

Transformatörde Hatalar ve Koruma Düzenleri

İsa İLİSU

1 GİRİŞ

Güç transformatörleri enerji sistemlerinde en önemli halkalardan biridir. Basit konstrüksiyonları sebebi ile bunlar, güç sistemlerinin güvenilirliği en yüksek donanımdır. Ancak bu yüksek güvenilirlik,

- Doğru boyutlandırma,
- Dikkatli bir montaj,
- Yeterli bakım ve koruma teçhizatının bulundurulması ile gerçekleştirilebilir.

Doğru boyutlandırmadan sarğaların, sac paketin ve çekirdeği bağlayan civataların uygun şekilde yalıtımı, iletkenlerin kısa devre zorlamalarına karşı tesbiti ve elektriksel bağlantıların iyi yapılması kastedilmektedir.

Dikkatli bir montajdan ise fiziki hasarlardan sakınma, tank içine somun, alet v.s. gibi yabancı cisimlerin düşürülmesi veya yanlışlıkla tank içinde bırakılmaması, iyi bağlantılar yapılması; yağın temiz ve kuru olduğundan emin bulunması anlaşılır.

Yeterli bakım, yağ ve sarğı sıcaklığının kontrolü, yağın kuruluğu, temizliği ve yalıtım seviyesi ile yağ üzerinde biriken gazın analizini içerir.

Koruma düzenleri ise parafudr, gaz röleleri ve elektriksel rölelerden oluşur. Bunlar, aniden ortaya çıkan hatalara karşı önlemler almaya yardımcı olduğu gibi yavaş gelişen hatalarda da erken uyarıma imkanı vererek ciddi arızalardan önce transformatörün devre dışı bırakılıp tamir edilmesini sağlarlar.

2 - GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİ ETKİLEYEN HATA TİPLERİ

Günümüzde giderek daha karmaşık olan işletme şartları, değişik

22 Yıldan Seçmeler...

Ocak 1984 tarihli 20. sayımızdan

tip hatalarda güç transformatörlerinin davranışlarından etkilenmektedir. Bu sebeple koruma düzenlerine geçmeden önce hataları sınıflandırmakta yarar vardır.

2. 1. DIŞ HATALAR

Bu hata halleri,
Aşırı yük hali,

Dış kısa devreler olmak üzere iki alt gruba ayrılabilir.

Aşırı yük halinde transformatörler, diğer koruma cihazlarının çalışması için önceden belirlenmiş bir süre kadar bekledikten sonra, arıza hâlâ ortadan kalkmamış ise, devreden çıkarılmalıdır. Sürekli aşırı yük hali termik rölelerle tespit edilebilir ve alarm verilerek duruma dikkat çekilir, zorunlu ise besleme kesilir. Aşırı akım röleleri, transformatörleri aşırı yüke karşı korumak için yeterli olmamaktadır.

Dış kısa devre hataları için genellikle aşırı akım zaman röleleri ve sigortalar kullanılır. Transformatörün kendi koruması ile şebeke korunmasının uygun şekilde koordine edilmesi sayesinde, şebeke korunması transformatör için bir yedek koruma sağlar. Transformatörün kendi koruma düzenleri dış hatalarda çalışmayacak şekilde düzenlenmiştir.

2. 2. İÇ HATALAR

Güç transformatörünün kendi koruması, koruma bölgesi içinde meydana gelecek hatalar sonucu ortaya çıkacak arızalar için düşünülmüştür. İç hatalar çok ciddi olup, daima yangın tehlikesi vardır. Bu iç hatalar iki grupta toplanabilir:

a- Ciddi hasara yol açan elektriksel hatalar: Bu çeşit hatalar genellikle akım yahut gerilimdeki dengesizlikle tespit edilebilir. Genel olarak bu hatalar;

- Üst gerilim yahut alt gerilim uçlarında faz-toprak veya faz arası kısa devre,
- Üst veya alt gerilim sarğalarında faz-toprak yahut faz arası hatalar,
- Tersiyer sarğıda toprak yahut sarım kısa devresi şeklinde olup, ciddi elektriksel hatalardır.

b- Başlangıç halindeki hatalar: Bunlar küçük iç hatalar olup yavaş ortaya çıkan hasarlara sebep olurlar. Bu hataların sarğı uçlarındaki birtakım dengesizliklerle tespit edilebilmeleri olanaksızdır. Bu tipe giren hataları ve sonuçlarını şöylece sıralayabiliriz:

- İletkenlerde kötü bağlantı, yahut sac paket yalıtımında bozukluk, yağ içinde sınırlı arklara yol açar.
- Soğutucudan gelen hatalar, çoğu kere tam yük altında ısı yükselmesine yol açar.
- Düşük yağ seviyesi yahut yağın kazanda iyi dolaşım yapmaması. Bu durumda sarğılarda yerel aşırı ısınan noktalar ortaya çıkar.
- Regülatör arızaları ve paralel çalışan transformatörler arasında yükün iyi dağıtılamaması, sirkülasyon akımları sebebi ile aşırı ısınmaya yol açar.

Genel olarak (a) grubu hatalar için arızalı eleman, arıza olur olmaz, mümkün olduğu kadar çabuk, devreden çıkarılmalıdır. Böylece, sade hasar sınırlanılmakla kalınmaz, aynı zamanda sistemde düşük gerilimin devam süresi azaltılmış olur. Gerilimin uzunca bir süre düşük seyretmesi döner makinelerin senkronizasyondan çıkmasına yol açacak- ➔

tır. Bu olay meydana gelirse, makinelerden çekilen aşırı akımlar birbirini takip eden yanlış açmalara sebep olabilir.

b) Grubundaki arızalar başlangıç hali için ciddi olmakla birlikte zamanla büyük arızalara dönüşebilirler.

(a) Grubu arızalar için yapılan koruma (b) grubu için etkili değildir. (b) Grubu için yapılan koruma şekli ise (a) grubu için yeter derecede çabuk değildir. Bu sebeple her iki grup için yapılan koruma birbirini tamamlar.

Aşağıda verilen koruma düzenlerinde ilk olarak başlangıç halindeki hatalara karşı koruma maksadı ile kullanılan röleler incelenecek ve daha sonra elektriksiz dengelesizlikleri tespit eden rölelerin uygulanmasına geçilecektir.

3- GAZ ETKİSİ İLE ÇALIŞAN RÖLELER

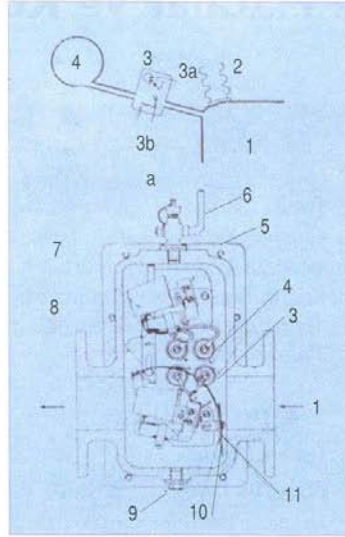
Kötü bağlantıların ve sac paket yalıtım bozukluklarının yerel ısınmalar doğurduğuna değinilmişti. Transformator yağının 210°C sıcaklıkta ayrışarak gaz ürünleri ortaya çıkarması bu durumu tespit eden rölelerin yapımı fikrini geliştirmiştir.

3. 1. BUCHHOLZ RÖLESİ

Transformatörde bir arıza ya da yağta ortaya çıkarsa, yerel ısınmalar meydana gelerek katı veya sıvı yalıtım malzemelerini ayrıştırır ve böylece yanıcı gazlar doğar. Buchholz rölesinde (Şekil -1) belirli bir miktar gaz biriktiğinde alarm sistemi çalıştırılır. Rölede toplanan gazın analizi, arıza cinsi ve yeri hakkında bir göstergedir.

Gaz cinslerine göre hataların nasıl anlaşılacağı, Çizelge'de gösterilmiştir.

Buchholz rölesi ile tespit edilen arızalardan bir diğeri de demir çekirdekte meydana gelen akım-



Şekil 1 - Buchholz Rölesi
a) Prensip şeması
1- Transformator muhafazası
2- İzolatör
3- Buchholz rölesi
3-a) Alarm
3-b) Açma
4- Yağ genişleme kabı
b) Kesit
1- Transformator tarafı
2- Genişleme kabı tarafı
3- Açma devresi
4- Alarm devresi
5- Karşı ağırlık
6- Gaz boşaltma musluğu
7- Civa kolu
8- Deneme kolu
9- Boşaltma musluğu
10- Saptırıcı levha
11- Saptırıcı ayarı

ların kendilerine yol bulmaları ile demir parçalar arasında ark oluşmasıdır. Bu çeşit arklar demirin hasara uğramasına yol açtığı gibi, yağın ağırlaşmış çamurlaşmasına da sebep olur.

Transformator servise ilk girdiğinde, eğer yağ doldurulması sırasında yeterli vakum uygulanmamış ise, sargılar arasında sıkışan hava Buchholz rölesinde toplanır ve yanlış açmalara sebep olur. Böylece toplanacak gazın yanıcı olmayacağı açıktır.

Buchholz rölesinin alarm vermesi için gerekli gaz hacmi transformator gücüne bağlıdır. Tablo 1'de transformator gücüne göre Buchholz rölesi bağlantı borusu çapları ve rölenin ayarlandığı gaz hacimleri verilmiştir.

Yağ içinde bir sargı arızası olursa, ark çok hızlı bir şekilde gaz üretir. (50 cm³/kW. saniye). Üretilen bu gaz, yağ içinde bir yürüyen dalga oluşturur. Buchholz rölesi alt kontaklarının bağlı olduğu klape bu dalgadan etkilenerek açma kumandası verir. Klape etkileneneği yağ hızı değeri, yağ sirkülasyonu tutumlarının çalışıp durması ile oluşacak yağ hareketinden daha yüksek hızlara ayarlanmalıdır. Transformator gücüne göre açma yaptıracak yağ hızları değişmektedir. **Tablo 2'** de değerler transformator gücüne göre verilmiştir.

Transformatörden gelen gazın rölede toplanabilmesi için röle ile transformator kazanı arasındaki boru mümkün olduğu kadar kısa ve en az 2°'lik bir eğimde olmalıdır.

Buchholz rölesinde alt klape ayrıca şamandra ile donatılmıştır. Bu şamandra yağın birden

Çizelge - BUCHHOLZ RÖLESİNDE, TOPLANAN GAZ CİNSLERİNE GÖRE HATA TÜRLERİNİN ANLAMLARI

Toplanan gaz cinsi	Hata cinsi ve yeri
- Hidrojen, asetilen	Yapı parçaları arasında, yağda ark
- Hidrojen, asetilen, metan	Pertinaks yalıtımda bozulma sonucu ark (örneğin kademe değiştiricide)
- Hidrojen, metan, etilen	Sac paket bağlantılarında sıcak nokta
- Hidrojen, etilen, karbondioksit, propilen	Sargılarda sıcak nokta

Tablo 1- TRANSFORMATÖR GÜCÜNE GÖRE BUCHHOLZ RÖLESİ BAĞLANTI BORUSU ÇAPLARI VE GAZ HACİMLERİ

Transformatör Gücü (MVA)	Boru çapı (cm)	Rölenin ayar bölgesi (cm ³)
1>	2,5	100-120
1-10	5,0	185-215
10>	7,5	220-280

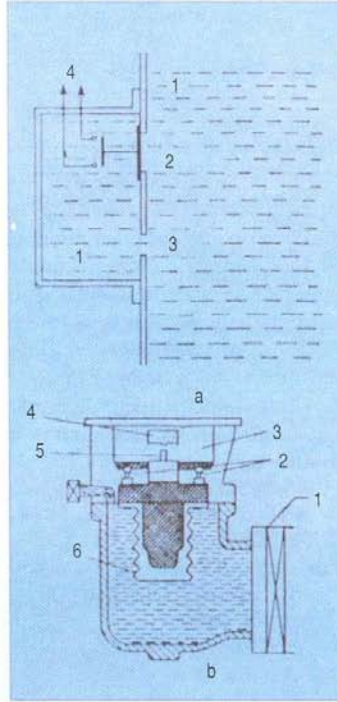
Tablo 2- TRANSFORMATÖR GÜCÜNE GÖRE AÇMA YAPTIRACAK YAĞ HIZLARI

Transformatör Gücü (MVA)	Boru çapı (cm)	Rölenin ayar bölgesi (cm ³)
1>	2,5	75-125
1-10	5,0	80-135
10>	7,5	95-155

akıp gitmesi halinde açma yaptıracığı gibi, yağ pompalarının çalışmasında ortaya çıkan yağ dalgalarının amortize edilmesine de yardımcı olur.

3. 2. ANİ BASINÇ RÖLESİ

Yağ genişleme kazanı yerine azot gazından gaz yastığı olan transformatörlerde Buchholz rölesi kullanılması olanaksız olduğu için, yağ kazanına monte edilen ve basıncın artma hızı esasına göre çalışan, ani basınç röleleri kullanılır (**Şekil 2**). Diyaframın iki tarafındaki basınç alttaki delik ile eşit hale getirilmiştir. Ani bir basınç artmasında diyaframa gelen darbe etkisi ile kontaklar kapanır. Burada etkili olan yağ basıncı değil, basıncın artma hızıdır. Şekildeki rölede diyafram transformatör yağından metal bir körük ile ayrılmış ve silikon yağı içine yerleştirilmiştir. Böylece elde edilen sistem basınç yükselmesi ile ters orantılı bir açma zamanı karakteristiğine sahiptir. Bu karakteristik ile mekanik darbeler halinde yanlış çalışmalar önlenmiş olur. Bu koruma üniteleri bakım yönünden kazanın alt bölümünde bir yere yerleştirilir. **Şekil 3**'te ani basınç rölesi karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2- Ani basınç rölesi

a) Prensip şeması

- 1- Yağ
- 2- Diyafram
- 3- Dengeleyici delik
- 4- Açma

b) Kesit

- 1- Yağ vanası
- 2- Dengeleyici delikler
- 3- Üst hazne
- 4- Anahtar
- 5- Piston
- 6- Bronz körük

3. 3. GAZ ETKİSİ İLE ÇALIŞAN RÖLELERDE ORTAYA ÇIKAN SORUNLAR

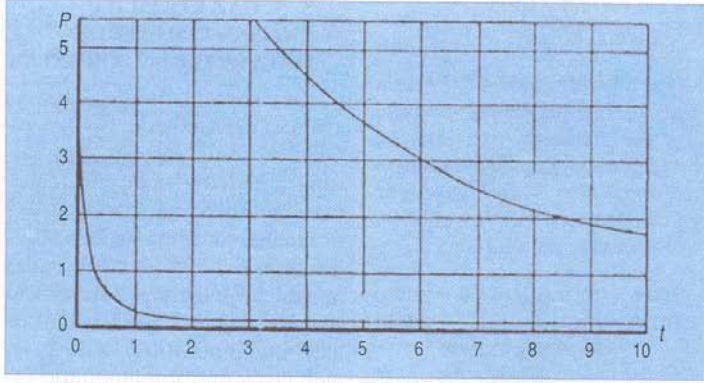
Civa kontaktlarının çok hassas ayar edilmesi halinde, boruya yapılan mekanik darbeler, yer sarsıntısı, kademe değiştirici çalışması ve büyük dış arızalarda; ayrıca magnetik akımın sebep olduğu titreşimlerde yanlış açmalar meydana gelebilir. Bunun için standart değerler olmamakla birlikte Buchholz rölesi, %16 g ivmeli ve 60 mm amplitüdünde yatay sismik titreşimlerle çalışmayacak şekilde boyutlandırılmaktadır. Düşey titreşimler için ise frekansa göre değişen sınır amplitüd (genlik) ve ivme değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Buchholz rölesi için en küçük çalışma süresi 0,1 saniye ve ortalama 0,25 saniyedir. Bazı haller için bu süreler yavaş sayılır. Ani basınç röleleri sadece büyük arızalar için Buchholz rölesinden daha hızlıdır. Diğer taraftan yüksek açma hızı istenen büyük arızalar için yağ hareketine sebep olmayan elektriksel röleler kullanılabilir. Bunlar çıkış uçlarındaki atlamada da etkilidir.

4- TRANSFORMATÖR KORUNMASI İÇİN ELEKTRİKSEL RÖLELER

Transformatör içinde, yıldırma yahut bağlama olaylarındaki gerilim sıçramalarına bağlı olarak meydana gelen atlamalar ekseriyetle sargı ile çekirdek veya kazan arasında ortaya çıkar ve bunlara karşı korunma genellikle basit toprak arızası röleleri ile olabilir.

Daha mühim olarak sargılar arasında yahut baş taraftaki sargılar arasında dik gerilim cephelerinin sebep olduğu delinmeler olabilir. Kuvvetli kısa devreler sırasında meydana gelen manyetik kuvvetler sebebi ile sargıların oynaması da delinmelere yol



Şekil 3- Ani basınç rölesi karakteristiği $t =$ çalışma zamanı, $p =$ basınç artma hızı

Tablo 3- BUCHHOLZ RÖLESİNDE, DÜŞEY TITREŞİMLER İÇİN, FREKANSA GÖRE SINIR GENLİK VE İVME DEĞERLERİ

Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Eşdeğer İvme (m/sn ²)
25	2,3	3.g
150	0,4	16.g
100	0,6	12.g

açar. Bu gibi olaylar eski transformatörlerde yahut aşırı ısınma ile bozulmuş yalıtımlı transformatörlerde daha çok ortaya çıkar. Böyle hatalar nadir olmakla birlikte diferansiyel röle yahut Buchholz röleleri ile tespit edilebilirler.

Hatalar, yük altında ayar yapan kademe değiştiricilerinin arızalı kontaklarında da meydana gelebilir. Bu gibi hatalar yanlış bağlama yahut kademe uçları arasında kısa devre şeklinde olur. Söz konusu hatalar aşırı akım ve düşük gerilim röleleri ile tespit edilebilir.

Aşırı ısınmalar ise transformatörün asıl benzeri olan termik rölelerle tespit edilebilir.

4. 1. TOPRAK KISA DEVRESİ RÖLELERİ

Üçgen sargılar ve topraklanmamış yıldız sargılar en iyi şekilde, güç transformatörünün uçlarına yerleştirilen akım transformatörleri ile beslenen, sıfır bileşen aşırı akım röleleri ile korunurlar.

Böyle bir röle sadece, bir dış toprak arızasını besleyecek toprak bağlantısı olmayan transformatörde toprak arızası olması halinde çalışabilir. Röle genellikle ani çalışan tiptir. Ancak üç fazdaki akım trafolarının paralel bağlanması ile elde edilen fark akımla besleniyor ise yüksek empedans tipinden olmalıdır. Böylece, fazlar arasında büyük bir dış kısa devre olması halinde akım trafolarının çıkışında

oluşan hatalı fark akımı sebebi ile yanlış çalışma önlenir.

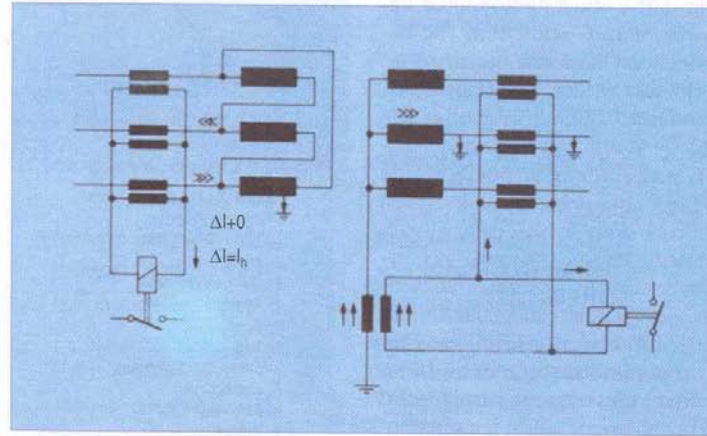
Eğer toprak rölesinin beslenmesi üç faz iletkenini çevreleyen ve magnetik şartları üç faz için de aynı olan bir akım transformatörü ile yapılıyor ise, basit aşırı akım röleleri de bu maksatla kullanılabilir.

Nötrü topraklanmış yıldız bağlı sargılarda Şekil 4'teki tutucu toprak arızası bağlantısı kullanılır. Bu diferansiyel bağlantıda sadece sargıda toprak arızası olduğu zaman röleden akım geçer. Hızlı çalışan röleler kullanılması halinde, hatalı çalışmanın önlenmesi için röle devresinin yüksek empedanslı olması lazımdır.

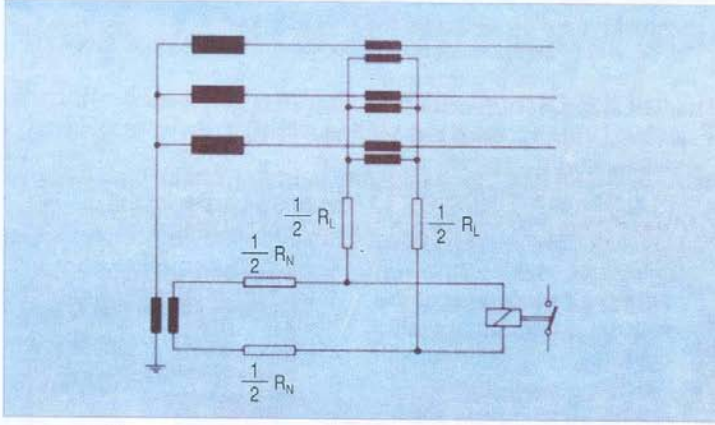
Üç fazlı bir dış hata esnasında eğer akım transformatörleri çevirme oranlarını muhafaza ederlerse fark akım rölelerinden ve tutucu toprak rölelerinden akım geçmeyebilir. Fakat ilave olarak magnetik dengesizlik ve geçici rejim bileşenleri mevcuttur.

Üçüncü harmonik bileşenleri üç faz hattında aynı fazda olup temel frekanslı akımlar gibi birbirlerini ortadan kaldırmazlar ve sıfır bileşen akımı gibi davranırlar.

Üç fazlı dengeli hatalar pratikte çok az görülür ve faz-faz hatlarda uyarılan akım transformatörleri benzer şartlarda olduklarında ➔



Şekil 4- Tutucu toprak arızası bağlantısı



Şekil 5- Düşük empedanslı rölelerle ilgili tutucu toprak anzası bağlantısı

üçüncü harmonik yönünden bir problem ortaya çıkmaz. Rölenin temel frekansa ayarlanması yahut üçüncü harmonik filtresi kullanılarak soruna çözüm getirilmiştir.

Bir dış arıza halinde düşük empedanslı rölenin çalışmaması bağlantı hatlarının direncine de bağlıdır. (Şekil 5) nötr hattı üzerinde bulunan akım transformatörü R_N direncine yüklenecek ve fakat faz hatlarındaki akım transformatörlerinin üç katı akımla beslenecektir. Faz hattındaki akım transformatörleri ise R_L direnci ile yüklüdür. Eğer $R_N = 3R_L$ şartı gerçekleşmezse röleden normal şartlarda da akım geçer. Bu şartın gerçekleşmesi için nötr transformatörü tarafına dışardan direnç ilavesi ile teorik olarak istenen durum gerçekleşir. Fakat bu uygulama pratik değildir. Çünkü nötr akım transformatörü doyabilir, yahut geçici rejim esnasında denge temin edilmeyebilir. Uygun çözüm röle ile seri olarak stabilize edici bir direnç kullanmak yahut yüksek empedanslı röle kullanmaktır.

Nötrü direnç üzerinden topraklanmış transformatörlerde, arızalı sargıdaki toprak arıza akımı, sargıdaki arızalı nokta ile nötr arasındaki gerilime direkt olarak ve nötr direncine ters olarak bağlıdır.

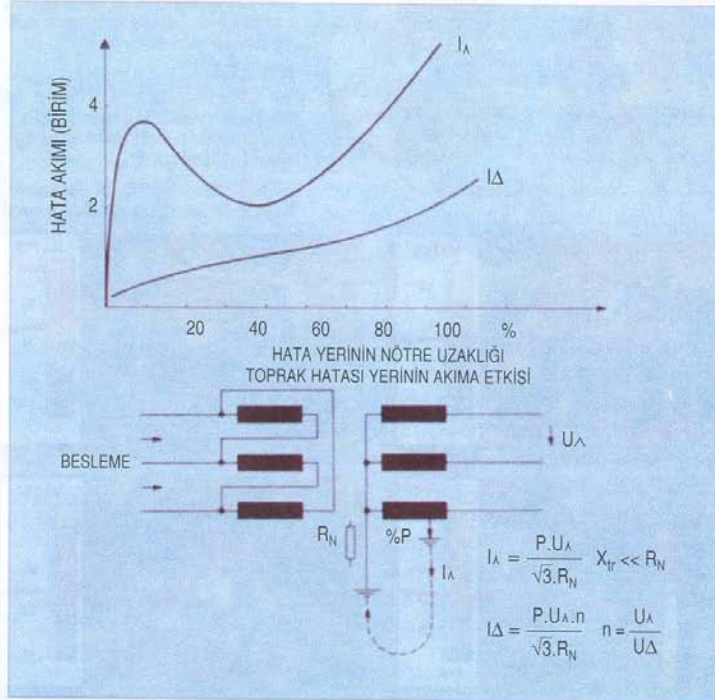
$$I_Y = U_Y \cdot p / \sqrt{3} R_N \text{ [A]}$$

Burada p sargının yüzde olarak kısa devre olan kısmını, U_Y faz arası gerilimi ve R_N nötr direnci olup kaynak ve trafo empedansı bunun yanında küçük kalmaktadır.

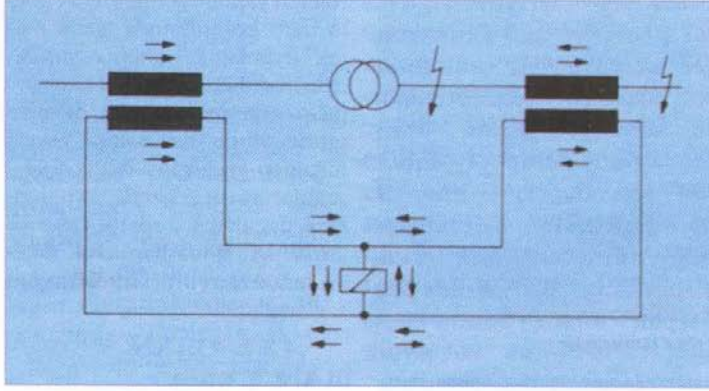
Eğer güç kaynağı üçgen tarafta ise bu taraftaki akım, $U_Y/U_{\Delta} =$

n değiştirme oranı olmak üzere, $I = n \cdot p \cdot U_Y/R_N$ dir. Direkt olarak topraklanmış transformatörlerde hata akımı ile sargı boyunca hata yerinin durumu arasındaki bağıntı daha karmaşıktır. Çünkü akım, sargının empedansı ile sınırlanır ve bu empedans kısa devre olan sarımların karesi ile artar. Bundan başka nötre yakın yerlerde magnetik kaçağın artması sebebi ile arızalı sarımlarda gerilim dağılımı sarım sayısı ile orantılı değildir. Şekil 6, hata yerine göre akımın değişimini göstermektedir.

Üçgen sargıda hata yeri ile hata akımı arasındaki bağıntı daha da karmaşıktır. Akım genliği az değişir, çünkü toprağa karşı olan gerilim hiçbir zaman faz-nötr geriliminin %50'sinden az değildir. Sargının ortasındaki bir hata için sargı empedansı en büyüktür ve doğru bileşen empedansının 6 katı kadar olabilir.



Şekil 6- Toprak hatası yerinin akıma etkisi
a) Hata yerine bağlı olarak hata akımının değişimi,
b) Bağlama şeması



Şekil 7- Basit diferansiyel röle

4. 2. DİFERANSİYEL TRANSFORMATÖR KORUMASI

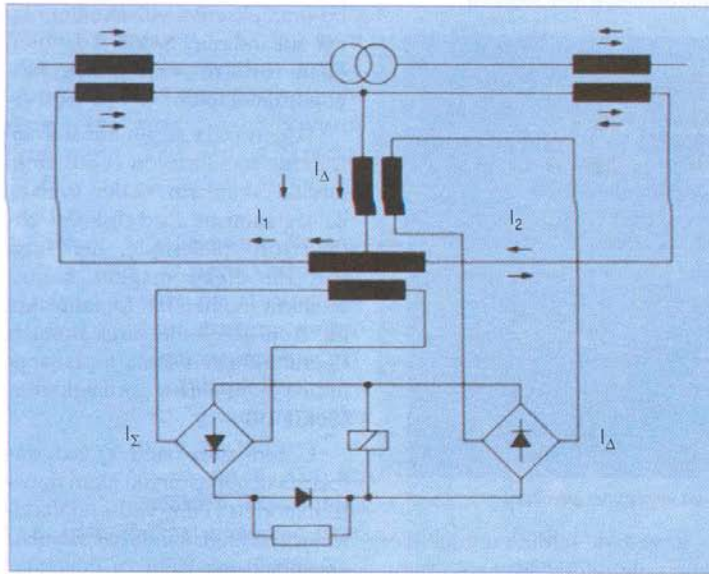
Büyük transformatörleri, yüksek hızlı diferansiyel rölelerle donatmak olağandır. Diferansiyel rölelerle transformatörün koruma bölgesindeki sarım, sargı ve toprak hataları tespit edilebilir ve bu hatalar Buchholz rölesinden daha hızlı bir şekilde giderilebilir. (Şekil 7)

Diferansiyel röle, transformatörün sargılarındaki akımları, akım transformatörleri yardımı ile mukayese eder.

Akım transformatörlerinin değiştirme oranları, nominal akıma göre küçük olan mknatıslama akımları hariç tutulursa, sekonder akımları eşit olacak şekilde seçilir.

4. 2. 1. BASİT DİFERANSİYEL RÖLE

Şekil 7'de en basit diferansiyel röle verilmiştir. Akım transformatörleri polariteleri dış hatalarda ve nominal yükde röleden akım geçmeyecek şekilde seçilmiştir. Röle sargısı, endüklenen akımların vektörel toplamlarını alır. Normal halde bu toplam sıfırdır. Transfor-



Şekil 8- Oran diferansiyel rölesi

matör içindeki bir arızada denge bozulur ve röle çalışır.

Pratikte basit haldeki diferansiyel korumada üç ana zorluk ortaya çıkar.

a) Akım transformatörlerinin farklı karakteristiklere sahip olması:

Doyma gözönüne alınmazsa farklı gerilimdeki akım transformatörlerinin değişik değiştirme oranları arasındaki farklar normal yükte eşit akım vermesine rağmen arıza halinde sekonder akımlarda farklar doğurur. Farklı tip akım transformatörleri kullanılması halinde, bu olay daha fazla rahatsız edicidir.

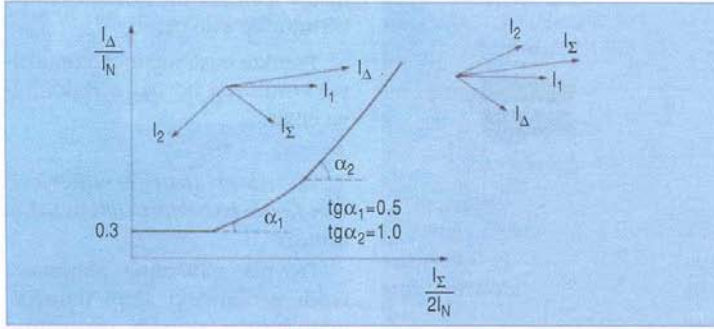
Akım transformatörlerinin sekonder devrelerinde, farklı uzunlukta bağlantı hattı bulunması, iki akım trafosu yükü arasında fark yaratır, ki bu da değiştirme oranı hatası gibi ektir.

b) Kademe değişikliğinin sonucu olarak, transformatör çevirme oranının değişimi:

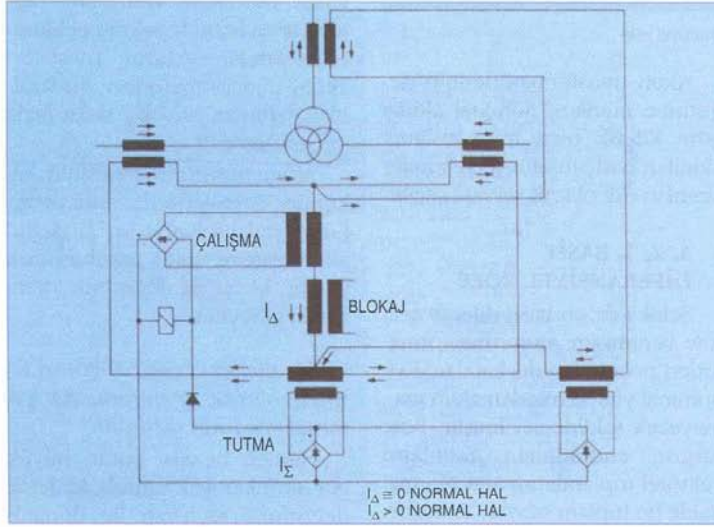
Hemen hemen bütün büyük güç trafoları yük altında kademe değiştirme teçhizatı ile donatılmıştır. Transformatör çevirme oranı değiştikçe primer ve sekonder akımların oranı da değişir. Akım transformatörlerinin ayarlandığı kademe dışındaki konumlarda diferansiyel röleden akım geçer. Bu olayın kontrol edilebilmesi için stabilize röleye göre vardır.

c) Devreye girme akımı

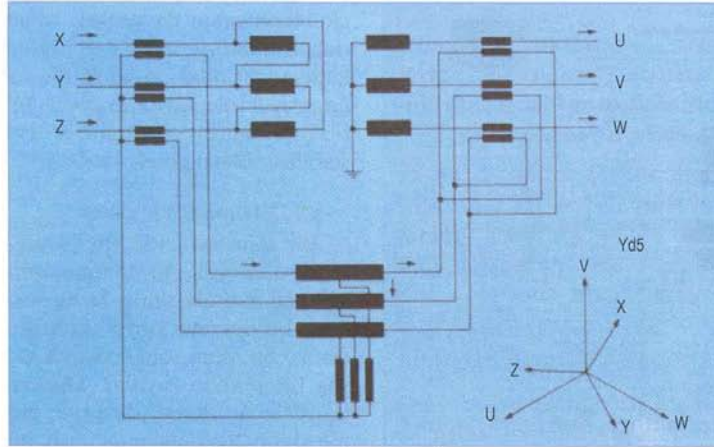
Bir transformatör enerjilendiğinde tam yük durumunun birkaç katı mertebesinde darbe şeklinde bir devreye girme akımı geçer ve bu akım rölatif olarak yavaş bir şekilde zayıflar. Modern transformatörlerde devreye girme akımı $2I_N$ dolayında olup, bir dakika içinde son değerini alır. Bu akım genellikle diferansiyel rölenin bir tarafında akar. Eğer herhangi bir şekilde stabilizasyon



Şekil 9- Oran diferansiyel rölesi karakteristiği



Şekil 10- Üç sargılı transformatörde oran diferansiyel rölesi bağlantısı



Şekil 11- Hat akımları arasındaki faz kaymasının giderilmesi

yon temin edilmemişse rölenin çalışmasına ve hatalı kumanda vermesine sebep olacaktır.

a, ve b'de bildirilen güçlükler sebebi ile diferansiyel röle stabilizasyonu için oran diferansiyel

röleleri yapılmış olup büyük güçlü trafo korumasında genel olarak uygulama bunlarla yapılır. c'de bildirilen probleme karşı yapılan eski uygulamalar devreye girme akımı her fazda yeterli miktarda azalınca kadar röleyi sağlaştırmak şeklinde iken, modern uygulamada röleye devreye girme akımının harmonik bileşenlerine dayalı bir stabilizasyon sağlamaktadır.

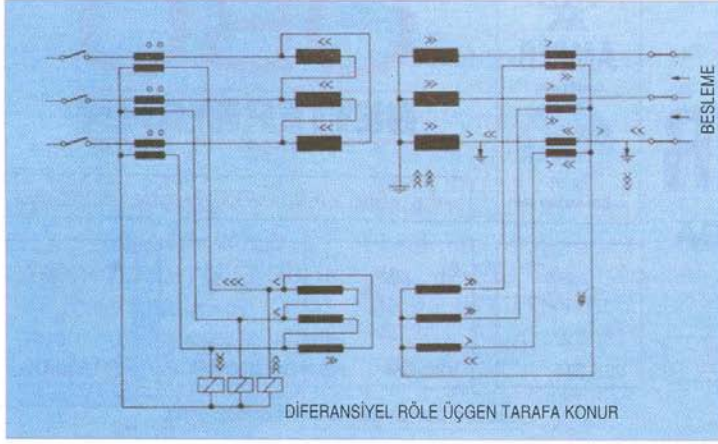
4. 2. 2. ORAN DİFERANSİYEL RÖLESİ VE AKIMLARIN ETKİSİ

Akım transformatörlerinin karakteristik farklılıkları veya güç transformatöründe kademe değiştirilmesi sonucu akım transformatörlerinin sekonderlerinde akan akımlar arasındaki fark ya da dengesizlik, hat akımının artması ile artar. Faaliyete geçme akımı hat akımının yüzdesi olan bir röle, hatalı açma tehlikesi olmaksızın hassas bir şekilde düşük değerinde faaliyete geçme akımına ayrılabilir.

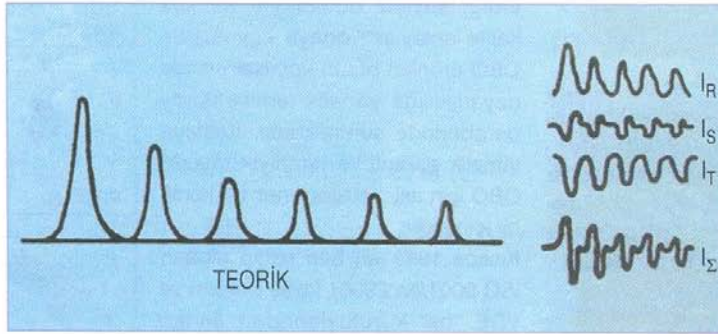
Şekil 8'deki rölede, röleyi çalıştıran akım, tutucu sargıdan geçen akıma oranlanarak verilir ve bu oran ekseriya yüzde eğim olarak adlandırılır. Şekil 9'da oran diferansiyel rölesinin karakteristiği görülmektedir.

İkiden fazla sargılı transformatörlerde stabilizasyon çeşitli sargılardaki akımların skaler toplamı ile sağlanmıştır. Eski disk tipi endüksiyon rölelerinde, her sargı için bir elektromagnet konup bunların momentleri toplanmakta idi. Yeni rölelerde sargı akımları doğrultulduktan sonra toplanarak tutucu bobinden geçirilmektedir. (Şekil 10)

Üçgen-yıldız bağlı üç fazlı trafolarla üçgen taraftaki akım transformatörleri yıldız, yıldız taraftakiler üçgen bağlanarak hat akımları arasındaki faz kayması düzeltilir. (Şekil 11)



Şekil 12- Diferansiyel rölede faz kaymasının ara transformatörle giderilmesi



Şekil 13- Yıldız bağlı sargıda devreye girme akımı dalga şekli

Faz kayması ana transformatörle aynı bağlama grubundan bir ara transformatörle de giderilebilir. (Şekil 12)

4. 2. 3. DEVREYE GİRME AKIMININ YOL AÇTIĞI PROBLEMLERE BULUNAN ÇÖZÜMLER

Devreye girme akımı transformatörün besleme tarafında bulunur ve diferansiyel devrede ortaya çıkarak röleyi çalıştırır. Bu problemin çözümü için çeşitli yöntemler uygulanır:

- D Çift harmoniklerin ortadan kaldırılması,
- II) Harmonikle tutma,
- III) Harmonik blokajı,
- IV) Rezonans blokajı,

V) Doğru akım bileşiminden yararlanma.

Bunların hepsi pahalı ve karmaşık çözümlerdir.

1. Harmoniklerin ortadan kaldırılması: Transformatör sacının doyuma durumuna bağlı olarak devreye girme akımının dalga şekli önemli oranda deforme olmuştur. Şekil 13'te tipik bir dalga şekli görülmektedir. Temel dalganın yüzdesi olarak harmonik genlikleri şöyledir:

Tipik Değer %: 55 63 26,8
Bileşen: DA 2. 3. 5,1 4,1 3,7 2,4
4. 5. 6. 7. Harmonik

Tabloda ortalama değerler verilmiş olup genellikle doğru akım bileşeni % 40-60, 2. harmonik

%30-70, 3. harmonik ise %10-30 arasında değişir. Diğer harmonikler giderek azalan miktarlardadır. 3. harmonik ve katları akım transformatörlerinin uçlarında görünmezler. Bunlar üçgen bağlı transformatör sargılarında ve yıldız tarafta üçgen bağlı akım transformatörlerinde akarlar.

Doğru akım bileşeni ve çift harmonikler bir doğrultuculu rölenin çalışma devresinde ortadan kaldırılmış ve tutma devresine ilave edilmiştir. Böylece 5., 7. vs. harmonikler devrede kalır. Ancak bunlar da küçük amplitüdlüleri sebebi ile ihmal edilebilirler, yahut uygun bir filtre ile bloke edilebilirler.

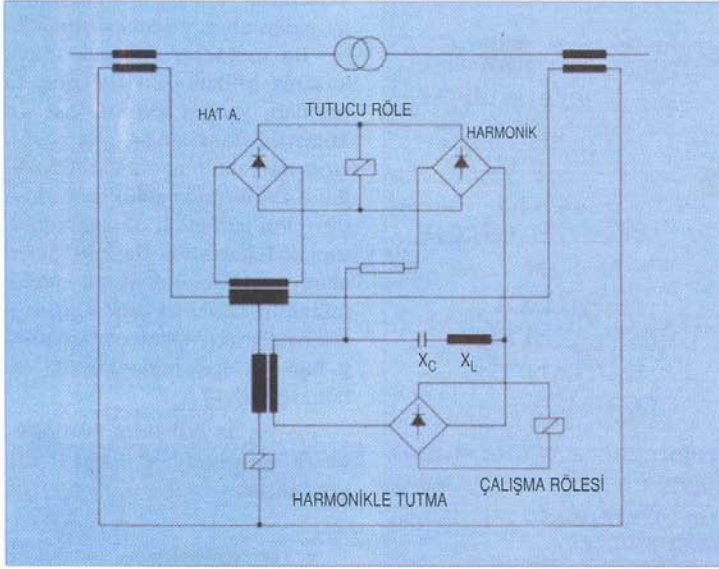
II) Harmonikle tutma: Diferansiyel röleleri devreye girme akımlarına karşı duyarlı yapmak için en popüler metod, diferansiyel akımdan harmonikleri süzmek, bunları doğrultarak oranlı tutma devresine ilave etmektir. (Şekil 14)

Harmonik ile tutma X_c ve XL 'den oluşan devre ile elde edilir. Bu devre yalnızca temel frekansın ölçme devresine girmesine müsaade eder.

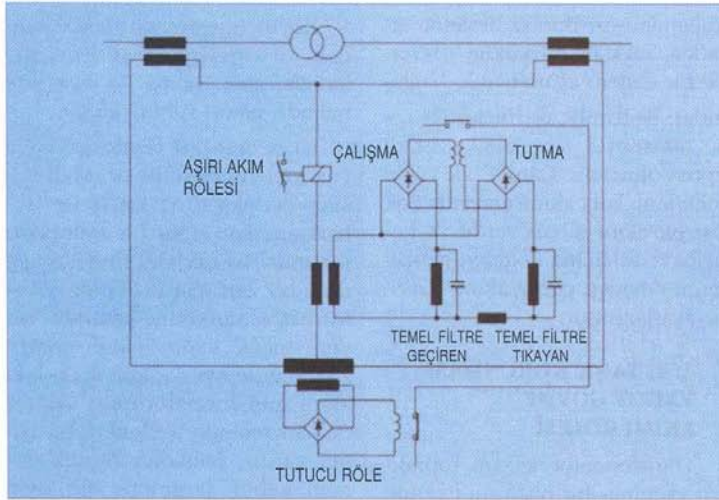
Doğru akım ve harmonikler ise harmonikle tutma bobinine yollarırlar.

Röle, ikinci harmonik temel dalganın %15'ini aşarsa çalışmaz. Minimum çalışma değeri akım trafoları değerinin %15'i ve minimum çalışma süresi 2 periyot kadardır.

Özellikle akım transformatörlerinin doyması halinde, normal hata akımında da doğru akım ve harmonik bileşenler bulunacaktır. Bu sebeple diferansiyel devrenin, ani çalışan bir aşırı akım rölesi ile donatılması usuldendir. Bu, devreye girme akımının en büyük değerinden daha büyük bir değere ayarlanacak, fakat büyük iç arızalarda bir periyottan az bir zamanda çalışacaktır. Bu yolla bütün



Şekil 14- Harmonikler yardımı ile tutma yapan diferansiyel röle



Şekil 15- Harmonik blokajı yolu ile tutma yapan diferansiyel röle

büyük arızalar için hızlı açma güvence altına alınmıştır.

III) Harmonik blokaj: Harmonik ile tutmanın bir alternatifi, kontakları olan diferansiyel rölesi kontakları ile seri bağlı ayrı bir blokaj rölesi kullanmaktır. Bu röle, 2. harmonik temel dalganın %15'inden az ise çalışır. (Şekil 15)

IV) Rezonans blokajı: Bu metod harmonik blokajın benzeridir.

Ancak blokaj rölesi sistem frekansının 2 katına ayarlanmıştır ve diferansiyel devreden doğrultulmuş akımla beslenmiştir.

Güç transformatörünün devreye girme akımı doğrultulduğunda, sistem frekansında doğru akım darbeleri verir ve röle bloke olur. Arıza halinde ise geçen akımda büyük temel bileşen vardır ve bu doğrultulduğunda temel frekansın iki katı darbe verir ve

röle çalışarak diferansiyel rölenin açtırmasına müsaade eder.

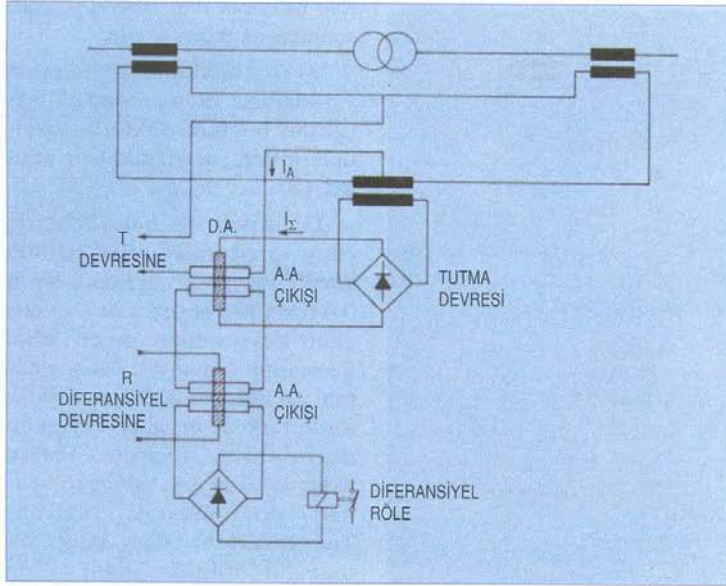
V) Doğru akım bileşeninden yararlanma: Bu methodda akımla çalışan bir transdüktörün özelliklerinden yararlanılmıştır. (Şekil 16)

Üç sargılı bir transdüktörde çıkış sargısından sabit gerilim alınabilmesi için alternatif akım devresinden geçen akım, doğru akım devresinden geçen akım ile orantılı olmalıdır. Bu özelliğten yararlanılarak bir transdüktörde fark akım, alternatif akım devresinden geçirilir. Doğru akım kontrolü ise tutucu devreden doğrultularak sağlanır. Transdüktörün çıkışı, ikinci bir transdüktörün alternatif akım devresini besler. Bu transdüktör kontrol sargıları ise, devreye girme akımının doğru bileşeni ile kontrol edilir. Çıkış sargısı ise diferansiyel röleyi uyarır. Devreye girme akımının doğru akım bileşeni taşımadığı durumlara karşı bir miktar emniyet sağlamak için rölede "çapraz besleme" uygulanır. Başka bir deyişle devreye girme akımı diferansiyel akımın alındığı fazdan başka bir fazdan alınır.

Bu tip koruma harmonik blokajından daha ucuz ve basit olmakla beraber üç fazlı transformatörün anahtarının fazlardan birinde gerilim maksimum iken kapanması halinde, yukarıda değinildiği gibi devreye girme akımı röleyi bloke edecek doğru akım bileşeni taşımayacağı için istenmeyen açmalara yol açabilecektir. Bu durum hız ve hassasiyet azaltılarak önlenabilir.

4. 3. AŞIRI AKIM RÖLELERİ

Küçük güçlü transformatörlerde aşırı yük ve arızalar için aşırı akım röleleri kullanılır. Aşırı akım röleleri ani çalışan aşırı akım ünitesi ve ters zaman karakteristikli ünitelerden oluşmalıdır. Büyük



Şekil 16- Doğru akım tutmalı diferansiyel röle

hata akımları için ani aşırı akım ünitesi çalışır. Aşırı yük ve zayıf hata akımları için ise aşırı akım ters zaman karakteristikli ünite faaliyete geçer.

Topraklama direncini veya bobinini sürekli toprak arızası akımlarının meydana getireceği aşırı ısınmalara karşı korunmak için çok uzun süreye ayarlı, aşırı akım zaman korunması seri sargılarda kısa devre olması halinde şönt sargıları korumak için kullanılabilir.

Aşırı akım ters zaman karakteristikli röleler, ayrıca cıva buharlı doğrultucuları ve ark fırınlarını besleyen transformatörlerde de

kullanılmıştır. Bunlar besleme tarafına, maksimum yükün üzerinde bir değere ayarlanarak, bağlanırlar. Kullanılacak röleler ($I^2 t = k$) tamamıyla ters karakteristikli tipten olmalıdır. Çünkü pik yükte minimum hata akımı arasında çok dar bir akım sahası vardır ve genellikle ani açma üniteleri maksimum devreye girme akımı üzerine ayarlanmıştır.

4. 4. TANK KORUNMASI YAHUT GÖVDE AKIMI RÖLESİ

Transformatör kazanı topraktan yalıtılmış bir platform üzerine

Tablo 4- TANK KORUNMASI VE DİFERANSİYEL KORUNMANIN KARŞILAŞTIRILMASI

	Tank korunması	Diferansiyel korunma
Fiyat	42.000.-	~210.000.- (akım trafoları hariç)
Sarım sargı hataları	Çalışmaz	Faaliyete geçer
Kazan dışı toprak hatası	Çalışmaz	Faaliyete geçer
Akım transformatörü	Gerekmez	Gerekli
Devreye girmede davranışı	Çalışmaz	Blokajlı olmalı
İşletmesi	Kolay	Devreye alınırken yetişkin personel gerekir
Kontrolü	Yalıtım kontrolü	Gerekmez

yerleştirilir. İç hata halinde toprağa giden akım röleyi çalıştıracaktır. Bu metodun sakıncalı tarafı, kazanla irtibatlı sıfır iletkeni, su boruları, yangın tesisatı, yağ sirkülasyon donanımları gibi parçaların da yalıtılmış olması gerektirir. Bu koruma şekli sarım kısa devreleri için etkili olmadığı gibi, toprak hatalarında da kısa devre akımını tam olarak tespit etmek mümkün olmamaktadır. Çift toprak hatalarında ölçülen akım röleyi harap edecek kadar büyük olabilir. (Şekil 17)

Fransa'da kullanılan bu röleye ait bir mukayese TABLO 4'te verilmiştir.

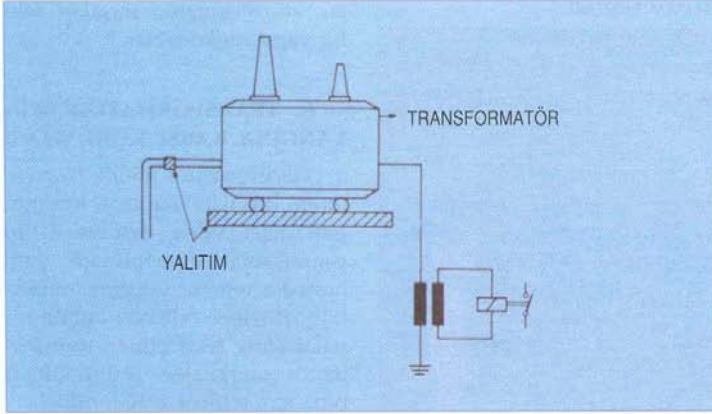
5. ISIL BENZER RÖLELERLE AŞIRI ISINMA KORUNMASI

Büyük transformatörlerde yağdaki ve sargılardaki ısı dedektörleri ile, aşırı ısınma ve aşırı yük halinde, alarm verilmektedir.

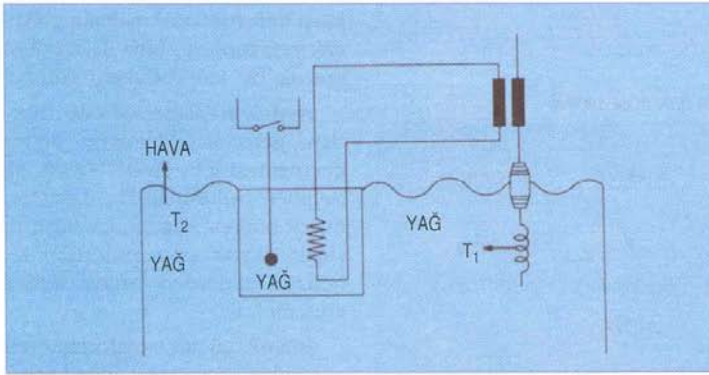
Isı dedektörü termostat veya çok ince bir boru ile uzaktan basınç dedektörüne bağlı ve buharlaştırıcı sıvı dolu bir balondan ibarettir. Isı dedektörleri içi yağ dolu bir zarf içinde olarak transformatör tankının üstünde bir yere sıcak yağın içine konur. Zarf içinde ayrıca ilgili sargıdaki akım transformatörünün sekonder devresinde beslenen, bir ısıtıcı vardır. Isıtıcının termik zaman sabiti sargının ki ile öyle ayarlanmıştır ki dedektör, yağ ile sargı sıcaklığı arasındaki farklı ölçer ve ayarlı değer aşırsa alarm verir. (Şekil 18)

Daha küçük transformatörlerde ısı benzer ($I^2 \cdot t = k$) ters zaman karakteristikli aşırı akım röleleri kullanılır.

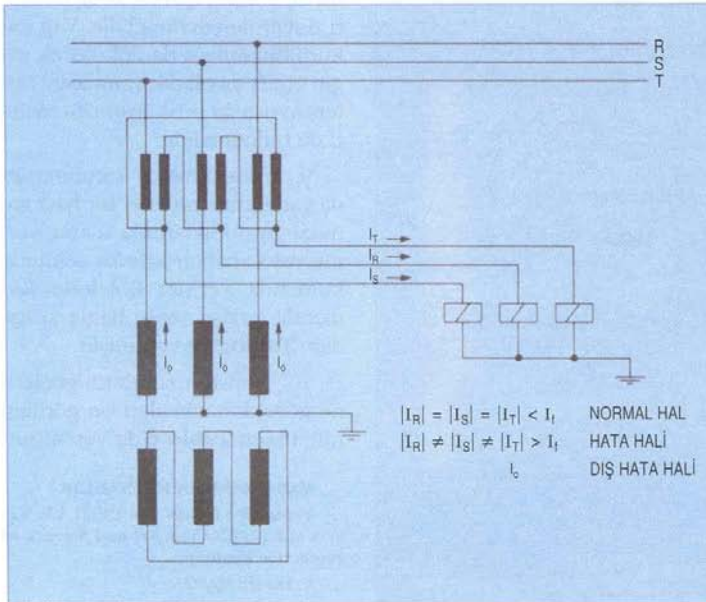
Bu röleler genellikle bimetalik tip olup aşırı yükü tespit eder. Fakat soğutma sistemi arızasını hissetmezler. Genel olarak bu rölelerle mükemmel bir korunma temin edildiği söylenemez. ➔



Şekil 17- Tank korunması rölesi



Şekil 18- Transformator korunması için ısl benzer röle



Şekil 19- Topraklama transformatorleri için koruma düzeni

6. GENERATÖR TRANSFORMATÖR ÜNİTESİ KORUNMASI

Büyük güçlü generatörlerin bulunduğu modern santrallerde generatörler bir transformatör üzerinden baraya bağlanırlar. Generatör-transformatör ünitesinin düşük gerilim tarafında anahtar yoktur. Generatör direkt olarak transformatörün üçgen bağlı düşük gerilim sargısına, yıldız bağlı yüksek gerilim sargısına ise bir anahtarla baraya bağlanmıştır. Normal olarak generatör ve transformatör için gerekli koruma elemanları bulundurulur. Buna ilave olarak bir stabilize diferansiyel röle iki makineyi birden koruyacak şekilde düzenlenir. Rölede normal olarak harmonik blokaj yoktur. Çünkü transformatör kaynağa sürekli bağlıdır. Bununla beraber baraya yakın bir yerdeki arızanın temizlenmesi sırasında gerilim aniden yükselirken küçük bir devreye girme akımı söz konusu olur.

6. a. Topraklama transformatorlerinin korunması

Bu transformatörler yıldız-üçgen yahut yıldız-zikzak bağlanmış olup güç sistemi için bir toprak noktası teşkil ederler. Sistemdeki bir hata halinde sıfır bileşen akımları dışında negatif ve pozitif sistem akımları topraklama transformatoründen akmaz. Bu sebeple topraklama transformatoründe baş gösteren hatalar çok seçici bir şekilde üçgen bağlanmış akım transformatorlerinden beslenen aşırı akım röleleri ile korunabilirler. (Şekil 19)

7. TRANSFORMATÖRLERİN ATMOSFERİK AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUNMASI

Bu yöndeki koruma parafudrlarla sağlanır. İzolatörlerin yanına eklatör tesisi ucuz bir çözüm olmakla birlikte bunlar sadece izolatörü arktan korur-

Tablo 5- RÖLELERİN KUMANDA TARZLARI

Buchholz rölesi		
Koruma rölesi	Alarm	Açma
Üst kontak	x	-
Alt kontak	-	X
Diferansiyel röle	-	X
Aşırı akım rölesi	-	X
Mesafe rölesi	-	X
Termik röle	x	-
Isıl benzer röle	x*	x**
Soğutma kontrolü	x	-

(*) Alarm tercih edilir.
(**) Anzaya bağlıdır.

Tablo 6- TRANSFORMATÖR İÇİN RÖLE SEÇİMİ

İÇ HATLARA KARŞI	>10MVA	>10MVA	Dağıtım
Toprak rölesi	-	-	-
Buchholz rölesi	X	X	Gerekirse
Kademe değiştirici için Buchholz rölesi	X	Bulunması iyi olur	-
Sigorta	-	-	X*
Aşırı akım zaman rölesi	-	-	X*
Diferansiyel röle	X	X**	-
Mesafe rölesi	Bulunması iyi olur	-	-
DIŞ HATLARA KARŞI			
Aşırı akım zaman rölesi	X***	-	X*
Mesafe rölesi	Bulunması iyi olur	Bulunması iyi olur	-
Kontaklı termometre	X	X	-
Isıl benzer röle	İstenirse	-	-
Soğutucunun kontrolü	X	X	-

x : Gerekli
- : Gereksiz
(*): Sigorta veya aşırı akım rölesi,
(**): Zaman zaman gerekli,
(***): Mesafe koruması daha iyi.

lar, transformatör sargıları için bir yarar sağlamazlar.

8. TRANSFORMATÖRLERİN YANGINA KARŞI KORUNMASI

Transformatör içinde başgösteren bir hata sonucu kazanın patlaması veya delinmesi ile ısınmış olan transformatör yağı hava ile temasa geçerek tutuşabilir. Böylece bilhassa büyük binalar içine tesis edilen transformatör merkezleri buldukları bina için tehlike arzederler.

Küçük güçlü transformatör merkezlerinde kazan delinmesine karşı transformatör mahalline akan yağ toplayıp bina dışına ulaştıracak bir kanal düzeni gerekir.

Ayrıca transformatörde meydana gelecek yangınların binaya geçmemesi için arada boşluk ve delikler bulunmamalı, transformatör hücresi kapısından sızacak sıcak gazlar pencerelerden ve benzeri yerlerden binaya intikal etmemelidir.

Büyük güçlü transformatörler genellikle açıkta tesis edildiklerinden, yangın halinde etrafa sirayetin önlenmesi için en az üç tarafını duvar ile çevrilmelidir. Yağ çukuru bulunması da dökülecek yağın etrafa yayılarak yanmasını önler. Ayrıca su püskürtme düzenleri de bulunmalıdır.

9. Transformatör korunmasında yararlanılan röleler bir hata sonucu uyarıldıklarında alarm verme veya anahtar açtırma şeklinde kumanda verirler. Rölelerin kumanda tarzları toplu halde aşağıdaki **Tablo 5**'te verilmiştir.

10. Transformatörlerin güçlerine göre donatılmaları ön görülen röle tipleri **Tablo 6**'da verilmiştir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Protective Relays, Vol 1,1971.A.R. Van V. WARRINGTON **The Art and Science of Protective Realiyng**
C. Russell MASON
Transformer Differential protec için.
Siemens TS 12 R.