



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

79124

**ENERJİ SİSTEMLERİNDEKİ HARMONİKLERİN
KORUMA SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Elek.Müh. U.Savaş SELAMOĞULLARI

79124

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilimdalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (Y.T.Ü.)

Prof. Dr. Fahrettin ASLAN (i.Ü.)

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Celal KOCATEPE (Y.T.Ü.)

İSTANBUL, 1998

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	III
TABLO LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
GİRİŞ.....	1
1. KORUMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	3
1.1. Giriş.....	5
1.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler.....	5
1.2.1 Seçicilik.....	5
1.2.2 Hızlı Çalışma.....	7
1.2.3 Güvenilirlik.....	8
1.2.4 Koruma Sisteminin Yapısının Basit Olması.....	9
1.2.5 Koruma Sisteminin Ekonomik Olması.....	9
2. RÖLELERİN TEMEL YAPILARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ.....	10
2.1 Elektromekanik Röleler.....	12
2.1.1 Magnetik Çekmeli Röleler.....	13
2.1.1.1 Dalgıç armatürlü röle.....	14
2.1.1.2 Menteşe armatürlü (clapper) röle.....	15
2.1.2 Magnetik İndüksiyon Röleleri.....	16
2.1.2.1 İndüksiyon diskli röle.....	16
2.1.2.2 Silindir Tipi İndüksiyon Rölesi.....	19
2.1.3 Diferansiyel Röleler.....	20
2.1.4 Termik Aşırı Akım Rölesi.....	21
2.2 Yarı-İletken (Statik) Röleler.....	22
2.2.1 Yarı iletken rölelerin üstünlükleri.....	22
2.2.2 Statik rölelerin sınıflandırılması.....	24
2.2.3 Statik rölelerin temel yapısı.....	25
2.2.3.1 Dönüştürme elemanı (konverter).....	26
2.2.3.2 Ölçme elemanı.....	27
2.2.3.3 Çıkış elemanı.....	28
2.2.3.4 Besleme elemanı.....	28
2.2.4 Statik rölelerin koruma uygulamalarında kullanılması.....	29
3. HARMONİKLERLE İLGİLİ TEMEL BAĞINTILAR.....	32
3.1 Nonsinüsoidal Dalgaların Fourier Serisi ile İfade Edilmesi.....	32
3.2 Analitik Metotla Fourier Katsayılarının Bulunması.....	34
3.3 Grafik Metot ile Fourier Katsayılarının Bulunması.....	36
4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİK ÜRETEN ELEMANLARIN İNCELENMESİ.....	44
4.1 Harmoniklerin Üretilmesi.....	44
4.2 Harmonik Üreten Elemanlar.....	44
4.2.1 Generatörler.....	44
4.2.2 Transformatörler.....	44
4.2.3 Ark Kaynakları.....	47
4.2.4 Konverterler.....	47
4.2.5 Gaz Deşarjı ile Aydınlatma.....	48
4.3 Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Etkileri.....	48

5. HARMONİKLERİN KORUMA RÖLELERİ ÜZERİNE ETKİSİ.....	50
5.1 Elektromekanik Röleler.....	50
5.1.1 Ani Aşırı Akım Röleleri.....	50
5.1.1.1 Dalgiç ve menteşe tipli aşırı akım röleleri.....	50
5.1.1.2 İndüksiyon diskli aşırı akım röleleri.....	52
5.1.1.3 Negatif sequence aşırı akım röleleri.....	54
5.1.1.4 Harmonik sınırlı ani akım röleleri.....	55
5.1.2 Elektromekanik Gerilim Röleleri.....	56
5.1.3 Çift Girişli Elektromekanik Röleler.....	56
5.2 Mesafe Röleleri.....	57
5.3 Simetrik Sequence Röleler.....	57
5.4 Transformatör Diferansiyel Röleleri.....	57
5.5 Bara Diferansiyel Röleleri.....	58
5.6 İndüksiyon Faz Dengesi Rölesi.....	58
5.7 Statik Röleler.....	59
5.7.1 Tek Girişli Statik Röleler.....	59
5.7.2 Statik Aşırı Akım Röleleri.....	60
5.7.2.1 Mikroişlemcili aşırı akım rölesi.....	60
5.7.2.1.1 Dijital örnekleme ve antialiasing filtre.....	61
5.7.2.1.2 Asenkron örnekleme ile efektif değer ölçümü.....	61
5.7.3 Çift Girişli Statik Röleler.....	62
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	63
6.1 Ters Zamanlı Aşırı Akım Rölesi.....	63
6.1.1 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin çalışması.....	65
6.2 Termik Aşırı Akım Rölesi.....	69
6.2.1 Termik aşırı akım rölesi deneyi.....	69
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Koruma rölelerinin elektrik güç sistemlerine bağlanması.....	3
Şekil 1.2. Elektrik güç sisteminin koruma bölgelerine ayrılması.....	4
Şekil 1.3 Yüksek gerilim şebekesinde seçici koruma.....	6
Şekil 1.4 Hatanın ortadan kaldırılma süresinin fonksiyonu olarak sistemde iletilebilecek güç değişimi.....	7
Şekil 2.1 Röleler.....	10
Şekil 2.2 Dalgıç armatürlü röle şekilleri.....	14
Şekil 2.3 Menteşe armatürlü röle şekilleri.....	15
Şekil 2.4 Disk tipi indüksiyon rölesi.....	16
Şekil 2.5 Gölgeleme halkasının akıllar üzerine etkisi.....	18
Şekil 2.6 Diskte meydana gelen gerilimlerin vektörel gösterilişi.....	19
Şekil 2.7 Silindir tipi indüksiyon rölesi.....	20
Şekil 2.8 Termik rölenin temel yapısı.....	21
Şekil 2.9 Koruma rölelerinin temel blok diyagramı.....	26
Şekil 2.10 İki girişli temel gerilim ve akım karşılaştırıcı.....	27
Şekil 2.11 Üç girişli temel gerilim karşılaştırıcı.....	27
Şekil 2.12 Analog-Binary sinyal dönüştürücü (Schmitt Trigger).....	28
Şekil 2.13 Statik röle ile faz açısının ölçülmesi.....	30
Şekil 2.14 Sabit zamanlı aşırı akım rölesi.....	30
Şekil 2.15 Ters zamanlı elektronik aşırı akım rölesinin blok diyagramı.....	31
Şekil 3.1. Bir nonsinüsoidal dalgadaki harmonik bileşenin sinüs ve cosinüs terimlerinin büyüklükleri arasındaki üçgen ilişkisi.....	33
Şekil 3.2 Grafik Metotla Fourier Analizinin Yapılması.....	37
Şekil 3.3 Analizi yapılan dalga.....	39

Şekil 5.1. Menteşe tipi bir rölenin basit şekli.....	51
Şekil 5.2. İndüksiyon diskli aşırı akım rölesi basit şekli.....	52
Şekil 5.3 Negatif sequence aşırı akım rölesi basit gösterimi.....	55
Şekil 5. 4 Tipik transformatör inrush akımları.....	55
Şekil 5.5 İdeal akım transformatörü sekonder akımı doyma 90° 'de ve direnç yüklü iken.....	56
Şekil 5.6 İndüksiyon disk faz dengesi rölesi.....	58
Şekil 5.7 Nonsinüsoidal dalga şekli (WDCIWG, 1984).....	60
Şekil 5.8 Mikroişlemcili aşırı akım rölesi.....	61
Şekil5.9 Dijital aşırı akım rölesinin altı darbeli doğrultucu akımına cevabı.....	61
Şekil 6.1 Ters Zamanlı aşırı akım rölesinin önden görünüşü.....	63
Şekil 6.2 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin açık şekli.....	64
Şekil 6.3 İndüksiyon diskli aşırı akım rölesinin kısa devre ünitesi.....	65
Şekil 6.4 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin kısa devre açma karakteristiği	66
Şekil 6.5 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin iç bağlantı şeması.....	66
Şekil 6.6 Deneyde kullanılan devre.....	67
Şekil 6.7 Osiloskop vasıtası ile elde edilmiş yük akımı.....	67
Şekil6.8 Ters zamanlı aşırı akım röle deneyinden elde edilen akım-zaman karakteristiği.....	69
Şekil 6.9 Termik aşırı akım rölesinde kullanılan bağlantı şeması.....	70
Şekil 6.10 SIEMENS tarafından üretilen termik aşırı akım rölesinin açma karakteristiği.....	70
Şekil6.11 Deneylerde kullanılan alternatif akım kıyıcısı devresi.....	71
Şekil6.12 Termik aşırı akım rölesi deneyinde elde edilen verilere göre çizilen açma karakteristiği.....	72

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Elektromekanik ve statik rölelerin harcadıkları güç bakımından karşılaştırılması.....	24
Tablo 3.1 $f(\alpha)$ değerleri.....	39
Tablo 3.2 Temel bileşen için yapılan hesaplamalar.....	40
Tablo 3.3. 3.harmonik için yapılan hesaplamalar.....	41
Tablo 3.4 5.harmonik için yapılan hesaplamalar.....	42
Tablo 5.1 Deneysel veriler	52
Tablo 5.2 İndüksiyon diskli bir rölenin harmoniklerin bulunması durumundaki çalışma değerleri.....	54
Tablo 6.1 İndüksiyon diskli ters zamanlı aşırı akım rölesine ait sinüsoidal ve nonsinüsoidal besleme durumlarına ait açma karakteristikleri.....	68
Tablo 6.2 Termik röleye ait sinüsoidal ve nonsinüsoidal besleme durumlarına ait açma karakteristikleri.....	72

ÖZET

Elektrik güç sistemlerine bağlanan nonlineer elemanlar, sistemde çeşitli olumsuz etkiler meydana getirirler. Bu etkilerden birisi de koruma elemanları ile ilgilidir. Bu çalışmada, harmonik bileşenler içeren akım ve gerilimlerin koruma rölelerinin çalışması üzerine etkileri incelenmiştir. Öncelikle, çeşitli tipteki rölelerin çalışma prensipleri incelenmiş ve harmonik üreten elemanlar genel olarak verilmiştir. Daha sonra bu konuda literatürdeki teorik ve deneysel çalışmalar derlenmiştir. Çalışmamızın deneysel çalışma bölümünde ise sistemde nonsinüsoidal büyüklüklerin bulunması durumunda indüksiyon diskli aşırı akım rölesi ile termik aşırı akım rölesinin çalışması incelenmiştir. Deney sonucunda, indüksiyon tipi aşırı akım rölesinin çalışma noktasının değiştiği ve koruma işlevi açısından problemler ortaya çıkarabilecek şekilde davrandığı elde edilmiştir. Termik aşırı akım rölesi ile yapılan deneyden ise rölenin çalışma noktasında herhangi bir değişme olmadığı yani rölenin harmonikli durumdan etkilenmediği tespit edilmiştir. Literatürde yeterli derecede incelenmemiş olan bu konudaki çalışmalara önem verilmesi ve harmonikli durumlar için röle standartları çalışmalarının yapılması yararlı olacaktır.

ABSTRACT

The non-linear elements connected to the electric power systems cause some undesirable effects on the systems. One of them is the effects on protection devices. In this study, the effects of voltage and current harmonics on protection relays are examined. Firstly, the operating principle of some known protective relays and the elements which cause harmonics are given. After that, theoretical and experimental studies on this subject are combined and given. In experimental section of our study, operations of induction disc overcurrent relay and thermal overcurrent relay are investigated under the harmonics conditions. According to the results obtained from experiments the changing of operating point of induction disc overcurrent relays are observed while there is no change for thermal overcurrent relay. There are not many publications on this topic. The importance of these effects have to be taken into consideration and some relay standards must be published for harmonics conditions.

GİRİŞ

Güç sistemlerinde etkinliğini gün geçtikçe artıran harmoniklerin koruma sistemleri üzerine olan etkileri bu çalışmanın konusunu teşkil etmektedir.

Güç sistemindeki harmoniklerin oluşumu ve bunların etkilerinin araştırılması yeni bir konu olmayıp, alternatif akımın ortaya çıktığı ilk günlerden itibaren güç mühendislerini ilgilendirmiştir. 1900'lü yıllarda transformatörlerin nonlineerliği ile üretilen harmonikler ve Y/Δ bağlamadaki 3. harmoniklerin oluşumu araştırılmıştır (Clinker, 1914; Curtis, 1914). Bunun hemen arkasından yine transformatörlere ilişkin dalga şekilleri Steinmetz tarafından verilmiş ve harmonik distorsiyonunun azaltılması için "filtrelerin" kullanılması önerilmiştir. Sonraki yıllarda cıva buharlı konverterlerle ilgili distorsiyonu konu alan yayınlara rastlanmaktadır (Rissik, 1935).

Enerji sistemlerinde harmoniklerin ortaya çıkması istenen bir durum değildir. Ancak çoğu işletmelerde harmoniklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Nonlineer akım-gerilim karakteristikli elemanlar bağlı oldukları devrede akım ve gerilimin dalga şekillerini bozdukları için elektrik güç sistemlerinde nonsinüsoidal dalgaların dolaşmasına neden olurlar. Sistemde akımın ve gerilimin nonsinüsoidal olması, akımın veya gerilimin temel bileşeni yanı sıra temel bileşenin tam katı frekanslara sahip bileşenlerin de ortaya çıkmasına neden olur. Harmonik bileşenler elektrik güç sistemlerinde birçok problemin oluşmasına neden olur. Bu problemlerden bazıları; generatör ve şebeke gerilimlerinin bozulması, gerilim düşümünün artması, kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenmesi, elektrik güç sistemlerindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması, rezonans olayları, aşırı gerilimler vb. gibi etkilerin meydana gelmesidir. Ayrıca harmonikler koruma sistemleri üzerinde ise bir takım etkiler meydana getirerek koruma sisteminin çalışma noktasında değişikliklere de sebep olabilmektedir. Bu yüzden elektrik sistemlerinde harmoniklerin meydana gelmemesi için, il olarak tedbirler düşünülüp ona göre tesis ve tasarım yapılır. Fakat buna rağmen işletmede ortaya çıkan harmonikler için, bunları etkisiz hale getirme işlemi ikinci aşamada yapılır.

Bu tezde nonsinüsoidal büyüklüklerin bulunduğu devrelerde koruma sistemindeki etkiler incelenmiş ve iki tip röle üzerinde deneysel uygulama gerçekleştirilmiştir.

1.Bölümde, koruma ile ilgili temel kavramlar olarak koruma sisteminin tanıtımı , bir koruma sisteminin çalışması ve bundan beklenen özellikler verilmiştir.

2.Bölümde, çeşitli yapılarda imal edilen rölelerin temel yapıları ve çalışma prensipleri incelenmiştir.

3.Bölümde, harmoniklerle ilgili temel matematiksel bağıntılar verilerek harmonik analizinde kullanılan analitik, grafik ve ölçme yöntemi ile bilgisayar destekli yöntemlerden bahsedilmiş olup elektrik devreleri için harmoniklerle ilgili genel tanımlar verilmiştir.

4.Bölümde enerji istemlerinde harmonik oluşumuna neden olan elemanlar ve bunların sisteme etkinlikleri verilmiştir. Ayrıca harmoniklerin devre elemanları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

5.Bölümde, harmoniklerin koruma röleleri üzerine etkinliği incelenmiş bu konuda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar derlenmiştir.

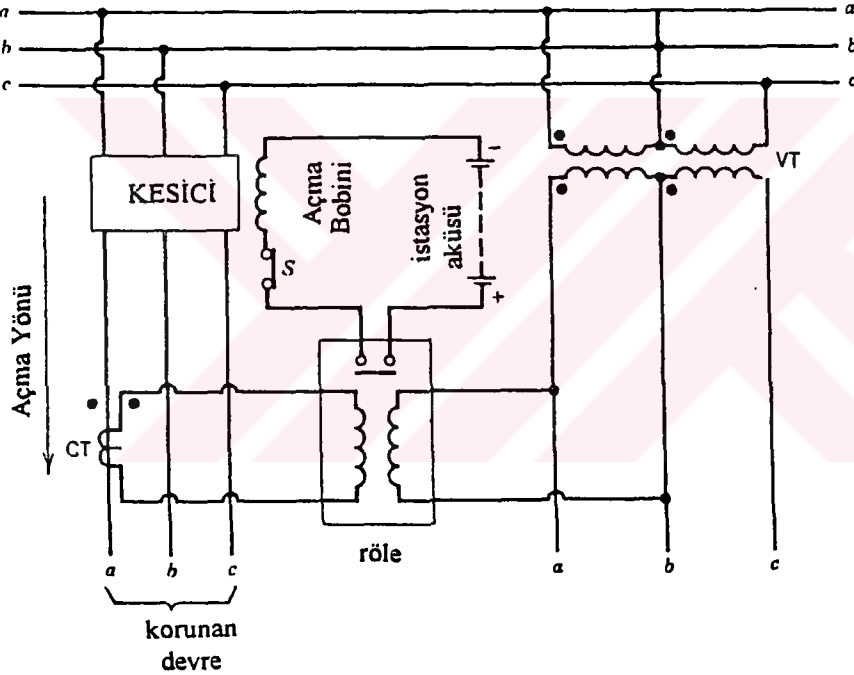
6.Bölümde ise iki tip röle üzerinde nonsinüsoidal akımın etkinliğini tespit etmek amacı ile deneysel çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

1. BÖLÜM

1. KORUMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

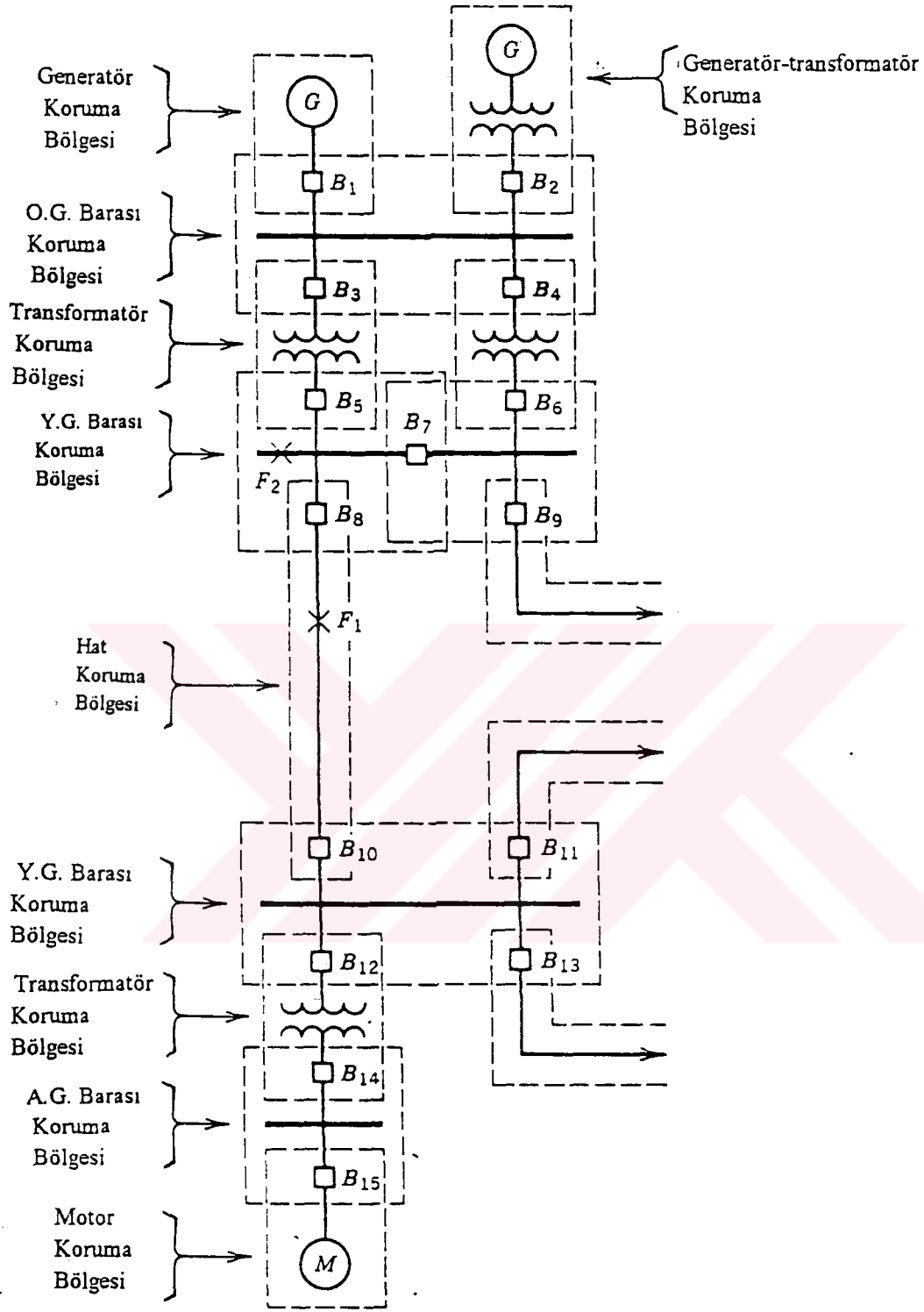
1.1. Giriş

Elektrik güç sistemlerinde koruma, sürekli olarak güç sistemini gözleyerek bir hatanın varlığını saptama ve kesicilerin doğru olarak açılmasını sağlama tekniğidir. Bununla birlikte yalnız başına kesiciler, sistemdeki hatanın ortadan kaldırılmasına yeterli değildir. Bu amaçla kesiciler koruma röleleriyle donatılırlar. Koruma röleleri hatanın varlığını tespit etmek için gereklidir ve bir hata meydana geldiği zaman bu hatayı ortadan kaldırmak için hangi kesicilerin hangi sırayla açılacağını tespit ederler.



Şekil 1.1 Koruma rölesinin elektrik güç sistemine bağlanması (Bir faz için)

Koruma sistemi, akım transformatörleri (CT), gerilim transformatörleri (VT) ve sistemin a.c. kısımları olarak bilinen röle bağlantıları ile istasyonun bataryalarından beslenen ve istasyonun bataryası ile kesici açtırma bobinini birbirine bağlayan, sistemin d.c. kısmı olarak bilinen koruma rölelerinden meydana gelir. Genel olarak bütün koruma röleleri iki pozisyonlu olur. (1) Kontak devresinin genellikle açık olduğu normal pozisyonu, (2) Kontak devresinin genellikle kapalı olduğu hata pozisyonunu gösterir. Şekil 1.1'de bir koruma rölesinin temel bağlantıları gösterilmiştir. Şekil 1.1'deki devrede kesici açıldıktan sonra kesicinin S ile gösterilen yardımcı kontağı açılır, böylece endüktansı oldukça yüksek olan kesici açtırma bobininin enerjisi kesilir, kesici elle veya otomatik olarak tekrar kuruluncaya kadar açık kalır.



Şekil 1.2. Elektrik Güç Sisteminin Koruma Bölgelerine Ayrılması

1.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler

Koruma düzenlerinin görevi, işletme elemanları ile elektrik tesis ve şebekelerinde ortaya çıkan hataları ve bunların çeşitlerini gözlenen elektrik büyüklükleri yardımıyla çabuk ve güvenilir olarak tespit etmek ve gerektiğinde hatalı işletme elemanını devre dışı bırakarak enerjinin olanaklar içinde sürekli olmasını sağlamaktır. Bu görevi yerine getirmesi beklenen koruma sisteminin;

1. Seçicilik
2. Hızlı çalışma
3. Güvenilir çalışma
4. Ekonomik olma
5. Yapısının basit olması özelliklerine sahip olması gerekir.

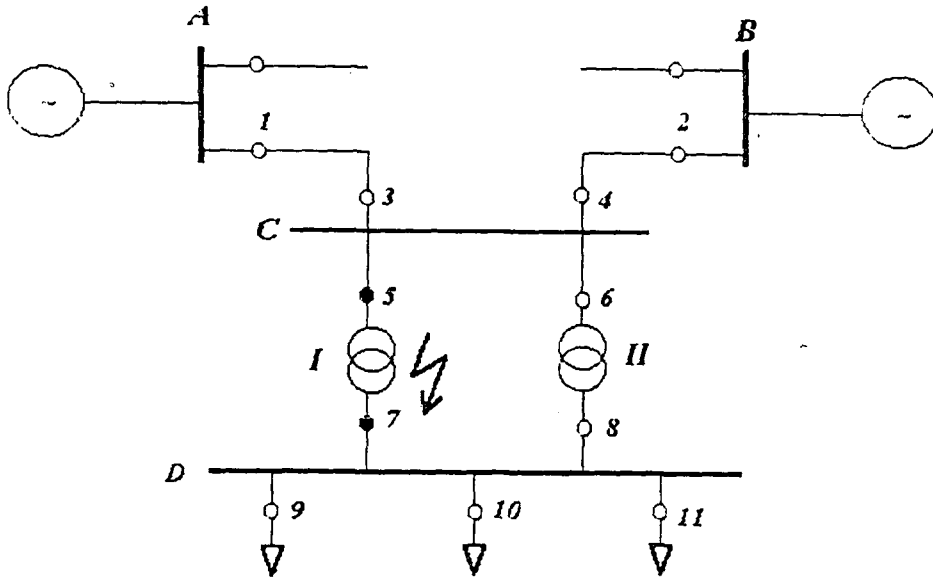
1.2.1 Seçicilik

Korumanın seçici olması, hatanın, çeşidi ve yerine göre doğru tespit edilmesinden sonra açma işleminin çok az bir tesis kısmı, hatta yalnız hatalı işletme elemanı devre dışı kalacak ve güç sisteminin diğer kısımlarında işletmeye devam edilebilecek şekilde yapılması demektir. Ekonomik işletme dolayısıyla hemen her elemanı anma güçleri seviyesinde yüklenen günümüzün gelişmiş dağıtım şebekelerinde seçici olmayan bir koruma sisteminin gerçekleştirdiği açma işlemi kolaylıkla aşırı yüklenmelere ve şebekenin çökmesine neden olabilmektedir.

Korumanın seçicilik özelliğinden beklenen diğer bir görev, kısa süreli kesintiler için hatalı iletkenin tespitidir. Yüksek gerilim şebekelerindeki bir kutuplu toprak kısa devrelerinde koruma düzeni, hatalı iletkeni tespit ettikten sonra yalnız bu iletkenin kısa bir süre (100-300 ms) gerilimsiz kalmasını sağlar. Bir kutuplu kısa devreler çoğu kez bir ark ile olduğundan gerilimsiz bırakılan süre içinde, hata yerindeki iyonlaşmanın dağılmasıyla, arkin tekrar tutuşması önlenmiş olur. Seçici korumada hatalı iletkenin dolayısıyla hata çeşidinin tespiti, koruma düzeninin uyarma devresi tarafından yapılır.

Seçicilikle ilgili olarak Şekil 1.4'de gösterilen örnekte, yüksek gerilim şebekesinde D barasından çıkan hatlar I ve II transformatörleri üzerinden beslenmektedir. Gerekli enerji

transformatörlerin primer taraflarındaki A ve B baralarına bağlı santrallerden sağlanmaktadır. (Çaylı,1980)



Şekil 1.3 Yüksek gerilim şebekesinde seçici koruma

o Röle ve kesiciler

* Açma yapan röle ve kesiciler

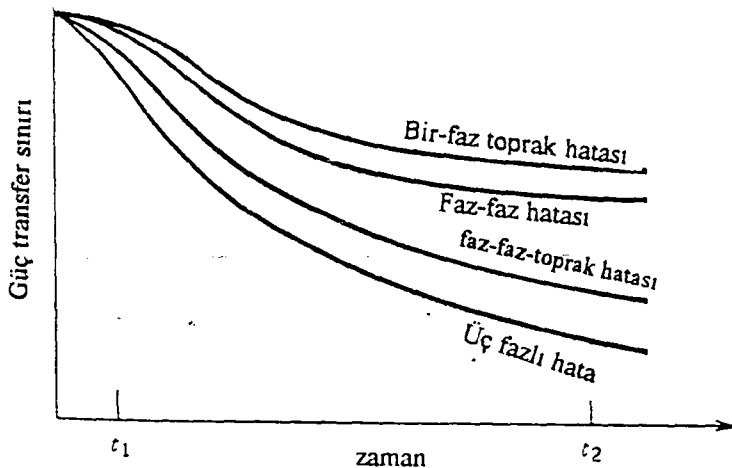
I transformatöründe meydana gelen bir iç arızada korumadan istenen yalnız hatalı I transformatörünün, 5 ve 7 kesicileri tarafından devre dışı edilmesidir. Bu durumda C ve D baralarının gerilimleri kesilmediği için santrallerin paralel işletilmesi ve tüketicinin beslenmesinin sürekliliği sağlanmış olur. 5 ve 7 kesicilerinden örneğin 7 kesicisinin herhangi bir nedenle çalışmaması ve açma yapmaması durumunda, hata yerinin beslenmesi ancak D barasının gerilimsiz bırakılmasıyla sağlanabilir. Bunun için 6 ve 8 kesicilerinden biri belli bir gecikme ile açmalıdır. 9, 10 ve 11 kesicileri üzerinden hata yerinin beslenmesi olanaksız olduğundan bu kesiciler kapalı kalabilir. Sonuç olarak C barası gerilimsiz kalmamış ve en azından santrallerin paralel çalışması etkilenmemiş olur. Eğer 7 kesicisi yerine 5 kesicisi çalışmayıp açma işlemini yapmayacak olursa, C barası ya 3 ve 4 veya 1 ve 2 kesicileri tarafından gerilimsiz bırakılmalıdır. Bu durumda seçici korumadan, hiç olmazsa A ve B baralarının gerilim altında tutulması istenir.

1.2.2 Hızlı Çalışma

Korumadan beklenen ikinci bir özellik hızlı çalışmadır. Herhangi bir işletme elemanındaki hata çok çabuk tespit edilir ve bu işletme elemanı devre dışı bırakılırsa, büyük kısa devre güçlerine rağmen ortaya çıkacak arızalar ve bunların onarımı için geçecek zamanla, yapılacak masraflar azalır. Ayrıca hatanın kısa sürede ortadan kaldırılması şebekenin dinamik kararlılığının devamını sağlar ve hata tüketiciler tarafından fark edilmez.

Koruma sisteminin bir hata durumunda minimum zaman içinde ve hata sebebiyle donanıma gelecek zarar da minimum olacak şekilde mümkün olduğu kadar çabuk olarak hatalı elemanı sistemden ayırma yeteneğine "koruma sisteminin hızlı çalışması" denir. Koruma röleleri istenen uygun hızda çalışabilmelidir. Rölenin hızı, ne donanımın hata sebebiyle zarar göreceği kadar yavaş olmalı ve ne de geçici hatalarda istenmeyen açmalara sebep olacak kadar da hızlı olmalıdır. Koruma düzeninin çalışma hızı, güç sisteminin kararlılığını da doğrudan etkiler. Sistemde herhangi bir hatanın ortadan kaldırılma süresi kısaldıkça, sistemde senkronizasyonu kaybetmeden verilen noktalar arasında daha fazla güç iletilebilir.

Şekil 1.5'de çeşitli hata tipleri için, sistemde iletilebilecek gücün hatanın ortadan kaldırılma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi hatanın ortadan kaldırılma sürelerinden t_1 süresi t_2 süresinden daha kısadır ve t_1 süresinde iletilen güç daha büyüktür. Güç sistemlerinde hatanın ortadan kaldırılma süresi oldukça küçüktür (60 Hz. temel frekansında yaklaşık 3 periyot) bu nedenle sistemde güç aktarımı maksimumdur. Şekil 1.5'de görüldüğü gibi aynı t_1 süresi için iletilen gücün en az olduğu dolayısıyla en şiddetli hata tipi üç fazlı hatadır. İletilen gücün en fazla olduğu, başka bir deyişle en hafif hata tipi bir faz-toprak hatasıdır.



Şekil 1.4 Hatanın ortadan kaldırılma süresinin fonksiyonu olarak sistemde iletilebilecek güç değişimi

Korumanın yukarıda açıklanan seçicilik ve hızlı çalışma özellikleri bazı durumlarda birbirlerine ters düşerler. Koruma planı hazırlanırken bu iki özellikten birine öncelik vermek gerekebilir. Bu durumda korunacak işletme elemanının özellikleri ve bunun birlikte çalıştığı diğer tesis elemanları ile işletme koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Pratikte genellikle seçiciliğe öncelik tanınır. Korumanın seçici, fakat hızlı olamayacağı durumlarda ek düzenlerle bu iki özelliğin birbiriyle uyuşması sağlanabilir

1.2.3 Güvenilirlik

Bir cihazın veya tesisin güvenilirliği, onun işletme süresi boyunca kalitesini belirler. Bu tanıma göre koruma düzenleri de röleleri, yardımcı besleme devreleri, açma devreleri, güç şalterleri ve kesicileri ile birlikte güvenilir olarak çalışmalıdır. Sayılan herbir cihazın güvenilirliği koruma düzeninin toplam güvenilirliğini belirler. Toplam gözleme süresi içinde koruma sisteminin yanlış açma sayısının, bu sürede ortaya çıkan toplam hata sayısına oranı korumanın güvenilirliği hakkında bir fikir verebilir. Bir koruma düzeninin yanlış çalışma durumları üç grupta toplanabilir:

1. *Gereksiz açma:* Ortada herhangi bir hata olmadığı halde rölenin açma işlemi yaptırmasıdır.
2. *Hata durumunda yanlış açma:* Rölenin yanlış ölçme yapması veya yanlış ayarlanması durumunda seçici olmayan açma işlemidir.
3. *Açma yapmama:* Hata ortaya çıktığı halde rölenin açma kumandası vermemesidir.

Hatalı çalışma durumlarının nedenleri çeşitli teknik arızaların yanısıra rölelerin hesabı, yapılışı, bağlantısı ve ayarı sırasında yapılabilecek hatalar olabilir.

Bir koruma işleminin güvenilirliği, aynı koruma işlemini yapan farklı metotlarla çalışan iki hatta üç ayrı koruma düzenini paralel çalıştırarak artırılabilir. Ekonomik bakımdan bu çareye, ancak korunan elemanın önemi gözönünde tutularak başvurulabilir. Diğer taraftan bu önlem, gerektiğinde açmama durumlarını azaltırken gereksiz açma durumlarını arttırmamalıdır. Bunu gerçekleştirmek için paralel çalışan iki koruma sisteminin her ikisinin birden veya üç koruma

sisteminden en az ikisinin açma kumandası vermesi halinde son açma işleminin yapılması yoluna da gidilmiştir. Paralel çalışan koruma düzenlerine örnek olarak hatlarda diferansiyel, mesafe ve bucholz rölelerinin, beraber çalışmaları gösterilebilir. Paralel çalışan koruma düzenleri tamamen bağımsız çalışmalı, yani ölçü transformatörleri, yardımcı besleme devreleri vb. her koruma sistemi için ayrı olmalıdır. Ancak bu amaçla güç şalterlerinin veya kesicilerin de iki katına çıkartılması hiçbir zaman düşünülemez.

1.2.4 Koruma Sisteminin Yapısının Basit Olması

Koruma sisteminin minimum eleman ve devre ile meydana getirilmiş olması bu sistemin tasarımının iyi yapılmış olduğunun bir belirtisidir. Bununla beraber en az sayıda elemanla gerçekleştirilmiş ve maliyeti de son derece düşük, yapısı basit olan bir koruma sisteminin güvenilirliği az ise, bu koruma sisteminin koruduğu donanımda büyük hasarlar meydana geliyorsa o zaman bu koruma düzeni ekonomik olmaz. Bu takdirde koruma sisteminin yapısının basit olması ile güvenilir olması arasında optimum bir çözüm bulmak gerekir. Ancak şu da unutulmamalıdır ki; bir koruma sistemi az elemandan oluşmuş ise, sistemin yapısı basit ise bu sistemde arıza olma olasılığı da daha az olur ve sistemin bakım ve kontrolü ile işletme esnasında sistemde meydana gelen arızaların giderilmesi de çabuk olur.

1.2.5 Koruma Sisteminin Ekonomik Olması

Koruma sisteminin ekonomik olması, minimum maliyet ile maksimum korumanın sağlanmasıdır. Maliyeti çok yüksek fakat çok güvenilir bir koruma sistemi tasarımı yapmak mümkündür. Ancak ideal olan, mümkün olduğu kadar ucuza mal olan ve güvenilirliği de yüksek olan bir koruma sistemi gerçekleştirmektir.

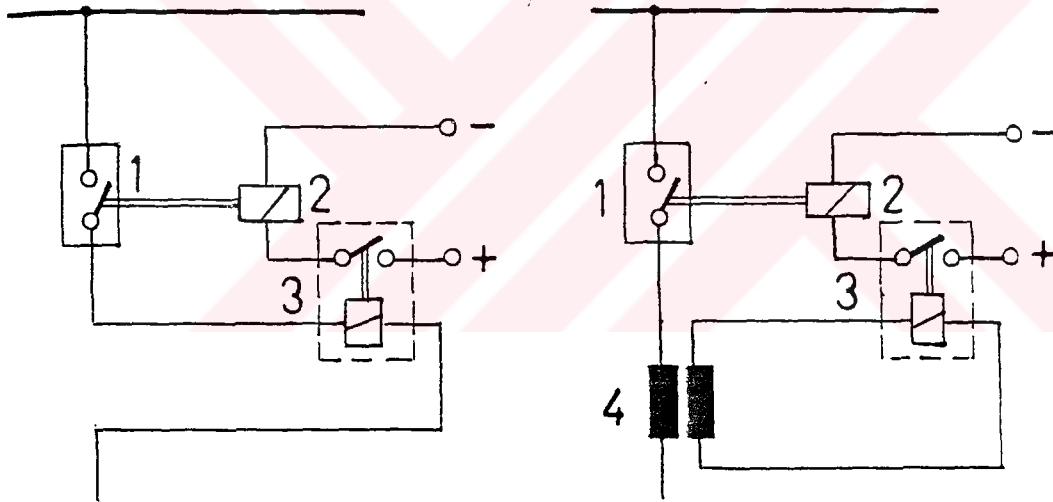
Güç sistemi normal olarak çalıştığı zaman korumaya gerek yoktur. Koruma sadece sistemde bir hata meydana geldiği zaman gereklidir. Başlangıçta koruma sisteminin tesis edilmesine ve daha sonra da işletme sırasında sistemin bakımına yatırılan para, bir hata durumunda sistemin kararlılığının bozulmaması ve sistemde hata sebebiyle meydana gelecek zararın minimuma indirilmesi olarak geri dönecektir. Koruma sisteminin maliyeti, korunan sistemdeki elemanların toplam bedeline göre oldukça düşüktür. Sonuç olarak koruma düzenleriyle donatılmış elektrik güç sistemlerinde koruma için harcanan para oranında tüketicilere verilen enerjinin sürekli olması sağlanır ve iş gücü kaybı azaltılır (Gönen,1988).

2. BÖLÜM

2. RÖLELERİN TEMEL YAPILARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Röleler, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır.

Kontrol altına alınmak istenen elektriksel büyüklüklerin koruma rölelerinin girişlerine doğrudan veya bir gerilim yada akım ölçü transformatörü üzerinden uygulamasına göre röleler primer ve sekonder olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan primer röleler, elektriksel büyüklüklerin röleye girişlerine doğrudan uygulandığı rölelerdir. (Şekil 2.1(a)) Bu rölelerde arada bir dönüştürme elemanı (ölçü transformatörü) olmadığı için hata daha azdır. Ancak bu rölelerin izolasyon problemleri ve personelin güvenliği nedeniyle yüksek gerilim sistemlerinin korunmasında kullanılması zor olduğu için kullanım alanları azdır.



Şekil 2.1 Röleler

a) Primer Röle

b) Sekonder Röle

1. Kesici

2. Kesici Açma Bobini

3. Koruma Rölesi

4. Akım Transformatörü

Elektriksel büyüklüklerin ölçü transformatörleri üzerinden uygulandığı rölelere sekonder röleler denir. Şekil 2.1(b)'de gösterilen bir sekonder rölenin ana akım devresinden ölçü

transformatörleri ile ayrıldığı görülmektedir. Sekonder rölelerin kullanılmasındaki faydalar şöyle sıralanabilir:

1. Yüksek gerilim, koruma düzeneklerinden ayrılmıştır. Böylece röleler ana akım devresinin magnetik tesiri ile termik ve dinamik zorlanmalardan korunmuş olur.
2. Ana akım devresini kesmeden rölenin ayarlanması, değiştirilmesi veya bağlantılarının yapılması ve muayene edilmesi mümkündür.
3. Ölçü büyüklükleri küçük değerli olduğundan bu röleler ucuz olarak imal edilebilirler.
4. Daha hassas elemanlarla ölçü doğruluğu arttırılabilir.

Rölelerin tarihi gelişimine bakılırsa, ilk zamanlar ortaya çıkarılan ve bugün de gelişmiş tipleri hala kullanılan elektromekanik rölelerin yanısıra, rölenin hızlı çalışmasını temin etmek amacıyla vakumlu tüpler kullanılarak röle ve röle sistemleri geliştirilmiştir ancak bunlar hiçbir zaman elektrik devrelerinin korunmasında kabul görmedi. Vakumlu tüplerin çalışması sırasında zaman zaman görülen yanmalar, tecrübelerle tespit edilmiş olan çalışma esnasında tüpün karakteristiklerinin sabit kalmayarak değişmesinden kaynaklanan belirsizlikler bu rölelerin güç sistemlerinin korunmasında kullanılmasını imkansız hale getirmiştir.

Son zamanlarda güç sistemlerinin korunmasında kullanılan son derece hızlı ve kullanışlı statik röleler de denilen yarı-iletken röleler geliştirilmiştir. Röleyi oluşturan elemanların karakteristiklerinde sıcaklık değişimleri ve elemanın yaşlanması dolayısı ile oluşan değişimlerden kendi çalışma karakteristikleri hiç etkilenmeyen devre tasarımları yapılmıştır. Yarı-iletken rölelerin cevap süresi istenildiği kadar kısa yapılabilir ancak pratikte yarı iletken rölelerin temel elemanlarının cevap süresi o kadar kısa olur ki, başka bir deyişle bu elemanlar o kadar hızlı çalışırlar ki, çoğu zaman güç sistemlerindeki geçici olaylardan dolayı yanlış çalışmaları önlemek için ilave bir zaman geciktirme devresine ihtiyaç duyulur. Röle uygulamalarında ihtiyaç duyulan değişik fonksiyonlar, her biri farklı olarak tasarlanmış ve yarı-iletken elemanlarla gerçekleştirilmiş devrelerden elde edilir. Entegre devreler daha büyük güvenilirlik ve esneklikle bu devrelerde yer almaktadır.

Elektrik güç sistemlerinin koruma prensipleri uygulamaya yönelik röle tasarımlarından tamamen bağımsızdır. Örneğin bir elektrik makinası veya devresindeki akım müsaade edilen toleranstan da büyükse bu durumda bir düzeltme etkisine ihtiyaç duyulur. Kabul edilen

çalışma şartlarına uyan ve başlangıç düzeltme etkisini yapan cihaz, gerçekleştirdiği fonksiyon mekanizması dikkate alınmadan bir aşırı akım rölesi olarak tanımlanır.

2.1 Elektromekanik Röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Röleler yapılış şekillerine göre elektromekanik ve yarı-iletken (statik) olmak üzere iki gruba ayrılır. Elektromekanik röleler sağlam ve ucuzdurlar ancak bu rölelerin konusunda uzmanlaşmış personel tarafından düzenli olarak bakım ve kontrollerinin yapılması gerekir. Ayrıca elektromekanik rölelerin tasarımı; elde edilen karakteristiklere, ayarlara ve yük kapasitelerine göre sınırlıdır. Buna karşın yarı-iletken rölelerde, lojik kapıların yanısıra, analog devreler de vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiği elde edilebilir. Bugün yaygın olarak kullanılan elektromekanik rölelerin kullanılmasının zor olduğu yerlerde (yüksek gerilim veya çok yüksek gerilim enerji nakil hatlarının faz karşılaştırıcı ile korunması vs.) yarı-iletken röleler en önemli koruma elemanı olarak kullanılmaktadır. Faz veya genlik karşılaştırıcı olarak çalışan transistörlü röleler, elektromekanik rölelerden daha küçük, ucuz, hızlı ve daha güvenli olarak yapılabilir. Yarı-iletken röleleri mekaniki darbelere karşı dayanıklı ve çok az bakım gerektirecek şekilde imal etmek mümkündür. Ayrıca bu röleler yüksek duyarlılıkları sebebiyle daha küçük güçteki akım transformatörlerinin kullanılmasına ve daha gelişmiş karakteristiklerin elde edilmesine imkan sağlar. Yarı-iletken röleler, elektromekanik rölelerin aksine, herhangi bir kontağın herhangi bir fiziksel hareketi olmaksızın elektronik elemanların yalıtım durumundan iletim durumuna geçmesiyle yada bunun tersiyle, devrede bir anahtarlama etkisi meydana getirirler. Anahtarlama etkisinin meydana gelmesinde, bir kontağın açılması veya kapanması gibi fiziksel bir hareket olmadığı için, yarı-iletken rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelerden çok kısadır.

Bu bölümde magnetik çekmeli röleler, magnetik indüksiyon röleleri, diferansiyel röleler ve termik röleler hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1 Magnetik Çekmeli Röleler

Prensip olarak magnetik çekmeli röle, bir bobinin içinde bulunan magnetik bir devre ve karşısındaki bir paletten meydana gelir. Palet magnetik malzemeden yapılmıştır ve hareketli kontaklara kumanda eder. Palet, kontakların hareketini engelleyecek yönde kuvvet uygulayacak bir yay yardımıyla belirli bir konumda tutulur. Magnetik alanı meydana getiren bobinden geçen akım belirli bir değere yükseldiği zaman meydana gelen çekme kuvveti yayın ters yönde palete uyguladığı kuvveti yenerek paleti çeker ve palete mekanik olarak bağlı olan kontaklar açılır veya kapanır. Bu düzen pek çok yerde hala kullanılmaktadır. Kullanılma sebebi, imalatının kolay olması, hızlı oluşu, sarfiyatının az olmasıdır. Ayrıca bu rölelerde geri dönüş oranı diğer elektromekanik röle tiplerine nazaran daha büyüktür. Rölenin çalışmasını sağlayacak minimum akıma çalışma akımı denir. Bobininden akım geçmesi sonucu çalışarak kontağı konum değiştirmiş olan bir rölenin bobininden geçen akım sürekli olarak azaltıldığı takdirde rölenin kontağını bıraktığı anda bobinden geçen akıma geri dönüş akımı denir. Bu akım çalıştırma akımından küçüktür.

Özellikle darbeli akım çekilen yerlerde rölenin geri dönüş akımının çalışma akımına yakın olması yani ikisi arasındaki farkın az olması istenir. Çalışma ve dönüş akımlarının eşit olması hali ideal haldir. Fiderden herhangi bir şekilde darbeli bir akım çekildiği zaman bu akımın genliği aşırı akım rölesini çalıştıracak kadar yüksek olabilir. Darbe akımı kısa süre sonra çalıştırma akımının %90'ına kadar düşse, eğer rölenin geri dönüş akımının %80'i ise röle kontağı çekili kalacak ve arıza olmadığı halde röle kontağının kapalı kalması sonucu o kısmın kesicisinin gereksiz yere açmasına sebep olarak istenmediği halde o bölgenin enerjisiz kalmasına neden olacaktır. Mevcut elektrik güç sistemlerinde bu tip arızalarla çok sık karşılaşılmaktadır.

Magnetik elemanın hareketli armatürünün çekme kuvveti (2.1) formülü ile ifade edilebilir (Eaton et. al., 1983).

$$F = \frac{2\pi(NI)^2}{A \left(R_0 + \frac{X}{A} \right)^2} \quad (2.1)$$

F = Çekme kuvveti [N]

N = Bobinin sarım sayısı

I = Bobinden geçen akım[A]

A = Kutup yüzeyi [m^2]

R_0 = Demir nüvenin relüktansı [A/Wb]

X = Kutup merkezindeki hava aralığı [m]

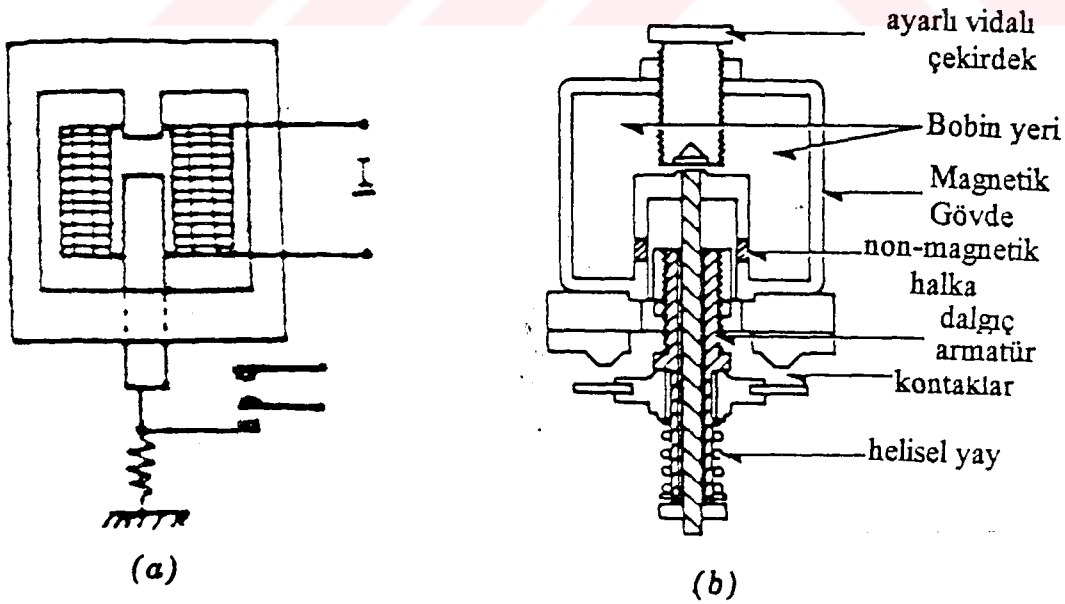
Rölenin kontağı çekmemiş iken, açık konumlu R_0 , (X/A) 'ya göre çok küçük olduğu için R_0 'ı ihmal edersek (2.1) bağıntısı (2.2) bağıntısına haline gelir.

$$F = \frac{2\pi(NI)^2 \cdot A}{X^2}$$

(2.2)

2.1.1.1 Dalgıç armatürlü röle

Şekil 2.2(b)'de görüldüğü gibi dalgıç armatürlü rölenin yapısı, bir dış magnetik yapı, silindirik bobin ve bir merkez dalgıç armatürden ibarettir.



Şekil 2.2 Dalgıç armatürlü röle şekilleri

a) Basit olarak yapısı

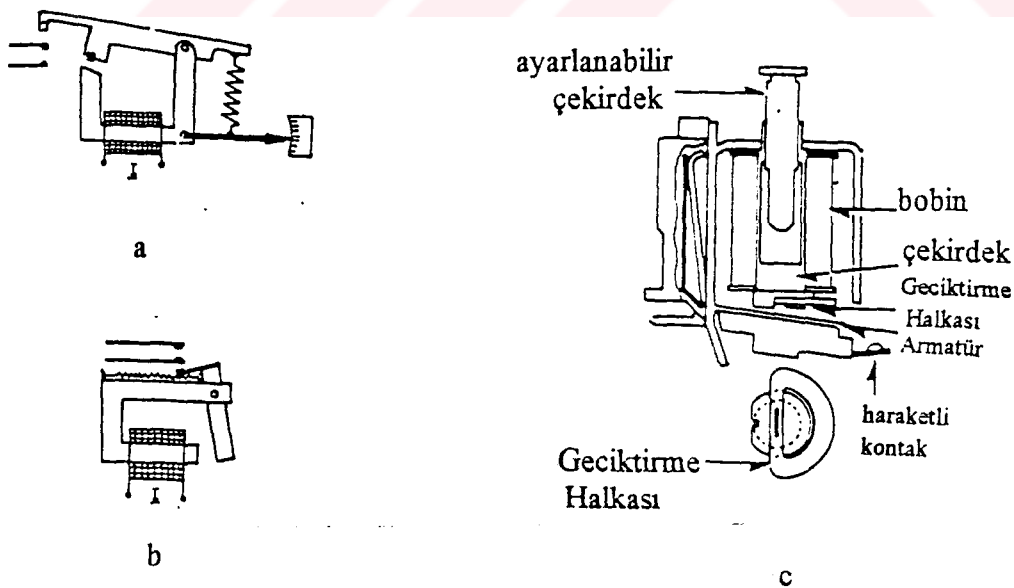
b) Dalgıç armatürlü röle kesiti (Westinghouse)

Bobine uygulanan gerilim veya akım rölenin kontaklarını harekete geçirecek çalışma değerinden daha büyük olduğu zaman, dalgıç armatür kontak takımını harekete geçirmek için yukarı doğru hareket eder. Dalgıç armatürü harekete geçirmek için gerekli olan kuvvet bobinden geçen akımın karesi ile orantılıdır.

Dalgıç armatürlü röleler 5-50 ms olan çalışmaya geçiş zamanlarıyla ani röleler olarak kabul edilir. Şekil 2.2(b)'de gösterilen dalgıç armatürlü röle, enerjilendikten sonra röleyi enerjisiz hale getirerek kontağı bırakmak için gerekli olan geri dönüş akımı oldukça yüksek olan yani çalışma ve geri dönüş akımları birbirine çok yakın olan bir ani aşırı akım rölesi olarak kullanılır.

2.1.1.2 Mentеше armatürlü (clapper) röle

Menteşe armatürlü röle, U-şeklindeki bir magnetik gövde ve bu gövdenin açık uçları arasında hareketli bir armatür bulunan bir yapıya sahiptir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi armatür bir uçtan menteşelenmiştir ve diğer uçtan da bir yay ile engellenmiştir. Bobin enerjilendiği zaman, armatür bobin akımının karesiyle orantılı bir momentle hareket ederek açılan veya kapanan bir kontak takımının sabit kontağına temas eder. Bu rölelerin kontağının konum değiştirmesi için gerekli olan çalışma akımının değeri ile rölenin kontağını bırakması için gerekli geri dönüş akımı arasındaki fark, dalgıç armatürlü rölelere göre daha fazladır.



Şekil 2.3 Mentеше armatürlü röle şekilleri

a.b) Basit olarak yapı

c) Mentеше armatürlü röle kesiti (Westinghouse)

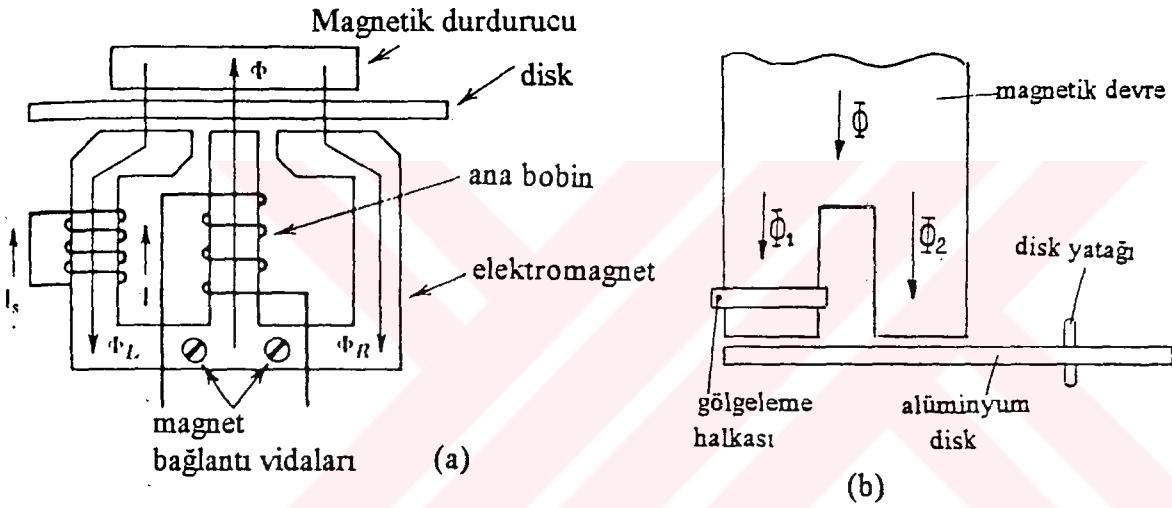
Bu tip röleler genel olarak yardımcı röle olarak kullanılır. Şekil 2.3(c)'deki röle ani aşırı akım veya ani açma ünitelerinde kullanılır.

2.1.2 Magnetik İndüksiyon Röleleri

Bu röleler indüksiyon diski ve indüksiyon silindiri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Ayrıca silindir tipin bir özel şekli D'Arsonval tipidir.

2.1.2.1 İndüksiyon diskli röle

İndüksiyon disk ünitesi, bir elektro magnetik kutup yüzeyleri arasında dönen bakır veya alüminyumdan yapılmış bir metalik diskten meydana gelmiştir. (Şekil 2.4(a))



Şekil 2.4 Disk tipi indüksiyon rölesi

a) Çift bobinli (westinghouse) indüksiyon diski b) Gölgeleme halkalı indüksiyon diski

Bu röleler, döner disk düzleminde indüklenen akımlar ile bir elektromıknatıs tarafından üretilen akıların birbirini etkilemesinden ortaya çıkan moment ile çalışır. Şekil 2.4(a)'da görülen indüksiyon ünitesinde diskin bir tarafında üç kutup ve bunun karşı tarafında ortak bir magnetik tutucu vardır. Ana bobin magnetik devrenin merkez bacağındadır. Ana bobindeki akımı hava aralığından diske ve diskten de magnetik tutucuya geçer, ϕ akısını oluşturur. ϕ akısı sol bacadan geçen ϕ_L ve sağ bacadan geçen ϕ_R olmak üzere ikiye bölünür. Sol bacadaki kısa devre edilmiş geciktirici bobin ϕ_R ve ϕ 'nin her ikisini de geciktirmek için ϕ_L 'nin farklı fazlı bir motor hareketi meydana getirmesine neden olur. ϕ_L akısı kısa devre edilmiş geciktirme bobininde aynı fazda akan I_S akımı ile V_S gerilimini indükler. ϕ_T akısı ana bobinin I akımının oluşturduğu toplam akıdır. Bu üç akı hava aralığından geçer ve diskte girdap akımları indükler. Sonuçta bu girdap akımları birbirine zıt akımlar meydana getirir ve iki akı birbirini etkileyerek diski döndüren momenti oluşturur.

Şekil 2.4(b) yardımıyla disk tipi indüksiyon rölelerini biraz inceleyelim. Bu rölelerin çalışma prensibi elektrik sayaçlarına benzer. Yapısı iki ucu yataklanmış bir mile tespit edilmiş indüksiyon diski ve elektromıknatıstan ibarettir. İndüksiyon disk rölelerinin diğer röle tiplerine göre üç büyük avantajı vardır. Bunlar:

1. Rölede sarf edilen birim VA için daha büyük moment elde edilir.
2. Tek bobinli olduğu için kalın kesitli iletken kullanılabilir.
3. Diferansiyel röle uygulamalarında aynı diske iki elektromıknatıs ve bir damping mıknatısı bağlanabilir.

Rölelerin imalat ve tasarımında küçük sarfiyat ile büyük kontak basıncı istenmektedir. Kontak basıncının artması arki, dolayısıyla kontak tahribatını azaltmaktadır. Diskli rölelerde bu özellik rahatlıkla elde edilebilmektedir. Kalın kesitli bobin kullanmakta amaç kuvvetli kısa devrelerde rölenin tahrip olmasını önlemektir.

İndüksiyonlu rölelerde dönme momenti faz farklı iki akının meydana getirdiği döner alanla elde edilir. Moment iki kutup çifti tarafından meydana getirilen ϕ_1 ve ϕ_2 akıları ve bunların arasındaki α elektriki faz açısına bağlı olarak $[|\phi_1| \cdot |\phi_2| \cdot \sin\alpha]$ çarpımı ile orantılıdır. Akılar arasındaki elektriki faz farkını elde etmek için genellikle kutbun yarısını halkalayan gölgeleme halkası veya yardımcı ara transformatör kullanılmaktadır. Şekil 2.4b'de gölgeleme bobini (halkası) kullanılmıştır.

Şekil 2.4(b)'de görüldüğü gibi ϕ akısı ϕ_1 ve ϕ_2 kısımlarına ayrılmıştır. ϕ_1 akısının aktığı kısımdaki tek taraflı gölgeleme halkası bir transformatörün uçları kısa devre edilmiş sekonder sargısına eşdeğerdir. Gölgeleme halkası içinden alternatif bir akı aktığı için burada e_s gerilimi indüklenir. Bu gerilim ϕ_1 akısından 90° geri fazdadır. e_s geriliminden dolayı halkada I_s akımı akar. Bu iletkenin empedansı ihmal edilmezse I_s akımı e_s geriliminden λ açısı kadar geri fazdadır. Tek sarımdan ibaret olan gölgeleme halkasının magneto motor kuvveti,

$$F_{st} = 1 \text{ sarım} \times i_s \text{ Amper'dir.}$$

Kaçak çıkarıldıktan sonra gölgeleme halkasının efektif magnetomotor kuvveti F_s elde edilir. Kutbun magnetomotor kuvveti:

$$F_1 = F_2 + F_s$$

olarak bulunur.

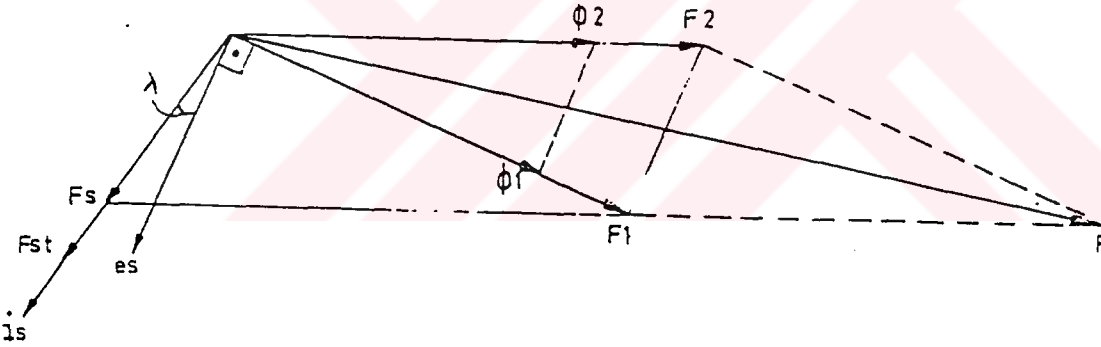
Şekil 2.5'da görüldüğü gibi F_s , F_1 'e göre zıt yönde ($F_s \sin\lambda$) bileşenini içerir. Bu bileşen az da olsa F_1 'in değerini azaltır. ϕ_1 ve ϕ_2 akıları indüksiyon diskinde 90° faz farklı e_1 ve e_2 gerilimlerini indükler (Şekil 2.6). e_1 ve e_2 gerilimleri diskte i_1 ve i_2 fuko akımlarının akmasına neden olurlar. Diski döndürecek moment akıların her birinin diğer akı tarafından diskte indüklenen akıma etkisi ile meydana gelir. Bu moment vektörel çarpım olarak;

$$T = k(\phi_1 \cdot i_2 - \phi_2 \cdot i_1) \quad (2.9)$$

şeklinde elde edilir.

(2.9) denkleminde eğer akılar aynı elektromıknatıslar tarafından meydana getiriliyorsa bu durumda moment ifadesi şöyle olur:

$$T = k \cdot N \cdot I_1 \cdot I_2 \sin\theta \cdot \cos\lambda \quad (2.10)$$



Şekil 2.5 Gölgeleme halkasının akılar üzerine etkisi.

Burada denkleminde k tasarım sabitidir. I_1 ve I_2 hava aralığındaki magnetik alanı meydana getiren bobinlerden akan akımların efektif değeridir. θ , I_1 ve I_2 arasındaki açıdır. λ , disk empedansının faz açısıdır.

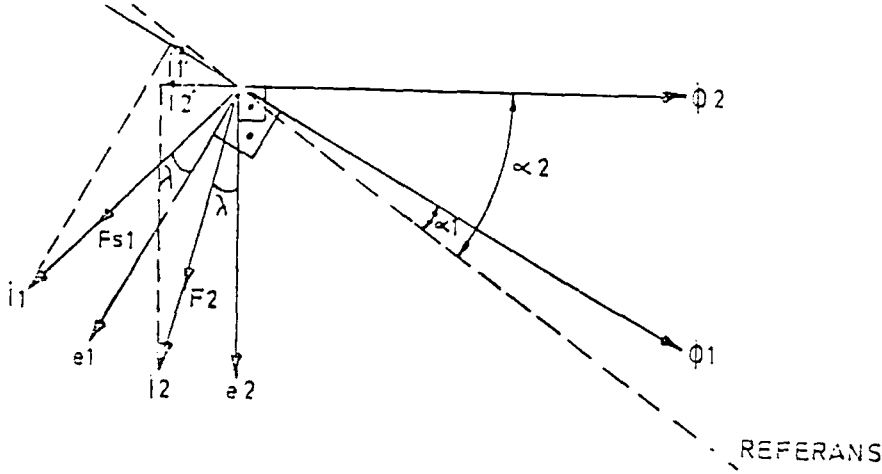
Gölgelemiş magnetik kutuplarda akılar aynı bobin tarafından meydana getirildiği için (2.10) denklemi:

$$T = k \cdot N \cdot I^2 \sin\theta \cdot \cos\lambda \quad (2.11)$$

şeklini alır. $\cos\lambda$ sabit bir değerdir ve $\cos\lambda$ 'yı da k sabitinin içine dahil edersek moment:

$$T=K_f.N.I^2.\sin\theta \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.6 Diskte meydana gelen gerilimlerin vektörel gösterilişi.

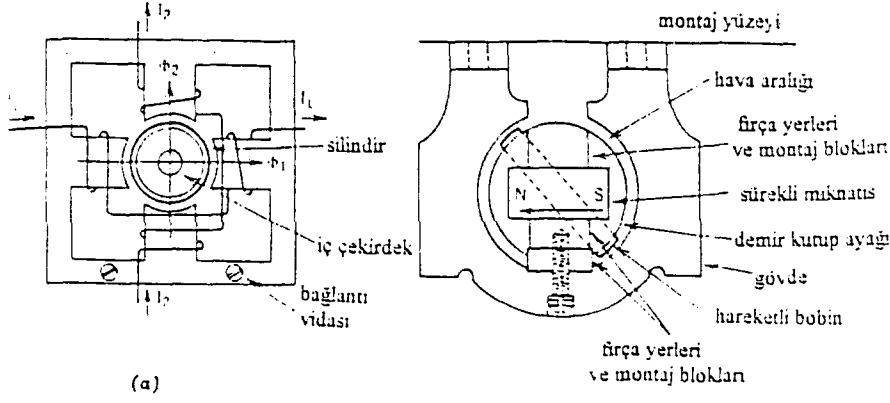
2.2.1.2 Silindir Tipi İndüksiyon Rölesi

Silindir tipi indüksiyon rölesi, bir ucu çan şeklindeki kapak ile kapatılmış, elektromagnetik kutup yüzeyleri arasındaki halka şeklindeki hava aralığında dönen bir metalik silindir ve bir merkez çekirdeğinden oluşmuştur. Bu rölenin çalışması çıkık kutuplu bir indüksiyon motorunun çalışmasına benzediği için bu röleye çan tipi indüksiyon rölesi de denir. Şekil 2.7(a)'da kare şeklinde bir elektromıknatısın merkezinde bulunan hava aralığında dönen ince bir alüminyum silindir ile çevrelenmiş bir iç çelik çekirdeği olan röleye ait temel yapı gösterilmiştir.

Kontak, bağlantılı durma noktaları ve durdurma momentini oluşturan spiral yay tarafından silindirin hareketi birkaç derece ile sınırlandırılmıştır. Çalışma momenti, iki çalışma akımının çarpımının ve aralarındaki açının kosinüsünün bir fonksiyonudur. Bu durumda moment:

$$T=k_c.I_1.I_2.\cos(\theta_{12}-\phi)-k_s \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 2.7 Silindir tipi indüksiyon rölesi.

a) Silindir (çan) tipi

b) D'Arsonval tipi

Bu ifadedeki elemanlar:

k_c = Tasarım sabiti

ϕ = Tasarım sabiti

I_1 = 1. bobinden geçen akım.

I_2 = 2. bobinden geçen akım.

k_s = Durdurucu yay momenti

Çan tipi silindirik indüksiyon ünitesinin dönen parçalarının eylemsizliği az olduğu için bu rölelerin yüksek hızla çalışan özelliği vardır. Bu yüzden bu röleler ani çalışma gerektiren fonksiyonların elde edilmesi için kullanılabilir. Kutup sayısının fazla olması birden fazla elektriksel büyüklüğün ölçümüne imkan vermektedir.

Şekil 2.7(b)'de magnetik bir yapıya ve iki kutuplu silindirik çekirdek şeklindeki bir sürekli iç mıknatısa sahip olan D'Arsonval tipi röle gösterilmiştir. Hava aralığındaki hareketli bir bobin halkası dönme momentini oluşturmak için hava aralığındaki akıya reaksiyon gösteren doğru akımla enerjilendirilmiştir (Kaya,1971).

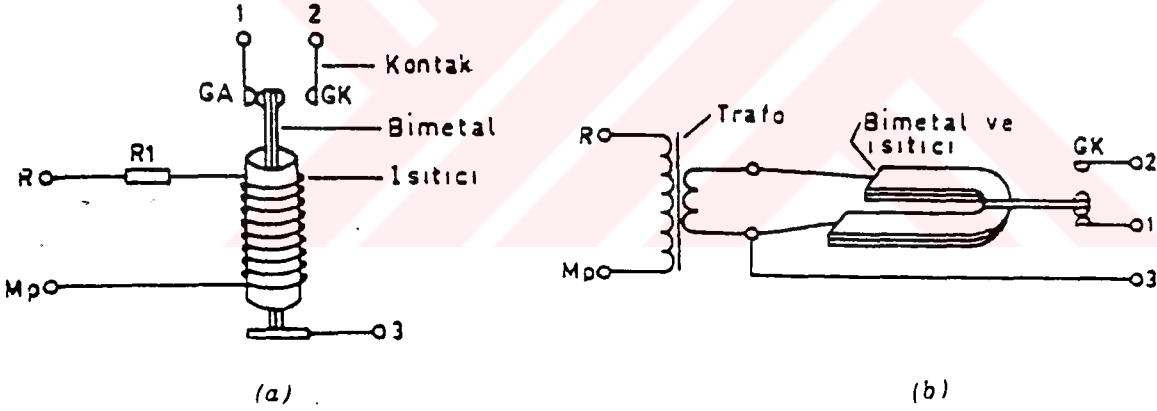
2.1.3 Diferansiyel Röleler

İki akımı genlik ve faz durumlarına göre karşılaştıran ve aralarında fark olması halinde açma

kumandası veren koruma rölesi olup en yaygın şekilde generatör, transformatör, bara ve kısa kabloların arızalara karşı korunmasında kullanılır. Diferansiyel korumada, korunacak işletme elemanının giriş ve çıkış uçlarındaki akımların normal işletme halinde ve bu elemanın dışında çıkan hatalarda aynı değere sahip olup olmaması temelinden harekete geçer. Bu amaçla, işletme elemanlarının her iki ucundaki akım, akım transformatörleri üzerinden diferansiyel röleye uygulanarak fark kontrol edilir. Korunan elemanda oluşan bir arızada akımlardan ayarında tutulan bu fark akımı sınırında röle güç anahtarına açma kumandası verir.

2.1.4 Termik Aşırı Akım Rölesi

Termik aşırı akım röleleri makineleri, transformatörleri, kabloları ve benzer cihazları aşırı akımın veya kısa devre akımının tesiri ile meydana gelen ısınmalara karşı korumak için kullanılır. Açma zamanları aşırı akımın değerine göre değişir. Akım arttıkça açma zamanı kısalmır. Termik rölenin en önemli tipi bimetal röledir. Bu röle farklı uzama katsayıları farklı iki metalin ısınması esasında az uzayan metalden yana kıvrılması olayından faydalanılarak yapılmıştır. Hat akımı, ya direkt olarak ya da bir akım transformatörü üzerinden alınarak metal



Şekil 2.8 Termik rölenin temel yapısı

- a) Endirekt ısıtmalı termik röle
- b) Direkt ısıtmalı termik röle

çiftin etrafına sarılmış direnç telinden geçirilir ve bu tel içinden geçen akıma bağlı olarak metal çifti ısıtır. Isınmanın fazla olması metal çiftin bir kontakını kapatmasına (veya açmasına) sebep olur. Akımın kesilmesi ile kontakın eski konumunu alması gerekir., ancak soğuma çabuk olmayacağı için röle kontakı akım kesildikten sonra bir süre daha kapalı (veya açık) kalır. Ayrıca bir tertip ile kontakın normal normal ısıya gelinceye kadar açılmaması temin edilir. Şekil 2.8'de termik rölenin temel yapısı gösterilmiştir (Bayram, 1984).

2.2 Yarı-İletken (Statik) Röleler

Mevcut bulunan koruma sistemi ve bu sistemdeki elemanların ihtiyacı karşılama yeterli olmaması, teknolojik araştırma ve gelişimleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu gün mevcut koruma sistemlerindeki koruma rölesi ihtiyacının %75'inden fazlası kullanımda sorun yaratmayan elektromagnetik röleler tarafından karşılanmaktadır (Blackburn,1987). Koruma devrelerinin güvenilirliği ve çalışma hızı kullanılan indüksiyon diski, hareketli bobin veya hareketli armatür (menteşe armatür) elemanlarının karakteristiklerine bağlıdır. Ancak aşağıda belirtilen özellikler statik rölelerin gelişimini ve bu rölelere duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu özellikler:

- a) Statik rölelerin performans ve karakteristikleri elektromagnetik rölelerden daha iyidir. Statik rölelerin önemli uygulama alanlarından birisi olan statik mesafe rölelerinde daha yüksek doğruluk ve duyarlılıkla birlikte çalışma hızı da yüksektir.
- b) İmalatta standartlaşmayı sağlamak daha kolaydır.
- c) İmalatı daha kolaydır ve bakım süresi daha kısadır.

2.2.1 Yarı iletken rölelerin üstünlükleri

Statik röleler elektromagnetik rölelere göre aşağıdaki üstünlüklere sahiptir:

1. Statik rölenin çalışması için gerekli olan güç bir yardımcı kaynaktan sağlandığı için bu röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.
2. Çalışma hızları yüksektir ve uzun ömürlüdürler.
3. Bu rölelerde hareketli parçalar olmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur. Hızlı açma-kapama yapan kontaklardan dolayı meydana gelen parazit yoktur, darbe ve titreşime karşı mukavemeti yüksektir.
4. Hareketli parçaları olmadığı için elektromagnetik rölelerdeki gibi hareketli parçaların sürtünmesi ve teması sebebiyle aşınma olmaz ve bu nedenle daha az bakıma ihtiyaçları vardır, bakımları kolaydır.
5. Rölenin geri dönüş (reset) süresi çok kısadır.

6. Rölenin ölçme kısmına gelen korunacak olan akım veya gerilim değerleri çok küçük olsa bile amplifikatör devreleri yardımıyla bunlar kolaylıkla kuvvetlendirilebilir, bu nedenle daha yüksek duyarlılık elde edilebilir.

7. Temel karakteristiklere sahip birçok devre birleştirilerek istenen ideal karakteristiğe çok yakın bir karakteristik elde etmek mümkündür.

8. Yarı iletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının çok düşük olması sebebiyle röle boyutları çok küçültülebilir.

Tablo 2.1'de VA olarak elektromekanik ve statik rölelerin yüklenmelerine ilişkin bazı karşılaştırmalar verilmiştir. Tabloda rölelerin akım devresinden çektikleri güce ilişkin değerler rölenin ayarına ve kullanılan akım transformatörünün sekonder akımının 1 A ve 5 A olmasına göre değişir.

Yarı iletken elemanlı statik rölelerin çalışma şartları aşağıda belirtilen faktörlerle sınırlandırılmış olmasına rağmen bazı yöntemlerle bu sınırları genişletmek mümkündür.

a) Sıcaklık duyarlılığı : Bu sınırlamayı kaldırmak için termistörlü sıcaklık kompensatör devreleri geliştirilmiştir.

b) Keskin gerilim darbelerine duyarlılık : Filtre kullanılarak veya ekranlama yapılarak giderilebilir.

c) Aşırı yüklenme yüzünden rölenin zarar görmesi : Bu sorun, aşırı yüklenmeye karşı gerekli tedbirlerin alındığı iyi bir devre tasarımı ile azaltılabilir.

Tablo 2.1 Elektromekanik ve statik rölelerin harcadıkları güç bakımından karşılaştırılması

Röle veya Koruma	Elektromekanik Röleler		Statik Röleler	
	Akım Devresi	Gerilim Devresi	Akım Devresi	Gerilim Devresi
3 kademeli MHO Mesafe Rölesi	0.4-8.5 VA	20 VA	0.04-8.7 VA	8.7-11.2 VA
Faz ve Toprak Arızalarına Duyarlı Kontaklı Mesafe Rölesi	0.4-8.5 VA	20 VA	2.0-3.0 VA	8-9 VA
Ani Aşırı Akım Rölesi	0.7-10 VA	-	100 mVA	-
Düşük Gerilim Rölesi	-	2.0 VA	-	0.2 VA

Statik röleler tek, çift veya çok girişli olarak yapılabilir. Röle devreleri ölçümleri tek tek yaparak daha sonra ilave edilecek kontaklı devrelerle uyumlu çalışacak şekilde tasarlanır.

Elektromagnetik rölelere göre statik röleler zamanlama ve sayma gereksinimlerini çok daha iyi karşılamaktadırlar. Cam tüp içerisindeki dilli rölelerin (reed röel) çalışma hızı çok yüksektir. (1-2 msn) Bu rölelerin geliştirilerek statik rölelerde kullanılması sonucu statik rölelerin kullanım alanları genişlemiştir.

2.2.2 Statik rölelerin sınıflandırılması

Transistör, tristör ve diyot gibi yarı iletken-elemanlardan yapılan röleye statik röle denir. Bu tip rölelerde karşılaştırma ve ölçme fonksiyonları hareketli parçalar içermeyen statik devreler tarafından gerçekleştirilir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) kararına göre statik röleler üç kısma ayrılmıştır.

a) Statik röle : Ölçme kısmına gelen ve rölenin ayar değerini aşan akım veya gerilim değerine mekanik bir hareket olmaksızın, elektronik, magnetik veya diğer elemanlar yardımıyla cevap veren röledir.

b) Çıkış kontaklı statik röle : Çıkış devresinde bir yada daha fazla kontak olan röledir. Daha önceleri bu rölelere yarı statik röle denilmiştir.

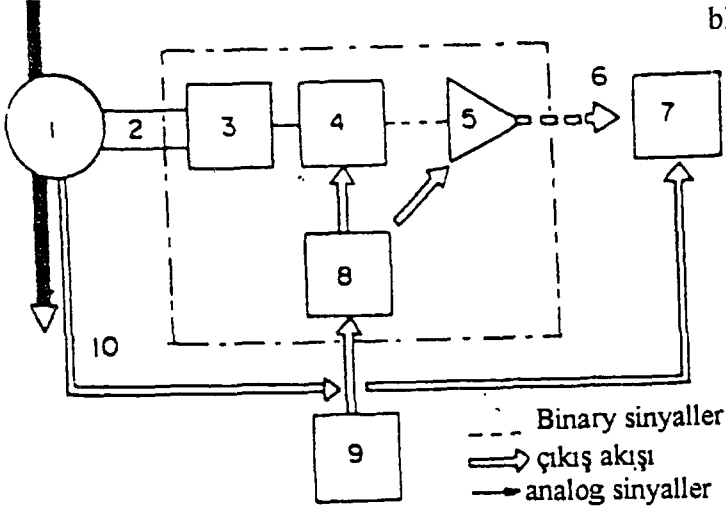
c) Çıkış kontaklı statik röle : Çıkış devresinde kontaklı olmayan röledir. Önceden bu röleye de tam statik röle denilmiştir.

2.2.3 Statik rölelerin temel yapısı

Koruma röleleri koruma fonksiyonlu analog-ikili sistem (binary) dönüştürücüleridir. Akım, gerilim, frekans ve faz açısı gibi değişkenler ile diferansiyel, integral veya diğer matematiksel işlemlerle türetilen değerler ölçüm ünitesinin girişine analog sinyaller olarak gelir. Daima çıkış bir binary sinyaldir. Röle kesiciyi açtırmayacak ise çıkış sinyali açık (OFF) sinyaldir. Eğer röle kesiciyi açtıracaksa çıkış sinyali kapalı (ON) sinyal olur. Bu çıkış sinyalleri bir sonraki kontrol elemanı tarafından değerlendirilir. Bir koruma rölesi Şekil 2.9'da gösterilen temel blok diyagrama göre buradaki elemanların sırayla birleştirilmesinden meydana gelir. Bir akım veya gerilim ölçü transformatörü olan ölçme elemanından alınan ve sürekli değişken formda olan koruma rölesindeki dönüştürücü (konverter) üniteyi besler. Ölçme devresinden (1) alınan sinyaller dönüştürücüde (3) işlenecek hale getirilir ve şekildeki gibi ölçme elemanı tarafından değerlendirilir. Ölçme elemanı girişindeki sinyaller rölenin çalışması için gerekli olan eşik değeri aştığı zaman ölçme elemanı çıkışında kapalı bir sinyal elde edilir. Çıkış elemanı (5) ölçme elemanından alınan zayıf binary sinyali kuvvetlendirerek bir yada daha çok kontrol elemanına (7) iletir. Kontrol elemanı (7) bir besleme elemanı (8) tarafından ölçme veya çıkış elemanına verilen güç yardımıyla bir kesiciyi açtıracak şekilde bir anahtarlama fonksiyonu oluşturur. Kesiciyi açtıracak olan anahtarlama fonksiyonu oluşturur. Kesiciyi açtıracak olan anahtarlama fonksiyonu için gerekli olan güç ya bir yardımcı gerilim kaynağından (8) ya da direkt olarak ölçme devresinin (1) kendisinden temin eder.

Şekil 2.9 Koruma rölelerinin temel

blok diyagramı

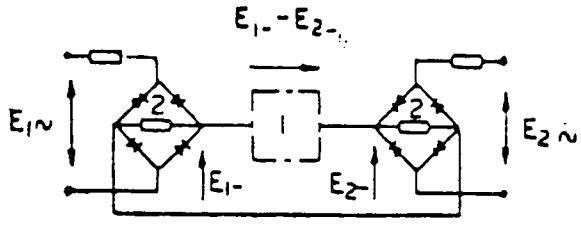


1. Ölçme devresi
2. Ölçme sinyalleri
3. Dönüştürme elemanı
4. Ölçme elemanı
5. Çıkış elemanı
6. Çıkış sinyali
7. Kontrol elemanı
8. Besleme elemanı
9. Yardımcı gerilim kaynağı
10. Ölçme devresi kaynağı

2.2.3.1 Dönüştürme elemanı (konverter)

Bu eleman çıkışında istenen genlikte sinyaller elde etmek amacıyla eleman içine uygunlaştırıcı transformatörler yerleştirilir. Akım veya gerilimle çalışmak üzere yapılan bir koruma rölesi bu elektriksel büyüklüklerden birisi ile beslenir. Uygunlaştırıcı transformatör çıkışından alınan alternatif akım veya gerilim bir köprü diyot yardımıyla doğrultularak dalgalı doğru akım veya gerilime dönüştürülür. Sabit ve değişken değerli dirençler, kırpma diyotları vs. gibi elemanları olan devrelerin ayarı sırasında rölenin çalışma hızı çok önemli değilse, ölçülen büyüklük bir harmonik filtresinden geçirilir. Bazı rölelerde dalgalanmaları süzmek için düzgülleştirici filtreler kullanılır fakat yüksek hızlı rölelerde bu filtreler kullanılmaz.

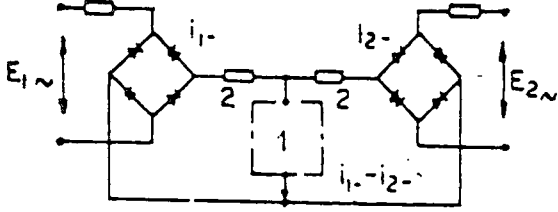
İki elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı, röle girişlerindeki iki elektriksel büyüklükle beslenir. Her durumda akım veya gerilime dönüştürülen iki sinyal arasında genlik veya faz karşılaştırılması ya da bunların her ikisi yapılabilir. Darbe karşılaştırması yapılması durumunda değişkenlerden biri sıfırdan geçtiği zaman bir iğne darbeye dönüşür ve diğer değişken dikdörtgensel blok haline dönüştürülerek iğne darbesiyle blok çıktığı zaman karşılaştırıcı devre çıkışında kapalı bir sinyal oluşur. Bu işlem son derece kısa bir cevap süresi oluşturur.



Gerilim karşılaştırıcı

1. Ölçme elemanı

2. Geri besleme dirençleri



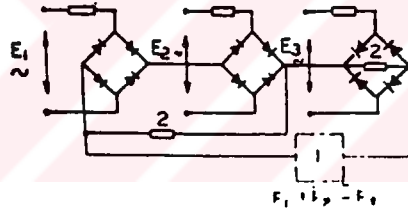
Akım karşılaştırıcı

1. Ölçme elemanı

2. Dirençler

Şekil 2.10 İki girişli temel gerilim ve akım karşılaştırıcı.

Üç veya daha fazla elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı bu giriş büyüklükleri ile beslenir. Şekil 2.11'de iki ölçme köprüsü arasındaki geri besleme direnci üçüncü köprü ile birleştirilmiştir.



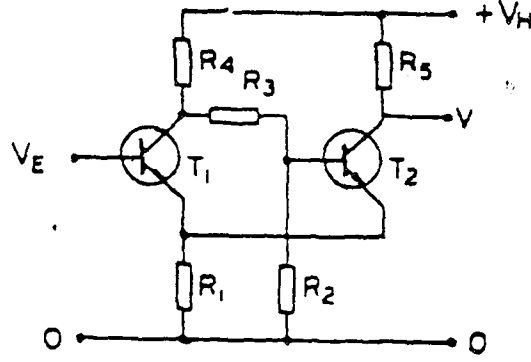
Şekil 2.11 Üç girişli temel gerilim karşılaştırıcı

1. Ölçme elemanı

2. Geri besleme direnci

2.2.3.2 Ölçme elemanı

Ölçme elemanı, ölçme fonksiyonlu bir analog-binary dönüştürücüdür. En basit statik ölçme devresi Şekil 2.12'de gösterilen bir Schmitt Trigger devresidir. Schmitt Trigger devresi son derece hızlı polarize olabilen bir röle ve bir seviye dedektörü gibi çalışır. Bu devrede transistörlerin emiterleri şaseye bağlı olduğu için (ortak emiter montajı) devrenin giriş direnci ve akım kazancı çok yüksektir. Giriş gerilimi belirli bir değeri aştığı zaman seviye dedektörü çıkış verir.



Şekil 2.12 Analog-Binary sinyal dönüştürücü (Schmitt Trigger)

2.2.3.3 Çıkış elemanı

Çıkış elemanı, ölçme elemanından gelen çıkış sinyalini kuvvetlendirir, gerekirse katlarını alır, bu sinyali diğer belirli sinyallerle birleştirebilir ve gerekirse bir zaman gecikmesi oluşturur. Çıkış elemanı sadece binary sinyalleri işlemek zorunda olduğu için bu devrenin çok hassas olması gerekli değildir. Çıkış devresinde yardımcı röleler ve kontaktörler bulunabilir. Bu durum kontrol edilen devreyle kontrol eden devrelerin birbirinden bağımsız ve farklı değerlerdeki gerilimlerle çalışmasını sağlar. Çıkış devresi iki kararlı (bistable), tek kararlı (monostable) devrelerden oluşabilir gerekirse çıkış sinyali VE, VE DEĞİL lojik kapıları ve zamanlama elemanlarıyla modüle edilebilir. Çıkış elemanında kesicilerin açma bobinlerine kumanda edilmesi gibi büyük güçlerin söz konusu olduğu yerlerde tristörler kullanılır.

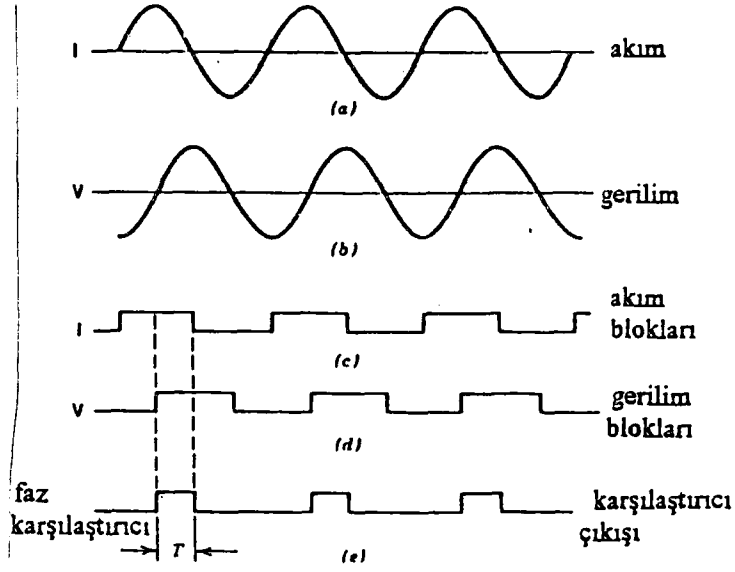
2.2.3.4 Besleme elemanı

Bu elemanın görevi devrelerin çalışması için gerekli besleme gücünü temin etmektir. Besleme gücü ya tekrar şarj edilebilen Ni-Cd pillerden oluşan yardımcı kaynaktan yada akümülatör bataryalarından elde edilir. Bir çok koruma rölesinde bu güç doğrudan ölçme devresinin kendisinden temin edilir. Statik rölelerde ölçme doğruluğunun bozulmaması için statik devreleri besleyen besleme elemanı stabilize bir gerilim vermek zorundadır. Statik röleler ortaya çıkıp gelişmeye başladığı zaman ilk aşamada özellikle İngiltere’de imal edilen statik rölelerde buton piller olarak da bilinen ve tekrar şarj edilebilen Ni-Cd piller kullanılmış ancak zamanla tecrübelerle bu pillerin güvenilirliğinin az olduğu görülmüştür. Bu gün bunların yerine uygun gerilimlerde ara uçlar çıkartılmış olan sabit akümülatörler kullanılmaktadır. Bazı rölelerde besleme kaynağı doğrudan akım veya gerilim ölçü transformatörünün kendisidir. Böyle rölelerde sadece hata dedektörü tarafından bir hata tesbit edildiği zaman güç kaynağı röleye bağlanır (Madhava Rao, 1992)

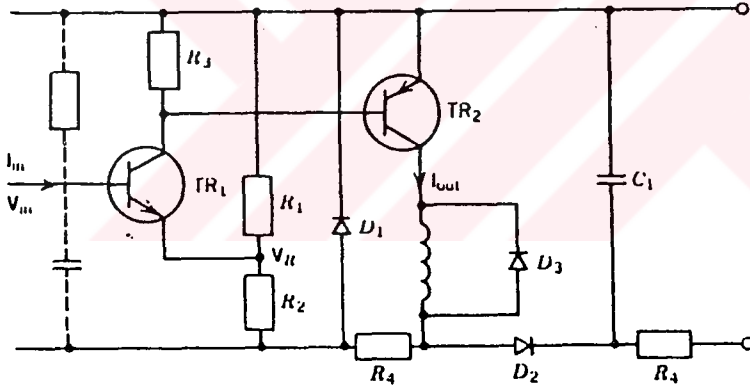
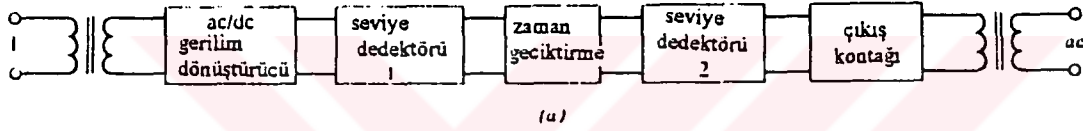
2.2.4 Statik rölelerin koruma uygulamalarında kullanılması

Daha öncede belirtildiği gibi statik rölelerin hareketli parçaları olmadığı için bu röleler çok hızlı çalışırlar ve cevap süreleri de çok kısadır. Bu gün statik röleler yapılarında bulunan çok yüksek güvenilirlikteki performansa sahip silikon planer transistörler yüzünden güvenilirliği son derece yüksek olan rölelerdir. Statik rölelerde akım ve gerilim büyüklükleri ile faz açılarını saptamak için uygun devre tasarımları yapılır. Şekil 2.13’de bir statik rölenin akım ve gerilim arasındaki faz açısını nasıl ölçtüğü gösterilmiştir. Şekil 2.13(a) ve (b)’de görülen sinüsoidal değişim gösteren akım ve gerilim dalgaları, sinüs dalgalarını kare dalgaya çeviren ve negatif yarım periyot boyunca sıfır çıkış veren kare dalga amplifikatörünün girişine uygulanır. (Şekil 2.13(c) ve (d)). Genel olarak kare dalgalara “blok” adı verilir ve bu bloklar sadece akım ve gerilim blokları çakıştığı zaman çıkış veren bir karşılaştırıcı devreye gönderilir. Karşılaştırıcının çıkışı akım ve gerilimin bir fonksiyonudur.

Statik rölelerde kullanılan lojik devreler (1) hata algulama ve bilgi işleme lojik üniteleri, (2) lojik kuvvetlendirme üniteleri ve (3) yardımcı lojik üniteler olarak sınıflandırılabilir. Birinci tip lojik devrelerde hataları tespit etmek için karşılaştırıcılar kullanılır. Ani ve ters zamanlı aşırı akımları tespit etmek için genlik karşılaştırıcıları kullanılır. Şekil 2.14(a)’da bir fazlı belirli zamanlı aşırı akım rölesinde kullanılan elemanlar gösterilmiştir. Bu devrede A.C akım orantılı olarak d.c gerilime çevrilerek sabit bir d.c gerilim seviyesi ile karşılaştırılmaktadır. Referans seviye aşıldığı zaman zamanlayıcı çalışmaya başlar. Zamanlayıcının ayarlandığı zaman gecikmesi dolduğu zaman ikinci seviye dedektörü çıkış devresini çalışır hale getirir. Giriş devresi bir akım transformatöründen oluşur ve doğrultulan sekonder akımı ile bir şönt direnç beslenir. Akım transformatörünün sekonderinden ara uçlar çıkartılması suretiyle yada sekondere yük olarak bağlanmış olan şönt direncin değeri değiştirilerek rölenin akım ayarı yapılır. Zaman geciktirme ayarı, zaman geciktirme devresindeki R,C elemanlarından R direncinin kalibre edilmiş bir potansiyometre yardımıyla değerinin değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir. Zaman geciktirme devresinin istenilen şartlarda by-pass edilmesi suretiyle ani çalışma gerçekleştirilir. Şekil 2.14(b)’de basitleştirilmiş bir seviye dedektörü gösterilmiştir. Bu dedektörün magnetik çekmeli armatürlü bir röleyi süren bir çıkış katı vardır. Giriş gerilimi ayarlanan değeri aştığı zaman her iki transistör ilettime geçer ve çıkış rölesi çalışır(Gönen,998)



Şekil 2.13 Statik röle ile faz açısının ölçülmesi.

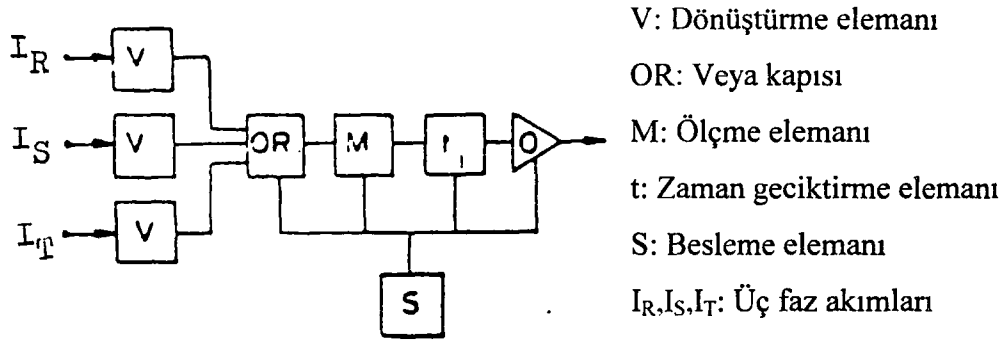


Şekil 2.14 Sabit zamanlı aşırı akım rölesi

a) Blok diyagram b) Seviye dedektörü devresi

Şekil 2.15'de bir statik aşırı akım rölesinin blok diyagramı görülmektedir. Üç fazlı sistemlerin korunmasında kullanılan statik rölelerde rölenin ekonomik olarak imal edilmesi amacıyla her faz için birer tane dönüştürme elemanı kullanılır. Bunun dışındaki devreler her üç faz içinde ortaktır.

Yarı iletken elemanlarla yapılan toprak arızalarına duyarlı mesafe rölelerinde değişken referanslı bir genlik karşılaştırıcı kullanılır. Faz karşılaştırıcı girişindeki iki elektriksel büyüklük arasındaki faz açısı çalışma değerini aşınca faz karşılaştırıcı çıkış verir. Buraya kadar anlatılan lojik devreler yüksek ve çok yüksek gerilimli enerji sistemlerini koruyan faz, mesafe ve yön rölelerinde kullanılır(Gönen,1988)



Şekil 2.15 Ters zamanlı elektronik aşırı akım rölesinin blok diyagramı

BÖLÜM 3

3. HARMONİKLERLE İLGİLİ TEMEL BAĞINTILAR

3.1 Nonsinüsoidal Dalgaların Fourier Serisi ile İfade Edilmesi

Sinüsoidal olmayan alternatif akım ve gerilimler bir temel sinüs dalgası ve buna ilaveten çeşitli frekanslardaki(harmonik) sinüs dalga bileşenleri ile ifade edilebilirler..

Bir dalganın periyodik olabilmesi için genlik ve/veya yöndeki değişiklikler düzenli zaman aralıklarında tekrar etmelidir. Ayrıca bu dalga tek değerli ve sınırlı sayıda süreksizlik noktası ile sınırlı olması haricinde sürekli olmalıdır. Böyle bir dalga aşağıdaki sinüs ve cosinüs terimli Fourier Serisi ile tekrar yazılabilir.

$$y = A_0 + (A_1 \sin\alpha + B_1 \cos\alpha) + (A_2 \sin 2\alpha + B_2 \cos 2\alpha) + \dots + (A_n \sin n\alpha + B_n \cos n\alpha) \quad (3.1)$$

Burada ;

A_0 : d.c bileşen (sabit bir terim)

A_1, A_2, \dots, A_n ve B_1, B_2, \dots, B_n : Harmonik Bileşenlerin Genlikleri (Maksimum Değerleri)

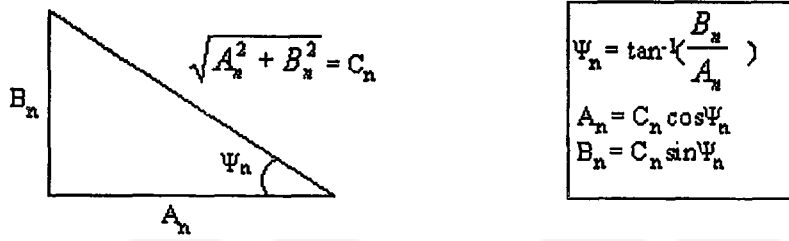
α : Bağımsız bir değişkeni ifade eden ve dalganın x ekseninde herhangi bir noktadan ölçülmüş bir açı

n : Tam sayı (Temel Bileşen için 1, 2. Harmonik için 2, 3. Harmonik için 3 değerlerini alır.)

Dalgada d.c bileşen yoksa A_0 sifıra eşit olur. Ayrıca her bir nonsinüsoidal dalganın pozitif ve negatif yarıları tamamıyla aynı ise çift harmonikler ($n = 2, 4, 6, 8 \dots$) olmayacaktır. Bundan dolayı dalga eşitliği sinüs ve cosinüs terimlerin temel bir seti ile bir veya daha fazla tek harmonikli terimler ile $[(A_3 \sin 3\alpha + B_3 \cos 3\alpha) \text{ ve } (A_5 \sin 5\alpha + B_5 \cos 5\alpha)]$ ifade edilebilecektir.

İlk olarak Fransız matematikçi Joseph Fourier tarafından ileri sürülen nonsinüsoidal bir dalga için genel ifade, kesin olarak sınırsız bir seridir, çünkü bu eşitlik bir dalgayı yalnız sınırsız sayıda terim içerdiği zaman ifade edebilir.

Her bir harmonik bileşeni için Fourier Serisi sinüs ve cosinüslü terimleri içerdiği için seri kendisi sadece sinüs terimlerinin bulunduğu bazı basitleştirmelere uyar. Bu tip bir matematiksel dönüşüm her hangi bir n. harmoniğin A_n ve B_n büyüklüklerinin, birbirleriyle 90° faz farkı bulunan sinüs ve cosinüs fonksiyonlarıyla ilişkili olması avantajından yararlanılarak yapılabilir. Bu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bir nonsinüsoidal dalgadaki harmonik bileşenin sinüs ve cosinüs terimlerinin büyüklükleri arasındaki üçgen ilişkisi

A_n ve B_n katsayıları bundan dolayı Şekil 3.1' deki gibi bir dik üçgenin köşeleri olarak ifade edilebilir. Böylece ;

$$A_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \cos \Psi_n \quad \text{ve} \quad B_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \sin \Psi_n \quad \Psi_n = \tan^{-1} \frac{B_n}{A_n} \quad (3.2)$$

Denklem 4.1'deki n. harmonik için olan A_n ve B_n yerine yukarıdaki eşitlikleri koyup düzenleme yaparsak :

$$A_n \sin n\alpha + B_n \cos n\alpha = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} (\sin\alpha \cdot \cos \Psi_n + \cos\alpha \cdot \sin \Psi_n) \quad (3.3)$$

elde edilir.

$$(\sin\alpha \cdot \cos \Psi_n + \cos\alpha \cdot \sin \Psi_n) = \sin (n\alpha + \Psi_n) \quad (3.4)$$

olduğunu gözönüne alırsak sonuçta ;

$$A_n \sin n\alpha + B_n \cos n\alpha = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \sin (n\alpha + \Psi_n) \quad (3.5)$$

olur. $\sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ köklü ifadesini C ile değiştirerek denklem (2.1) 'de yerine yazılırsa

$$y = A_0 + C_1 \sin(\alpha + \Psi_1) + C_2 \sin(2\alpha + \Psi_2) + \dots + C_n \sin(n\alpha + \Psi_n) \quad (3.6)$$

ifadesi elde edilir.

Örnek 1 :

$v = (96 \sin\alpha - 72 \cos\alpha) + (-15.4 \sin 3\alpha - 12.8 \cos 3\alpha) + (-4.5 \sin 5\alpha - 6 \cos 5\alpha)$ olarak verilen nonsinüsoidal gerilim dalgasını yalnız sinüslü terimler cinsinden ifade edelim.

Çözüm:

$$\begin{aligned} C_1 &= \sqrt{(96)^2 + (-72)^2} = 120 & \Psi_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{-72}{96} \right) = -36.9 \\ C_3 &= \sqrt{(-15.4)^2 + (12.8)^2} = 20 & \Psi_3 &= \tan^{-1} \left(\frac{12.8}{-15.4} \right) = 140.3^\circ \\ C_5 &= \sqrt{(-4.5)^2 + (-6)^2} = 7.5 & \Psi_5 &= \tan^{-1} \left(\frac{-6}{-4.5} \right) = 233.1^\circ \end{aligned}$$

Böylece v ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v = 120 \sin(\alpha - 36.9^\circ) + 20 \sin(3\alpha + 140.3^\circ) + 7.5 \sin(5\alpha + 233.1^\circ)$$

3.2 Analitik Metotla Fourier Katsayılarının Bulunması

Denklem 3.1 'deki terimlerin katsayıları analitik, grafik yada ölçme yöntemleriyle bulunabilir.

Analitik yöntem kullanıldığında, söz konusu terimler

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) dt$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin nt dt \quad (3.7)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos nt dt$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir.

Periyodik fonksiyonun Fourier bileşenleri, fonksiyonun dalga şekline bağlıdır; böylelikle dalga analizi sonunda bazı bileşenler bulunabileceği gibi bazıları da bulunmayabilir.

Verilen fonksiyon çift fonksiyon ($f(t) = f(-t)$) ise bu halde eğride düşey eksene göre simetri vardır. Böyle fonksiyonlarda $A_n = 0$ ($n=0$) olur sadece kosinüslü terimler bulunur. Fourier bileşenleri şöyle ifade edilir:

$$f(t) = A_0 + B_1 \cos t + B_2 \cos 2t + \dots + B_n \cos nt \quad (3.8)$$

Göz önüne alınan fonksiyonda $f(-t) = -f(t)$ ise tek fonksiyondur. Buna tek simetrik fonksiyon denir. Fourier serisinde $B_n = 0$ olur ve seri sadece sinüslü terimlerden meydana gelir. Fonksiyon aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin t + A_2 \sin 2t + \dots + A_n \sin nt \quad (3.9)$$

Eğer fonksiyonda $f(t) = -f(t+p)$ eşitliği varsa, yani yarım periyot sağa veya sola p kadar kaydırıldığında t eksenine göre simetrikse, açılımda A_n ve B_n ' nin sadece tek sayılı terimleri bulunur. Böylece açılım

$$f(t) = A_1 \sin t + A_3 \sin 3t + \dots + B_1 \cos t + B_3 \cos 3t + \dots \quad (3.10)$$

şeklini alır.

3.3 Grafik Metot ile Fourier Katsayılarının Bulunması

Genellikle cihazların osilografik kayıtları çoğu zaman alınır. Böylece cihazlara ait akım ve gerilim şekilleri üzerinde yorum yapmak mümkün olur. Ayrıca devrelerin ve makinelerin nonsinüsoidal dalgaların bulunduğu koşullarda çalıştığının pratik analizleri de yapılır. 4.1. denklemindeki $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ gibi katsayıların belirlenmesini içeren bir dalga analizini yapmak gerekir.

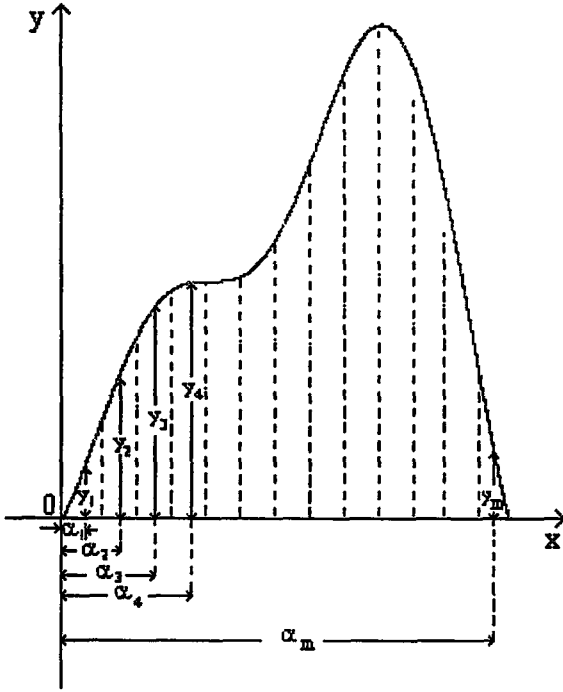
Fourier denklemindeki katsayıların belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir metot dalgayı eşit aralıklı dikey parçalara bölmek ve her birinin ortalama ordinatlarını ölçmektir. Daha sonra ölçülmüş değerlerle ilgili sinüs ve cosinüs fonksiyonlarının toplamını içeren iki denklemi kullanmaktır. Grafikselleştirilmiş sonucun iyi derecede doğruluğa sahip olması için çok fazla sayıda ordinat tahmin edilmeli ve bu tahminler büyük bir dikkatle yapılmalıdır. Ayrıca basit dahi olsa uzun hesaplamaları kolaylaştırmak için, temel bileşen ve harmonik bileşenler için değerleri düzenli bir şekilde tablo haline getirmek gerekir. Bunlar ileride bir örnekle açıklanacaktır. Nonsinüsoidal dalga simetrikse yani aynı pozitif ve negatif yarı dalgalara sahipse sadece bir yarı dalga değişimini analiz etmek ve temel bileşenler ile tek harmonikler için hesaplamalar yapmak gerekecektir.

Şekil 3.1'de x eksenini boyunca elektriksel derece olarak $180/m$ aralıklarla m adet dikey parçaya bölünmüş bir simetrik nonsinüsoidal dalganın pozitif yarı dalgasını göstermektedir. Birbirini takip eden bölümlerin ortalama ordinatları orjinden sırasıyla $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ açılarında $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ değerlerine sahiptir. Temel bileşen için Fourier eşitlikler; aşağıdaki denklemleri kullanarak belirlenebilir.

$$A_1 = \frac{2}{m} (y_1 \sin \alpha_1 + y_2 \sin \alpha_2 + \dots + y_m \sin \alpha_m)$$

(3.11)

$$B_1 = \frac{2}{m} (y_1 \cos \alpha_1 + y_2 \cos \alpha_2 + \dots + y_m \cos \alpha_m)$$



Şekil 3.2 Grafik Metotla Fourier Analizinin Yapılması

Bu denklemleri

$$A_1 = \frac{2}{m} \sum (y \sin \alpha) \quad (3.12)$$

$$B_1 = \frac{2}{m} \sum (y \cos \alpha) \quad (3.13)$$

olarak daha basit bir şekilde ifade edebiliriz. Aynı şekilde 3.harmonik için

$$A_3 = \frac{2}{m} \sum (y \sin 3\alpha) \quad (3.14)$$

$$B_3 = \frac{2}{m} \sum (y \cos 3\alpha) \quad (3.15)$$

n. harmonik için :

$$A_n = \frac{2}{m} \sum (y \sin n\alpha) \quad (3.16)$$

$$B_n = \frac{2}{m} \sum (y \cos n\alpha) \quad (3.17)$$

şeklinde yazılabilir.

İstenilen doğruluk derecesine göre bölünme sayısı belirlenip düzgün bir şekilde bölme işlemi yapıldıktan sonra herhangi bir harmonik için sinüs veya cosinüs terimlerinin katsayılarının belirlenmesi için aşağıda gösterilen yol izlenir:

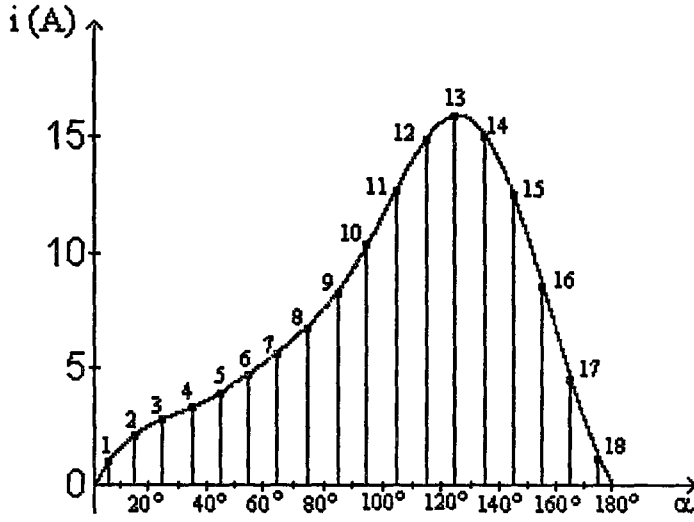
1. Orjinden dikey olarak bölünmüş kısımların orta noktalarına kadar ölçülen açıları birinci kolona yazılır.
2. Sinüs ve cosinüs işlemleri yardımıyla $\sin n\alpha$ ve $\cos n\alpha$ nun değerleri her bir açı için bulunur. Burada işaretlerin doğru olup olmadığına dikkat edilmelidir.
3. Bölünen parçaların orta noktalarına karşılık gelen y değerlerini ölçüp açılardan yanına yazılır.
4. Sinüs terimlerinin katsayısı olan A_n 'i bulmak için $y \sin n\alpha$ çarpımını yazmak için bir kolon daha yapılır.
5. Aynı şekilde B_n 'i bulmak için $y \cdot \cos n\alpha$ çarpımlarını bulunur ve bir kolon daha yapılır.
6. Bulunan $y \cdot \sin n\alpha$ ve $y \cdot \cos n\alpha$ çarpımlarını cebirsel olarak toplanır.
7. Verilen eşitlikler kullanılarak gerekli değerler bulunur.

Bunu daha iyi açıklayabilmek için bir örnek verelim.

Örnek 2:

Tipik bir simetrik nonsinüsoidal akım olan transformatör uyarma akımının pozitif yarı dalgası Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Bu dalgayı grafik metot ile analiz edelim.

Çözüm:



Şekil 3.3 Analizi yapılan dalga

TABLO 3.1 $f(\alpha)$ DEĞERLERİ

α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	1.3	2.4	3.1	3.7	4.4	5.2	6.1	7.3	9.3	11.5	13.6	15	15.5	14.4	11.7	6.6	2.8	0.5

Böyle bir dalga çok güçlü bir temel bileşen üzerine eklenmiş oldukça bir baskın üçüncü harmonik ve zayıf bir beşinci harmoniğe sahiptir. 5. harmonikten sonraki harmonikler fazla etkili değildir ve bu analizde göz önüne alınmayacaktır.

Yukarıda verilen işlem sırasını izleyerek fourier katsayıları için tablo ve hesaplamalar yapılır. Daha sonra dalganın eşitliği sinüs ve cosinüslü terimlerden oluşan bir fonksiyon olarak ifade edilir. Daha önceki bilgilerimizden bu dalganın çift harmonik içermediğini, yani sadece sinüs terimlerinin bulunacağını kolaylıkla söyleyebiliriz.

TABLO 3.2 Temel bileşen için yapılan hesaplamalar

α (Derece)	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	Y	$y(\sin\alpha)$	$y(\cos\alpha)$
10	0.1736	0.9848	1.3	0.226	1.280
20	0.3420	0.9397	2.4	0.821	2.555
30	0.5000	0.8660	3.1	1.550	2.680
40	0.6428	0.7660	3.7	2.380	2.840
50	0.7660	0.6428	4.4	3.370	2.830
60	0.8660	0.5000	5.2	4.510	2.600
70	0.9397	0.3420	6.1	5.720	2.090
80	0.9848	0.1736	7.3	7.190	1.268
90	1.0000	0.0000	9.3	9.300	0.000
100	0.9848	-0.1736	11.5	11.310	-1.995
110	0.9307	-0.3420	13.6	12.760	-4.650
120	0.8660	-0.5000	15.0	15.000	-7.500
130	0.7660	-0.6428	15.5	11.880	-9.960
140	0.6428	-0.7660	14.4	9.250	-11.030
150	0.5000	-0.8660	11.7	5.850	-10.130
160	0.3420	-0.9397	6.6	2.260	-6.200
170	0.1736	-0.9848	2.8	0.485	-2.755
180	0.0000	-1.0000	0.5	0.000	-0.500
TOPLAM				103.862	-36.877

$$A_1 = \frac{2}{18} * 103.862 = 11.54$$

$$B_1 = \frac{2}{18} * (-36.877) = -4.10$$

TABLO 3.3 3. Harmonik için yapılan hesaplamalar

α (Derece)	3α	$\sin 3\alpha$	$\cos 3\alpha$	y	$y(\sin 3\alpha)$	$y(\cos 3\alpha)$
10	30	0.500	0.866	1.3	0.65	1.13
20	60	0.866	0.500	2.4	2.08	1.20
30	90	1.000	0.000	3.1	3.10	0.00
40	120	0.866	-0.500	3.7	3.20	-1.85
50	150	0.500	-0.866	4.4	2.20	-3.81
60	180	0.000	-1.000	5.2	0.00	-5.20
70	210	-0.500	-0.866	6.1	-3.05	-3.28
80	240	-0.866	-0.500	7.3	-6.32	-3.65
90	270	-1.000	0.000	9.3	-9.30	0.00
100	300	-0.866	0.500	11.5	-10.00	6.75
110	330	-0.500	0.866	13.6	-6.80	11.78
120	360	0.000	1.000	15.0	0.00	15.00
130	390	0.500	0.866	15.5	7.75	13.40
140	420	0.866	0.500	14.4	12.50	7.20
150	450	1.000	0.000	11.7	11.70	0.00
160	480	0.866	-0.500	6.6	5.72	-3.30
170	510	0.500	-0.866	2.8	1.40	-2.43
180	540	0.000	-1.000	0.5	0.00	-0.50
TOPLAM					14.83	30.44

$$A_3 = \frac{2}{18} * 14.83 = 1.65$$

$$B_3 = \frac{2}{18} * 30.44 = 3.38$$

TABLO 3.4 5. Harmonik için yapılan hesaplamalar

α (Derece)	5α	$\sin 5\alpha$	$\cos 5\alpha$	y	$y(\sin 5\alpha)$	$y(\cos 5\alpha)$
10	50	0.766	0.643	1.3	1.00	0.81
20	100	0.985	-0.174	2.4	2.36	-0.42
30	150	0.500	-0.866	3.1	1.55	-2.68
40	200	-0.342	-0.940	3.7	-1.26	-3.17
50	250	-0.940	-0.342	4.4	-4.13	-1.50
60	300	-0.866	0.500	5.2	-4.50	2.60
70	350	-0.174	0.985	6.1	-1.06	6.00
80	400	0.643	0.766	7.3	4.70	5.59
90	450	1.000	0.000	9.3	9.30	0.00
100	500	0.643	-0.766	11.5	7.40	-8.82
110	550	-0.174	-0.985	13.6	-2.36	-13.40
120	600	-0.866	-0.500	15.0	-13.00	-7.30
130	650	-0.940	-0.342	15.5	-14.55	5.30
140	700	-0.342	0.940	14.4	-4.92	13.50
150	750	0.500	0.866	11.7	5.85	10.14
160	800	0.985	0.174	6.6	6.50	1.15
170	850	0.766	-0.643	2.8	2.15	-1.58
180	900	0.000	-1.000	0.5	0.00	-0.50
TOPLAM					-4.97	5.25

$$A_5 = \frac{2}{18} * (-4.97) = -0.55$$

$$B_5 = \frac{2}{18} * 5.25 = 0.58$$

Bu dalga için ordinat akım olduğu için fourier Eşitliği ;

$$i = 11.54 \sin \alpha - 4.10 \cos \alpha + 1.65 \sin 3\alpha + 3.38 \cos 3\alpha - 0.55 \sin 5\alpha + 0.58 \cos 5\alpha \text{ olur.}$$

Bu eşitliği daha çok istenilen denklem 2.1'deki formda elde edebilmek için I_1, I_2, I_3 akımlarının büyüklükleri ve Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 açıları belirlenmelidir. Bunlar;

$$I_1 = \sqrt{(11.54)^2 + (-4.1)^2} = 12.25$$

$$\Psi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{-4.1}{11.54} \right) = -19.5^\circ$$

$$I_3 = \sqrt{(1.65)^2 + (3.38)^2} = 3.76$$

$$\Psi_3 = \tan^{-1} \left(\frac{-3.38}{1.65} \right) = 64^\circ$$

$$I_5 = \sqrt{(-0.55)^2 + (0.58)^2} = 0.80$$

$$\Psi_5 = \tan^{-1} \left(\frac{0.58}{-0.55} \right) = 133.5^\circ$$

Böylece akım eşitliği

$$i = 12.25 \sin(\alpha - 19.5^\circ) + 3.76 \sin(3\alpha + 64^\circ) + 0.80 \sin(5\alpha + 133.5^\circ).$$

şeklinde elde edilir.



BÖLÜM 4

4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİK ÜRETEEN ELEMANLARIN İNCELENMESİ

4.1 Harmoniklerin Üretilmesi

Arızasız bir işletmede harmonikler çeşitli sebeplerle ortaya çıkarlar. Bunların başında magnetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlik gelir. Magnetik devrelerde doyma, elektrik devrelerin ark ve güç elektroniğinde sinüs eğrisinin kesilmesi, lineer olmayan olaylardır. Örneğin generatör, transformatör, motor ve bobin gibi demir çekirdek içeren cihazlar, doymanın baş göstermesi ile harmonikli akımlar üretirler. Ark fırınları ve kaynak makinalarındaki gibi, normal işletmeleri gereği bir arkın oluşması sonucunda da harmonikler oluşur. Yine doğrultucular ve tristörler sinüsoidal akım dalgasını keserken harmonikler üretirler. Böylece başlangıçta saf sinüsoidal olan gerilimin dalga şekli bozulur. Normal çalışma şartlarının dışında yüksek gerilim hatlarındaki korona olayları, iki fazlı kısa devreler ve arklı kısa devreler de harmoniklerin meydana gelmesine sebep olurlar.

4.2 Harmonik Üreten Elemanlar

4.2.1 Generatörler:

En doğal harmonik üreticileri generatörlerdir. Dönen makinalar, makina hızının ve endüvi oluk sayısının fonksiyonu olan akım harmonikleri üretir (Arrillaga et al., 1985) Fakat oluk şekli, sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi hususlarda uygun konstrüktif tedbirler alınarak ve generatörü amortisman sargısı ile donatarak gerilim eğrisinin sinüsoidal olması sağlanır. Bunun için generatörler önemli bir harmonik üreticisi sayılmazlar. Alman VDE yönetmenliğine göre senkron generatörlerde endüklenen gerilim sinüs şeklinden farklı olması halinde, akımın herhangi bir andaki değeri ile aynı anda sinüs şeklindeki temel harmoniğin değeri arasındaki farkın, temel dalganın tepe değeri ile oranı % 5 'den küçük ise, bu akım pratik olarak sinüsoidal kabul edilir.

4.2.2 Transformatörler

Enerji sistemlerinde demir çekirdeği bulunan bobinler harmoniklere yol açar (Dommel et al., 1986) tabiidir ki bunların başında güç sistemlerindeki en önemli eleman olan transformatörler

gelir. Bunların harmonik üretme özelliği, demir çekirdeğin mıknatıslama karakteristiğinin lineer olmayışından, yani transformatörün doymasından kaynaklanmaktadır. Transformatör nüvesi için mıknatıslama karakteristiği lineer olsa idi, uygulanan sinüsoidal uyarma akımı neticesi sinüsoidal akı ve gerilim oluşacaktı.

Transformatörler sinüsoidal gerilimle çalışma altında lineer mıknatıslama karakteristiği bölgesinde sinüsoidal çıkış büyüklüğü verecek şekilde tasarlanırlar. Transformatörlerin nominal değerlerinin dışında çalışması nüveyi daha çok doymaya ve harmonik akımları seviyesinin hızla artmasına sebep olabilir (Szabados and Lee, 1981).

$V(t)=V_m \sin \omega t$ biçiminde sinüsoidal şebeke geriliminin uygulanması halinde uyarma akısı olarak $\phi = \phi_m \cos \omega t$ şeklinde yine sinüsoidal bir akı üretecektir.

Kararlı çalışma durumunda magnetik endüksiyon bir sinüs fonksiyonu olup histerisiz ihmal edilirse, mıknatıslama eğrisi n dereceli bir polinom ile ifade edilebilir. Bu eğri 0 noktasına göre simetrik olduğundan, mıknatıslama akımı $n=1,3,5,7,9,\dots$ dereceden sinüsoidlerin toplamı şeklinde ifade edilebilir.

Mıknatıslama akımı harmonikleri günün erken saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşır, çünkü sistem yükü az olup, gerilim yükselerek aşırı uyarma meydana gelir, aşırı uyarı ile oluşan akım harmoniklerinde 3., 5. ve 7. harmonikler etkili olur (Arrillaga et al., 1985). Akım şiddeti bakımından en önemli harmonik 3. harmoniktir. 3'ncü ve 3'ün katları harmonikler arasında 360 derecenin tam katları kadar faz farkı olduğundan hepsi aynı fazdadır.

Transformatörlerde uyarma gerilimi kesildiğinde transformatör saçlarında bir artık akı yoğunluğu kalabilir, gerilim yeniden uygulandığında bu akı yoğunluğu sebebiyle transformatörün aşırı doyma değerlerine sürülmesine ve mıknatıslama akımının değerinin 5-10 kat değerine yükselerek bir darbe akımı meydana gelmesine neden olur. Bu darbe akımı primer sargı direncine bağlı olarak sönmülenir. Büyük transformatörlerde primer direncinin küçük olması sebebiyle sönmüleme süresi çok daha uzundur (Arrillaga et al., 1985).

Harmonik akımları transformatörün primer reaktansı, hattın reaktansı ve generatörünün kaçak reaktansı üzerinden geçerek harmonikli gerilim düşümü meydana getirir; generatörde sinüs şeklinde emk üretildiği halde çıkış uçlarındaki gerilimin şekli bozulabilir.

Mıknatıslama akımındaki harmoniklerin şebekeye geçip geçmemesi şu koşullara bağlıdır(Kocatepe, 1995):

- Transformatörün bağlantı grubu,
- Primerin yıldız bağlı olması halinde, yıldız noktasının şebekenin nötrüne bağlı olup olmaması
- Transformatördeki magnetik devrenin geometrik yapısı.
- Transformatörün Yıldız/Yıldız bağlı olması halinde

- a) Primer yıldız noktası nötre bağlı ise: Her faz sargısından geçen 3 ve 3'ün katları harmonik akımları nötrde toplanarak 3 katı akımın geçmesine sebep olur. Diğer harmonikler (5,7,11,13 v.b. gibi) yıldız noktasında sifira eşit olurlar. Böyle transformatörlerde akılar ve her bir faz sargısında endüklenen gerilim sinüs şeklindedir.
- b) Primer yıldız noktası nötre bağlı değilse: Mıknatıslama akımının 3 ve 3'ün katları olan harmonikleri yıldız noktasından dışarı çıkamazlar ve mıknatıslama akımı 3'üncü harmoniksiz (tepesi basık) bir akı oluşturur.

-Yıldız/Üçgen bağlı transformatör:

- a) Eğer primer yıldız noktası nötre bağlanmışsa yukarıda (a) bölümündeki gibi olur.
- b) Eğer yıldız noktası nötre bağlanmamışsa 3. ve 3'ün katı akı harmonikleri üçgen sargıda 3 ve 3'ün katı frekanslı sirkülasyon akımların geçmesine sebep olur, bu akımlar kendisini endükleyen akıya zıt etkileyerek bunları söndürürler.

-Primeri üçgen bağlı transformatörler:

Faz sargılarında mıknatıslama akımında 3., 9., 15. vb. harmonikler meydana geldiklerinden şebekeden çekilen mıknatıslama akımında 1., 5., 7. vb gibi harmonikler çekilir. Magnetik akı 3., 9., 15. vb gibi harmonikleri içermez.

Transformatörler nasıl bağlanırsa bağlansın, primer şebekenin nötrüne bağlansın ya da bağlanmasın, çekirdek tipi nasıl olursa olsun şebekeden 1., 5., 7., 11., 13. gibi harmonikli mıknatıslama akımları daima çekilir.

4.2.3 Ark Kaynakları

Ark, akım ve gerilim arasında doğrusal olmayan bir bağıntının bulunduğu fiziksel bir olaydır. Ark devreleri deşarj prensibi ile çalıştığından şebekeden sinüsoidal olmayan akım çekerler. Ark fırını, floresant lamba, civa ve sodyum buharlı aydınlatma armatürleri bunların başlıcalarıdır.

Ark fırınlarındaki ateşleyici elektrotların özellikleri ve ark akım-gerilim karakteristikleri bu işletmelerde harmonik oluşumlarının nedenidir (Arrillaga et al., 1985). Bunlar geçici yükler olup harmonik çalışmaları için kolayca modellenemezler. Tipik bir ark fırınında 2,3,...,9 mertebesinde akım harmonikleri bulunur; maksimum harmonik temel bileşenin % 30'u kadardır (Sundberg, 1976).

Aydınlatma amacı ile kullandığımız floresant lambalar, civa veya sodyum buharlı lambalar ise, genellikle tek dereceli harmonikler üretirler.

4.2.4 Konverterler

Transformatörlerden sonra ana harmonik kaynağı günümüzde hat komütasyonlu konverterlerdir. DC iletim sistemleri, akü ve fotovoltaik sistemler hat komütasyonlu konverterler üzerinden beslenirler.

Harmoniklerin üretilmesi, akımın periyodik olarak kesilmesi esasına dayanır. p tristörlü bir çeviricinin meydana getireceği akım harmoniklerinin mertebesi

$$n=k.p\pm 1 \quad k=1,2,3,\dots \quad (4.2)$$

olmaktadır. Genellikle çeviricilerde darbe sayısı $p=6,12,18$ veya 36 'dır.

Harmonik akımı $I_n=I_1 \cdot (\frac{1}{n})^p$ olup $n=1$ 'den küçük bir katsayıdır; çeviricilerin kumandasına bağlı olarak çeşitli harmonik değerlerinde farklı değerler alır. Komütasyon süresi ihmal edilirse $n=1$ alınabilir. Buna göre $I_n=I_1/n$ elde edilir. Harmonik akımın efektif değeri harmonik mertebesi ile ters orantılıdır. p darbe sayısı ile harmonik akımın mertebesi artırılarak harmonik akımının efektif değeri azaltılır.

4.2.5 Gaz Deşarjı ile Aydınlatma

Gaz deşarjı aydınlatması örneğin floresant, civa ark, neon vb ve yüksek basınçlı sodyum lambalar, özellikle büyük şehir alanlarında daha çok hissedilen harmonikler meydana getirirler. Bu tip lambaların elektriksel karakteristiği nonlineer olup iletim esnasında negatif direnç karakteristiği gösterir. Floresant aydınlatmada tek harmoniklerin seviyesi önemli oranda devreyi etkiler. Üç fazlı dört telli montajda 3. harmonik akımı nötr iletkeninden geçer (Arrillaga et al. 1985 ; Grady and Heydt, 1985).

4.3 Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Etkileri

Enerji sistemlerinde harmoniklerle gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması (distorsiyon) çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Bunlar maddeler halinde şöyle verilebilir:

- Gerilim düşümünün artması ve fliker olayları
- Elektrik makinalarının aşırı ısınması
- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması
- Enerji iletim hatlarının aşırı yüklenmesi
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları
- İzolasyon malzemesinin delinmesi
- Elektrik cihazlarının ömürlerinin azalması
- Haberleşme sistemlerinde parazitlerin meydana gelmesi

Bu etkinliklerin teknik ve ekonomik yönden en olumsuz sonuçlara yol açanları, kayıplardaki artış ve sistem ölçü cihazları üzerindeki hata paylarının artması şeklinde özetlemek mümkündür. Bunlardan birincisi omik direnç içeren tüm tesis elemanları üzerinde ek harmonik kayıplara yol açmaktadır (Hwang vd., 1987, 1988; Meliopoulos and Martin, 1992). İkincisi ise ölçü ve kayıp cihazlarındaki istenmeyen hata miktarlarının oluşması, bir başka deyişle kayıt/ölçüm hatalarının artmasıdır (Stratford, 1980; Fuchs et al., 1986, 1987a, 1987b; Filipski and Labaj, 1992).



BÖLÜM 5

5. HARMONİKLERİN KORUMA RÖLELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

5.1 Elektromekanik Röleler

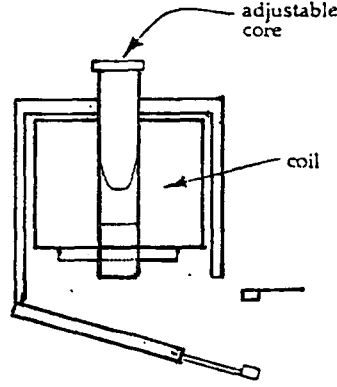
Elektromekanik röleler çoğunlukla tek girişli ve tek fazlı cihazlardır. Bu röleler doğru olarak belirlenmiş zaman gecikmesi için dizayn edilen indüksiyon diskli veya ani çalışmalar için tasarlanmış olup indüksiyon kupası, silindir veya basit bir piston içerirler. Tipik bir ters zamanlı rölede (inverse-time relay) çalışma momenti oluşturmak için röle içindeki faz kaydırma bileşenleri ve akımın yardımıyla bir akı meydana getirilir. Bir frekans için (örneğin, 50 veya 60 Hz) optimize edilen bir dizayn diğer frekanslarda daha az verimli olacaktır. Bu yüzden giriş akımı (veya gerilimi) harmonik frekansları içerdiğinde elektromekanik röleler daha az duyarlı olmaya ve daha yavaş çalışmaya yönelecektir. Her üreticinin farklı moment üretim dizaynı vardır. Bu yüzden benzer eğri yapılarına sahip olsalar bile farklı üreticilerin elektromekanik röleleri bozulmuş sinyallere farklı şekilde cevap verebilir. Bir elektromekanik röle tipi moment üretimi yıllar boyunca tekrar edilen ve iyileştirilen bir dizayn sonunda elde edilir. Bundan dolayı, belirli bir rölenin bozulmuş dalgaya cevabının nasıl olduğunun test verilerinin o tip rölelerin hepsine uygulanabileceği sonucu çıkartılamaz. Aşırı akım zaman rölelerinin değişik uyumsuzlukları genellikle doymanın başladığı noktanın değiştirilmesi ile oluşur. Bu kaçak reaktans parametresi içerdiğinden frekansın bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle rölenin aşırı-akım zaman karakteristiği kullanıldığı devrede oluşan bozunumla değişebilir. Elektromekanik aşırı akım rölelerindeki dizayn farklılıklarının çok olması, bozunumun genel bir etkisini ortaya çıkartmamızı engeller (Wave Distortion on Consumer's Interconnection Working Group (WDCIWG),1984).

5.1.1 Ani Aşırı Akım Röleleri

5.1.1.1 Dalgıç ve menteşe tipli aşırı akım röleleri

Dalgıç ve menteşe tipli aşırı akım röleleri elektromekanik akı cevaplı elemanlardır. Hareket eden elemana uygulanan ani güç, ani akıya dolayısıyla ani akıma bağlıdır. Hareket eden armatürdeki güç (kuvvet) periyot içinde çekme kuvvetinden büyük olarak yeterli uzunlukta kalırsa menteşe veya dalgıç birimi çalışacaktır. Birime uygulanan yüksek frekanslı akım veya

harmonik bileşenli akım eğer yeterli büyüklükte ise röleyi çalıştıracaktır. Şekil 5.1'de menteşe tipi bir rölenin basit şekli gösterilmiştir.(Elmore vd., 1993)



Şekil 5.1. Menteşe tipi bir rölenin basit şekli

Teorik olarak hareket eden eleman üzerindeki ortalama kuvvet akımın karesinin integrali ile orantılıdır.

$$\int_0^{2\pi} i^2 .dt = \frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{3m}^2}{2} + \dots + \frac{I_{nm}^2}{2} \quad (5.1)$$

Burada;

I_{1m} : sinüs dalgasının temel bileşeninin maksimum akım değerini

I_{nm} : n. harmoniğin maksimum akım değerini

göstermektedir.

Ortalama kuvvetin temel bileşenin yanında sadece farklı harmonik bileşenlerinin maksimum değerlerinin karelerinin toplamına bağlı olduğu görülmektedir. Burada akımdaki dc bileşenin etkisi ihmal edilir.

Buna dayanarak, her bir frekans bileşeni bir bağımsız ve bir de kümülatif etki üretecektir: Bu kümülatif etki çalışma değerinin (harmonikteki bir artış için) azalmasına neden olur. Bu tip bir rölenin bir kutbu kutup akısının kaydırılmış bir bileşenini üretmek için gölgeleme (shading)

yüzüğü ile donatılmıştır. Daha yüksek frekansın etkisi, kutuptaki iki akının faz bakımından daha yakın olmalarına neden olacak şekildedir. Bu ise çalışma değerinin frekansla beraber artmasına neden olur. Bu artış çok yüksek frekanslarda sesli çalışmaya da neden olur.

Asılı armatürlü akım röleleri de frekans etkilerinden bağımsızdırlar. Bu tip rölelerin cevapları genellikle belli bir zaman periyodu boyunca akımın efektif değeri ile orantılıdır.

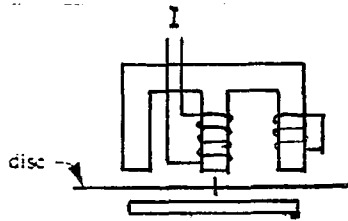
Örneğin, menteşe tipli bir rölede yapılan testte 60 Hz'deki çalışma akımı 5 A' e ayarlanmıştır. Daha yüksek frekanstaki çalışma değerleri Tablo 5.1'de tabloda gösterilmiştir. Frekansta meydana gelen bir artış çalışma değerini arttırmakta ve daha yüksek frekanslarda sesli çalışma daha belirgin hale gelmektedir. Karma frekans girişleri için yapılan deneyde ise çalışma değerinin efektif değeri (temel bileşen+ 9.harmonik içeren) 5.1A'den (temel bileşen ve 2.harmonik içeren) 5.7 A' e çıkmaktadır. (Elmore vd., 1993)

Tablo 5.1 Deneysel veriler

Frekans(Hz)	Efektif akım değeri(A)
60	5.0
120	7.3
180	9.3
300	12.6
420	14.2
540	14.8

5.1.1.2 İndüksiyon diskli aşırı akım röleleri

Bu röleler üç kutuplu elektromıknatısın bir araya getirilmesinden meydana gelir. Röle için tüm çalışma enerjisi merkez kutup sargısına uygulanır. Bir dış kutup geri faz bobini ile donatılmıştır. Üçüncü kutupta bobin yoktur, fakat diğer iki kutuptan etkilendiği için akı alır. Basit bir yapısı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.(Elmore vd., 1993)



Şekil 5.2. İndüksiyon diskli aşırı akım rölesi basit şekli

Bu sistemde, uygulanan temel bileşen çalışma akımı ile moment yay sınırlamasını yok etmek ve diskin harekete başlamasını sağlamak önerilir. Bu moment her bir kutup akısı tarafından üretilen disk akımları ile diğer iki kutup akısı tarafından karşıklı etkileşimden ortaya çıkar ve bu momentlerin hepsi aynı yöndedir.

Giriş akımlarının frekansını arttırmak geri faz bobin devresinde üretilen akımda küçük bir değişikliğe yol açar. Bu kutuptaki akı, elektromıknatısın davranışı bir akım transformatörü eşdeğeri olarak alınarak frekans artışı ile ters orantılı olarak azalacaktır. Benzer şekilde diğer dış kutuptaki akı, üzerindeki daha düşük magnetomotor kuvvetinden dolayı azalır. Merkez kutuptaki akı diğer iki dış kutupakilerin toplamı olduğundan o da artan frekans için azalan mıknatıslanma akımı ve sabit geri faz bobini akımı devresi ile toplam etki (merkez kutup) için ve geri faz bobini bulunmayan kutup akılarının faz bakımından yakına çekilir. Bu durum çalışma değerlerinin artmasına sebep olur disk dönüşü azalır ve sonunda elektromıknatısın verimliliğinin kötüleşmesine neden olur. Temel bileşenle birlikte harmonikler bu birimin çalışması üzerinde az da olsa bir etkiye sahip olacaktır.

İndüksiyon kupalı ve silindir tipli röleler dizayn parametrelerine bağlı olarak indüksiyon diskli rölelerdekine benzer olarak frekans cevabına sahip olacaktır.

İndüksiyon disk birimi çoğu koruma fonksiyonlarında (genellikle aşırı akım) kullanılır. Faz denge rölesi dışında harmoniklerin etkisi hepsinde benzerdir. Frekans temel bileşenden 9. harmoniğe kadar olan tek harmoniklere kadar arttırıldığında elektromıknatıslar tarafından üretilen disk üzerindeki moment verilen bir efektif akım için azalır, böylece daha yüksek minimum çalışma değerinin yükselmesine neden olmaktadır. İndüksiyon aşırı akım rölesinin çekme değeri 1 A'e ayarlandığında elde edilen çalışma değerleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir (Elmore vd., 1993). Burada f, frekansı, n, harmonik derecesini, I_{60} 60 Hz'deki akımı I ise efektif çalışma değerini göstermektedir. Röleye giriş akımı,

$$I_{giriş} = I_{60} + I_{60n} \text{ olup} \quad (5.2)$$

n. harmonikteki akım değeri

$$I_{60n} = I_{60}/n \quad (5.3)$$

ile ifade edilmektedir.

Tablo 5.2. İndüksiyon diskli bir rölenin harmoniklerin bulunması durumundaki çalışma değerleri

f(Hz)	n	I_{60} (Hz)	I_{60}/n	Efektif Çalışma Değeri(A)
60	1	1.00	-	1.0
120	2	.92	.46	1.03
180	3	.99	.33	1.04
300	5	1.02	.20	1.04
420	7	1.02	.145	1.03
500	9	1.00	.11	1.01

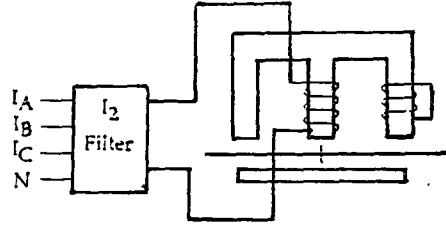
İndüksiyon diskli bir röle üzerinde yapılan deneyde, artan her bir frekans için röle daha az verimli hale geldiğinden çalışma zamanı daha uzun olmaktadır ve zaman eğrileri yukarı kaymaktadır. Karma frekans girişleri için ise zaman eğrilerinin oldukça az değiştiği gözlenmiştir.

Faz dengesi indüksiyon rölesi için tek frekans girişli aşırı akım indüksiyon disk rölelerinden farklı olarak harmonik seviyesindeki artarak verilen bir giriş akımı için momenti artmaktadır (120 ve 180 Hz'de moment artmıştır ve çalışma büyüklüğü temel bileşen değerinden yaklaşık olarak %15 daha azdır.).

Fakat karma olarak frekans 3.harmonikten 9.harmoniğe kadar artırıldığında röle aşırı akım röleleri gibi çalışmış moment azalmış ve çalışma değeri artmıştır. (Elmore vd., 1993)

5.1.1.3 Negatif sequence aşırı akım röleleri

Bu tip röleler negatif sequence akımını tanımak ve pozitif sequence akımını ihmal etmek için yapılmıştır. Bunu temel bileşen frekansında yapar. Diğer frekanslarda rölenin bu özelliği kaybolur. Bu rölenin bir eşdeğeri endüktans ile direnç elemanlarını içerir. Frekansın bu reaktans rölelerinin reaktansları üzerindeki etkisi oldukça büyüktür ve tek frekans çalışma değerini oldukça değiştirir. Şekil 5.3'de basit bir devresi gösterilmiştir.

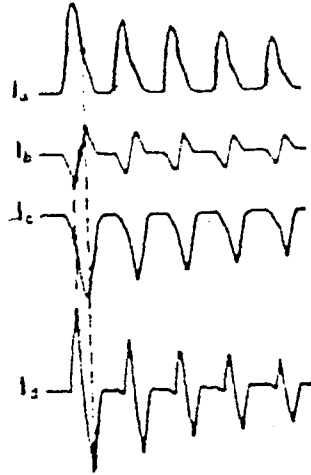


Şekil 5.3 Negatif sequence aşırı akım rölesi basit gösterimi

Negatif sequence aşırı akım rölesi, negatif sequence filtre devresindeki reaktansın değişiminden dolayı tek frekans girişindeki değişimlerden etkilenir. Röle pozitif sequence aşırı akımlarına da cevap vermeye başlar. Artan tek frekans girişleri için, sequence filtre çıkışında azalma görülmüştür ve rölenin minimum çalışma değeri yaklaşık olarak \sqrt{f} kadar artmıştır. Temel bileşen ve harmonik bileşiminin uygulanması röle çalışması üzerinde çok az etkisi vardır. (Elmore vd., 1993)

5.1.1.4 Harmonik sınırlı ani akım röleleri

Bu tip röleler basit yapıdaki ani akım rölelerinin kullanımının transformatör inrush akımları tarafından sınırlandırıldığı bazı durumlarda kullanılırlar (Şekil 5.4). Genel olarak dizayn yapılan sınır (yüksek hızlı transformatör rölelerinde olduğu gibi) ikinci harmoniktir. Sağlanan çalışma parametreleri genellikle dizayn edilen ikinci harmonik cevabına uyar. Sınırlama hareketinin geliştirildiği çalışma devresi ve özel filtre devresinin analizi ile diğer harmoniklerin etkisini tahmin edebiliriz. (WDCIWG, 1984)



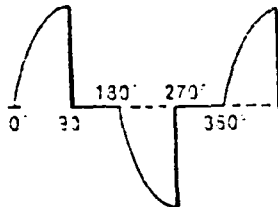
Şekil 5. 4 Tipik transformatör inrush akımları

5.1.2 Elektromekanik Gerilim Röleleri

Elektromekanik gerilim röleleri efektif değere cevap vermeye değil yüksek frekanslarda sargı empedansındaki yapısal akım sınırlandırılmalarından dolayı bozulmuş bir dalga şeklinin yalnızca temel bileşenine cevap vermeye de yönelebilir. İç doyumun değişen etkileri gerilim rölelerinde daha az etkili olur çünkü bu röleler genellikle maksimum giriş değerlerinde sadece düşük doyumlar için dizayn edilirler. (WDCIWG, 1984)

5.1.3 Çift Girişli Elektromekanik Röleler

Çift girişli elektromekanik röleler tek girişli röleler gibi benzer bozunum etkilerine maruz kalabileceği gibi ek olarak her bir giriş harmoniklerinin faz ilişkilerini içeren diğer etkilere de maruz kalabilir. Bu röleler yönlü, çarpım, empedans, admitans, mesafe rölelerinin diğer formlarını ve sequence ayırma devreli röleleri içine alır. Farklı frekanstaki iki giriş sinyali ortalama değer olarak sıfır olan bir sinüsoidal moment üretirler. Fakat, röle içindeki nonlineerlikten dolayı farklı frekansların karşılıklı etkileşimi net bir pozitif veya negatif çalışma momenti ile sonuçlanır. Ayrıca özellikle doymuş akım transformatöründen dolayı oluşan bozulmuş dalga şekilleri temel bileşenin faz farkını içerebilir. Bu nedenle yalnız giriş büyüklüğündeki bozunum çift girişli elektromekanik rölelerinin performansını etkileyebilir. E_0 gerilimi ile polarize edilmiş yönlü toprak röleleri belli limit hata durumları boyunca temel bileşenden daha çok üçüncü harmonik gerilimine maruz kalabilir. Bu tip durumlar saf sinüs dalgaları da olsa yanlış röle çalışmaları ile sonuçlanabilir. Bu eğilim duyarlı yüksek hızlı yönlü birimlerde daha iyi görülebilir. Bunun bir problem olduğuna karar verildiğinde polarize geriliminin harmonik bileşenlerini filtrelemek problemi ortadan kaldırabilir fakat bu rölenin daha yavaş çalışmasına neden olacaktır. Ayrıca filtre içindeki herhangi bir temel frekans faz farkı doğru bir yön referans sinyalini sağlamak için düşünülmelidir. Faz veya toprak yönlü rölenin çalışma akımındaki dalga bozulmaları benzer problemlere neden olabilirler. Bozunumun akım transformatörü doyması nedeniyle olduğu durumda temel bileşen faz bakımından ileri kaydırılır. Bu durum Şekil 5.5'in analizinden belirlenebileceği gibi omik bir yükte 30° kaymaya ulaştığı daha iyi görülecektir. (WDCIWG, 1984)



Şekil 5.5 İdeal akım transformatörü sekonder akımı doyma 90° 'de ve direnç yüklü iken

5.2 Mesafe Röleleri

Mesafe röleleri çeşitli dizaynlarda imal edilirler. Bu nedenle bu rölelerin bozulmuş akım ve gerilimlere cevaplarını genellemek pratik olmamakta fakat özel bir röleye temel prensipleri uygulayarak dalga şekli bozunumunun bu röle üzerindeki genel etkilerini tahmin edilebilir. Örneğin, kopya ve kompensatör tip mesafe röleleri röle içinde koruma altındaki hat kısmının bir kopyasını içerirler. Bunun gerçek bir kopya olduğunu söylemek için röle bozulmuş akım ve gerilimle çalıştırılmalıdır. Fakat primer sistemde karşılığa sahip olmayan özellikle kapasitif olarak bağlanmış transformatörler ile akım ve gerilim transformatörlerinden dolayı meydana gelen bozunumlar rölenin doğruluğunu etkileyebilir. Kopya empedans hat reaktansını sağlayabilmek için bir hava aralıklı akım transformatörü ve direnç bileşeni için bir son dirençten oluşur. Kararlı tek sabit frekansta uç hat empedansı için yeterli kompanzasyonu sağlayabilir. Yinede hattın kendisi seri endüktans ve rezistans (artı şönt kapasite) olsa da bu kopya için eşdeğer devre paralel bir reaktans ve dirençtir. Geçici sistem koşullarında veya fark edilebilir harmonikli koşullarda veya düşük frekans boyunca kopya röle, sistem koşullarına güvenilir bir şekilde cevap vermeyebilir (WDCIWG, 1984).

5.3 Simetrik Sequence Röleler

Simetrik sequence röleler sistemin 3 faz değerlerinden istenen gerilim ve akım sequence bileşenlerini elde etmek için R-L-C faz kaydırma devreleri kullanırlar. Bu rölelerin tümü harmonik bozunumlardan ve sistem frekansındaki sapmalardan etkilenirler. Harmoniklerden dolayı oluşan sapsmaları minimize etmek için röle içinde ek filtreler kullanılabilir. Filtreler kullanıldığında zararsız olanlı olan faz dengesizlikleri için röle çalışması engellenebilir (WDCIWG, 1984).

5.4 Transformatör Diferansiyel Röleleri

Transformatör diferansiyel röleleri harmonik sınırlaması olmadan genellikle daha önce ifade edilen bir veya daha fazla moment üretim prensiplerine göre çalışırlar (Şekil 5.6). Harmonik sınırlı diferansiyel röleler genellikle belirlenen ikinci harmonik sınırından farklı sınırlamalara değişen cevaplara sahiptirler. Harmonik sınırlı rölenin uygulama prensibi transformatör enerjilendirilirken inrush akımındaki harmonikler tarafından rölenin çalışmasının sınırlandırılmasıdır. Sonuç olarak aşırı iç hata süresince akım transformatörü doymasından

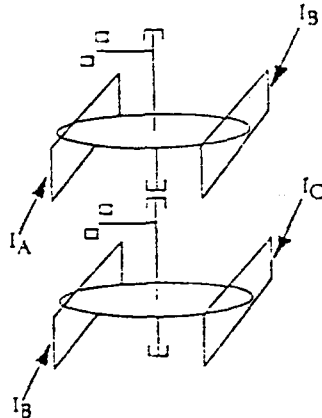
dolayı oluşan bozunma bileşenleri röleyi sınırlandırabilir. Her üretici böyle bir hatadan sakınmak için deneysel rehberler hazırlar. Bazı üreticiler ikinci harmonik dışındaki harmonikler için ek sınır karakteristikleri sağlarlar. Ayrıca bazıları doğrultucu veya dc inverter istasyonları yakınlarındaki 5.harmonik bakımından zengin olduğu bilinen servisler için değiştirilmiş röle karakteristikleri verirler. Düşük akım transformatör hataları hataların bazılarının ark yapma yapısından dolayı bozulmuş hata akımı içerirler. Rölenin harmonik sınırlaması röle çalışma şartnamesinde listelenenlerden daha az olarak böyle hatalara duyarlılığını sınırlayabilir . Bunun için aşırı harmonik sınırı istenmeyen bir şeydir. Ayrıca aşırı harmonik sınırı enerjilendirme süresinde rölenin duyarlılığını sınırlayabilir. (WDCIWG, 1984)

5.5 Bara Diferansiyel Röleleri

Yüksek empedans yüksek hızlı tip bara diferansiyel röleleri aşırı şekilde bozulmuş akımların bulunduğu durumda düzgün bir şekilde çalışması için dizayn edilmiştir. Üreticilerin uygulama verileri genellikle yeterlidir ve korunan barada dışardan oluşmuş dalga şekilleri için genellikle bir önleme gerek yoktur (WDCIWG, 1984).

5.6 İndüksiyon Faz Dengesi Rölesi

Bu tip rölelerde faz akımı her bir disk üzerindeki elektromıknatıstaki merkez kutup sargısı üzerinden geçer. Her bir disk üzerindeki zıt yönlü moment üretmek için düzenlenmiş elektromıknatıslarla (A fazı B fazına, B fazı C fazına zıttır) akım karşılaştırması sonuçlanır. Faz akımları arasındaki faz açısı ayırımı bu rölenin çalışması üzerinde bir etkiye sahip değildir. Yine de, bir akımın büyüklüğü uygun miktarda diğerlerini aşarsa disk baskın moment tarafından kabul ettirilen yönde hareket eder ve rölenin kontakları kapanır.



Şekil 5.6 İndüksiyon disk faz dengesi rölesi

Elektromıknatıs giriş bobininin birinde akım yoksa faz dengesi rölesi basit bir aşırı akım rölesi gibi davranır. Harmonik etkilerine daha önce değinildiği gibi cevap verir. Yapısal özelliklerinden dolayı herbir fazdaki eşit harmoniklerin net etkisi görülmez. İki fazdaki farklı büyüklüklere sahip harmonik frekansları ile (fakat aynı temel bileşene sahip iki akımla) röle harmonik faz dengesi rölesi haline gelir. Harmoniklerin rölatif büyüklüklerine ve belli harmonik tarafından üretilen momentin ağırlığına bağlı olarak röle çalışacak veya çalışmayacaktır. İndüksiyon diskli faz dengesi rölesinin basit yapısı Şekil 5.6'da gösterilmiştir (Elmore vd, 1993).

5.7 Statik Röleler

Statik rölelerde en azından elektromekanik röle kadar üreticiler arasında dizayn çeşitlerine sahiptir.

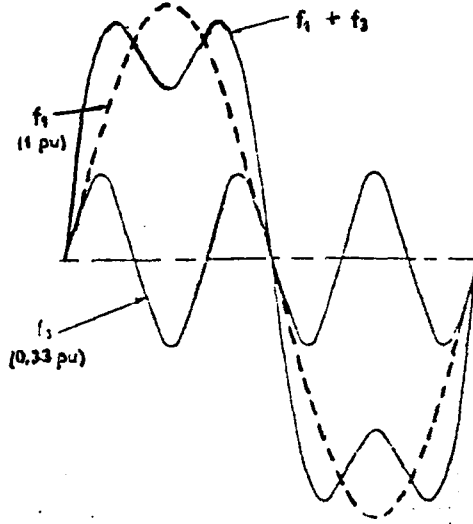
5.7.1 Tek Girişli Statik Röleler

Aşırı-akım zaman röleleri gibi tek girişli statik röleleri şu üç değere cevap vermek için dizayn edilmektedir:

- a) giriş dalga şeklinin tepe değerine,
- b) giriş dalga şeklinin ortalama değerine,
- c) giriş dalga şeklinin efektif değerine.

Bu rölelerin her biri kendine ait karakteristiklere sahiptir ve özel uygulama ve dizayn değerlerine sahiptirler. Herbiri tek frekans kararlı hal sinüs dalga şekli ile benzer performansa ayarlansalar bile temel dizaynlar arasında nonsinüsoidal dalga şekillerine cevapları önemli şekilde değişir. Belirli bir dizayn için bozulmuş akıma (veya gerilime) göre performansı, beklenen frekanslar ve giriş sinyalinin dalga şekli ile rölenin dizayn teorisi karşılaştırılarak tahmin edilebilir (Şekil 5.7). Genelde tek frekans giriş sinyallerine bir rölenin frekans cevabı rölenin bu frekansları içeren bozulmuş dalga şekline cevabının bir ölçüsü değildir. Hatta efektif değere göre çalışan röleler bile bozulmuş dalga şekillerinin bazılarının bulunması durumunda gerçek efektif performansını değiştiren frekans ağırlıklı şebekelere sahiptirler. Gerçek efektif değerli tip röleler dışında, dalga şekilleri hem çalışma değerini hem de zaman gecikme karakteristiklerini etkileyebilir. Buna ek olarak, akım-zaman karakteristiklerini

belirlemek için kullanılan metot rölenin temel (ana) cevabını etkileyecektir. Eğri biçimlendirmesi için diyot köprüleri gibi elemanlar kullanıldığında röle daha çok tepe değerlere cevap vermeye yönelir. Ölçüm tekniklerinde bazı frekans rölesinde olduğu gibi sıfır geçiş zamanları kullanıldığında bozulmuş dalga şekli için röle performansını oldukça etkiler.



Şekil 5.7 Nonsinüsoidal dalga şekli (WDCIWG, 1984)

5.7.2 Statik Aşırı Akım Röleleri

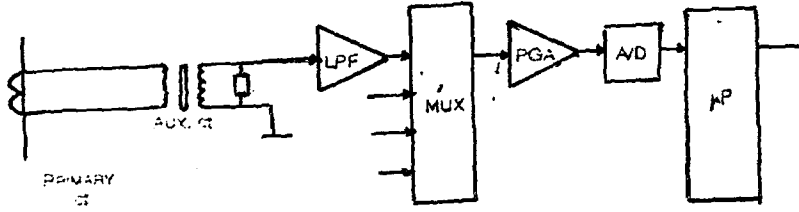
Bu rölelerde aşırı akım-zaman karakteristiklerini kolaylaştırmak ve elektronik bileşenlere transfer edilen enerjiyi sınırlamak için doymalı giriş transformatörleri kullanılırlar. Bu röle içinde rölenin böyle sinyallere cevabının nasıl olacağını etkileyen ve bozulmuş giriş sinyali ile karşılıklı etkileşen dalga şeklinde bozulmaya neden olur. Buna ek olarak birçok statik röle giriş sinyalini elektronik işlemler için uygun bir seviyeye dönüştürmek amacı ile küçük giriş transformatörleri kullanılır. Bu transformatörler oldukça büyük hava boşluğuna sahiptirler. (WDCIWG, 1984)

5.7.2.1 Mikroşlemcili aşırı akım rölesi

Mikroşlemcili aşırı akım röleleri birçok farklı ölçüm teknikleri kullanırlar (Dijital örnekleme, dijital filtreleme, asenkron örnekleme ve efektif ölçüm teknikleri gibi). Burada dijital filtreleme tekniğini ve asenkron örnekleme kullanan mikroşlemcili röle kullanılmıştır. Bunların her ikisi de harmoniklerden etkilenirler.

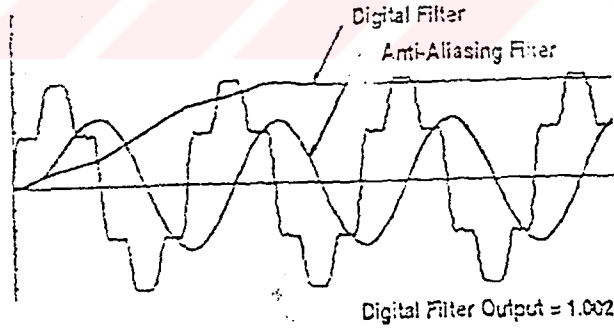
5.7.2.1.1 Dijital örnekleme ve antialiasing filtre

Mikroişlemcili aşırı akım rölesinin ana elemanları Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Şekilde röle devresine bağlı primer transformatör vardır. Röledeki giriş transformatörü yük direncini sekonder akımı ile besler. Yük üzerindeki gerilim sinyali alçak geçiren antialiasing filtreyi besler(LPF). Filtre çıkışı programlanabilir kazanç amplifikatörüne faz ve toprak akım sinyalleri ile birlikte sıra ile gönderilir(MUX yardımı ile). PGA röle açma ayarının yazılım kontrolünü sağlar. Analog/Dijital dönüştürücü(A/D) PGA’nın analog çıkışını dijital büyüklüğe dönüştürür.



Şekil 5.8 Mikroişlemcili aşırı akım rölesi

Şekil 5.9 tipik bir altı fazlı doğrultucunun akım dalgasına böyle filtrenin cevabını gösterir. Şekil doğrultucu dalga şeklini, antialiasing filtresinin çıkışını ve dijital filtrenin çıkışını gösterir. Dijital çıkış temel bileşen büyüklüğüne geri döner.



Şekil5.9 Dijital aşırı akım rölesinin altı darbeli doğrultucu akımına cevabı

5.7.2.1.2 Asenkron örnekleme ile efektif değer ölçümü

Mikroişlemci tabanlı aşırı akım rölesinde kullanılan başka bir teknik akım girişinin efektif değerini direkt olarak ölçer ve bunu çalışma büyüklüğü olarak kullanır. Bu yaklaşım filtreleme kullanmaz ve dalga şekli yüksek frekansları açıklamak için yeterli sayıda örneklenir. Her bir

örneğin karesi alınır ve toplanır ve toplamın karekökünün örnek sayısına bölümünün ortalaması (periyot başına) efektif değeri olarak alınır.

Senkronize örnekleme yüksek hesaplama yüküne sahip olacaktır ve örnekler arasındaki işlem zamanı periyot başına gerekli olan örneklerin sayısı ile sınırlanır. Yeterli örnekleme ölçülecek en yüksek frekansın en az iki katı örnekleme frekansı gerektirir. Örneğin, 13.harmoniğin örneklenmesi 1560 Hz örnekleme frekansı veya röle algoritmasını yerine getirmek için 27 örnek gerektirir. Fakat asenkron örnekleme tekniği periyot başına daha az örnekleme kullanarak ve bir çok periyot boyunca gerekli sayıda örneği toplayarak işlem zamanının daha verimli kullanılmasını sağlar (Elmore vd., 1993).

5.7.3 Çift Girişli Statik Röleler

Bu röleler harmonikli dalga şekillerine şu iki değere göre cevap verirler;

- 1) Daha önce belirtildiği gibi sinyalleri belirlemek için kullanılan giriş transformatörü ve giriş transformatörünün dizaynına,
- 2) Rölenin büyüklüğüne ve faz açısına cevabını anlamamızı sağlayan eşik dedektörünün dizaynına

Bu dizayn seçenekleri bağımsız olarak düşünülemez. Bir çok çift girişli statik röleler yüksek hızlıdır. Bu rölelerin dinamik karakteristikleri kararlı hal parametrelerinden ayrı olarak düşünülmelidir. (Barchetti vd.,1968)

BÖLÜM 6

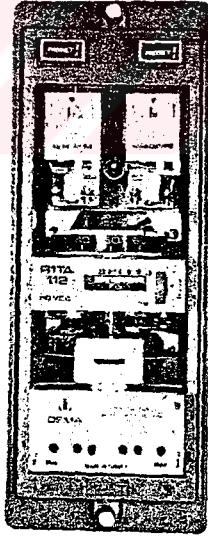
6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Nonsinüsoidal büyüklüklerin röleler üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada DEMA firmasına ait ters zamanlı aşırı akım rölesi ile SIEMENS firması tarafından üretilen termik aşırı akım rölesi kullanılmıştır.

6.1 Ters Zamanlı Aşırı Akım Rölesi

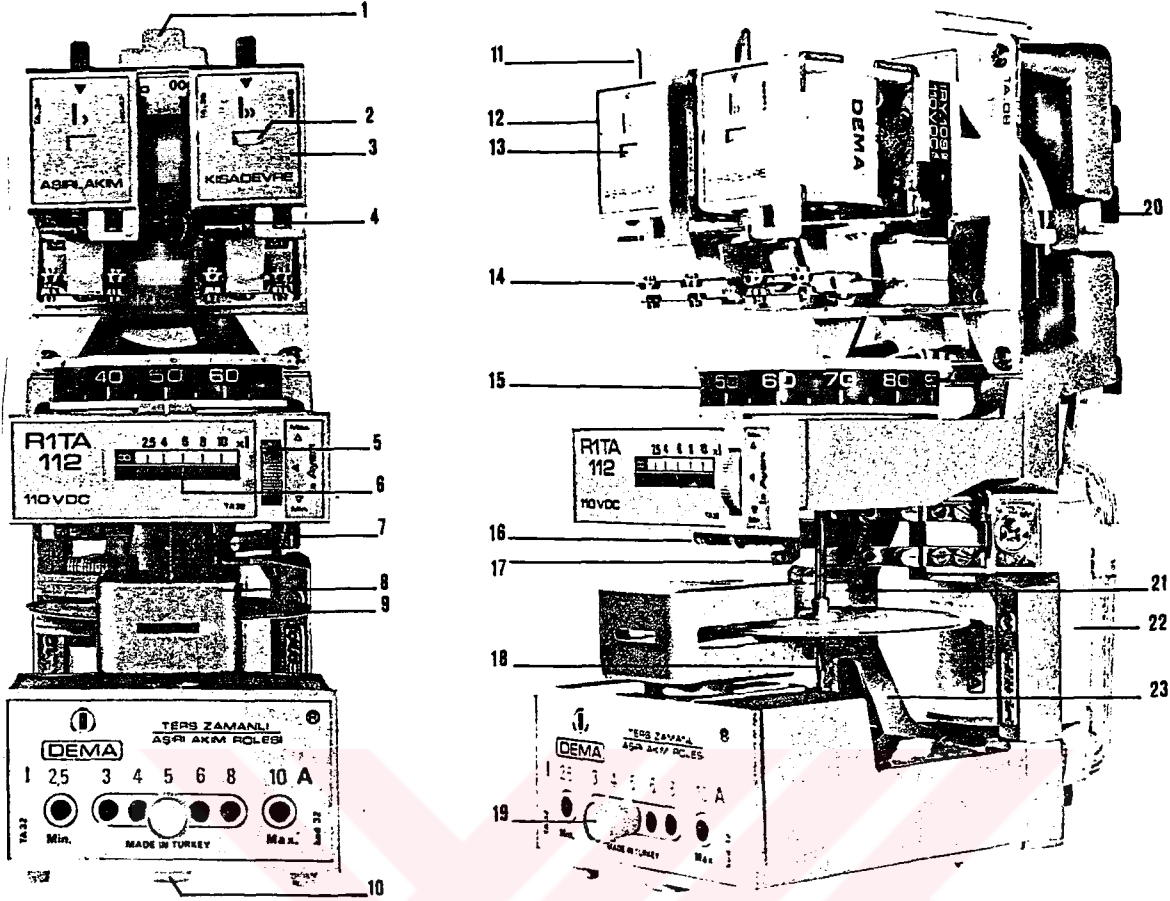
DEMA firması tarafından üretilen röle, elektrik tesisat koruması ve öncelikle selektif koruma amacı ile kullanılır. Açma zamanı akım değerine göre ters orantılıdır. Böylece açma zamanı yüksek akım değerlerinde kısa, düşük akımlarda ise yüksektir.(Ters zaman karakteristiği).

Sabit zamanlı karakteristiğinin çözemediği koruma problemleri ters zamanlı rölelerle kolaylıkla çözülmekte ve yönlü röle ile birlikte ring şebekelerinde tüm aşırı akım ve kısa devre korumaları gerçekleştirilmektedir. Yıldız noktaları direkt veya çok düşük direnç üzerinden topraklanmış şebekelerin toprak akım kaçakları ayar sahası (1-4 A) ters zamanlı rölelerle kesin bir şekilde korunmaktadır.



Şekil 6.1 Ters Zamanlı aşırı akım rölesinin önden görünüşü

Şekil 6.1’de bu rölenin önden görünüşü gösterilmiştir. Şekildeki iki buton göstergelerin reseti için kullanılmaktadır.



Şekil 6.2 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin açık şekli

Şekil 6.2’de verilen röle elemanları şunlardır (röle kataloğu);

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1- Üst sargı rayı | 13- Aşırı akım göstergesi |
| 2- Kısa devre göstergesi | 14- Yardımcı röle kontağı |
| 3- Kısa devre yardımcı röle | 15- Zaman seçici ayar düğmesi |
| 4- Çektirme mekanizması | 16- Kısa devre kontağı |
| 5- Kısa devre ayar düğmesi | 17- Aşırı akım hareketli kontağı |
| 6- Kısa devre ibresi | 18- Disk mili |
| 7- Aşırı akım sabit kontağı | 19- Aşırı akım ayar pimi |
| 8- Fren mıknatısı | 20- Bıçaklı klemens |
| 9- Ferrarisdiski | 21- İndüksiyon kutbu |
| 10- Alt sürgü rayı | 22- Akım bobini |
| 11- Yardımcı röle reset lambası | 23- İndüksiyon magneti |
| 12- Aşırı akım yardımcı röle | |

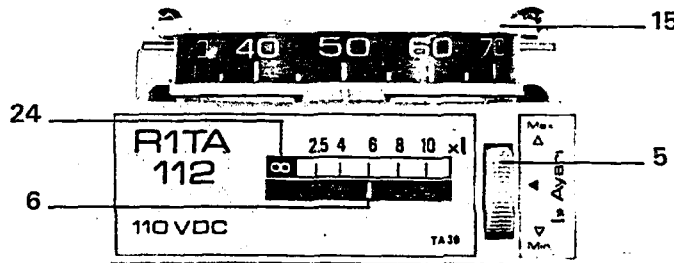
6.1.1 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin çalışması

Rölenin çalışmasını rölede bulunan aşırı akım ünitesi ve kısa devre ünitesi olmak üzere iki ayrı çalıştırma ünitesi ile inceleyebiliriz. Aşırı akım ünitesindeki özel saçtan oluşan indüksiyon mıknatısı (23) ve kutupları (21) ve buna bağlı özel histerizis eğrisi nedeni ile dizayn edilmiş ferraris diskini (9) çevirmeye ve yeterli moment kazancına neden olmaktadır. İndüksiyon bobini (22) yüksek termik dayanıklılık özelliği taşımakta ve aşırı akım 7 kademe olarak akım ayar pimi (19) vasıtası ile ayarlanmaktadır.

Pim dışarı çekildiğinde röle yüksek kademenin bir önceki kademe sargısına kenetlenir. (Örneğin, 2.5....8, 10 A ayar sahalı rölede 8 A kademesi) Ferraris disk-aksı özel iki presiz yatakta çalışmaktadır. Bu arada kesinlikle diske el ile dokunulmamalıdır. Akımın oluşturduğu moment diske hareket sağlar ve fren magneti (8) disk hızını ayarlar.

Disk üzerinde bulunan hareketli kontak (17) hareket sonunda kontağını kapar ve aşırı akım yardımcı rölesini (12) çektirir. Ve böylece aşırı akım indikatörü(13) aşırı akımın olduğunu gösterir. Aşırı akım açma zamanı ayar düğmesi ile seçilir(15). Ve 5...%100 arası ayarlanır. Akımın kesilmesi ile disk özel ölçü yayı vasıtası ile başlangıç noktasına alınır.

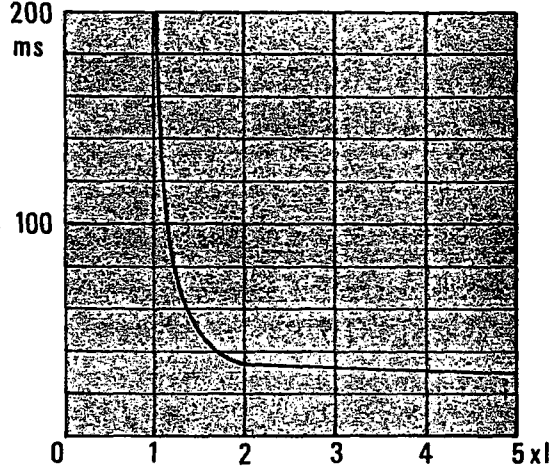
Kısa devre ünitesi gecikmesiz çalışan kısa devre ünitesi indüksiyon magneti ile çalışır. Geniş ayar sahasına sahiptir. Kısa devre akımı ayar düğmesi (5) ile seçilmekte ve ibrenin (6) gösterdiği rakam aşırı akımın katsayısını vermektedir. Şekil 6.3'de kısa devre ünitesi gösterilmiştir (röle katalogu)



Şekil 6.3 İndüksiyon diskli aşırı akım rölesinin kısa devre ünitesi

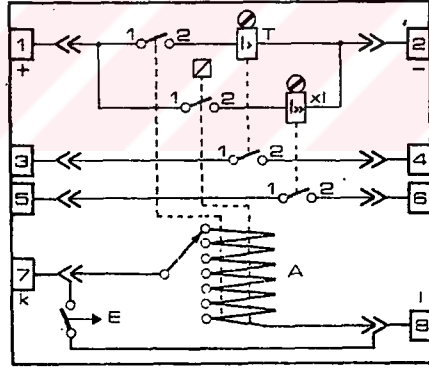
Kısa devre akımı ayarlanan değerin üzerine çıktığında kısa devre ünitesi kontağını(16) kapatır ve yardımcı röleye (3) kumanda eder ve gösterge (2) kısa devre olduğunu gösterir.

Ayrıca gecikmesiz kısa devre ünitesinin arzu edilmeyen tesislerde ibre sonsuz konumunda iken kısa devre fonksiyon dışı kalır ve böylece aşırı akım ve kısa devre açma, yalnız ferraris diski üzerinden gerçekleşir.



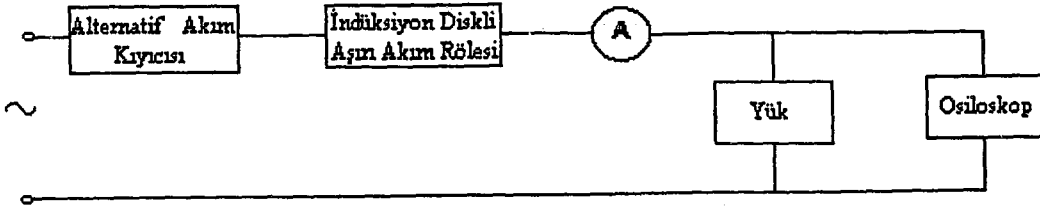
Şekil 6.4 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin kısa devre açma karakteristiği (röle katalogu)

Şekil 6.4'de kısa devre ünitesinin açma karakteristiğini göstermektedir. Kısa devre akımı ayarlanan değerin iki misline ulaştığında açma zamanı 40 ms'dir. Rölenin iç bağlantı şeması Şekil 6.5'da verilmiştir (röle katalogu).



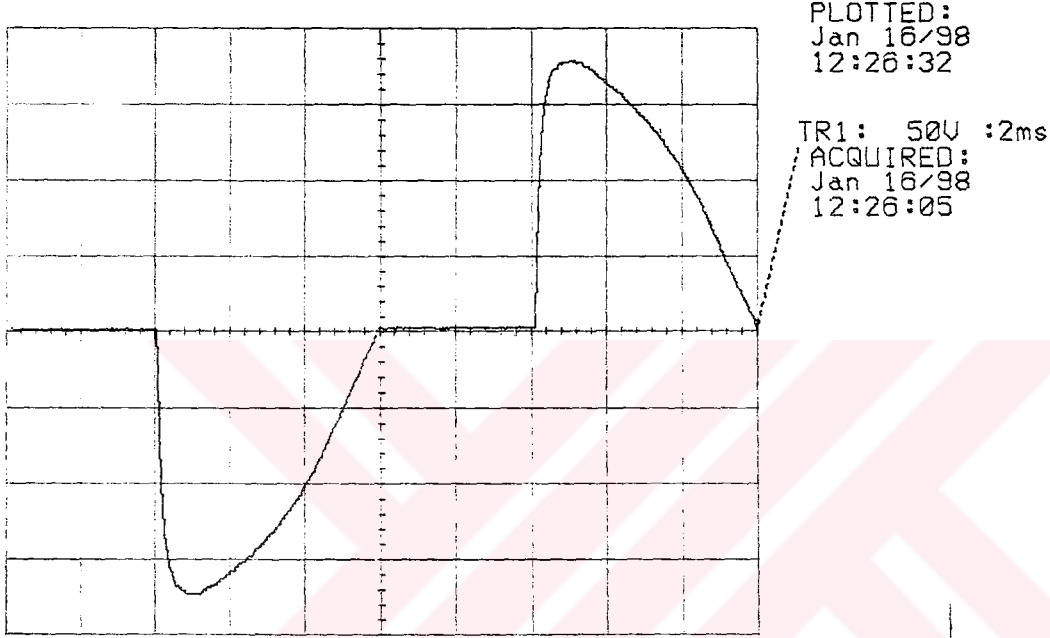
Şekil 6.5 Ters zamanlı aşırı akım rölesinin iç bağlantı şeması

Deney için Şekil 6.6'daki devre gerçekleştirilmiştir. Deneyde rölenin aşırı akım birimi kullanılmıştır. Rölenin aşırı akım değeri 1 A'e ayarlanmış ve sinüsoidal normal besleme ve harmonikli besleme durumları için Tablo 6.1'de verilen süreler ölçülmüştür. Zaman ölçümü mikroişlemcili bir sayıcı ile yapılmış olup hata değeri %0.1'dir. Harmonikleri elde etmek amacı ile bir ters paralel bağlı tristörlü alternatif akım kıyıcısı kullanılmıştır. Bu kıyıcı ile alternatif akım 0° ile 180° arasında kesilerek harmonikler elde edilmiştir. Burada alınan değerler kesme açısının 72 derece olması hali içindir.



Şekil 6.6 Deneide kullanılan devre

Yük olarak direnç kullanıldığından akım ile gerilim aynı fazdadır. Yük uçlarından geçen akımın şekli Şekil 6.7’de gösterilmiş olup osiloskop yardımı ile elde edilmiştir.



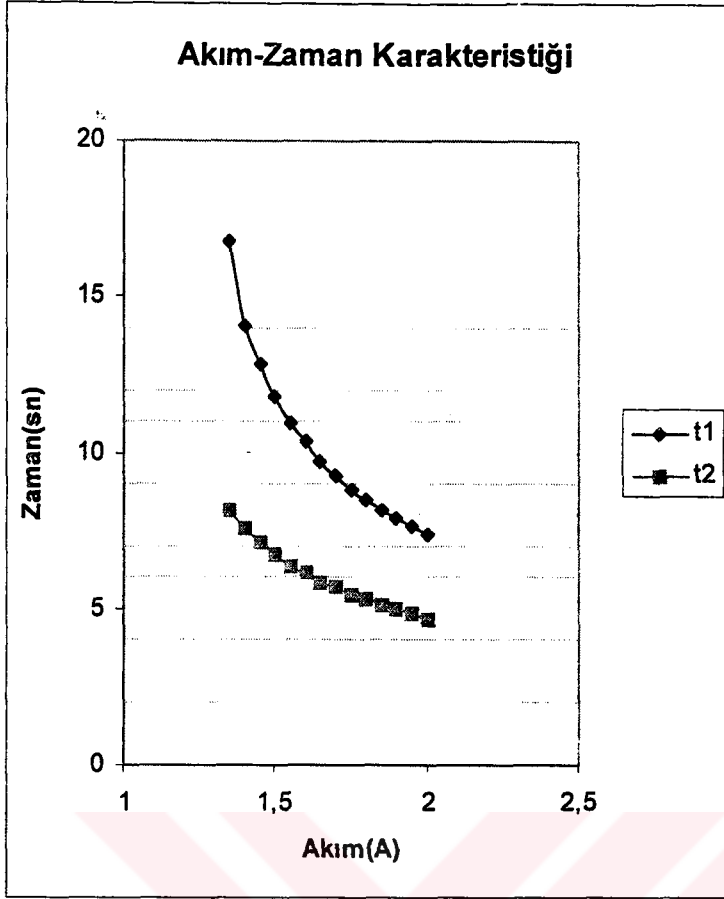
Şekil 6.7 Osiloskop vasıtası ile elde edilmiş yük akımı

Ölçümlerde gerçek efektif değer ölçen bir ampermetre kullanılmış ve harmonikli durumda ve sinüsoidal besleme durumunda aynı efektif değerlere sahip akımlar kullanılmıştır.

Elde edilen verilere dayanarak çizilen akım-zaman grafiğinde rölenin akım zaman eğrisinin harmonikli durumda normal durumdaki eğriye göre yukarı kaydığı görülmüştür. Bu da Bölüm 5.1.1.2’de verilen indüksiyon diskli rölelerde harmoniklerin bulunması durumunda eğrilerin yukarı kayacağı ifadesine uymaktadır.

Tablo 6.1 İndüksiyon diskli aşırı akım rölesine ait sinüsoidal ve nonsinüsoidal besleme durumları için elde edilen açma zamanları

Nonsinüsoidal besleme durumu		Sinüsoidal besleme durumu	
Akım(A)	t ₁ (sn)	Akım(A)	t ₂ (sn)
1,35	16,775	1,35	8,179
1,40	14,05	1,40	7,571
1,45	12,808	1,45	7,142
1,50	11,787	1,50	6,709
1,55	10,946	1,55	6,369
1,60	10,325	1,60	6,174
1,65	9,736	1,65	5,857
1,70	9,266	1,70	5,707
1,75	8,812	1,75	5,456
1,80	8,485	1,80	5,286
1,85	8,158	1,85	5,145
1,90	7,889	1,90	4,972
1,95	7,644	1,95	4,825
2,00	7,405	2,00	4,692



Şekil 6.8 Ters zamanlı aşırı akım röle deneyinden elde edilen akım-zaman karakteristiği

t_1 : Harmonikli besleme durumunda elde edilen süreler

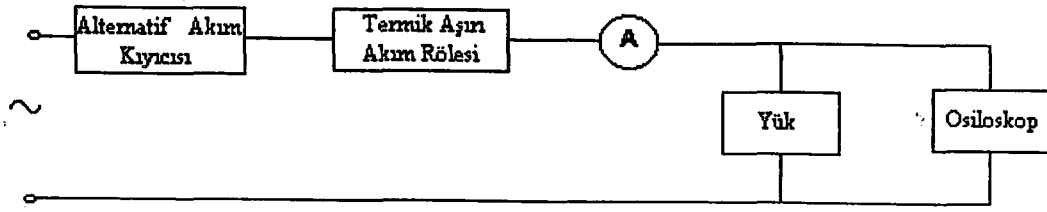
t_2 : Sinüsoidal besleme durumunda elde edilen süreler

6.2 Termik Aşırı Akım Rölesi

Bu tip röleler bimetal elemanlardan meydana gelmiştir. Farklı uzama katsayılarına sahip iki metal elemanın birleştirilmesi ile oluşturulur. Geçen akımın bimetal elemanda meydana getireceği ısı sonucunda bimetal eleman bükülmekte ve aşırı akım rölesinde kontağın değişimine sebep olmaktadır.

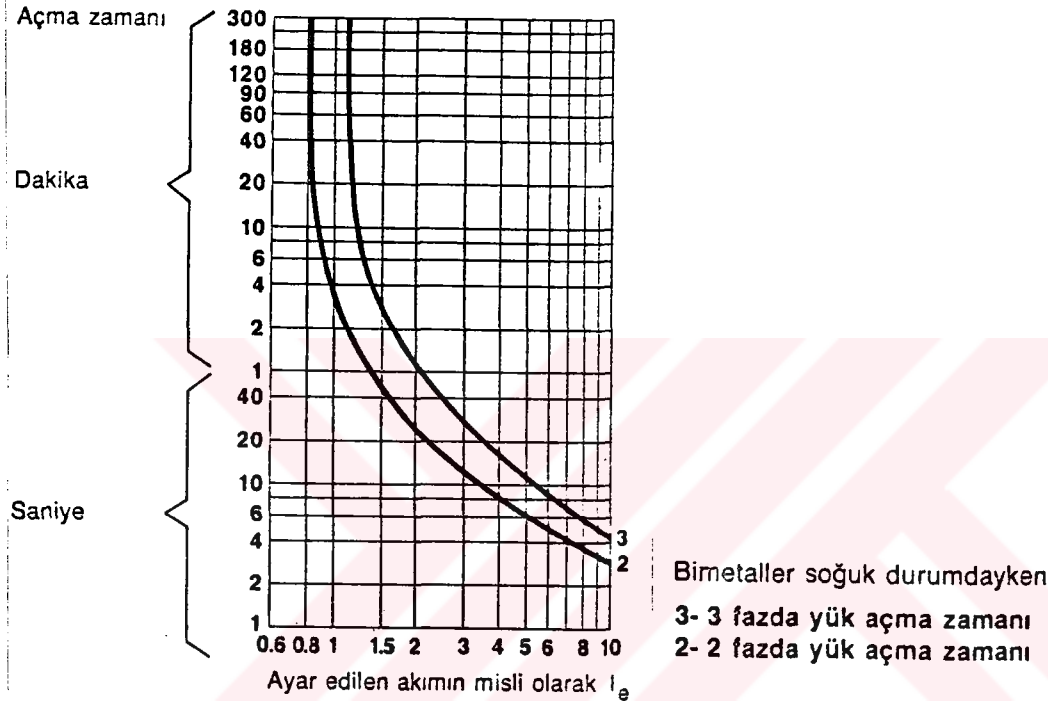
6.2.1 Termik aşırı akım rölesi deneyi

Termik aşırı akım rölesinin nonsinüsoidal büyüklüklerden etkilenmesinin tespiti için Şekil 6.9'daki bağlantı şeması kullanılmıştır.



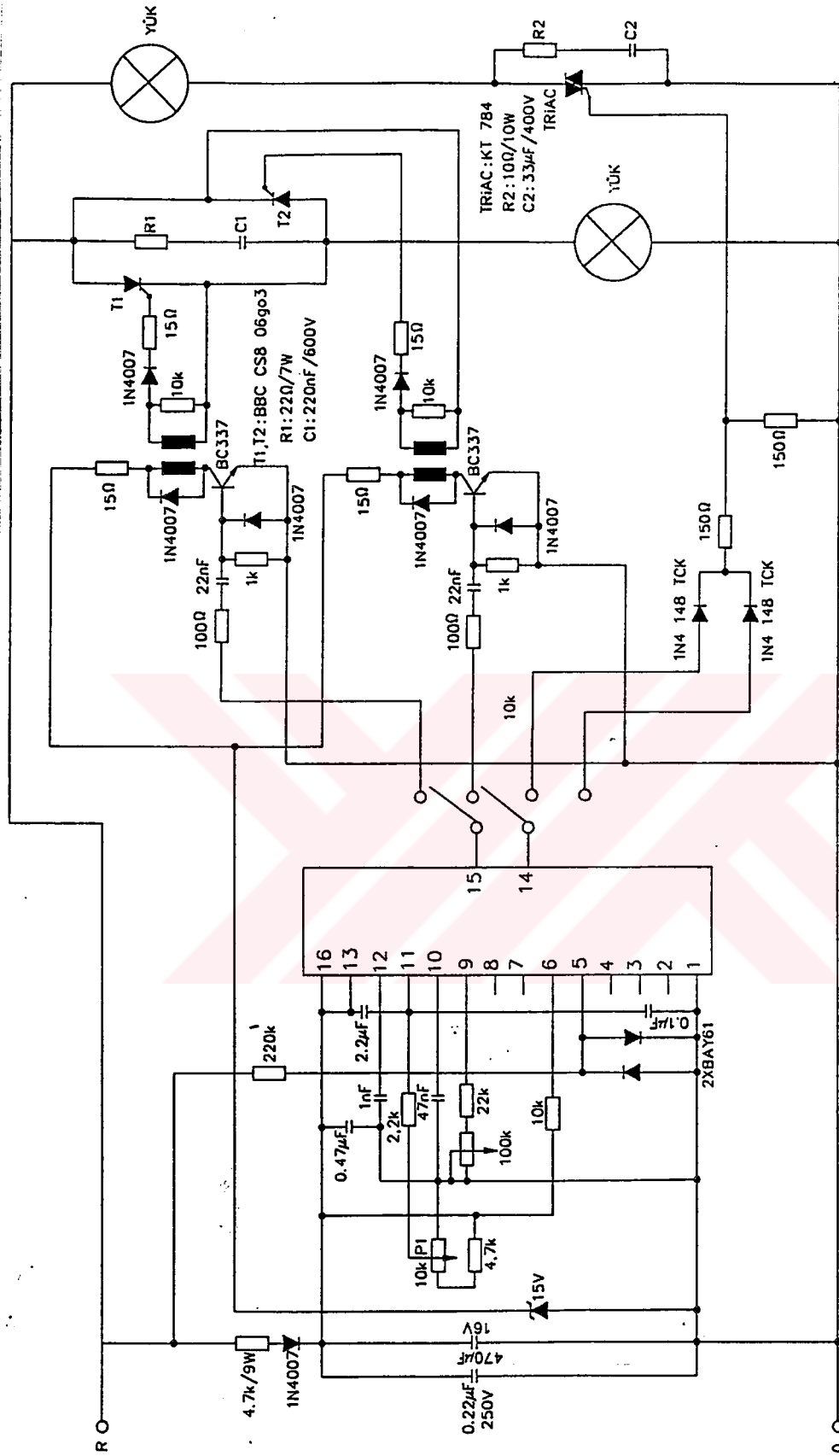
Şekil 6.9 Termik aşırı akım rölesinde kullanılan bağlantı şeması

Deneyde SIEMENS tarafından üretilen bir termik aşırı akım rölesi kullanılmıştır. Şekil 6.10'da bu tip bir röleye ait açma karakteristiği verilmiştir.



Şekil 6.10 SIEMENS tarafından üretilen termik aşırı akım rölesinin açma karakteristiği

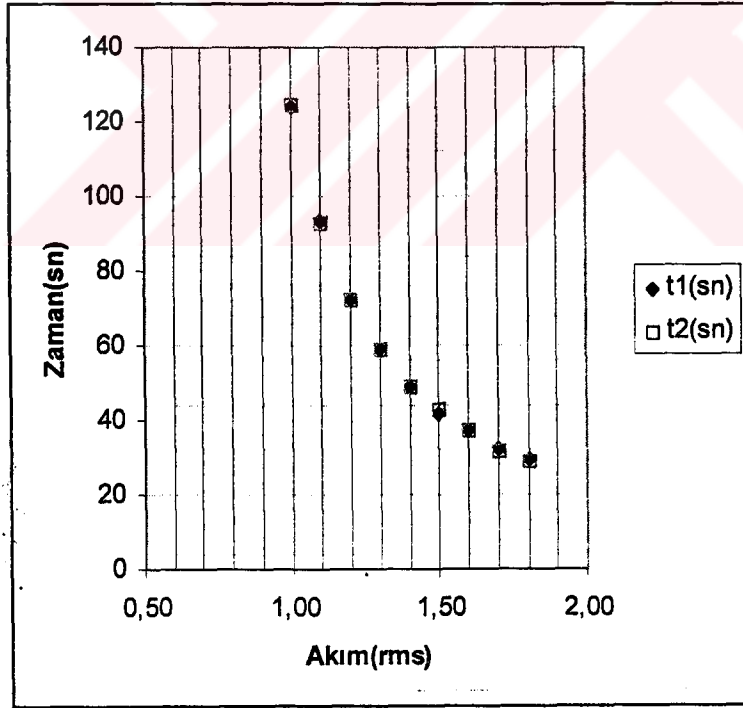
Röle aynı efektif değerli sinüsoidal ve nonsinüsoidal akımlarla beslenmiştir. Alınan değerler Tablo 6.2'de verilmiştir. Verilerden de görüldüğü gibi termik aşırı akımın rölesinde harmonikli durum ile sinüsoidal haldeki açma değerleri hemen hemen aynıdır. Aradaki farkı ölçme hatası olarak değerlendirebiliriz. Eldeki verilerden anlaşıldığı gibi termik röleler geçen akım şiddetine bağlı olarak çalıştıklarından aynı akım değerlerinde aynı açma zamanını vermiştir. Her iki durumda da röleden efektif değer olarak aynı akımlar geçirilmiştir ve bir sayıcı vasıtası ile %0.1 hata ile zaman değerleri alınmıştır. Harmonik üretici olarak Şekil 6.11'de gösterilen alternatif akım kıyıcısı devresi kullanılmıştır.



Şekil 6.11 Deneylerde kullanılan alternatif akım kısıyıcısı devresi

Tablo 6.2 Temik röleye ait sinüsoidal ve nonsinüsoidal besleme durumları için elde edilen açma zamanları

Nonsinüsoidal Besleme durumu		Sinüsoidal Besleme Durumu	
Akım(A)	t_1 (sn)	Akım(A)	t_2 (sn)
1.00	124.215	1.00	123.929
1.10	92.790	1.10	93.121
1.20	72.066	1.20	72.463
1.30	58.974	1.30	58.847
1.40	48.738	1.40	48.796
1.50	42.649	1.50	41.655
1.60	37.372	1.60	37.146
1.70	31.879	1.70	32.054
1.80	28.929	1.80	29.330



Şekil 6.12 Termik aşırı akım rölesi deneyinde elde edilen verilere göre çizilen açma karakteristiği

t_1 : Nonsinüsoidal besleme durumundaki açma süreleri

t_2 : Sinüsoidal besleme durumundaki açma zamanları

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, gün geçtikçe güç sisteminde etkinliğini artıran sinüsoidal dalga bozulmasının koruma sistemi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nonsinüsoidal dalga olarak harmonikli akım ve gerilim şeklinde sistemde varolan nonsinüsoidal büyüklüklerin koruma sisteminin işlevinde bir değişikliğe sebep olup olmadığı çalışmamızın konusunu teşkil etmektedir.

Güç sistemlerinin korunmasında koruma sisteminin temel elemanı ya da “beyni” olarak kabul edilen “koruma röleleri” üzerinde nonsinüsoidal büyüklüklerin etkileri literatürde teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu konu ile ilgili yayınlanmış bazı çalışmalar mevcuttur fakat bunların yeterli olduğu söylenemez. Güç sisteminde dalga bozulması (ya da harmonikli akım veya gerilim bulunması) bulunması halinde koruma elemanları ile ilgili ortaya çıkan problemler daha tamamen tanımlanmamış ve bu yönde tüm koruma elemanları için kesin bir biçimde sonuçlar verebilen yeterli çalışmalar mevcut değildir. Bütün bunların yanında literatürde halihazırdaki teorik çalışmalardan elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür;

- Sinüsoidal dalga bozunumunun varlığında bir rölenin bozunuma cevabını bu tip rölelerin hepsi için genellemek yanlıştır çünkü farklı röle üreticilerinin ve hatta aynı röle üreticilerinin ürettikleri farklı tip bir röle farklı cevap verebilir.

- Bir rölenin herhangi bir frekanstaki cevabı, bu frekansı içeren bozulmuş dalga şekline vereceği cevabın ne olacağını belirlemez. Yani süperpozisyon düşünülerek yapılacak çalışmadan elde edilecek sonuç doğru olmayacaktır.

- Dalga bozunumunun bulunması durumunda çok girişli röleler tek girişli rölelerden daha fazla farklı ve beklenilmeyen şekilde davranırlar bu da çok girişli rölelerde bozulmuş dalga cevabında belirsizliğin olduğu manasını vermektedir.

- Harmonik sınırlı diferansiyel rölelerin özel durumu dışında röle testleri için dalga bozunumu ve etkileri dikkate alınmamıştır. Harmonik sınırlı diferansiyel rölede de sadece 2.harmonik dikkate alınmaktadır.

- Dalga bozunumu karakteristikleri bilinen yeni tip röleler dalga bozunumu karakteristikleri bilinmeyen röleler bulunan mevcut sistemlere entegre edilmeli ve davranış biçimi üzerinde bir değer elde edilebilmelidir.

- Harmonikli durumlarda statik röleler harmoniklere karşı daha avantajlı olarak kullanılabilirler çünkü statik röleler içerisinde amaca uygun filtreler kolaylıkla oluşturulabilir ve böylece istenilen harmonik bileşenler kolaylıkla elimine edilebilir bu nedenle saf sinüsoidal dalga şekline rölenin cevabı bilindiğinden bir takım belirsizlikler kaldırılmış olur.

Çalışmamızın 6.Bölümünde de anlatıldığı gibi nonsinüsoidal büyüklüklerin iki tip röle üzerindeki etkisi laboratuvarında incelenmiş ve deneysel değerler verilmiştir. Bu verilerden hareketle şu değerlendirmeler yapılabilir;

İndüksiyon diskli aşırı akım rölesi için sinüsoidal besleme ve nonsinüsoidal besleme durumlarında aynı efektif değerli akımlar için açma zamanlarına göre çizilen Şekil 6.10'dan da anlaşılacağı gibi nonsinüsoidal besleme durumunda açma karakteristiği yukarı kaymıştır. Buna dayanarak indüksiyon diskli rölelerde harmoniklerin bulunması durumunda geç açma yapacaklarını söyleyebiliriz. Fakat daha önce de belirtildiği gibi bir genelleme yapmak yanlış olacaktır. Açma zamanında aşırı bir fark vardır, ve bu ise can ve mal emniyeti bakımından oldukça uzun bir süreye karşılık gelmektedir.

Termik röle deneyinde alınan verilere dayanarak çizilen grafikten de görüleceği gibi (Şekil 6.12) termik röle nonsinüsoidal ve sinüsoidal besleme durumunda aynı zamanda açmıştır. Termik rölenin çalışması içindeki bimetal elemanın ısınmasına bağlı olduğundan sinüsoidal besleme durumundaki besleme akımı ile aynı efektif değere sahip nonsinüsoidal besleme akımının etkisi aynı olmuştur.

Daha önce de belirtildiği gibi bu sonuçların genelleştirilmesi uygun olmamakla birlikte harmonik bileşenlerin etkinliği açısından bir değerlendirme imkanı vermektedir.

İndüksiyon diskli aşırı akım rölesinde elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uygunluk içindedir.

Her bir çalışma prensibi ve özelliği farklı koruma elemanlarının nonsinüsoidal büyüklüklerden etkilenmesi ve bunun seviyesinin belirlenmesi çalışmalarının sürdürülmesi gerekmektedir. Çünkü harmonik bileşenleri bulunan sistemlerin korunmasında çalışma noktası farklılaşması ve bunun belirlenerek önleminin alınması sistem işletimi ve güvenilirliği açısından çok önemlidir.



KAYNAKLAR

Arillaga, J., Bradley, D.A. and Bodger, P.S., (1985), Power System Harmonics, John Willey and Sons.

Barchetti, H., Korponay, N., and Mosbeck, A., "Behavior of Current Transformers, Relays, and Protective Devices subjected to Transients", CIGRA Rep.31.06,1968.

Blackburn, J.L.,(1987), Protective Relaying, Marcel DEKKER Inc., Taiwan

Bayram, M. (1984), Elektrik Tesisleri Laboratuvar Deneylemi, İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi

Clinker, C.R., (1914), "Harmonic Voltage and Currents in Y and Delta Connected Transformers", Trans. AIEE., Vol.33, pp. 334-723.

Curtis, L., (1914), "The Effect of Delta and Star Connection upon Transformer Wave Forms", Trans. AIEE, Vol. 33, pp.1273-1282.

Çaylı, T., (1980), "Koruma Tekniği", Elektroteknik Mecmuası, İ.T.Ü

Elmore, W.A., Kramer, C.A., and Zocholl, S.E, (1993), "Effect of Waveform Distortion on Protective Relays", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol:29,p.p. 404-411, Mart 1993.

Emmanuel, A.E. and Wang, X., (1985), "Estimation of Loss of Life of Power Transformer Supplying Non-linear Loads", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.Pas-104, No.3, pp 1377-1389.

Filipski, P.S. and Labaj, P.W., (1992), "Evaluation of Reactive Power Meters in the presence of High Harmonic Distortion", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.PWRD-7, No.4, pp.1793-1799.

Fuchs, E.F., Roesler, D.J., and Kovacs, K.P., (1986), "Ageing of Electrical Appliances due to Harmonic of The Power System's Voltages", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.PWRD-1, No.3, pp. 301-307.

Fuchs, E.F., Roesler, D.J., and Alashhab, F.S., (1987), "Sensitivity of Electrical Appliances to Harmonics and Fractional Harmonics of the Power System's Voltage PART-1: Transformers and Induction Machines", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.PWRD-2, No.2, pp. 437-444.

Fuchs, E.F., Roesler, D.J., and Kovacs, K.P., (1987), "Sensitivity of Electrical Appliances to Harmonics and Fractional Harmonics of the Power System's Voltage PART-2: Television sets, Induction watt-hour Meters and Universal Machines", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.PWRD-2, No.2, pp. 445-453.

Goldberg, S. and Horton, W.F., (1987), "Induction Watt-hour Meter Accuracy with Nonsinusoidal Currents", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.PWDR-2, No.3, pp 683-690.

Gönen, T., (1988), Modern Power System Analysis, Willey Interscience Publication, California.

Grady, W.M. and Heydt, G.T., (1985), "Prediction of Power Systems Harmonics due to Gaseous Discharge Lightning", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol-PAS-104, pp 554-561

Hwang, M.D., Grady, W.M., and Sanders H.W., (1987), "Distribution Transformer Winding Losses due to Nonsinusoidal Currents", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.1, pp 140-146.

Hwang, M.D., Grady, W.M., and Sanders H.W., (1988), "Calculation of Winding Temperatures in Distribution Transformers subjected to Harmonic Currents", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. PWRD-3, No. 3, pp.1074-1079.

Kaya, A., (1971), Teori ve Tatbikatları ile Röle Teknolojisi", T.E.K. eğitim Müdürlüğü, Adapazarı

Kocatepe, C. (1995), Sinüsoidal Olmayan Yükleri İçeren Enerji Sistemlerinde Harmonik Yük Akış Analizi ve Simülasyonu, Doktora Tezi

Madhava Rao, T.S., (1992), Power System Protection Static Relays, Tata Mc Graw-Hill, New Delhi.

Meliopolous, A.P.S. and Martin, M.A., (1992), "Calculation of Secondary Cable Losses and Ampacity in the Presence of Harmonics", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.PWRD-7, No.2, pp. 451-459.

Rissik, H., (1935), The Mercury Arc Converter, Pitman, London.

Stratford, R.P., (1980), "Harmonic Pollution on a Power System- A change in Philosophy", IEEE Trans. on Industry applications, Vol.IA-16, pp.617-623.

Sundberg, Y., (1976), "The Arc Furnaces as a Load on the Network", ASEA Journal, Vol. 49, pp 75-87.

Szabados, B. and Lee, J., (1981), "Harmonic Impedance Measurements on Transformers", IEEE Trans. Power Apparatus Systems, Vol. PAS-100, pp 5020-5026.

Wave Distortion on Consumer's Interconnection Working Group(WDCIWG), (1984), "The Impact of Sine-Wave Distortion on Protective Relays", Vol.IA-20, No:2, March/April 1984.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	20.07.1974	
Doğum Yeri	Polatlı/ANKARA	
Lise	1988-1991	Polatlı Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği
Çalıştığı kurum	1996-Devam ediyor.	Y.T.Ü. Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi
Yabancı Dil		İngilizce