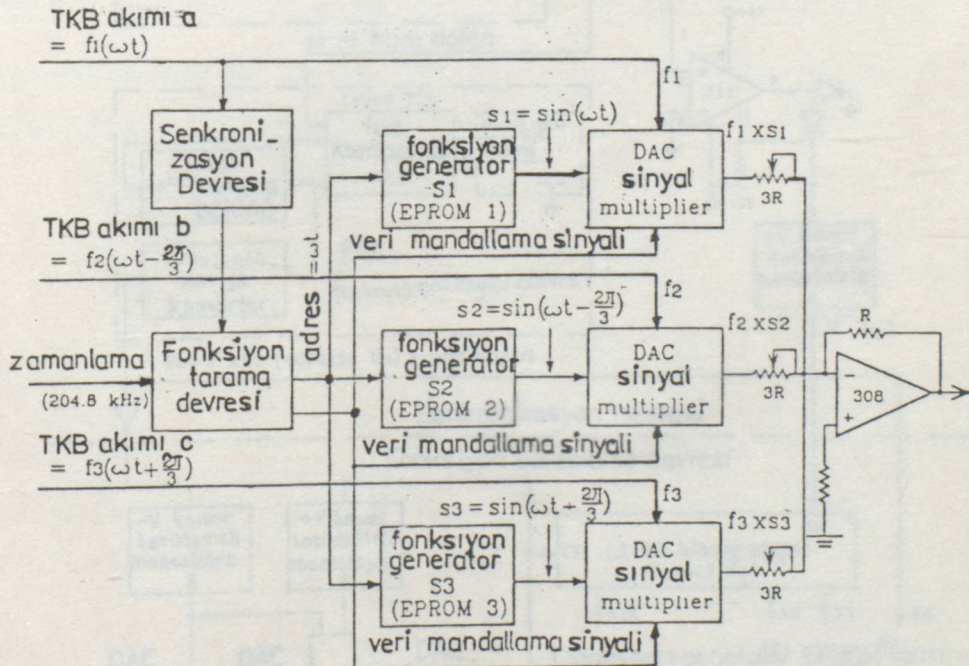
ŞEKİL(5.2) TKB pozitif-sequence akımının çıkarılması için projenin blok diyagramı

Şekil (5.2) TKB pozitif-sequence akımının çıkarılması için blok diyagramı.

Çıkarma iki aşamada oluşturulur. Birinci adım (5.4) de tamamı ile üretilen TKB pozitif-sequence akım düzelticisi ile yapılır. Bu düzelticinin dizaynı kısaca anlatılacaktır. Diğer adım, bütünleme ve düzelticiden çıkış sinyalinin ortalamasıdır. Bu halde Ic, mikroprocessor tabanlı TKB sisteminin kontrol kuralında kullanılan değişken durumların bir gerçeğidir. Ic, Şekil (5.2)'de gösterildiği gibi software kontrolünün parçası gibi sonraki adım birleşmesine lojiksel bağlıdır. Bu adım, analogdan, digitale dönüştürücü kanal yolu ile düzenli aralarda örneklenmesi işlemi ve tamamen yarım saykıl genişliğinde örneklenen değerın sürekli olarak alınan ortalaması işlemini kapsar. Bu geçen işlem, Şekil (5.2)'de efektif akım işlenmesi (CP) bölümüdür.

5.3 TKB POZİTİF-SEQUENCE AKIM DÜZELTİCİNİN DİZAYNI

TKB pozitif-sequence akım düzelticinin blok diyagramı Şekil (5.3) de gösterilmiştir.



ŞEKİL (5.3) TKB pozitif-sequence akım düzelticinin blok diyagramı

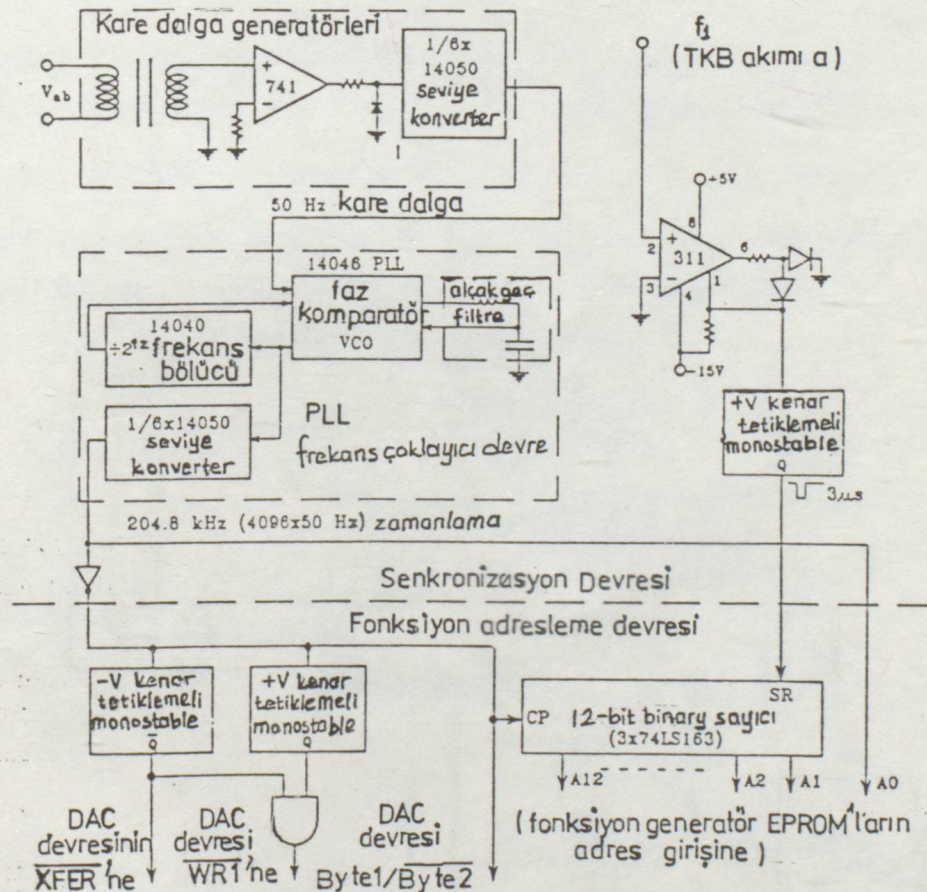
Şekil (5.3) TKB pozitif-sequence akım düzelticinin blok diyagramı.

Diyagram senkronizasyon devresi, fonksiyon tarayan devre, S1, S2 ve S3 üç EPROM sinüs fonksiyon generatörü üç adet D/A konverter (DAC) ve toplayan amplifikatörden oluşur.

5.3.1 Senkro nizasyon ve Fonksiyon Tarama Devresi :

Senkro nizasyon ve Fonksiyon tarama devreleri, sürekli olarak EPROM fonksiyon generatörleri okunmasında, fonksiyon tarama clock sinyalleri üretilmesinde kullanılır. Digital formda üç sinüs fonksiyon çıkışları, S1, S2 ve S3 devrelerin bu iki kısmıyla kontrol edilir.

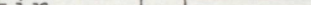
Şekil (5.4) senkronizasyon ve fonksiyon tarama devrelerinin dizaynı gösterir. Senkronizasyon devresi gerçekte diyagramın üst yarısında gösterilen dalga kesici devredir.

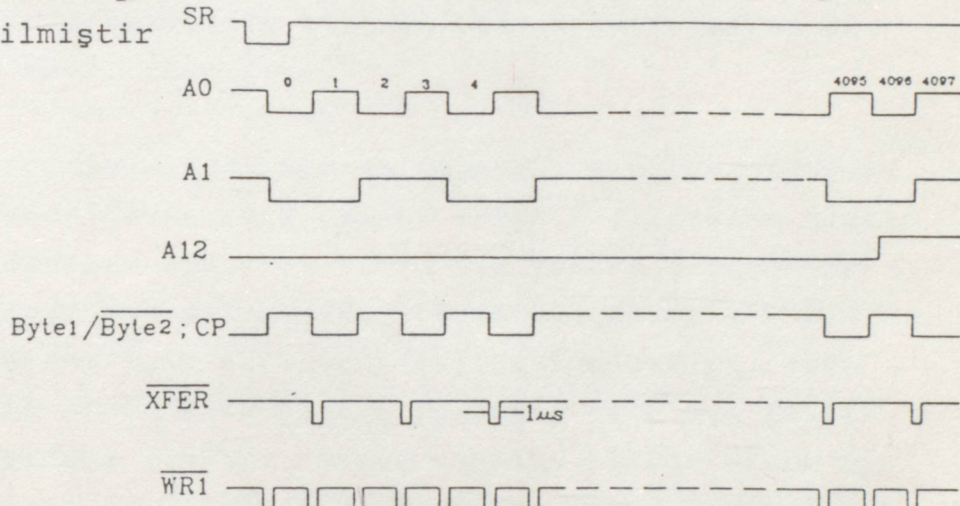


ŞEKİL (5.4) Senkronizasyon ve fonksiyon tarayıcı devreler

Şekil (5.4) Senkronizasyon ve Fonksiyon tarayıcı devreler.

Şekildeki iki monostable devre ve iki girişli AND kapısı, DAC multiplier'lerin XFER ve WR1 girişlerinin kontrolü için genişliği 1µs olan palslerin iki sırasını üretir.

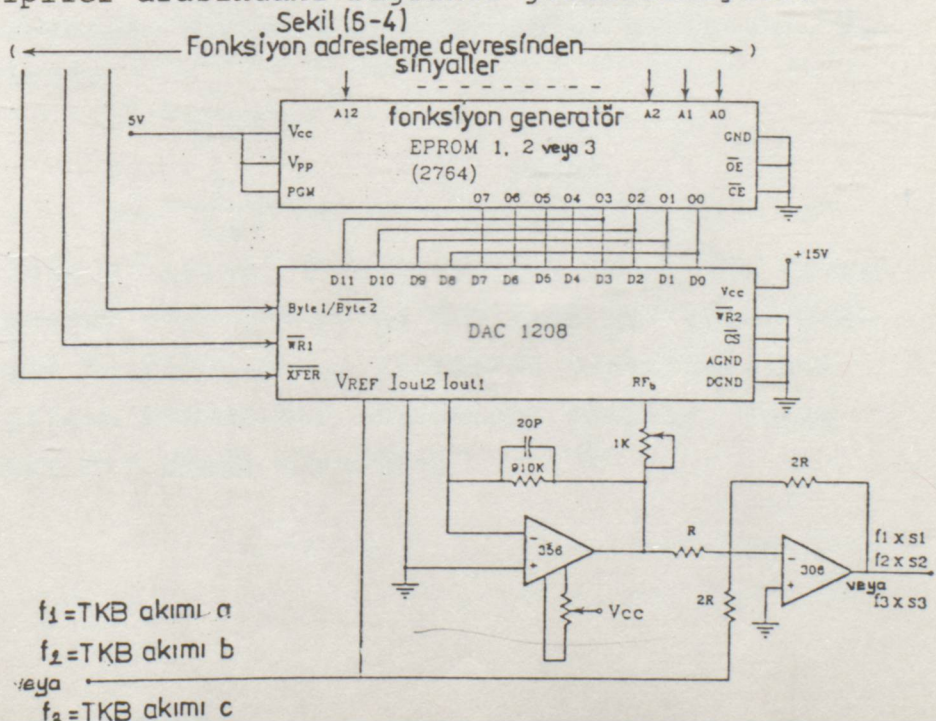
Senkronizasyonda esas sinyalin zamanlama diyagramı ve fonksiyon tarama devreleri Şekil (5.5) de gösterilmiştir ^{SR} 



Şekil (5.5) Fonksiyon tarama ve senkronizasyon devrelerinde anahtar sinyallerin zamanlama diyagramı.

5.3.2 Fonksiyon Generatörleri ve DAC Multiplier's

Şekil(5.6)'da EPROM fonksiyon generatörü ve DAC Multiplier arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Burada akımların analog fonksiyonları F_1 , F_2 , ve F_3 'dür. (TKB akımı) saf sinüsoidal ve 1 pu değerine oranlanmış olduğu zaman çıkışda 10Vdc vermek için ayarlanmış toplayan amplifikatörde toplanır.

Böylece bulunmak istenen akım değeri pu. olarak hızlı bir şekilde saptanır.

Devreyi rezonansa getirecek bir ω frekansından kaçınmak yani ω_0 frekansı, rezonansa yol açabilecek olan ω_0 frekansının altında tutmak rezonansın ka-
çınılması temel kuralıdır.

Seri rezonansa halinde empedans minimum olduğun-
da devreden geçen akım maksimum olur. ω frekansına bağlı-
dır ve maksimum değeri ω_0 dir. Öte yandan Z empedansı
minimum olduğunda frekans ω_0 frekansında olduğu için ω_0 dir.
Böylece frekans ω_0 frekansına eşit olduğunda, yani
minimum ω_0 frekansına eşit olduğunda rezonans için bir tabiri-
ye geçebiliriz. Bu tabiri şöyle yazabiliriz: ω_0 frekans
frekansına eşit olduğunda rezonans tabiriyle yazabiliriz. Bu
tabiri şöyle yazabiliriz: ω_0 frekansına eşit olduğunda
rezonans tabiriyle yazabiliriz.

Diğer iki devre parametresi L ve C içinde ben-
zer yaklaşımlar yapmak mümkündür. $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ eşitliğinden
L ve C parametrelerinin herhangi birini değiştir-
mekle rezonansın kayması teorik olarak mümkündür. Re-
zonans halinde

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

(4-2)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

ifadeleri elde edilir. C sabit tutulmuş durumda L
değeri değiştirilerek ω_0 değeri değiştirilebilir. Aynı
şekilde L sabit tutulmuş durumda C değeri değiştirilerek
 ω_0 değeri değiştirilebilir. Ancak devre devre olarak
ayrıştırılarak ele alınmalıdır. Ancak devre devre olarak
ayrıştırılarak ele alınmalıdır.

6. REZONANS OLAYI VE HARMONİKLERİN GİDERİLMESİ İÇİN TESİSLERDE ALINAN ÖNLEMLER

6.1. Teorik İnceleme: R,L,C ve W'nın Değişimi,
Bilindiği gibi seri ve paralel devreler için rezonans
şartı $LW_r = \frac{1}{Cw_r}$ 'dır. (6.1)

Devreyi rezonansa getirecek bir W_r frekansından kaçınmak yani öz frekansı, rezonansa yol açabilecek olan şebeke frekansının altında tutmak rezonanstan kaçınmanın temel koşuludur.

Seri rezonans halinde empedans minimum olduğundan devreden geçen akım yalnız ohmik R direncine bağlıdır ve maksimum değerini alır. Öte yandan Z empedansı ifadesinde frekans reaktans içinde olduğu için R'nin hiçbir değeri için rezonans tehlikesi olmadığı, yani sistemdeki ohmik dirençlerin rezonans için bir tehlike yaratmadığı açıktır. Bunun karşıtı olarak ohmik direnç ilavesi ya da çıkarımıyla da rezonans tehlikesinden uzaklaşmak mümkün değildir.

Diğer iki devre parametresi L ve C içinde benzer yaklaşımlar yapmak mümkündür. $W=1/\sqrt{LC}$ eşitliğinden L ya da C parametrelerinin herhangi birini değiştirmekle rezonansdan kaçınmak teorik olarak mümkündür. Rezonans halinde

$$L = \frac{1}{C.w^2} \quad (6.2)$$
$$C = \frac{1}{L.w^2}$$

ifadeleri ele alınırsa, C sabit kalmak koşuluyla devrenin endükansını düşürmek ya da artırmak bir çözüm olabilir. Ancak devrede mevcut selflerin azaltılmasının pratik uygulama olanağının olmayacağı açıktır. Ancak self ilavesi bir çözüm olabilir.

Kapasite değişiminde hareket alanı daha dardır. Sistemde mevcut kondansatörlerin C kapasitelerinin artımı ekonomik bir çözüm değildir. Azaltılması ise kondansatör gücünü düşürecektir. Ancak yine de büyük kapasite değerli kondansatör kullanımı bir çözümdür.

Yukarıda açıklanan hususların ışığında rezonansın yol açtığı zararlı etkilerden kurtulmak için teorik olarak şu sonuçları verebiliriz;

- a) Omik R direnci arttırılmalıdır.
- b) L endükansı arttırılmalıdır.
- c) C kapasitesi arttırılmalıdır.
- d) Kompanzasyon tesisi öz frekansı rezonansa neden olabilecek şebeke frekansının altında olmalıdır, ($\omega_0 < \omega_r$)

6.2. Proje Aşamasında Alınacak Önlemler:

İşletmede yüksek harmonik rezonansının doğurabileceği zararlı etkilerden korunabilmek için kompanzasyon tesisi tasarlanırken bazı önlemlerin alınması önemlidir.

Bunun için öncelikle işletmede mevcut tüketiciler ürettikleri harmonikler açısından incelenmeli ve etkin harmonikler saptanmalıdır.

İkinci aşamada mevcut etkin harmoniklerle işletmeye alınması düşünülen kompanzasyon tesislerindeki toplam kondansatör gücünün rezonansa yol açıp açmayacağının araştırılmasıdır.

Böylelikle rezonans olasılığı önceden belirlenmiş bir işletmede kompanzasyon tesisi hazırlanırken, buna dikkat edilerek çeşitli önlemler alınır. En önemlisi filtre devreleridir.

6.3. Harmoniklerin Bastırılması-Filtreler:

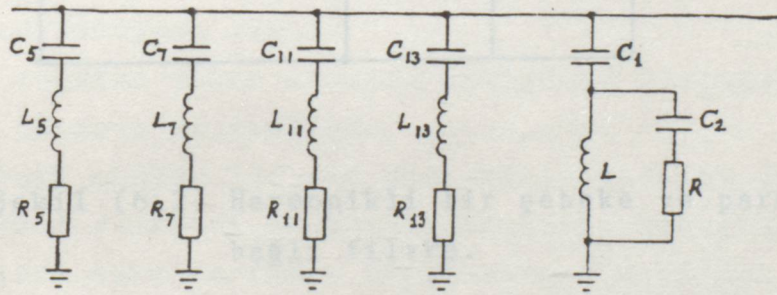
Filtreler ile harmoniklerin şebekedeki etkileri en alt düzeye indirilebilir. Harmonik üreten güç elek-

troniği aygıtlarında, daha tasarım aşamasında gerekli tedbirler alınabilir. Örneğin doğrultucu 6 darbeli olacağı yerde 12 darbeli olarak boyutlandırılır.

İki doğrultucu paralel çalıştırılarak bunlar primeri müşterek sekonderinden birisi üçgen diğeri yıldız bağlı bir transformatörden beslenebilir. Bu sayede 5. ve 7. harmoniklerde önemli azalmalar sağlanabilir.

Transformatörlerin primerlerinin Δ bağlaması da 3. harmoniğin şebekeye girişini önler. 3. Harmonik akımı, üçgen sargıda devresini tamamlar.

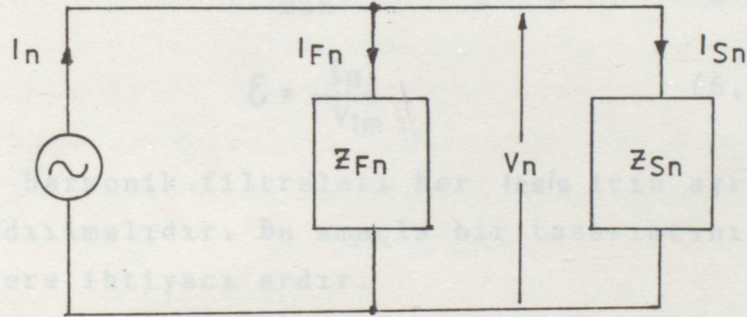
Yukarıda sözü edilen, tasarıma yönelik önlemler yeterli değildir. Buna ek olarak harmonik akımların şebekeye geçmesine engel olan düzenlere ihtiyaç vardır. Hat ile nötr arasında bulunan ve istenen harmonik akımın geçmesini sağlayan bu devrelere alternatif akım hat filtreleri denir. Şekil (6.1)' de harmoniklerin şebekeye geçmesine engel olan bir filtre devresi görülmektedir.



Şekil(6.1) Harmonikleri toprağa geçiren bir filtre devresi.

Şekilde birinci kol 5. harmonik akımına en kolay yolu sağlar. Kullanılan kapasite ve self $f_5 = 250$ Hz.'de seri rezonans meydana getirmektedir. Akımı sınırlayan R5 direnç elemanı ise kondansatör ve selfin iç direncini temsil etmektedir. İkinci kol ise, aynı işlemi, $f_7 = 350$ Hz.'de sağlamaktadır. Daha yüksek frekanslı akımları kısa devre etmek üzere bir adet yüksek geçiren filtre kullanılabilir. Bu haliyle filtrenin aynı zamanda reaktif güç kompanzasyonu yapabileceği aşıkardır. Şebeke frekansı için her kol kapasitif özellik taşımaktadır.

Yukarıdaki filtre devresinin başarılı olması, şebeke empedansı ile birarada iken harmonik akımlarını geçirme özelliğinin bulunmasına bağlıdır. Aşağıda filtre ilave edilmiş eşdeğer devrenin analizi yapılmıştır.



Şekil (6.2) Harmonikli bir şebeke ve paralel bağlı filtre.

I_n ; Harmonik akımları, Z_{Fn} : Filtrenin empedansı Z_{sn} : Şebekenin empedansı

Şekil (6.2)'de şebeke harmonik akımı I_{sn} , harmonik gerilimi V_n , filtreden geçen akım I_{Fn} olmak üzere;

$$I_{sn} = I_n, \quad V_n = I_n \cdot Z_{sn} \quad \text{filtresiz.} \quad (6.3)$$

$$I_{sn} = I_n - I_{Fn}, \quad V_n = I_{sn} \cdot Z_{sn} \quad \text{filtreli.} \quad (6.4)$$
$$I_{sn} = \frac{I_n \cdot Z_{Fn}}{Z_{sn} + Z_{Fn}}, \quad V_n = \frac{I_n \cdot Z_{sn} \cdot Z_{Fn}}{Z_{sn} + Z_{Fn}}$$

olup filtre kullanılmadığından harmonik akımının tamamının şebekeye intikal edeceği ve $V_n = I_n \cdot Z_{sn}$ harmonik geriliminin büyüyeceği görülmektedir. Şebeke ve devre admitansları karşılaştırıldığında;

V_n 'nın belirli bir sınırı aşmaması için $\left| \frac{1}{Z_n} \right| > \mathcal{E}$ koşulu sağlanmalıdır. O halde;

$$\left| \frac{1}{Z_n} \right| = \left| \frac{1}{Z_{sn}} + \frac{1}{Z_{Fn}} \right| > \mathcal{E} \quad (6.5)$$

Eğer harmonik geriliminin müsaade edilen bir üst sınırı varsa ($V_{n_{\max}}$) bu değer $\mathcal{E}$ 'nin değerini belirler.

$$\mathcal{E} = \frac{I_n}{V_{1m}} \quad (6.6)$$

Harmonik filtreleri her tesis için ayrı ayrı boyutlandırılmalıdır. Bu amaçla bir tasarımcının aşağıdaki bilgilere ihtiyacı vardır.

- Sorun yaratan yükün meydana getirdiği harmonik akımlarının frekans ve genliği
- Çevredeki yükler ile güç sisteminin eşdeğer devresinde gözönüne alınacak en büyük harmoniğe kadar harmonik frekansları için devrenin empedansının değişimi.
- Şebekenin çeşitli noktalarındaki ve özellikle fabrikaların besleme noktasındaki müsaade edilen harmonik distorsiyonun derecesi.
- Tesiste bulunan ve planlanan reaktif güç kondansatörleri
- Diğer kaynakların neden olduğu ve halihazırda mevcut harmonik distorsiyon derecesi.

- Tasarımı yapılacak filtrenin çalışacağı gerilim, frekans ve sıcaklık.

Harmonik filtrenin harmonik meydana getiren yüke en yakın bir noktada ve çok kez fabrika giriş noktasında tesis edilirler.

7. SONUÇLAR:

Gelişen güç elektroniği teknolojisi sonucu güç elektroniği elemanları ve sistemleri birçok alanda geniş bir biçimde kullanılmaktadır. Artan kullanım sahası ve güç sınırları sonucu faydalarına karşılık zararları da aynı ölçüde artmaktadır. Bu olumsuz etkiler kısaca gerilim dalgalanmaları, simetrisizlik ve harmoniklerdir. Bu çalışmada yalnızca harmonikler ele alınmıştır.

Birçok hesaplamalarda gerilimin saf sinüsoidal olduğu kabul edilerek yapılmaktadır. Bazı tesislerde; örneğin demir çelik fabrikaları ve elektrikli demiryolu tesislerinde harmonikleri almadan yapılan hesaplar büyük hatalar verir. Bu nedenle ikinci bölümde harmonik analizi hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde harmoniklerin büyük problem oluşturduğu elektrikli demiryolu tesisindeki, temel güç elektroniği devresi ele alınmıştır. Burada darbe genlik modülasyonu ile kontrol edilen kıyıcı, yükü kontrol eder. Köprü diyot girişinde ise bir filtre mevcuttur. Her yarı saykılada i için uygun darbe genlik modülasyonu kullanıldığında en düşük harmonikler elimine edilebilir. Böylece filtre daha da küçülmüş olur ve giriş güç faktörü düzeltilebilir. Daha sonra eşdeğer devre çizilmiş ve filtre rezonans frekansı, şebeke frekansı ve pals sayısı ilişkisi incelenmiştir. Sonuçta,

$$1 \ll \frac{W_r}{W} \ll 2p+1 \quad \text{olacağı saptanmıştır.}$$

Dördüncü bölümde VAr generatörleri ele alınmıştır. Özellikle ark fırınlarının kompanzasyonu, flike-rin azaltılması ve simetrilemede olumlu etkisi olan Statik VAr generatörleri kendisi bir harmonik kayna-ğı olarak şebekeyi olumsuz etkiler. Bu bölümde harmo-nik bastırıcı bobin eklenerek seri bağlı bulunan şönt kompanzasyon kapasiteli yeni devre dizayn edilerek VAr generatörünün harmonik etkisi azaltılmıştır. Buna bağlı olarak kompanzasyondan önce ve sonraki güç ve güç faktörleri değişimleri incelenmiştir. Yükün bağlı bu-lunduğu tristörlerin tetiklenme açısının büyük olduğu durumlarda en güç kayıplarına rağmen güç faktöründe dü-zelmenin, küçük tetikleme açılarında ise güç faktörün-deki düzelmenin oldukça fazla olduğu görülmüştür.

Takip eden bölümde bu kompanzatörlerin üç fazlı sistem için pozitif-sequence akımının çıkarılması için geliştirilen mikroprocessör tabanlı devre ele alınmış-tır.

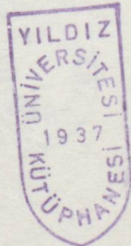
Son bölümde harmonik kaynakları için planlamada ve uygulamada alınacak önlemler ele alınmıştır. Reaktif güç konusuna son yıllarda artan bir şekilde önem veril-miş olması, güç kondansatörlerinin şebekenin çeşitli bölgelerinde kullanılmasına yol açmıştır. Harmonikle-rin rezonans bulunmasa dahi kondansatörleri aşırı yük-leyeceği doğaldır. Buna ek olarak belirli harmonikler için rezonans koşulu sağlandığında kondansatörlerde ve diğer alıcılarda hasar meydana gelecektir. Kondansatör tahribatlarının en önemli nedeni harmoniklerdir. Buna göre harmonik içeriği fazla olan yükleri kapsayan iş-letmelerde kompanzasyon tesisi kurulurken harmonik a-nalizi, etüdü yapılması, civar tesisler ve şebekenin empedansının frekans analizinin yapılması çok faydalı olacaktır. Harmonik filtreler yardımıyla hem harmonik süzme işlemi hem de reaktif güç kompanzasyonu sağlana-caktır.

13) T.J.E Miller, *Reactive Power Control of Electric Systems*, New York ; Wiley, 1982 K A Y N A K L A R

14) S.K.Tso and P.T.Ho, *Control of TCR compensator with voltage*

- 1) "Reichert K. Wirth" : Analysis of Harmonics and Their Effect on Power Systems. Brown Boveri Review 1/2 1984
- 2) "K.Sadek, N.pfyl, H.Kölsch" : Concepts for power Electronics Systems Used in Power Transmission, Brown Boveri, Rev. 1/2 1983
- 3) "E.Wanner, R.Mathys, M.Hausler" : Compensation systems for Industry, Brown Boveri Review, 9/10 1983
- 4) "Bayram M." : Hızlı Değişen Olaylarda Reaktif Güç Kompanzasyonu, Reaktif Güç Semineri, TMMOB-EMD 1983
- 5) Sarıoğlu M.K. : Yük Kompanzasyonu ve Gerilim Kontrolü, T.E.K, SA-83/2, 1983
- 6) Eric Destobbeleer. Guy Segquier and André Costelain : AC-DC Converter Minimizing Induced Harmonics in Industrial Power Systems, IEEE Trans on Power Electronics, Vol PE-2 No.4 OCTOBER 1987
- 7) V.R. Stefanovic, "Power factor improvement with a modified phase controlled converter," IEEE Trans. Ind. Appl., vol IA-I5 pp 193-201 1979.
- 8) L. Gyugi and ER Taylor, " Characteristic of static, thyristor controlled converter, shunt compensators for power transmission system application" IEEE Trans, Vol.PAS99, No.5 1980, pp1795-1804.
- 9) Hague S.E, "Power factor improvement of thyristor controlled load" PhD Thesis, University of Bradford England, 1982
- 10) S.E Hague and W Shepherd, "Power factor improvement of thyristor-controlled inductive load using an FC-TCR compensator ; IEE Third International Conference on "Sources and Effects of Power System Disturbances" London, England, IEE Conf Pub.No.210, May 1982,pp243-247.
- 11) Cyril W.Lander : Power Electronics, Mc Graw Hill, 1981
- 12) Masaaki SAKUI, H.Fujita, M. Shioya : "A Method for Calculating Harmonic Currents", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol 36 August, 1989

- 13) T.J.E Miller, Reactive Power Control of Electric Systems, New York ; Wiley, 1982
- 14) S.K.Tso and P.T.Ho, "Control of TCR compensator with voltage regulation and symmetrrsation capability," in Proc. IEE Control-85 Conf. 1985, pp. 239-244.
- 15) P.T.Ho and S.K.Tso, " Software control of static reactive current compensators, "Proc.Inst.Elec.Eng. vol135 pt C pp.518-527,1988
- 16) B.K. Bose ; Power Electronics and AC DRives ; 1986 by PRentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- 17) H.Akagi, Y.Kanazawa, and A.Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compansators Comprising Switching Devices without Energy Storage Companets," IEEE Trans. Ind.Appl., Vol IA-20, pp 625-630 May-June 1984.
- 18) Bayram M : Güç katsayısının düzeltilmesi ve Güç Kondansatörleri Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1977
- 19) Robert L.Smith, Ray P.Stratford : "Application Considerations in Handling Effects of SCR Generated Harmonics in Cement Plants" IEEE Trans. on Industry App. Vol. IA-17 No.1 Jan/Feb. 1981



Ö Z G E Ç M İ Ş

Fahri ARCAK 1966'da Bolu'da doğdu. Haydarpaşa Teknik Lisesini bitirdikten sonra 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümüne girdi. 1988'de Elektrik Mühendisi olarak diploma aldı. Aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen gemi elektriği ve sistemleri üzerinde çalışmaktadır.

