

polarize mho uzaklık rölesi

ÖZET

Yüksek gerilim hatlarının korunmasında polarize mho uzaklık rölesinin kullanımı giderek yaygınlaşıyor. Şimdiye kadar uzaklık rölesinin kısa hatların korunmasında, arklı yada dirençli arızalarda koruma alanının küçüklüğünden ötürü sınırlı bir kullanımının olacağı düşünülüyordu. Ne varki, yeni çalışmalar ve bulgular rölenin uygulamadaki performansının kuramsal olarak öne sürülenden daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Bu yüzden yazıda yeni bir çözümleme geliştirilmiş ve polarize mho uzaklık rölesinin dengesiz arızalarda (üç faz simetrik olmayan) merkezden kaçık (offset) bir dairesel karakteristiğinin olduğu, bu yüzden de rölenin orijini kapsadığı ve dirençli eksen yönündeki koruma alanının arttığı gösterilmiştir. Offset düzeyi rölenin bağlı olduğu sistemin kaynak/hat empedans oranının bir işlevidir (fonksiyonu). Ayrıca geliştirilen kuramın uygulamadaki bulgularla da iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Sondaki bir ekte de gösterildiği gibi kuram (teori), çapraz (cross) polarize yönlü röleler

L.M.fiedepohl,
"Polarised Mho Distance Relay",
Proc.IEE, Cilt 112, No 3, Mart
1965 s.525-535.

ile çokfazlı empedans rölelerini kapsıyor. Her iki tür rölenin çalışma eğrisi (karakteristiği) offset niteliklidir.

Deneyler sonunda ' bulunan verilerin anlamı ve niteliği de yazıda uzun uzun inceleniyor. Polarize mho rölesi reaktans rölesinin gördüğü birçok yararlı işlevi sağladığı gibi, yapısından gelen yönlülüğü ve yük akımlarına ve güç salınımlarına karşı duyarlılığı vardır. Ayrıca bu çözümleme yöntemi ile, uzaklık rölelerinin seri sığaçlı hatlardaki koruma bölgeleri kolaylıkla saptanabilir.

SİMGELER

- V_a, V_b, V_c = Röle noktasındaki faz toprak gerilimleri
 I_a, I_b, I_c = Faz akımları
 E = A fazındaki faz-nötr üreteç gerilimi
 I_+, I_-, I_0 = A fazının pozitif, negatif ve sıfır dizi bileşen akımları
 K_1, K_2 = Röle değişmezleri (sabite)
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta, \theta, \iota, \kappa, \lambda, \mu, \nu, \xi, \omicron, \pi, \rho, \sigma, \tau, \upsilon, \phi, \chi, \psi, \omega$ ~ "Röle empedans değişmezleri
 0 = Z_n empedansın açısı

$$Z_t, Z_{Lo} = \text{empedansınm pozitif ve sıfır dizi bileşenleri}$$

$$Z_s, Z_{so} = \text{Kaynak empedansının pozitif ve sıfır dizi bileşenleri}$$

$$P = \frac{S_0}{S}$$

$$l = \frac{L_0}{L}$$

$$a = -0,5 + j0,866 \text{ yada } \sqrt{120^\circ}$$

$$a^{2e} = -0,5 - j0,866 \text{ yada } \sqrt{240^\circ}$$

$$\beta = \sqrt{90^\circ}$$

1. GİRİŞ

Son yirmi yılda uzaklık polarize mho rölesinin yüksek gerilimli iletim hatlarının korunmasında kullanılması giderek yaygınlaşmıştır. Bunun nedeni, röle ölçü ögesinin hem empedans hemde yön ölçümünü bir arada yapmasıdır. Bu da rölenin yapısından gelmektedir.

Bu tür rölelerin birçok yararlarının yanı sıra sakıncaları da vardır ve bu nitelikler geçmişte rölenin diğer hat koruma düzenleri ile karşılaştırılmasında temel alınır. Polarize mho rölesinin yapısından gelen yönünlüğü ve diğer uzaklık rölelerinde olduğu gibi güç salınımlarına karşı duyarlılığının azlığı sayılabilecek başlıca nitelikleridir. Diğer yandan röle arıza empedansının dirençli bileşenlerine karşı biraz duyarsızdır, bu yüzden kısa hatların korunmasında; eğer arıza arklarından gelen dirençli bölüm hat empedansı ile karşılaştırılabilecek kadar büyükse rölenin kullanılması sınırlıdır. Bu koşullarda reaktans rölelerinin yada diferansiyel koruma düzenlerinin kullanılması önerilebilir. Arkı arıza sorunu biraz fazla büyütülmüştür. Çünkü mho rölesinde sağlam fazdan yada uyum (tuned) devresinden çıkarılan polarize gerilimi arıza gerilimi ile aynı fazda olmayabilir.

Polarize mho rölesinin dirençli arızalardaki duyarlılığını incelemek için yapılan son çalışmalarda bulunan sonuçlar günümüzün kuramı (teori) ile çalışmaktadır. Büyük ark dirençli arızalarda; rölelerin çalışma değerlerinin basit kuramın

öngördüğü değerlerden daha büyük olduğu ve durumun kaynak/hat empedansı oranı arttıkça daha da iyileştiği görülmüştür. Bu ölçmelerin sonucu olarak polarize mho rölesinin yeni bir çözümlemesi (analiz) geliştirilmiştir. Yazıda bu yöntem tanıtılacak, bulgular ve bunlar üzerindeki yorumlar sunulacaktır.

2. POLARİZE MHO RÖLESİNİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ KURAMI

Tüm uzaklık rölelerinin çalışma eğrileri, ya bir genlik -yada bir faz- karşılaştırmalı ölçü ögesinden elde edilir. Polarize mho rölesindeki bağıntılar faz karşılaştırmalı çalışması incelenerek daha kolay anlaşılabilir. Aşağıdaki dönüştürmeler gözönüne alınır her iki karşılaştırmalı çalışmada elde edilebilir.

$$S_x = \frac{1}{2} (S_1 + S_2), \quad S_y = \frac{1}{2} (S_1 - S_2)$$

yada

$$S_1 = S_x + S_y, \quad S_2 = S_x - S_y$$

S_x ve S_y genlik karşılaştırmalı çalıştırıcı ve tutucu giriş sinyalleridir.

S_1 ve S_2 de faz karşılaştırmalı giriş sinyalleridir. Her iki karşılaştırmalı çalışması için ölçüt:

$$S_1 < S_y \text{ ve}$$

$$- \pi/5 - \alpha < \beta < -\pi \text{ dir.}$$

4>, S_1 ve S_2 arasındaki faz açısıdır.

Polarize mho rölesinde faz karşılaştırmalı çalıştırıcısının girdileri genel olarak aşağıdaki gibidir:

$$S_1 = V_p$$

$$S_2 = I Z_n - V$$

V_p , Polarize gerilimi, V ve I röle noktasındaki gerilim ve akımı gösteriyor.

Aynı çalışma eğrilerini (karakteristik) veren genlik karşılaştırmalı çalıştırıcısının girdileri

$$S_x = \frac{1}{2} (V_p + I Z_n - V)$$

$$S_y = \frac{1}{2} (V_p - I Z_n + V) \text{ dir.}$$

Şekil 1'de mho bağlı faz açısı karşılaştırmalı çalıştırıcısının girdi (input) devresi görülüyor. Faz

açıları karşılaştırılacak olan girdiler:

$$S_1 = V$$

$$S_2 = I Z_n - V \text{ dir.}$$

$$V = \frac{E Z_s}{Z_s + Z_L} \text{ ve } I = \frac{E}{Z_s + Z_L}$$

$$S_1 = \frac{Z_s E}{Z_s + Z_L}$$

$$S_2 = \frac{E(I Z_n - Z_L)}{Z_s + Z_L}$$

Karşılaştırmalı çalışması için ölçüt:

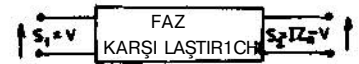
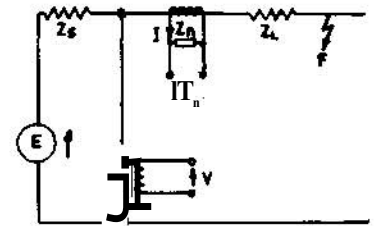
$$- \pi/5 - \alpha < \beta < -\pi$$

S_1 ve S_2 arasındaki faz açısı, her iki vektör aynı büyüklükte yani $(Z_s + Z_L)/E$ ile çarpılırsa değişmez. Fazları karşılaştırmak olan iki vektör aşağıdaki biçimi alır:

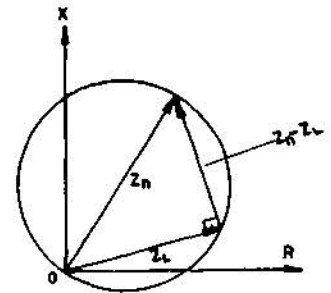
$$S_1 = Z_L$$

$$S_2 = Z_n - Z_L$$

Şekil 2'deki vektör diyagramından Z_L vektörünün geometrik



Şekil 1. Mho rölesinin bağlantı biçimi



Şekil 2. Mho rölesinin çalışma eğrisi

yerinin Zn çaplı bir daire olduğu kolaylıkla görülebilir.

Uygulamada mho rölesi yönlü bir öge olarak uygun değildir. Çünkü rölenin yönlü çalışabilmesi için S₁ büyüklüğünün çok küçükte olsa belirli bir değerinin (yani sıfır'ın dışında) olması gerekir. RX diyagramının orijini röle çalışma eğrisinin dışındadır ve röle noktasındaki arızalarda (terminal arızası) koruma yoktur. Sorun, polarize mho rölesinde S₁ = V_p yapılarak çözülür. V_p polarize gerilimi V ile aynı fazdadır ancak onunla orantılı değildir. Bu yüzden terminal arızalarında yani V = 0 olduğunda bile faz karşılaştırması yapılabilir. Bu durumda:

$$S_1^+ = V_p$$

$$S_1^+ = iz_n - v$$

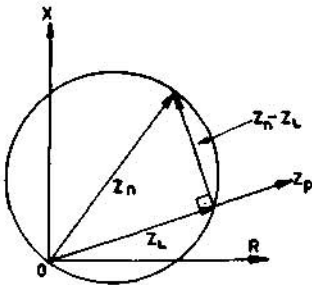
yada

$$S_1^+ = Z_p$$

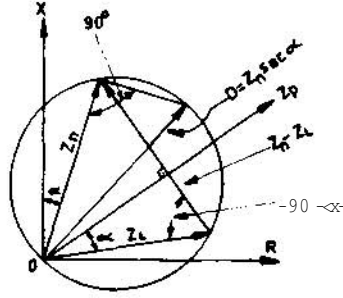
$$S_2^+ = Z_n - Z_L$$

Z_p genliği değişmeyen, Z_L ile aynı fazda olan bir vektördür. Şekil 3'teki vektör diyagramından Zn-Z_L ile Z_p arasındaki faz karşılaştırmasının Zn-Z_L ile Z_L arasındaki karşılaştırma olduğu kolaylıkla görülür. "Polarize mho" eğrisi "mho" eğrisinin aynıdır yalnız "polarize mho"da orijin iyi belirlenmiş bir noktadır.

Sorun, uygun polarize gerilimin (V_p) seçimidir. Uygulamada üç temel çözüm benimsenmiştir. V_p polarize gerilimi, ya arızalı faz geriliminin sistem frekansına uyarlanmış bir rezonans devresinden (bellek devresi) geçirilerek (arızalı faz



Şekil 3. Polarize mho rölesinin çalışma eğrisi



Şekil 4. Z_p ve Z_L vektörleri arasındaki faz kayıklığı a olduğunda polarize mho rölesinin çalışma eğrisi

polarizasyonu) yada bir sağlam faz geriliminin uygun bir faz kaydırma devresinden (sağlam faz polarizasyonu) geçirilmesiyle elde edilir. Diğer bir üçüncü yol da sağlam faz ve arızalı faz polarizasyonlarının uygun bir karışımı. Son iki yöntem üç faz arıza koşullarında soruna bir çözüm getirmez. Eğer polarize olmayan mho çalışma eğrisi elde edilirse, yakın arızalarda rölenin çalışması yine belirsizleşir.

Uygulamada V_p ve V gerilimleri terminal arızalarında aynı fazda değildir. Çünkü sistemde kaynak ve hat empedanslarının açıları çok farklılık gösterir. Ellis, çok sayıdaki sınır koşullarını gözönüne alarak sağlam faz polarizasyonunda V_p ve V gerilimleri arasındaki faz kaymasının en çok 15° olduğunu göstermiştir. Bu iki gerilim arasındaki faz kayıklığından ötürü röle girdilerinin tekrardan düzenlenmesi gerekir:

$$S_1^+ = Z_p \cos a$$

$$S_2^+ = Z_n - Z_L$$

Z_p ve Z_L vektörleri aynı fazdadır. V_p ve V arasındaki açı ek a açısı ile tanımlanmıştır. Vektör diyagramında büyüklükler arası ilişkiler Şekil 4'te gösterilmiştir. Z_n mho eğrisinin bir kirişidir, D çapı Z_p vektörünün a kadar gerisindedir ve genliği |z| = |Z_n| Seea dir. a = 15° için Seea = 1.035 dir. Mho çemberinin polar denklemi

$$|z| = |Z_n| \cos (1t - e + oü Seea \text{ dir.}$$

0 ve 0, Z_L ve Z_n vektörlerinin açılarıdır. 0 = 0 olduğunda, Z değeri yani terminal arızala-

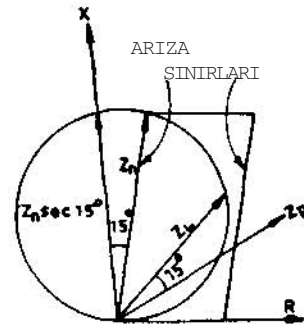
rında dirençli eksendeki rölenin görme alanı

$$R = |Z_n| \cos (0 - a) \text{ Seea dir.}$$

Polarize mho rölesinin sisteme uygulanışında en ilginç yada kritik nokta, a açısının ulaştığı en üst eksi değerdir. Çünkü bu koşulda rölenin koruyabileceği dirençli bölge en alt sınırındadır. Örneğin 9 = 75° ve a = -15° için R = 0. Bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir. Ayrıca ark direncinin etkisini de içeren sistem empedansları RX düzlemine yerleştirilmiştir. Dirençli arızalarda rölenin koruma alanı oldukça zayıf. Şekil 5'te görüldüğü gibi en kötü duruma, kısa hatlarda ve düşük kısa devre akımlarında karşılaşılar. Kaynak/hat empedansları oranının yüksek olduğu durumlarda bu tür rölelerden yararlanma oldukça güçtür.

Warrington bu koşullarda uzaklık rölesi olarak reaktans rölesinin kullanılmasının daha uygun olacağını öngörmüştür. Gerçi reaktans rölesinde ayrıca yön öğeleri kullanıldığından düzenleme biraz daha karmaşıktır.

Uygulamadaki koşulları açığa çıkarmak için, polarize mho rölesi üzerinde birçok ölçümler yapılmış ve kuram ile işleyiş arasındaki farklılıklar saptanmıştır. Terminal arızalarında rölenin dirençli eksen yönünde görüldüğü alanın öngörülenden daha büyük olduğu ve kaynak/hat empedans oranı arttıkça büyüdüğü görülmüştür. Bu sonuçlar 7. bölümde verilmiş ve tartışılmıştır.



Şekil 5. 0 = 75° ve a = -15° için polarize mho eğrisi

Kuram ile uygulama arasındaki farklılığın nedeni, V_p ile V gerilimlerinin ya aynı fazda ya da aralarında değişmez bir α açısı olduğunun varsayılmasıdır. Bu durum uygulamada yalnız Z_L ve Z_n aynı fazda ise geçerlidir. Z_n vektörü çember üzerinde hareket ettikçe sapmalar daha da artar. Bazı koşullarda α , 180° ye ulaşır. Aşağıdaki bölümlerde bu etkiyi gözönüne almak için polarize mho rölesinin daha ayrıntılı çözümü (analizi) yapılmıştır.

Üçüncü bölümde de görüleceği gibi, polarize mho rölesindeki girdilerin en genel biçimi şöyledir:

$$S_1 = Z_{n1} + KZ_L$$

$$S_1 = Z_n - Z_L$$

Rölenin sınır çalışmasında; Z_L vektör ucunun geometrik yerinin bir çember olduğu Ek 10.1 de gösterilmiştir. RX düzleminde bu çemberin konumu için Z_{n1}, Z_{n2} ve K katsayılarına bağlı basit bir çizim yöntemi geliştirilmiştir.

3. FAZ-FAZ ARIZALARI İÇİN POLARİZE MHO RÖLESİNİN ÇÖZÜLMESİ

Faz-faz arızasında sistemin di-zi devresi Şekil 6'de görülüyor. B ve C fazlarına bağlı rölenin çalışması düşünülüyor. Her fazdaki akım ve gerilimler:

$$I_1 = -I_2 = \frac{E}{2(Z_s + Z_L)}, \quad I_0 = 0$$

$$V_1 = E - I_1 Z_s = E \cdot \frac{Z_s + 2Z_L}{2(Z_s + Z_L)}$$

$$V_2 = -I_2 Z_s = \frac{E \cdot Z_s}{2(Z_s + Z_L)}$$

$$V_0 = 0$$

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0 > E$$

$$V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0 = E(2a^2 Z_L - Z_s) / 2(Z_s + Z_L)$$

$$V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0 = -E(2a Z_L - Z_s) / 2(Z_s + Z_L)$$

$$V_{bA} = V_b - V_a = E [(a^2 - 1)Z_L - 1.5 Z_s] / (Z_s + Z_L)$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = E(a^2 - a) / (Z_s + Z_L)$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = -j \sqrt{3} E / 2(Z_s + Z_L)$$

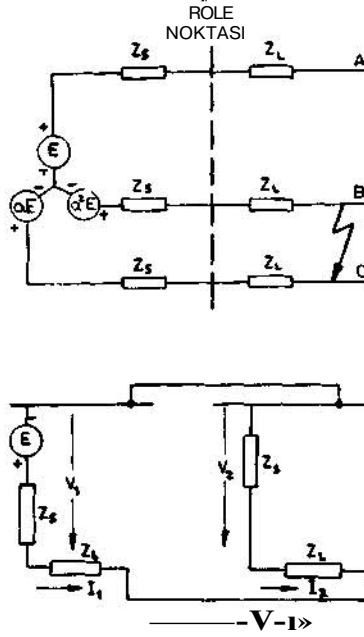
$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 = j \sqrt{3} E / 2(Z_s + Z_L)$$

$$I_b - I_c = -j \sqrt{3} E / (Z_s + Z_L)$$

$$= E(a^2 - a) / (Z_s + Z_L)$$

Polarize mho rölesinde faz-faz ögesinin ölçü sinyali

$$S_1 = U_b - I_c > Z_n - V_{bc} = E(a^2 - a) (Z_n - Z_L) / (Z_s + Z_L) < jI_1$$



Şekil 6. Faz arası arızalar için sistemin eşdeğer devreleri

Aynı ögenin polarize sinyali yada gerilimi için üç seçenek var:

- V_{bc} ve V_a karışımı
- V_{bc} ve V_b karışımı
- V_{bc} ü^e bağıntılı bellek devre (memory circuit)

Polarize sinyal için V_{ca} gerilimi kullanılmıyor. Çünkü bu gerilimin vektörel konumunu V_{bc} ü^e aynı faza getirmek için endüktif faz kaydırması gerekiyor, bu da pratikte sorunlar yaratıyor. Bu seçenekle daha başka bir yarar sağlanamayacağından yazıda söz konusu edilmeyecek.

3.1. Faz-Faz Rölesi İçin Polarize Gerilimin Çıkarılması

S_1 polarizasyon geriliminin çıkarılmasında kullanılan üç pratik yöntemi sırasıyla inceleyelim.

$$3. S_1 = K_1 V_{bc} + K_2 V_a$$

Bu karmaşık (mixed) polarizasyon yöntemidir. K_1 , α açısı yaklaşık -90° olan karmaşık (complex) bir katsayıdır. İlerdeki basitleştirmeler için şimdiden $K_2 = -j / jK_1$ yazalım. K_1 katsayısı genellikle gerçel (real) ve l'e eşittir.

S_1 bağıntısında V_{bc} ve V_a değerlerini yerine koyar ve basitleştirirsek;

$$S_1 = K_1 Z_L E (a^2 - a) / (Z_s + Z_L) + K_2 E$$

$$S_1 = (a^2 - a) E (K_1 Z_L + K_2 \frac{Z_s + Z_L}{a^2 - a}) / (Z_s + Z_L)$$

$$S_1 = (a^2 - a) E [K_1 Z_L - (K_1 + K_2) Z_s] / (Z_s + Z_L)$$

$$b. S_1 = K_1 V_{bc} + K_2 V_b$$

K_1 önceki gibi gerçel ve l'e eşittir. Burada uygunluk sağlanması için $K_2 = K_1 \frac{1.5 Z_s}{Z_s - Z_L}$ yazıyoruz.

$$S_1 = K_1 Z_L E (a^2 - a) / (Z_s + Z_L)$$

$$+ K_1 E [(a^2 - 1) Z_s - 1.5 Z_s] / (Z_s - Z_L)$$

$$S_1 = E(a^2 - a) [K_1 Z_L + K_1 Z_L \frac{a^2 - 1}{a^2 - a} - \frac{1.5 Z_s}{a^2 - a}] / (Z_s + Z_L)$$

$$S_1 = E(a^2 - a) [1 - K_2 Z_s + (K_1 + K_2) Z_s] / (Z_s + Z_L)$$

$$c. S_1 = K_1 V_{bc}$$

Bu yöntemde bellek devresi kullanılıyor. $K_1 V_{bc}$ gerilimi başlangıçta arıza öncesi faz arası gerilime eşittir ve daha sonra üstel azalarak arıza gerilimine kadar düşer. Uyum devresinin rezonans frekansı sistem frekansı ile çakışık değilse, K_1 katsayısının çok küçük bir açısı olabilir.

$$S_1 = K_1 E(a^2 - a) (Z_s + Z_L) / (Z_s + Z_L)$$

Bu polarizasyon sinyali, arızanın hemen öncesindeki faz arası gerilimdir.

Yukarıda incelediğimiz bu üç yöntem uygulamada kullanılanların hemen tümünü kapsıyor. Mho rölesinin genel çalışma eğrileri Ek 10.1'de anlatılan yolla kolaylıkla bulunabilir. Her üç durumda S_2 sinyali aynı ancak S_1 farklılıklar gösteriyor. S_1 ve S_2 girdilerinin genel biçimini elde etmek için S_1 ve S_2 sinyalleri $(Z_s + Z_L) / E(a^2 - a)$ vektörü ile çarpılacak. Her üç durum için giriş sinyalleri aşağıdaki biçimi alır.

$$a. S_1 = K_1 Z_L + (K_1 + K_2) Z_s$$

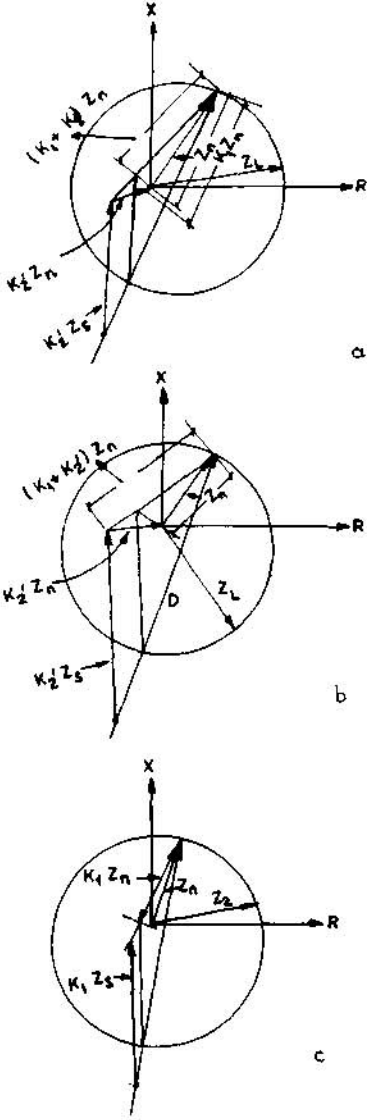
$$S_2 = Z_n - Z_L$$

$$b. S_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \angle 30^\circ K_1 Z_s + (K_1 + K_2) Z_L$$

$$S_2 = Z_n - Z_L$$

$$c. S_1 = K_1 Z_s + K_1 Z_L$$

$$S_2 = Z_n - Z_L$$



Şekil 7. Polarize rriho faz arızası rölesinin çalışma eğrileri.

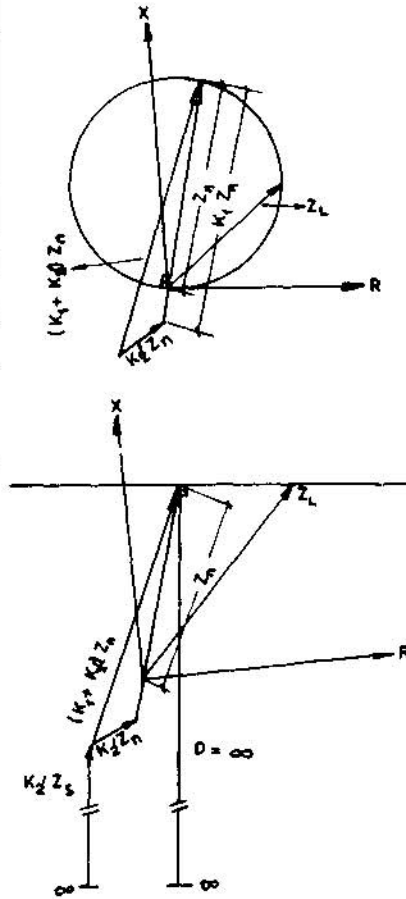
- a. Polarizasyon sinyali $S_1 = K_1 V_b + K_1 V_a$ olduğunda
b. Polarizasyon sinyali $S_1 = K_1 V_{bc} + K_2 V_a$ olduğunda
c. Polarizasyon sinyali $S_1 = K |V|_{bc}$ olduğunda.

3.2. Faz Arası Arızalarında Polarize mho Rölesinin Çalışma Eğrileri

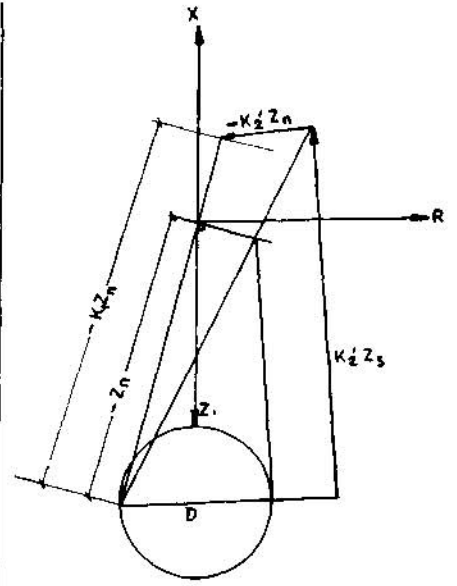
İleri yöndeki (rölenin bakış yada koruma yönündeki) güç akışı için her üç durumdaki röle çalışma eğrileri Şekil 7'de görülmüyor. Her durumda röle eğrisi orijini kapsıyor. Rölenin üçüncü quadrant'taki alanı, Z_0 kaynak empedansı vektörü ile KL katsayısının bir işlevidir

(Fonksiyon). $Z_0 = 0$ olduğunda, rölenin çalışma eğrisi daima orijinden geçer. Bu koşul ve (a) durumu için çalışma eğrisinin çizimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Röle çalışma eğrisinin çizimi ile orijinden geçen; çapı 90° de gören noktanın eğri üzerinde olduğu görülür. Aynı durum ve $Z_0 = \infty$ özel koşulu için çizim Şekil 8b'de görülmüyor. Bu durumda çalışma eğrisi Z_0 vektörünün ucundan geçen ve $K_2 Z_0$ vektörüne dik olan bir doğru parçasıdır.

Buraya kadar yapılan çalışmalardan rölenin yön niteliğinin kaybolduğunu söyleyebiliriz. Çünkü çalışma eğrisi orijini kapsamamaktadır. Bu yargı; ileri yöndeki güç akışlarında negatif empedansın belirli olmasına dayanıyor. Bu varsayım doğru değildir. Geri yöndeki güç akışında akım ve gerilim arasındaki yeni vektörel ilişki rölenin girdi



Şekil 8. Polarize mho faz arızası rölesinin çalışma eğrileri



Şekil 9. Polarize mho faz arızası rölesinin ters yöndeki güç akışları için çalışma eğrisi

denklemlerini değiştirir, örneğin (a) durumundaki denklemler aşağıdaki biçimi alır.

$$S_1 = K_1 Z_0 + (K_1 + K_2) Z_L$$

$$S_2 = -Z_0 - Z_L$$

Vektör çizimi Şekil 9'da görülmüyor. Rölenin çalışma eğrisi ileri yöndeki güç akışındaki eğriden tamamen farklıdır. Özellikle orijin, röle eğrisinin dışındadır ve eğri hemen hemen bütünüyle üçüncü yada dördüncü quadrant'tadır. Yalnız $Z_0 = U$ özel durumu için, negatif empedanstve geri yöndeki güç akışını ayırma olanağı vardır. Çünkü her iki yöndeki güç akışları için çalışma eğrileri benzerdir.

4. FAZ-TOPRAK ARIZALARI İÇİN POLARİZE MHO RÖLESİNİN ÇÖZÜMLENMESİ

Bu durumda röle A fazı ile toprak arasına bağlıdır. Dizi devresi Şekil 10'da gösterilmiştir.

$$I_1 = I_2 = I_0 = E / [2(Z_0 + Z_L) + (Z_{00} + Z_{L0})]$$

$$= E / [2(p)Z_0 + (2+q)Z_L]$$

$$V_1 = E - Z_0 I_1 = E \frac{(1+q)Z_0 + (2+q)Z_L}{(2+p)Z_0 + (2+q)Z_L}$$

$$V_2 = -Z_0 I_2 = \frac{-Z_0 E}{(2+p)Z_0 + (2+q)Z_L}$$

$$V_o = -Z_{so} I_o = \frac{-Z_{so} E}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

$$V_a = V_1 + V_2 + V_3 = E - (2Z_s + Z_{so}) I_1 = E - (2+p)Z_s I_1$$

$$V_a = \frac{E(2+q)Z_L}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

$$V_b = E \cdot \frac{(2+p)a^2 Z_s + (2+q)a^2 Z_L + (1-p)Z_s}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

$$V_c = E \cdot \frac{(2+p)aZ_s + (2+q)aZ_L + (1-p)Z_s}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

$$V_{bc} = (a^2 - a) E$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{3E}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

Toprak arıza rölesinde ölçü akımı, doğru empedans ölçümünü vermesi için faz ve sıfır bileşenlerin bir karışımı olması gerekir.

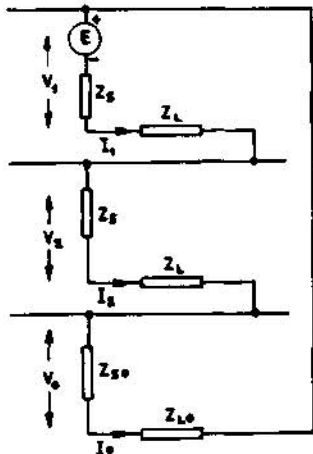
$$I_m = I_a + \left(\frac{Z_u}{Z_L} - 1 \right) I_o = \frac{E(2+q)}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

Toprak arıza rölesinin ölçü sinyali:

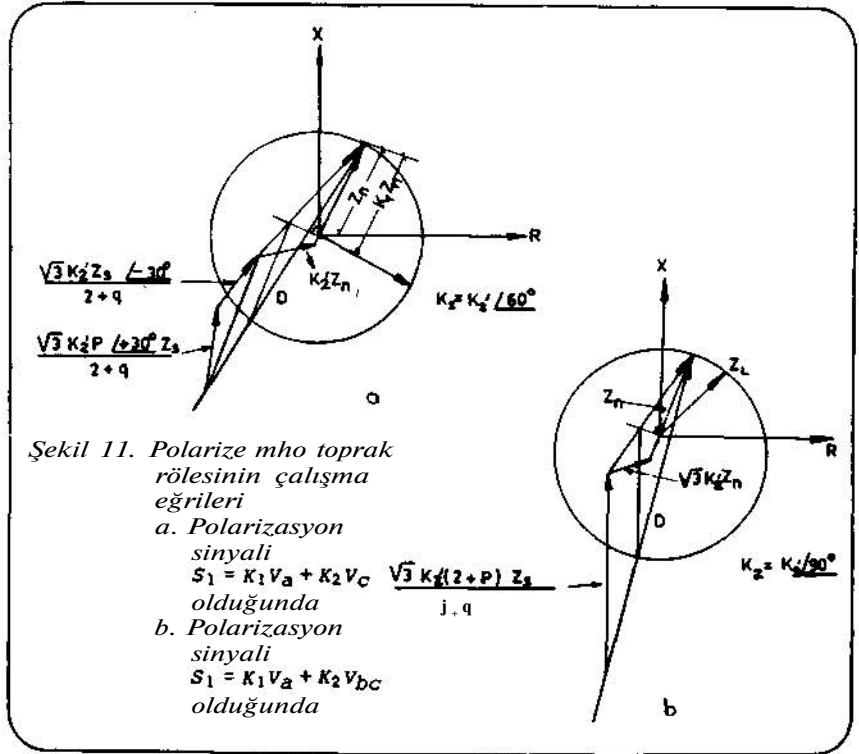
$$S_2 = I_m \cdot Z_n - V_a = \frac{E(2+q)(Z_n - Z_s)}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

Bu durumda S₁ polarize gerilim sinyali için pratikte dört seçenek vardır:

- $K_1 V_a + K_2 V_c$
- $K_1 V_1 + K_2 V_{bc}$
- $K_1 V_2$ (bellek)
- $K_1 V_a + K_2 V_{bc}$



Şekil 10. Faz toprak arızalarında sistemin eşdeğer dizi bileşen devresi



Şekil 11. Polarize mho toprak rölesinin çalışma eğrileri

a. Polarizasyon sinyali

$$S_1 = K_1 V_a + K_2 V_c$$

b. Polarizasyon sinyali

$$S_1 = K_1 V_a + K_2 V_{bc}$$

4.1. Faz-Toprak Rölesi için Polarize Gerilimin Çıkarılması

$$a. S_1 = K_1 V_a + K_2 V_c$$

Uygunluk sağlanması için

$$K_2 = K_1 \angle 1-120^\circ \text{ yazalım.}$$

$$S_1 = E(2+q) \left[\sqrt{3} K_1^1 \left[\angle -30^\circ + p \angle 30^\circ \right] Z_s / (2+q) + (K_1 + K_1) Z_L \right] / [(2+p)Z_s + (2+q)Z_L]$$

$$b. S_1 = K_1 V_a + K_2 V_{bc}$$

$K_2 = K_1 \angle -30^\circ$ yazalım

$$S_1 = E(2+q) \left[\sqrt{3} K_1^1 (2+p) Z_s / (2+q) + (K_1 + \sqrt{3} K_1^1) Z_L \right] / [(2+p)Z_s + (2+q)Z_L]$$

$$c. S_1 = K_1 E \frac{E(2+q) [K_1 (2+p) Z_s / (2+q) + K_1 Z_L]}{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}$$

$$d. S_1 = K_1 V_a + K_2 V_{bc}$$

$K_2 = K_1 \angle 30^\circ$ yazalım

$$S_1 = E(2+q) \left[\sqrt{3} K_1^1 \left[\angle -60^\circ + p \right] Z_s / (2+q) + (K_1 + \sqrt{3} K_1^1) Z_L \right] / [(2+p)Z_s + (2+q)Z_L]$$

4.2. Faz-Toprak Arızalarında Polarize Mho Rölesinin Çalışma Esrileri

Dört durum için S₁¹ ve S₂¹ gir-

dileri S₁ ve S₂,

$$\frac{(2+p)Z_s + (2+q)Z_L}{(2+q)E}$$

ile çarpılarak elde edilir.

$$a. S_1^1 = \sqrt{3} K_1^1 \left[\left(\angle -30^\circ + p \angle 30^\circ \right) Z_s / (2+q) + (K_1 + K_1^1) Z_L \right]$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

$$b. S_1^1 = \sqrt{3} K_1^1 \left[(2+p)Z_s / (2+q) + (K_1 + \sqrt{3} K_1^1) Z_L \right]$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

$$c. S_1 = K_1 \left[(2+p)Z_s / (2+q) + K_1 Z_L \right]$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

$$d. S_1^1 = \sqrt{3} K_1^1 \left[\left(\angle -60^\circ + p \right) Z_s / (2+q) + (K_1 + \sqrt{3} K_1^1) Z_L \right]$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

Eğer d bölümünde K_j katsayısının ileri yöndeki açısı 30° ise a ve d durumları hemen hemen aynıdır. Ayrıca b ve c durumları benzerdir.

a ve b durumları için röle çalışma eğrileri Şekil 11'de gösterilmiştir. Çalışma eğrilerinin genel görünümü faz-arızası rölelerine benzerdir. Ayrıca ters yöndeki güç akışlarında durum faz arızası rölelerindeki gibidir, bu yüzden eğriler çizilmemiştir.

Kaynak empedansı Z_s sıfır olduğunda röle basit mho, sonsuz olduğunda da reaktans karakteristiktir.

5. 2-FAZ TOPRAK ARIZALARINDA RÖLENİN ÇALIŞMA EĞRİLERİ

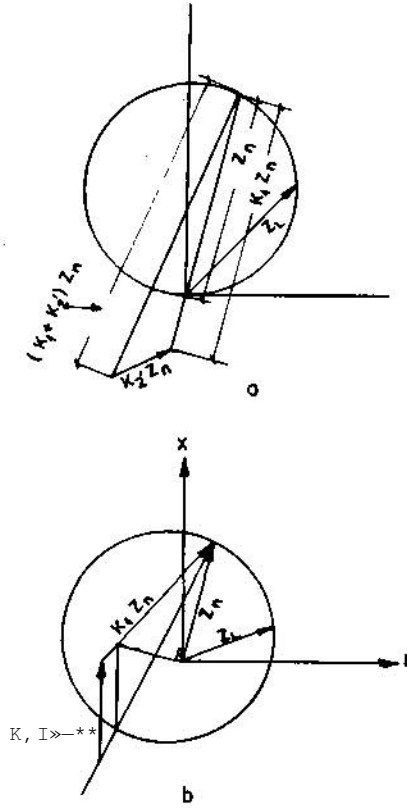
Akım ve gerilim arasındaki bağıntıların karmaşıklığından, önceki bölümlerde yapıldığı gibi temel büyüklüklerden çalışma eğrilerinin çıkarılması hemen hemen olanaksızdır. Yine de aşağıdaki genel gözlemlerde bulunabiliriz.

- (i) Kaynak empedansı sıfır olduğunda; tüm çalışma eğrileri orijinden geçen basit mho daireleridir.
- (ii) Kaynak empedansı sonsuz olduğunda; eğriler eğimi kaynak empedansına bağlı (önceliklerde olduğu gibi) birer doğru parçalarıdır.

Sağlam faz polarizasyonunun seçimi oldukça önemlidir. Çünkü vektörler büyük faz kaymalarına karşı çok duyarlıdır. Kaynak empedansı büyük ve $K_1 Z_s$ vektörü dördüncü quadrantta ve orijinden çok uzakta ise, rölenin dirençli arızaları görememe tehlikesi vardır. Sağlam faz polarizasyonu seçiminde "Ellis" in önerdiği yol burada geçerlidir. Çünkü yazısında değindiği faz kaymaları gerçekte $K_1 Z_g$ vektörünün mho eğrisi üzerindeki gerçek konumuna bağlıdır. Faz arızası ögesinde "sağlam-faz" polarizasyonu tercih edilir, örneğin AB rölesi için polarizasyon gerilimi V_e ve AT (a fazı toprak) rölesi için de V_c 'dir. AT rölesi hem ABT hem de ACT arızalarını doğru ölçer. ABT arızalarında çalışma eğrisi basit toprak arızasında olduğu gibi orijini kapsar. ACT arızalarında ise orijin belirsizdir. Çünkü V_e gerilimi V_a ile birlikte sıfıra düşer ve basit mho eğrisi elde edilir.

6. ÜÇ FAZ DENGELİ ARIZALARDA RÖLENİN ÇALIŞMA EĞRİSİ

Bellek rölesinin dışında çalışma esrileri basit mho dairesidir ve orijin belirsizdir. K_1



Şekil 12. Polarize mho toprak rölesinin üç faz arızalarındaki çalışma eğrileri

- a. Polarizasyon sinyali
 $S_1 = K_1 V_a + K_2 V_c$ olduğunda
- b. Polarizasyon sinyali
 $S_1 = K_1 E_a$ olduğunda

katsayısı gerçel (real) değilse; dairenin çapı Z_n ile çakışmaya bilir.

AT rölesinin hem V_e ile polarize edilmiş hem de bellek devresi ile donatılmış olanlarının çalışmaları aşağıda incelenmiştir.

Simetrik üç faz kısa devrede akım ve gerilimler:

$$V_a = \frac{E \cdot Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$V_c = \frac{a \cdot E \cdot Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$I_a = \frac{E}{Z_s + Z_L}$$

$$I_o = 0$$

(i) AT rölesi V_e ile polarize edilmiştir.

$$S_1 = E \frac{K_1 Z_L + K_2 Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$S_1 = E \frac{Z_n - Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$S_1^1 = K_1 Z_L + K_2 Z_L$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

(ii) AT rölesi bellek devresi ile donatılmıştır.

$$S_1 = K_1 E$$

$$S_2 = E \frac{Z_n - Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$S_1^1 = K_1 Z_s + K_1 Z_L$$

$$S_2^1 = Z_n - Z_L$$

Her iki rölenin çalışma eğrileri Şekil 12'de gösterilmiştir. K_1 katsayısının açısı Z_n vektörü ile çapın çakışmadığını göstermek amacıyla abartılmıştır.

7. PRATİK SONUÇLAR

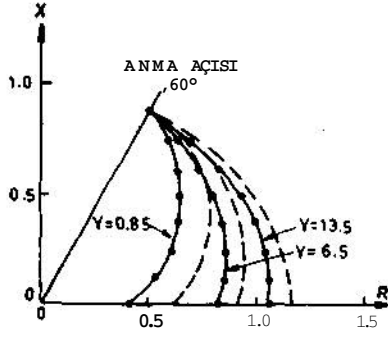
Hareketli bobin ilkesiyle çalışan doğrultmaç köprülü polarize mho faz rölesinde bir dizi testler yapılmıştır. Rölede 4.1 bölümündeki (a) durumlu polarizasyon kullanılmıştır. Rölenin değişmezleri (sabitleri):

$$e (Z_n \text{'nin açısı}) = 60^\circ$$

$$K_1 = 1,42$$

$$K_j = 0, U_{1-15^\circ}$$

Şekil 13'te görülen eğriler, 3-fazlı test devresine bağlanan röleden arıza direnci ve hat empedansları değiştirilerek elde edilmiştir. Tüm vektörler ZJ ile bölünerek eğriler normalize edilmiştir. Eğriler çeşitli sistem empedans çarpanları ($\gamma Z_s/Z_n$) için çıkarılmıştır. Eğriler ana çap etrafında oluşan daireler değildir. Çünkü devredeki rölenin çalışma ölçütü, S_1 ve S_2 sinyalleri arasındaki açının 90° yerine 75° olmasıdır. Böylece röle çalışma eğrileri ana çapın giriş olduğu iki dairenin yaylarından oluşuyor. Dirençli eksen yönündeki koruma bölgesi kritik ise,



Şekil 13. Kuramsal ve deneysel değerlerin karşılaştırması

bu etki gözönüne alınabilir. Şekil 13'te kuramsal eğriler de verilmiştir. Kuramsal ve deneysel eğrilerin dirençli eksen yönündeki farklılaşması yukarıda belirtilen nedene dayanıyor. Gerçekte kuram ve uygulama arasındaki uyum oldukça iyi.

8. POLARİZE MHO RÖLESİNİN NİTELİKLERİ

Geçmişte biraz uzun hatlar için polarize mho rölesi, ark direncinin bir sorun olduğu kısa hatlarda ise reaktans röleleri kullanılırdı. Reaktans rölesi ideal bir çözüm değildir. Çünkü bu rölede hem yön denetim ögesine hem de yük akımlarındaki yanlış çalışmayı önlemek için empedans ölçü ögesine gerek vardır. Yazıda verilen çözümlerden anlaşılacağı gibi kaynak empedansı, rölenin ayar değerinden büyük ise, polarize mho karakteristiği reaktans rölesinin benzeridir, reaktans rölesinin üstünlüğü sınırlanmış olur. Ark dirençli kısa hat, çoğunlukla kaynak/hat empedans oranının büyük olması demektir ve buradan polarize mho rölesinin sistem koşullarına keşini otomatik olarak uydurduğu söylenebilir. Yük akımı bir sorun yaratmaz, çünkü bu durumda akımlar dengelidir ve rölenin çalışma eğrisi klasik mho dairesi biçimindedir. Genellikle üç faz dirençli arıza olasılığı azdır. Bu durumda rölenin görme alanındaki azalma ciddi bir sorun yaratmaz.

Çözümleme, dördüncü kvadranttaki arızalarda da rölenin koruma alanının belirlenebileceğini gösteriyor. Bu durum özellikle

seri kompanzasyonlu (seri kondansatörlü) hatlar için önemlidir. Geçmişte bu tür koşullarda rölenin tavrını belirlemek oldukça güçtü.

Unutulmaması gereken diğer bir önemli nokta; polarize mho rölesinin karakteristiği üzerinde sistem koşullarından bağımsız yalnız bir nokta vardır. Bu, $Z_L = Z_n$ eşitliğinin karşılığı olan noktadır. Geçmişte; Z_n vektöründen farklı hat açılarında polarize mho rölesinin ayarı, $Z_s = Z_n \cos(\theta - \phi)$ basit trigonometrik bağıntısı ile yapılırdı. Burada Z_n ayar değeridir ve açısı Z_n vektöründen $(\theta - \phi)$ kadar kayıktır. Yazıdaki çözümlerden de görüleceği gibi, bu bağıntı geçerli değildir ve bu yaklaşım kullanılırsa ayarda hatalara yol açabilir. Ayarın doğru olması isteniyorsa; $(9 - \phi)$ açısı 10° yi aşmamalıdır. Seri kondansatörlü hatlarda bu koşul sağlanamayabilir ve rölede ayar belirsizleşebilir.

9. SONUÇ

Polarize mho rölelerinin performansında kuram ve uygulama arasındaki farklılıktan ötürü yeni bir kuramsal çözümleme geliştirilmiştir.

Dengesiz arızalarda polarize mho rölesinin çalışma eğrisi negatif empedans kvadrantına doğru kayıktır. Bu durumda rölenin dirençli eksen yönündeki görme alanı artar, özellikle dirençli arızalarda görme alanı basitleştirilmiş çözümlerde bulunandan daha büyüktür.

Negatif empedans ile ters yöndeki güç akışı aynı anlama alınmaz, çünkü ters yöndeki güç akışında rölenin çalışma eğrisi ileri yöndekinden oldukça farklıdır. Ters yöndeki güç akışında ve dengesiz arızalarda (üç fazlı simetrik arızaların dışındakiler) polarize mho rölesinin çalışma eğrisi, hemen tümüyle negatif empedans kvadrantındadır ve orijini içermez. Bu yüzden röle yönlüdür.

Çapraz polarize edilmiş yönlü rölelerin özgeçirileri de Ek 10.2 de verilen genel kuram ile uyum içindedir. Dengesiz arızalarda röle eğrisinin ileri yöndeki arızalar için orijini kapsadı-

ğı, ters yöndeki arızalarda ise kapsamadığı görülür. Bu durumda röle eğrisi yalnız bir doğru parçasıdır.

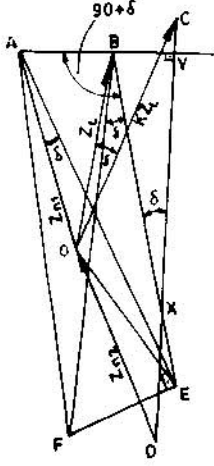
Çok fazlı yönlü empedans rölelerinin polar eğrileri aynı genel yöntemle (Ek 10.3) elde edilebilir ve tek tek ögeler için bulunan sonuçlarla uyum içerisindedir.

Kısa hatlarda reaktans rölesinin yararları basit çözümlerden umulan kadar fazla değildir ve polarize mho rölesi daha iyi sonuçlar verebilir. Çünkü mho rölesi kendisini sistem koşullarına uydurur. Yani kısa hatlardaki dirençli arızalarda (röle yük akımlarına ve güç salınımlarına karşı duyarsızlığını korurken) dirençli eksen yönündeki koruma alanını artırır.

Polarize mho rölesinde ayarın doğru olması isteniyorsa, hat empedansı ve eşdeğer empedansların açıları arasındaki fark en çok 10° olmalıdır.

Seri kondansatörlü hatlarda röle ayarı özel üretim koşulları için yapılabilir, genel sistem koşullarında yapılamaz. Çünkü yapılacak ayar, kaynak empedansı/hat empedansı oranının bir işlevidir.

Yazıdaki çözümleme arızanın, hattın yalnız bir ucundan beslediği yani tek taraflı besleme koşuluna göre yapılmıştır. Daha genel durum için yapılan çözümlemelerde (çift taraflı besleme yada enterkonnekte sistem) basit geometriksel yaklaşımlar kullanılamaz. Bu durumda özel koşulları bilgisayarlar yardımı ile incelemek ve testte bulunan sonuçlarla karşılaştırmak daha uygun olacaktır. Bu yazıdaki çözümlemelerden çıkarılamaz. Yine de enterkonnekte sistemde; arızasız fazlardan alınan gerilimin faz ve genliğinin biraz değişeceği ve ark rezistansı geriliminin diğer fazlarla karşılıklı etkileşim içinde olacağını (basit durumda bu gerilimin yalnız dirençli olduğu varsayıldı) hatırlamak yararlı olacaktır. Ancak çalışma eğrisinin genel biçimi değişmeyecektir. Eski çözümlerle yapılan karşılaştırmalar yine de geçerlidir, çünkü onlar da sistemin tek yönden beslediği varsayımıyla yapılmıştır.



Şekil 14. Faz karşılaştırıcısının genel vektör diyagramı

10. EKLER

10.1. Genel Uzaklık Rölesinin Eğrisi

İki-üçlü faz karşılaştırıcısının en genel girdileri;

$$S_1 = A_1 - BV$$

$$S_2 = CI + DV$$

Her iki girdi BI ile bölünürse girdilerin arasındaki göreceli açı değişmez.

$$S_1' = Z_{n1} - Z_L$$

$$S_2' = Z_{n2} + KZ_m$$

$$\frac{S_1'}{S_2'} = \frac{Z_{n1} - Z_L}{Z_{n2} + KZ_m}$$

A, B, C, D ve K büyüklükleri genelde karmaşıktır. Rölenin çalışma sınırı, S_1' ve S_2' sin-yalleri arasındaki açının 90° olması koşuluna göre tanımlanmıştır.

Şekil 14'teki diyagramda S_1' ve S_2' vektörleri AB ve DC ile gösterilmiştir. AB ve DC vektörleri rölenin çalışma sınırında birbirine diktirler. B noktasının geometrik yerini bulmak için yeni bir E noktası ($OE = Z_{n2}/K$ sabit) daha tanımlanmıştır, öyle ki OCD ve OBE üçgenleri birbirine benzerdir (çünkü $\angle OC/OB = OD/OE = K$, $\angle OCB = \angle OEB$). Kenarlar arasındaki oran $OC/OB=K$ olduğuna göre iki üçgenin karşılıklı kenarları birbirinden a açısı (K katsayısının açısı) ile ayrılırlar. Her iki üçgenin EB ve CD kenarları x noktasında keşif ve $B \times C$ açısı O_c 'dir.

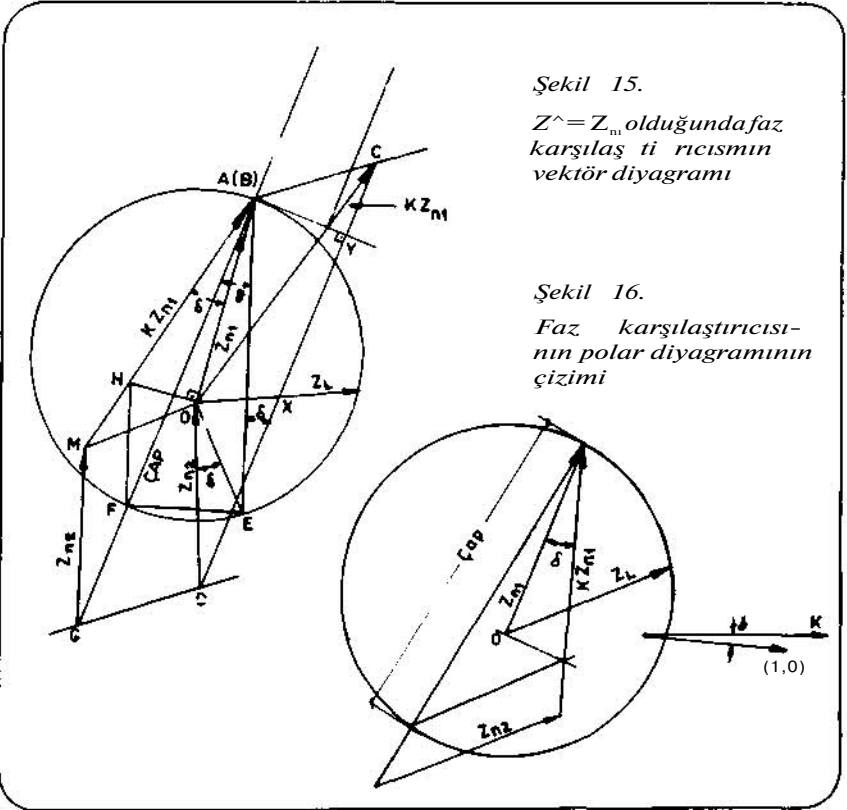
Tanımlamadan ötürü AB ve DC kenarları birbirine diktir. Bu yüzden $\angle B \times C = 90^\circ - a$ ve $\angle ABE = 90^\circ + a$ olur. A ve E noktaları Z_{n1} , Z_{n2} ve K (ayrıca a ; ile belirlendiğinden ZL in işlevi değildir ve AE doğru parçası röle çalışma eğrisinin (daire) bir kirişidir (B noktası AE doğru parçasını sabit bir $90^\circ + a$ açısı ile görmektedir. B nin geometrik yeri bir dairedir, AE de bu dairenin kirişidir). Dairenin çapı AF ise, $\angle ABE = 90^\circ$ olacağından, FBE açısı a ya eşit olur. A noktası daire üzerinde olduğuna göre, FE doğru parçasının A ve B noktalarının göreceği açı ayındır ve $\angle FAE = a$ dır. Sonuç olarak FEA bir dik açıdır, çünkü dairenin çapı tarafından görülüyor.

Bu diyagram genel dairenin basit bir çizimini gösteriyor. $ZL = Z_{n1}$ koşulu için vektör diyagramının çizimi Şekil 15'te verilmiştir. Burada A ve B noktaları üst üste çakışmıştır, çünkü $Z_{n1} = ZL$ olduğundan $OC = KZ_{n1} = KZ_{n1}$ E öncesinde olduğu gibi değişmiyor. AB sıfır vektörü $DC (= Z_{n2} + KZ_m)$ vektörüne diktir. OED ve OAE üçgenleri önceden olduğu gibi birbi-

rine benzerdir. FAE açısı a ve FEA açısı 90° olacak biçimde F noktası belirlenirse dairenin çapı (AF) bulunmuş olur.

MA vektörü, $DC (= KZ_{n1})$ vektörüne eşit ve koşut (paralel) olacak biçimde yeni bir M noktası saptanır. M noktasından $DO (= Z_{n1})$ vektörüne eşit ve koşut olacak MG vektörü çizilerek G noktası bulunur. $OA (= Z_{n1})$ vektörüne dik OH doğrusu da çizildikten sonra geriye HF'nin MG'ye koşut ve GFA'nın bir doğru parçası üzerinde olduğunu göstermek kalır. Bu ise; OAH ve EAF üçgenlerinin benzerliği ve sonucunda AHF ve AOE üçgenlerinin de benzer olduğu gözlenerek yapılabilir, çünkü H'den O'ya ve F'den E'ye olan aktarmalarda bir eşitlik vardır. Bu durumda; OAE ve MAG üçgenleri benzer olduğuna göre; MAG ve HAF'de benzerdir. Öyleyse F noktası AG doğru parçası üzerindedir. Genel karakteristiğin son çizimi Şekil 16'da gösterilmiştir. Açıklık getirmesi için K vektörü de ayrıca çizilmiştir.

Çizim yazıda tekrar tekrar kullanıldığından çizimin adımlarını özetlemek yararlı olacak.



Şekil 15.

$Z' = Z_n$ olduğunda faz karşılaştırıcısının vektör diyagramı

Şekil 16.

Faz karşılaştırıcısının polar diyagramının çizimi

1. Orijinden başlayan Z_{n1} vektörü çizilir.
2. Ucu Z_{n1} vektörü ile birleşecek biçimde KZm vektörü çizilir.
3. Ucu KZnj vektörünün başlangıç noktasına düşecek biçimde Z_{n2} vektörü çizilir.
4. Z_{n2} vektörünün başlangıç noktası KZ $_{n1}$ (aynı zamanda Z_{n1}) vektörünün ucu ile birleştirilir.
5. Orijinden Z_{n1} vektörüne dik ve KZ $_{n1}$ 'i kesen bir doğru çizilir.
6. Bu doğrunun KZm 'i kestiği noktadan Z_{n2} 'ye paralel çizildiğinde, bunun $Z_{n2} + KZ_{n1}$ vektörünü kestiği nokta ile Z_{n1} (KZ $_{n1}$) vektörünün ucu arasındaki doğru parçası röle daire eğrisinin çapıdır.

10.2. Yönlü Röleler

Çapraz polarize edilmiş yönlü röleler, polarize mho rölesi için yapılmış çözümlerle yardımcıyla açıklanabilir. Çözümleme yalnız bir bağlantı biçimi için uygulanmıştır. Diğer bağlantılar için de aynı yol izlenebilir. $S_1 = I_n Z_n$ ve $S_2 = V_{bc} \angle 90^\circ$ olan bir faz-karşılaştırmalı röleyi düşünelim. Bu, "quadratur" yönlü röle bağlantısıdır.

Düşünülmesi gereken AB, AC, AT ve ABC arızalarıdır.

AB arızası :

$$S_1 = E(1-a^2)Z_n/2 (Z_s + Z_L)$$

$$S_2 = \sqrt{3}E \left(\frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle 30^\circ + Z_L \right) / (Z_s + Z_L)$$

$$S_1^1 = \frac{Z_n}{2} \angle 30^\circ$$

$$S_2^1 = \frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle 30^\circ + Z_L$$

AC arızası :

$$S_1 = E \angle -a \angle U, *Z_L$$

$$S_2 = \sqrt{3}E \left(\frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle -30^\circ + Z_L \right) / (Z_s + Z_L)$$

$$S_1^1 = \frac{Z_n}{2} \angle -30^\circ$$

$$S_2^1 = \frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle -30^\circ + Z_L$$

AT arızası :

$$S_1 = \frac{E \angle n}{(2+p)Z_s + (2-q)Z_L}$$

$$S_2 = Ma^* - a) E \angle C = \sqrt{3} E$$

$$S_1^1 = \frac{n}{\sqrt{3} (2+p)}$$

$$S_2^1 = Z_s [(2+p)/(2-q)] + Z_L$$

ABC arızası :

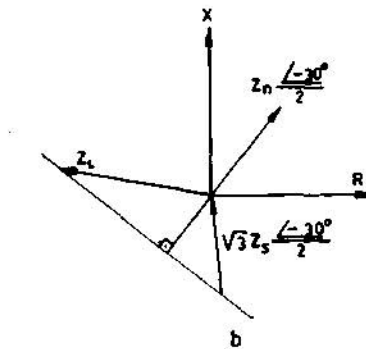
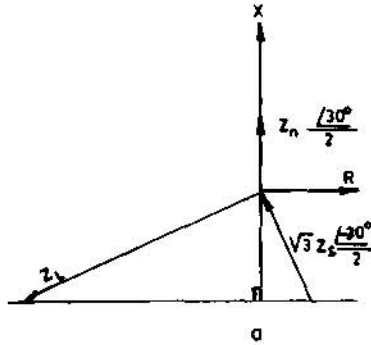
$$S_1 = \frac{E Z_n}{Z_s + Z_L}$$

$$S_2 = \frac{\sqrt{3} E Z_L}{Z_s + Z_L}$$

$$S_1^1 = Z_n / \sqrt{3}$$

$$S_2^1 = Z_L$$

Çalışma eğrileri Şekil 17'de gösterilmiştir. Bunlar polarize mho rölesinin eğrilerine benziyor, yalnız çap sonsuz değerdedir. Genel karakteristik, düzeltilmiş Z_n vektörüne dik bir doğru parçasıdır. Üç fazlı arızanın dışında, orijin ileri yöndeki güç akışları için röle çalışma eğrisinin içinde, ters yöndeki güç akışlarında ise dışındadır. Üç fazlı arızada ise çalışma eğrisi orijinden geçer. Bu bağlantı biçimi için röle çalışma eğrileri arızanın türüne göre $\pm 30^\circ$ döner. Bu iyi bilinen olgu ZJ vektörünün açısı belirlerken gözönüne alınmalıdır.



Şekil 17. Çapraz polarize edilmiş yönlü rölenin çalışma eğrileri
a. AC arızasında
b. AB arızasında

10.3. Çok Fazlı Yönlü Empedans Röleleri

Çok fazlı yönlü empedans karakteristiklerini veren belirli bir röle bağlantısı biçimi vardır. Bunlardan birinin girdileri:

$$S_1 = U_a - I_b \angle n - V_{ab} \quad \text{Ve}$$

$$S_2 = (I_a - I_c) Z_n - V_{ac}$$

Bu rölenin yazınlarında verilen tek pratik gerçekleştirme induksiyon-çan (induction cup) hareketi ile sağlanabiliyor. Çünkü çalışma için ölçüt; S_1 ve S_2 vektörlerinin çalışma sınırında ya aynı yada ters fazda olmaları gereğidir. Eğer iki girdi arasında 90° lik bir faz kayıklığı sokulabilirse aynı çalışma eğrisi bir $\alpha \angle \phi$ karşılaştırıcısı ile de elde edilebilir, önceden de belirtildiği gibi bu tür bağlı bir faz karşılaştırıcısı faz arası arızalar da (herhangi iki faz) doğru empedans ölçümü vermesine karşın, üç fazlı arızalarda koruma yapmaz. Olası arıza türleri için çalışma eğrileri aşağıda çıkarılmıştır.

10.3.1. Arıza A ve B Fazları Arasında

$$S_1 = \frac{(1-a^2)E}{Z_s + Z_L} \angle (Z_n - Z_L)$$

$$S_2 = \frac{(1-a^2)E}{Z_s + Z_L} \left(\frac{Z_n}{2} - \frac{(1-a)(Z_s + Z_L)}{1-a^2} + \frac{Z_s}{2} \right)$$

$$S_1^1 = n \angle L$$

$$S_2^1 = \frac{Z_n}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \angle 90^\circ Z_s - Z_L \angle -60^\circ$$

Burada çalışma için ölçüt; S_1 ve S_2 vektörlerinin ya aynı yada ters fazda olmalarıdır. Eğer S_1^1 vektörünü 60° döndürerek S_2^1

vektörünü elde edersek, çalışma ölçütü:

$$60^\circ \leq \alpha \leq 240^\circ \text{ Olur.}$$

$$\alpha = \text{Arg} \left(\frac{S_1^1}{S_2^1} \right)$$

$$S_1^1 = Z_n - Z_L$$

$$S_2^1 = \frac{1}{2} Z_n \angle 60^\circ - \frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle -30^\circ - Z_L$$

Çalışma eğrisi Şekil 18a'da verilmiştir. Görüldüğü gibi eğri merkezden kaçık (offset) bir mho dairesidir. Bu dairenin, vektörü

$$C = Z_n - \left(\frac{1}{2} Z_n \angle 60^\circ - \frac{\sqrt{3}}{2} Z_s \angle -30^\circ \right)$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2} (Z_n + Z_s) \angle -30^\circ$$

olan kirişi daire üzerindeki noktaları sağa doğru 60° sola

doğru da 120° altında görmekte-
dir. Bu durumda dairenin çap
vektörü:

$$0 = c \cdot \sec 30^\circ = Z_n + Z$$

Ters yöndeki güç akışları için
röle çalışma eğrilerinin çapı
 $D = -Z_n + Z_s$ 'dir. Eğri hemen tü-
müyle üçüncü quadranttadır ve
orijini içermez.

10.3.2. Arıza A ve C Fazları Arasındadır

Bu durumda düzenlemeden sonraki
sinyaller:

$$s_1^{II} = \frac{1}{2} z_n \angle -60^\circ - \frac{\sqrt{3}}{2} z_s \angle 30^\circ - z_L$$

$$s_2^{II} = z_n \angle -120^\circ$$

Çalışma için ölçüt öncekinde ol-
duğu gibidir:

$$60^\circ \leq \alpha \leq 240^\circ$$

$$a = \text{Arg} \left(\frac{s_1^{II}}{s_2^{II}} \right)$$

Çalışma eğrisi Şekil 18b'de ve-
rilmiştir. Bu durumda vektörel
kiriş:

$$c = z_n - (z_n \angle 30^\circ) - n_2 z_s \angle 30^\circ$$

$$c = \frac{\sqrt{3}}{2} (z_n + z_s) \angle 30^\circ$$

Aynı yöntemi (AB arızası duru-
mundaki) uygularsak daire çapı-
nın $D = Z_s + Z_n$ olduğunu görürüz.
Her iki durumda da çalışma eğ-
rileri benzerdir.

10.3.3. Arıza B ve C Fazları Arasında

Bu durumda girdi sinyalleri:

$$s_1^{II} = \frac{1}{2} z_n \angle 60^\circ - \frac{\sqrt{3}}{2} z_s \angle -30^\circ - z_L$$

$$s_2^{II} = \frac{1}{2} z_n \angle -60^\circ - \frac{\sqrt{3}}{2} z_s \angle 30^\circ - z_L$$

Öncekilerde olduğu gibi çalışma
ölçütü:

$$60^\circ < \alpha < 240^\circ, a = \text{Arg} \left(\frac{s_1^{II}}{s_2^{II}} \right)$$

Çalışma eğrisi yine merkezden
kaçık bir dairedir (Şekil 18c).
Bu durumda vektörel kiriş:

$$c = \frac{1}{2} z_n \angle 60^\circ - \frac{1}{2} z_s \angle -30^\circ - \frac{1}{2} z_s \angle 130^\circ$$

$$c = \frac{1}{2} j (z_n + z_s)$$

Dairenin çapı yine $D = Z_s + Z_n$ 'dir.
Her üç durumda rölenin çalışma
eğrileri aynıdır. İleri yöndeki
güç akışında faz arası arızalar
için rölenin çalışma eğrisi Şe-
kil 18'de, ters yöndeki güç
akışları için ise Şekil 18'e'de
gösterilmiştir.

10.3.4. İki Fazlı Toorak Arızaları

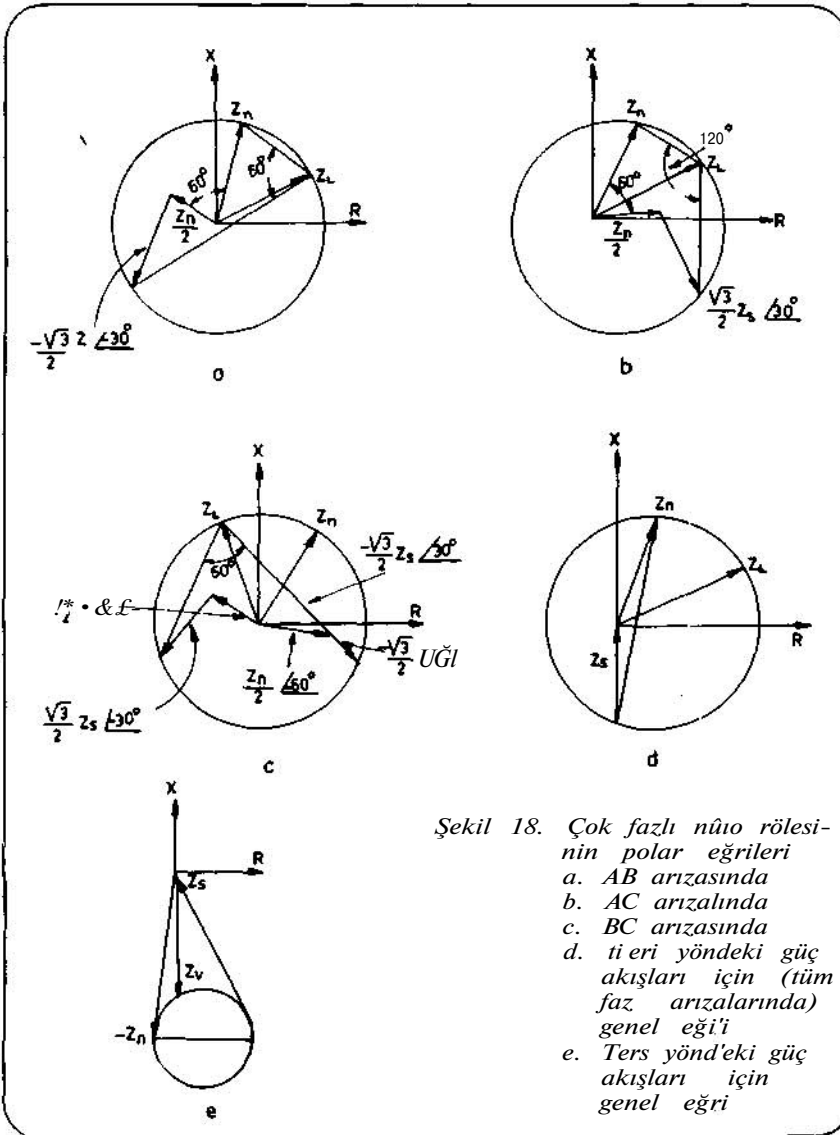
Polar eğrisinin geometriksel
çizimi oldukça güçtür. Ancak 2°
vektörünün her zaman röle eğri-
sinin üzerinde olduğu hatırla-
nırsa; temel etkenin; negatif
empedans quadrantındaki kayıklık
(offset) düzeyi olduğu • (pozitif
empedans quadrantındaki ayar
doğruluğu tutturularak) düşünü-
lebilir.

10.3.5. Üç Fazlı Arızalar

Bu durumda S_1 ve S_2 girdileri-
nin genlikleri eşittir. S_1 ,
(1-a*) ile S_2 'de (1-a) ile oran-
tılıdır. Böylece sürekli bir
tutuculuk vardır ve hiçbir ça-
lışma olmaz.

10.3.6. Farklı Arızalar için Röle Eğrisinin Karşılaştırılması

Her tür faz arızalarında röle
çalışma eğrilerinin aynı ve çapı-
nın $Z_s + Z_n$ olduğu gösteril-
miştir. Bu durumda bağlantı, faz
arızaları için gerçek bir çok
fazlı polarize nito rölesi işle-
mini görüyor ve üç fazlı dengeli
çalışma koşullarına karşı du-
yarsız kalıyor.



Şekil 18. Çok fazlı nito rölesi-
nin polar eğrileri
a. AB arızasında
b. AC arızasında
c. BC arızasında
d. İleri yöndeki güç
akışları için (tüm
faz arızalarında)
genel eğri
e. Ters yöndeki güç
akışları için
genel eğri