

# AKIM ÖLÇÜ TRANSFORMATÖRLERİ KORUMA DEVRELERİ İÇİN TİPİK BAĞLANTILAR

Derleyen : Ümit YAKIN

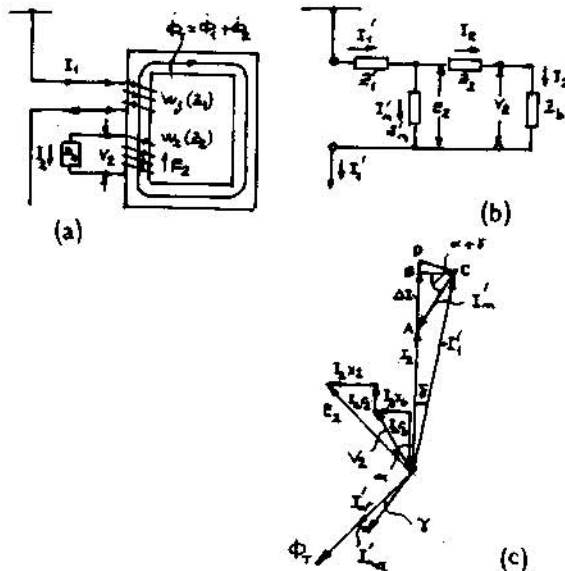
Elektrik yüksek Mühendisi  
Etibank Bandırma Boraks ve  
Asit Fabrikaları Müessesesi

## 1 - GİRİŞ

Enerji üretim ve dağıtım tesislerinde ölçü aletleri ve röleler yüksek gerilim hatlarına, ya da büyük akımlı devrelere doğrudan bağlanamazlar. Çünkü bunların büyük akım ve/veya yüksek gerilimler için yapımı hem zor, hem de işletmede bakım ve kontrolleri tehlikelidir. Bu nedenden ölçülerin ve korumaların akım ve gerilim transformatörleri üzerinden yapılması gerekir. Bu amaçla kullanılan ölçü transformatörleri aracılığı ile hat akım ve gerilimi alet ve aygıtlarda kullanılabilen ölçülebilecek küçük değerlere düşürülür. Ölçü transformatörleri ile ölçme ve korumalar alçak gerilimli devre ile yapıldığından, ayrıca bunların ikincil (sekonder) sargılan topraklandığından bakım ve işletme tehlikesiz bir durumda yapılabilir.

## 2- AKIM TRANSFORMATÖRLERİ HATALARI

Bir akım transformatörünün şematik çizimi eşdeğer devresi ve fazör çizimi şekil 1 de verilmiştir. Magnetik bir devreden oluşan akım tr. da, toplam magnetomotor kuvvet; birincil (primer) ve ikincil sargıların oluşturduğu magnetomotor kuvvetlerin fazörel toplamına eşittir :



Şekli 1 Akım transformatörü  
a- Şematik çizim b- Eşdeğer devrec- Vektör çizimi

$$\dot{O}_m = N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 \quad (1)$$

Bu magnetomotor kuvvet diğer yandan-toplam  $\langle j \rangle$  akışını yaratan - mıknatıslama akımının yarattığı  $N \dot{I}_m$  değerine eşit olur.

$$\theta_m = N \dot{I}_m \quad (2)$$

Eğer  $\dot{I}_m$  mıknatıslama akımı sıfır alınırsa

$$\dot{I}_2 = - \frac{\dot{I}_1}{k_{CT}} \quad (3)$$

şeklinde bulunur.

Bu tanımda  $k_{CT} = \frac{N_1}{N_2}$  olup, akım tr. nün dönüştürme oranıdır.

Dönüştürme oranı mıknatıslama akımının asıl değeri için tanımlanmış olup, bu hatasız ideal bir transformatöre karşılık olmaktadır. İdeal bir akım tr. de ikincil akım, birincil akımın  $k_{CT}$  dönüştürme oranına bölümüne eşit olup, bunlar  $180^\circ$  faz farklıdır.

Gerçekte mıknatıslama sıfır değildir. (1) ve (2) nolu eşitlikten hareket ile;

$$\dot{I}_2 = (- \dot{I}_1 + \dot{I}_m) \frac{N_1}{N_2} = - \left( \dot{I}_1 - \dot{I}_m \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (4)$$

eşitliği bulunur.

Bu eşitlikten görüldüğü gibi gerçek ikincil akım (3) eşitliği ile hesaplanan ikincil akımdan farklı olup bu

farka karşılık olan  $\frac{\dot{I}_m}{k_{CT}}$  akımı, ikincil akımın birincil akıma göre hatasını yaratır.

Mıknatıslama akımının bozucu etkisi (Şek. 16) daki eşdeğer devre için çizilen fazör çiziminde görülmektedir. (Şek. 1c) Eşdeğer devrenin oluşturulmasında birincil ve ikincil sargılar arasındaki mıknatısal (magnetic) bağlaç (coupling) elektrik bağlaça dönüştürülmüş olup, birincile ait büyüklükler ikincile indirgenmiştir.

$$\left( \dot{I}_1 = - \frac{\dot{I}_2}{k_{CT}} \right)$$

Fazör çiziminden ikincil  $\dot{I}_2$  akımı referans büyüklüğü olarak seçilmiştir.

İkincil  $\dot{V}_2$  gerilimi  $Z_{jj}$  yük empedansındaki gerilim düşümüne eşittir.  $\dot{Z}_b = R_b + j X_b$  şeklinde ise;

$$\dot{V}_2 = \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_b = \dot{I}_2 (R_b + j X_b) \text{ olur.}$$

İkincil de endüklenen  $\dot{E}_2$  em.kti ise,  $\dot{V}_2$  gerilimi ile  $Z_2$  yük empedansındaki gerilim düşümüne eşit olur.

$$\dot{E}_2 = \dot{V}_2 + \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{Z}_b \dot{I}_2 + \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{I}_2 (\dot{Z}_b + \dot{Z}_2) \quad (5)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 (R_b + R_2) + j \dot{I}_2 (X_b + X_2)$$

Bu tanımlardan anlaşılacağı gibi  $\dot{E}_2$  fazörü  $\dot{I}_2$  ye güç açısı kadar öndedir.

$\dot{E}_2$  emk ti toplam  $\langle j \rangle$  akışı tarafından endüklenmiş

olup, 0y akı fazörü  $\pm 2 Y^e 8^{r^e} 90^\circ$  ileri ve kendisini yaratan  $\dot{I}_m$  mıknatıslama akımına göre (akım tr. nün çekirdeğinde oluşan kayıplar nedeniyle) 7 açısı kadar geri fazda bulunur:

(4) nolu eşitlikten hareket ile

$$\frac{\dot{I}_1}{k_{CT}} = \dot{I}_2 \frac{\dot{I}_m}{k_{CT}} \text{ ve } \dot{I}_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_m \text{ bağıntısı}$$

Böylece bulunan  $\dot{I}_j$  akımı  $\dot{I}_2$  ye göre 8 açısı kadar geri fazda olup, şiddeti ise büyük bir yaklaşıklıkla Al kadar azdır. 6 çok küçük olduğundan yaklaşık olarak;

$$Al = AB = \dot{I}'_m \cdot \sin(\alpha + \varphi)$$

$$\delta_{rod} = CD = \dot{I}'_m \cdot \cos(\alpha + \varphi)$$

İkincil sargının  $\alpha$  açısı büyüdükçe  $\alpha$  açısı da büyüyeceğinden Al farkı artar, S açısı küçülür. Uç halde  $\alpha + 7 = 90^\circ$  olduğunda  $Al = \dot{I}'_m$  ve  $\delta = 0$  olup, akım hatası max'a, faz kayması ise sıfıra gelmiş olur.

Mıknatıslama akımı nedeniyle oluşan akım hatası yüzde cinsinden

$$\%f = \frac{Al}{\dot{I}'_m} \cdot 100 = \frac{\dot{I}'_m - \dot{I}_2}{\dot{I}'_m} \cdot 100$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}'_m - \dot{I}_1 \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır.

Faz kayması ise (5 açısı) derece ve dakika cinsinden verilir. Akım tr. nün mıknatıslama akımı büyüdükçe hata da büyür. En uç durumunda bu hata nedeniyle koruma aygıtları çalışabilir, Bu nedenle akım tr. terinde mıknatıslama akımının küçük tutulması en önemli sorundur.

### 3- MIKNATISLAMA AKIMINI ETKİLEYEN DEĞİŞTİRGENLER

Mıknatıslama akımı (Şek. 1c) Eddy ve Ardilzlem (Hysteresis) kayıplarına karşılık olan "ma bileşeni ile, ikincil sargıda  $E_2$  gerilimini endükleyen  $\langle t \rangle j$  akısını yaratan  $\dot{I}'_{mr}$  bileşenlerine ayrılabilir.  $\dot{I}'_{mr} > \dot{I}'$  şeklindedir.

Birincil bileşen  $\dot{I}'$  yi küçültmek için akım tr. nün mıknatısal devresi, kaybı düşük saçlardan oluşturulur, ikincil bileşen  $\dot{I}'_{mr}$  i küçültmek için ise 0j toplam akısının küçük tutulması gerekir.

Mıknatıslama akımı ile akı arasında;

$$\ln v = \frac{\phi_T \cdot r_m}{N_1} ; r_m = \frac{l}{\mu S} \quad (7)$$

bağıntısı olup, bu bağıntı (Şek. 2) deki mıknatıslama eğrisi ile gösterilmiştir. Bu eğrinin başlangıç kısımları hemen hemen doğrusaldır. Akımın belli bir  $\langle j \rangle x$  değe-

rinde magnetik devre doymaya başlar ve bunun sonucu olarak mıknatıslama akımı 0y akısına göre çok hızlı artar. Buna bağlı olarak da hata çok büyür. Bu nedenle 0y akısının (B-j akı yoğunluğunun) doymaya gelmeden sınırlandırılması gerekir. Bu bakımdan  $\langle P \rangle I$  akımının ikincildeki gerilim düşümünün hemen üzerinde bir  $E_j$  emk ti endükleyecek düzeyde olması yeterlidir.  $\langle j \rangle$  ile  $E_2$  arasında;

$$E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot t f_T \cdot 10^{-8} \quad (8)$$

bağıntısı vardır.

(5) nolu eşitliğe göre

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_b) \text{ dir.}$$

$\dot{V} = \frac{\langle 1 \rangle}{k_{CT}}$  olduğuna göre, l-j.ve  $Z_u$  büyüklüklerinin

artması ile  $E_2$  büyümektedir. Bunun sonucunda da (8) nolu eşitliğe göre  $E_2$  nin artması;  $\$7$  nin dolayısıyla  $\dot{I}_m$  akısının artmasına neden olur.

Tasarım değiştirgenleri ile çalışarak mıknatıslama akımını belirli bir düzeyde tutmak mümkündür.

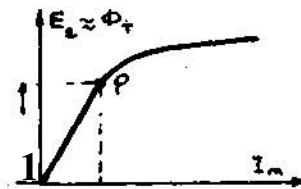
(7) nolu eşitlikten görüldüğü gibi,  $\dot{I}'_{mr}$  mıknatıslama akımını küçültmek için;  $r_m$  relüktansının küçültülmesi ve birincil sargı sayısının (N-j) artırılması gerekir.-Mıknatıs devre relüktansı;

$$r_m = \frac{l}{\mu S}$$

olup, bunun küçültülmesi için; Çekirdek kesitinin büyütülmesi (S) magnetik akımın katettiği magnetik devre boyunun (fi) küçültülmesi, magnetik devreyi oluşturan malzemenin  $n$  geçirgenliğinin yükseltilmesi ve mıknatıslama eğrisinin doğrusal kısmının uzatılması gerekir.

Sonuç olarak; hataları en aza indirmek için akım tr. nün mıknatıslama eğrisinin doğrusal kısmında çalıştırılması gerekir. Bu şart şu faktörler ile sağlanır.

- a- Çekirdeğin tasarım değiştirgenleri
- b-  $Z_{jj}$  yükünün doğru seçimi
- c- Dönüştürme oranının (kç-r) doğru seçimi.



ŞakH 2 - Akım tr. U mıknatıslama eğrisi

### 4 - AKIM TR.'LERİNİN SEÇİMİNE TEMEL OLAN ETKENLER

#### 4.1 - Duyarlık Sınıfları

Akım tr. leri çeşitli duyarlık sınıflarına ayrılırlar. Her duyarlık sınıfı kabul edilebilir hata değerleri ile nitelenir.

Endüstriyel tesislerde genel olarak 0,5 - 1 - 3 ve P sınıfı akım tr. leri kullanılır.

P sınıfı akım tr. leri koruma amaçlı akım tr. leri olup, duyarlık sınıfı indisi denen bir sayının P harfi ile birlikte kullanılması ile belirlenir. Verilen bu indis nominal akımda oran hatası ile faz kaymasının fazörel toplamına eşit olan karmaşık hatanın üst sınırını verir.

Çizelge 1 de ölçü ve çizelge 2 de koruma amacı için kullanılan akım tr. lerinin Türk Standartlarına göre izin verilebilir hata sınırları verilmiştir.

Çizelge 1

Duyarlık sınıfı	Anma akımda	
	% olarak oran hatası	Dakika olarak faz kayması
0,5	± 0,5	T 30
1	± 1	± 60
3	Sınırlama	Yok

Çizelge 2

Duyarlık sınıfı	Anma akımda		Duyarlık sınır akımı için % olarak karmaşık hata
	% olarak oran hatası	Dak. olarak faz hatası	
5P 10P	T1 T3	T1 -	S 10

Akım tr. lerinin duyarlık sınıflarına karşılık olan hataları; anma akımın % 120 sini geçmeyen akım değerleri ile anma güce karşılık olan yük empedansı için geçerlidir.

#### 4.2 - Anma Güç

Akım tr. nün anma gücü, duyarlık sınıfı ile verilen hata değerinin üzerine çıkmadan volt-amper olarak taşıyabileceği max. yüküdür.

$$S_n = \frac{2}{2n} Z_n \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır.

Genellikle anma gücü; ikincil sargının anma akımı ya da

$$Z_n = \frac{S_n}{I_{2n}^2}$$

empedansı ile birlikte verilir.

Akım tr. lerinin anma güçleri ve anma yükleri aşağıda

verilmiştir. Anma yük değeri içine bağlantı iletkenlerinin empedansları da dahildir.

Kırma güçler (VA)	:5	10	15	30	45	60	90
Anma yükler (ohm) (5A de)	: 0,2	0,4	0,6	1,2	1,8	2,4	3,6
(1Ade):	5	10	15	30	45	60	90

#### 4 J - % 10 Hata Eğrisi

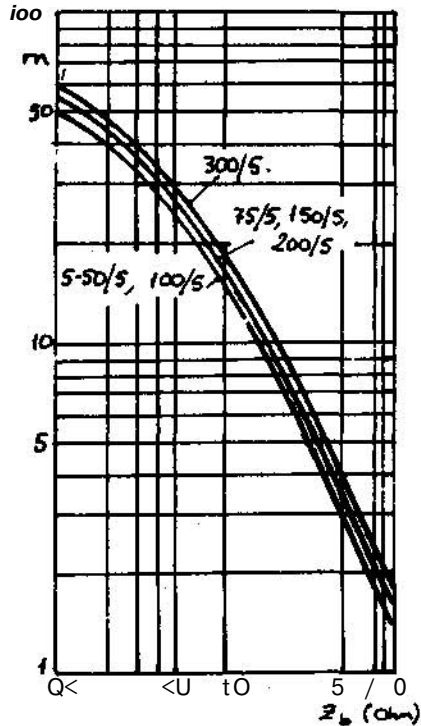
Teorik çözümler ve deneyler sonucunda; koruma devrelerinde genellikle oran hatasının % 10 un üzerine çıkmadığı ve faz kaymasının 7° civarında kaldığı saptanmıştır. Bu değerlerden hareket ile akım tr. lerinin seçimi % 10 hata esasına göre yapılmaktadır.

% 10 hata eğrisi; akım tr. nün oran hatası % 10 da kalmak şartıyla  $Z_b$  yük empedansına göre

$I_{max}$  (  $m_n = \frac{I_{max}}{I_n}$  şeklinde tanımlanan) max birincil akım çarpanının değişimini gösteren eğridir. (Şek. 3) Bu ifadedeki  $I_{max}$  belirli şartlardaki max birincil akımı,  $I_n$  ise anma birincil akımı gösterir.

% 10 hata sınırında, akım tr. ü doymanın başladığı noktada çalışır. (Şek. 4) Bu durumda  $I^y$  akımı,  $M_{max}$  a karşılık gelir.  $m_n = f(Z(j))$  eğrisi  $a + y = 90^\circ$ , yani faz kaymasının  $\phi = 0$  durumu için verilir. Fakat gerçekte  $a + y < 90^\circ$  olup bunun sonucu olarak  $AI < \% 10$  dur.

Şek. 3 de verilen eğri belli tipteki bir akım tr. nün çeşitli dönüştürme oranları içindedir.



Şakıt 3 10 kv, sınıf I olan akım tr. nün % 10 hata eğrisi

Kısa devre koşullarında birincil akım çarpanı

$$m_h = \quad (10)$$

şeklinde tanımlanır.

Bu bağıntıda

$m_n^*$  : Hesapla bulunan birincil akım katsayısını

'kdh' İncelenen durumdaki hesaplanan kısa devre akımını

$k_a$  : Kısa devre durumunda çalışan akım tr. de geçici dönemsel (periyodik) bileşenin etkisini belirliyen etkindir.

$a$  : Akım tr. nün yapımcı tarafından verilen akım çarpanı ile gerçek akım çarpanları arasındaki farkı belirleyen katsayıdır.

Duyarlı olmayan korumalarda geçici etki için  $k_a = 1$  ve  $a = 0,8$  alınabilir.

% 10 hata sınırını veren eğri kullanılarak  $m_n$  ye karşılık olan  $Z_p$  izin verilebilir yük empedansı bulunabilir. Akım tr. nün gerçek yük empedansı  $Z_j$ ,  $Z_p$  empedansına eşit veya daha küçük olmalıdır. ( $Z_j < Z_p$ )

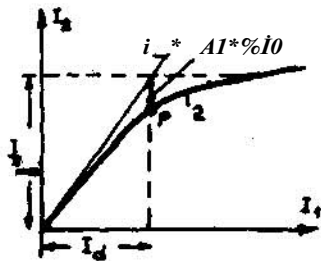
#### 4.4 - Doyma Akımı Katsayısı

Akım tr. ne güç faktörü 0,8 olan  $Z_n$  anma yükü bağlı iken, % 10 akım hatası oluşturan doyma noktasındaki birincil akımın, birincil anma akımına göre kaç katı

olduğunu gösteren bir sayıdır,  $m^* = \frac{id}{I_n}$  şeklinde

tanımlanır. (Şekil 4) Şekilden görüldüğü gibi P noktasından başlayarak akım hatası  $AI > \% 10$  olmakta birincil ve ikincil akımlar arasındaki doğrusallık bozulmaktadır. Bu nedenle akım tr. nün hesapla bulunan akım katsayısının ( $m_n$ ) doyma akım katsayısından ( $m_j$ ) küçük olması, bunun sonucu olarak  $m_n$  ye karşılık gelen  $Z_p$  empedansının,  $m^*$  ye karşılık olan  $Z_n$  empedansından küçük olması gerekir :

$$m_n < m_d \quad Z_b < Z_p < Z_n$$



Şekil 4 Akım tr. de İkincil akımın birincil akıma göre değişimi  
1- ideal akım tr. de İkincil akım  
2- Gerçek ikincil akım

#### 4.5 • Max. Akım Katsayısı

Akım tr. ne  $Z_n$  anma yükü bağlı iken, izin verilen max. ikincil akımın, ikincil anma akımına göre kaç katı olacağını gösteren sayıdır,  $m_{max} = \frac{I_{2max}}{I_n}$  şeklinde tanımlanır. Bu katsayıdan yola çıkarak akım tr. nün dayanabileceği max. akım bulunur.

$I_{2max} = m_{max} \cdot I_n$

$Z_n$  den farklı bir  $Z_x$  yükündeki max. akım katsayısı

$$m_{max,x} = \frac{Z_n + Z_x}{Z_x + Z_n} \cdot m_{max} \quad (11)$$

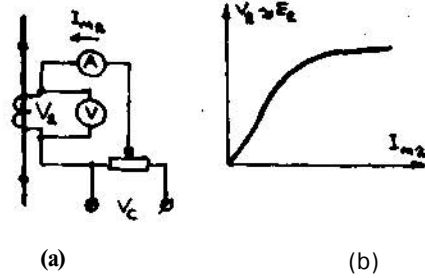
şekilde hesaplanır. Bu tanımda  $Z_2$  ile ikincil sargının kendi empedansı belirtilmiştir.

#### 4.6 - Mıknatıslama Karakteristiği

Akım tr. nün hataları ile ilgili bilgi elimizde yoksa, izin verilen  $Z_j$  yükünde, ikincil  $V_2$  gerilimine göre  $I_{m2}$  ikincil mıknatıslama akımının değişimi çıkarılarak bu konuda yaklaşık bir fikir edinebiliriz. Bu karakteristik deneysel olarak Şek. 5 a da verilen devre ile elde edilebilir, ikincil sargının uçlarındaki  $V_2$  gerilimini değiştirerek, her  $V_2$  değerine karşılık olan ikincil akım ölçülür. Bu akım  $I_{m2}$  mıknatıslama akımı niteliğindedir. Böylece Şek. 5 b gösterilen  $V_2 = f(I_{m2})$  niteliği çıkarılabilir.

İkincil sargı empedansı  $Z_2$  küçüldükçe,  $V_2 \wedge E_2$  olacağından elde edilen karakteristik  $E_2 = f(I_{m2})$  olarak alınabilir.

Bu karakteristik ile doyma noktasındaki  $E_2$  gerilimi tesbit edilip, (S) nolu eşitlikten yararlanarak kısa devre halindeki izin verilebilir, yük empedansı hesaplanabilir.



Şekil 5 İkincil gerilimin mıknatıslama akımına göre deflİşimi  
a- Karakteristiğin çıkarılması için gereken devre  
b-  $V_2 = f(I_{m2})$  eğrisi

#### 4.7 - Anma İkincil Akımı

Akım transformatörleri, ikincil akımları 1A ve 5A ola-

çak şekilde tasarlanır. İkincil sargıya bağlı Z5 yük empedansının gücü  $S_b = I_2 \cdot Z_5$  dir. Buna göre aynı değıştirgenlere sahip iki akım tr. den ikincil akımı 1A olan akım tr ü, 5A olana göre 25 defa daha büyük bir yük taşır.

#### 4.8- Anma Gerilimi

Akım transformatörünün kullanıldığı güç dizgesinin hat gerilimidir. Birincil sargının ikincil sargıya göre olan yalıtımı, bir güvenlik çarpanı ile birlikte hat gerilimine dayanacak şekilde tasarlanır.

#### 4.5 - Anma Isıl (Thermal) Sınır Akımı ( $I_{tn}$ )

Akım tr. nün ikincili kısa devre iken, bozulma olmadan bir saniye süre ile dayanabileceği birincil akımın etkin değeridir. Bu durumda sargı için 190° C lik bir sınır sıcaklık derecesine izin verilir. Akım tr. leri genellikle  $I_{tn} = 120 \times I_{rn}$  kadar bir akım için hesap edilir.

Bir akım tr. den 1 saniye yerine t saniye süreyle 1^ kadar bir kısa devre akımı geçecek olursa, bu akımın ısı anma akımının 1 saniyede oluşturduğu ısıdan fazla bir ısı meydana getirmemesi gerekir, t sn süreyle akmasına izin verilen  $I_k$  kısa devre akımının değeri

$$I_k = \frac{I_{tn}}{\sqrt{t}} \quad (12)$$

bağıntısı ile bulunur.

#### 4.10- Anma Dinamik Sınır Akımı ( $I_{dyn}$ )

Akım tr. nün ikincili kısa devre durumunda iken, meydana getirdiği elektrodinamik zorlamalar nedeniyle elektrik ve mekanik bakımlardan yapısında bozulmalar olmadan dayanabileceği birincil akımın tepe değeridir.

Genellikle anma dinamik akımı ile anma ısı akımı arasında

$$I_{dyn} = 1,8\sqrt{2} \cdot I_{th} \approx 2,5 I_{th} \quad (13)$$

bağıntısı vardır.

#### 5- BAĞLANTI UÇLARININ İŞARETLENMESİ

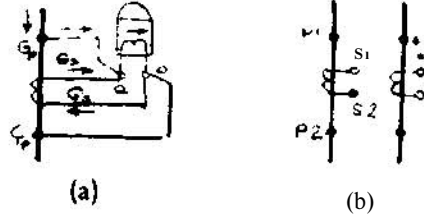
Akım tr. leri birincil ve ikincil uçlarının yapımçı kuruluşlarca işaretlenmesi gerekir. Birincil bağlantı uçlarının işareti için bu bağlantı birisi sargının akım giriş ucu ( $G_p$ ), diğeri de sargının akım çıkış ucu ( $\check{C}_p$ ) olarak kabul edilir. (Şek. 6a) Bu kabule göre ikincil uçların işaretlenmesi için; akım tr. nün birincil sargısının akım giriş uçundan ( $G_p$ ) çıkış ucuna doğru ( $\check{C}_p$ ) akım aktığında ikincilde hangi uçun yüke doğru bir akım akıyorsa bu uç ikincilin akım giriş ucu diğeri de çıkış ucu olur. ( $G_s, \check{C}_s$ )

Yukarıdaki tanıma göre ikincil uçları işaretlemek için bir röle önce akım tr. nün birinciline doğrudan, son-

rada ikincile bağlanır. Her iki durumda da röleden geçen akımın aynı yönde dolması sağlanacak şekilde ikincil sargı akım giriş ve çıkış uçları işaretlenir.

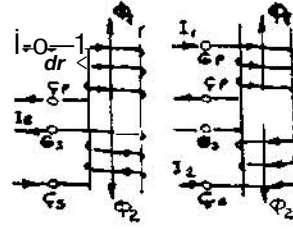
Akım tr. lerinde birincil sargı giriş ucu  $P_1$ , çıkış ucu  $P_2$  ve bunlara karşılık olan ikincil sargı uçları  $S^1$  ve  $S_2$  ile gösterilir. (Şek. 6 b)

Bu işaretlemeden faydalanarak yönlü güç röleleri, wattmetreler ve diğery aygıtların akım tr. lerine bağlantıları yapılır.



Şekli 6 Akım tr. leri uçların işaretlenmesi

Şek. 7 de birincil ve ikincil sargıların aynı ve zıt yönlerde sarılmış olmalarına göre ikincil akımın yönü gösterilmiştir. Her iki durumda da birincil akım sargı giriş ucundan çıkış ucuna doğrudur.



Şekil 7 İkincil akımın yönü

#### 6-TİPİK BAĞLANTILAR

##### 6.1 - Genel

Çeşitli koruma tiplerine göre akım tr. leri ve rölelerin çeşitli bağlantıları kullanılabilir. Bir rölenin çalışması ve davranışı, normal şartlarda ve arıza durumunda akım tr. nün ikincilinden röle sargısına ayrılan akım büyüklüğüne bağlıdır. Farklı fazlardaki ikincil akım herhangi bir elemanda (röle sargısı gibi) toplanıyor veya çıkarılıyorsa, bu elemadaki eşdeğer akım fazörel olarak bulunur.

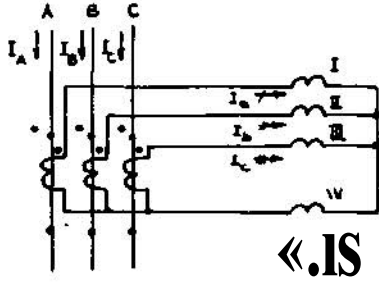
Her bağlantı şeması için röle akımının ( $I_r$ ), faz akımına ( $I_f$ ) oranını gösteren "bağlantı faktörü" tanımlanabilir.

$$k_b = \frac{I_r}{I_f} \quad (14)$$

##### 6.2 - Röle ve Akım tr. nün Yıldız Bağlantısı

Bu tip bağlantı da akım tr. ü her üç faza yerleştiril -

miş olup, akım tr. ü ikincil sargıları ile röle sargıları yıldız bağlanmışlardır. Her iki yıldız bağır sistemin nötrleri bir nötr hattı ile bağlanmıştır. (Şek. 8)



Şekil 8 Akım tr. lerl ve rölelerin yıldız bağlantısı dizge

Normal işletme şartlarında I, II. ve III nolu rölelerden geçen faz akımları

$$I_A = \frac{I_B}{k_{CT}}, I_C = \frac{I_C}{k_{CT}}$$

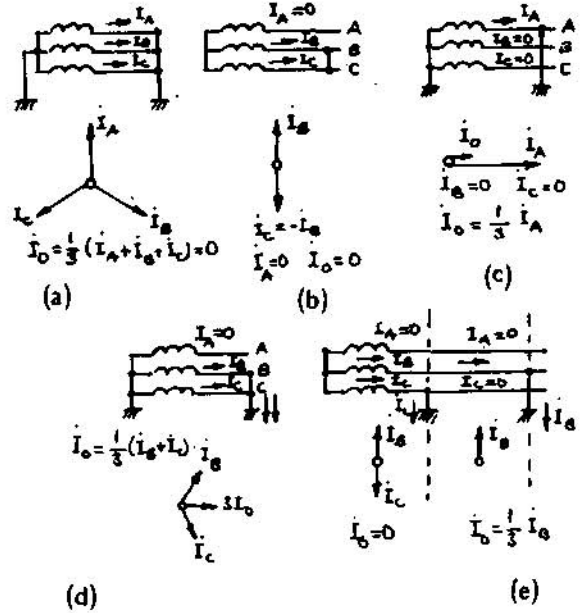
nötr hattından geçen akım ise;

$$I_n = I_A + I_B + I_C \quad (05)$$

şeklinde dir.

Çeşitli arızalara göre aşağıdaki incelemeler yapılabilir.

#### 6.2.1 - Üç Fazlı Kısa Devre (Şek. 9 a)



Sekil 9 Çeşitli arızalardaki vektör çizimleri  
a- üç fazlı arıza d- iki faz-toprak arızası  
b- iki fazlı arıza e- Farklı noktalarda iki faz-  
c- Faz-toprak arızası toprak arızası

Üç fazlı kısa devre simetrik şartlar yaratan bir arıza olup, nötr hattından geçen akım sıfırdır. Her üç fazdaki röleden de arıza akımı geçer.

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

$$I_n = I_A + I_B + I_C = 0$$

#### 6.22 - İki faili kısa devre (Şek. 9 b)

Bu tip arızada kısa devre akımı yalnızca arızalı iki fazdan ve bunlara tekabül eden iki röleden akar. Arızasız fazdan arıza akımı geçmez, ( $I^{\wedge} = 0$ ) Arıza noktasına Kirschhoff kanununun uygulanması ile;

$$I^{\wedge} = 0 \quad I_B + I_C = 0 \quad \text{veya} \quad I_Q = -I_g \text{ bulunur.}$$

$I_B$  ve  $I_C$  akımları arasında  $180^\circ$  faz farkı oluşur. Nötr hattından geçen akım arızalı fazların akımlarının toplamına eşit olup, bunlar zıt fazlarda olduklarından ;

$$I_n = I_B + I_C = 0 \text{ bulunur.}$$

Bu nedenle nötr hattında yer alan IV nolu röle, bu tip arızaya cevap veremez.

Gerçekte akım tr. terinin hataları ve karakteristliklerinin farklılığı nedeniyle ikincil akımların toplamı sıfırdan farklı olup, artık bir akım oluşur. Nötr hattından geçen bu akım 0,01 - 0,2 A ansında değişebilir. Kısa devre oluşumundan sonra bu artık akım kısa devre akımına eklenerek bunun değerini yükseltir.

#### 6.2.3 - Faz-toprak kısa devresi (Şek. 9 c)

Bu tip arızada birincil kısa devre akımı arızalı fazdan toprağa akar. Diğer fazların akımları sıfırdır. ( $I_B = I_C = 0$ ) Arızalı fazda yer alan akım tr. nün ikincil akımı ise bu devreye bağlı röleden geçerek nötr hattı üzerinden devresini tamamlar.

$$I_A = I_{kd} \quad I_B = I_C = 0 \quad I_n = I_A$$

#### 6.2.4 • İki faz-toprak kısa devresi (Şek. 9 d)

Bu tip arızada birincil kısa devre akımı yalnızca arızalı fazlardan geçer. ( $I_B$  ve  $I_C$ ) Arızasız faz akımı sıfırdır. ( $I_A = 0$ ) Arızalı fazlara karşılık olan ikincil akımlar bu fazlara bağlı rölelerden geçerek nötr hattı üzerinden devresini tamamlar. Nötr hattından geçen akım arızalı fazlara karşılık olan ikincil akımların fazörel toplamına eşittir. Bu toplam daima sıfırdan farklıdır.

$$I_A = 0 \quad I_n = I_B + I_C$$

#### 625 - Farklı noktalarda iki faz-toprak kısa devresi (Şek. 9 e)

Bu tip kısa devrede iki ayrı bölge tesbit edilebilir. Birincisi iki arıza noktası arasında kalan bölge olup, bu bölgede şartlar faz-toprak kısa devresinde olduğu gibidir.

$$I_A = I_C = 0 \quad I_B = I_{kd}$$

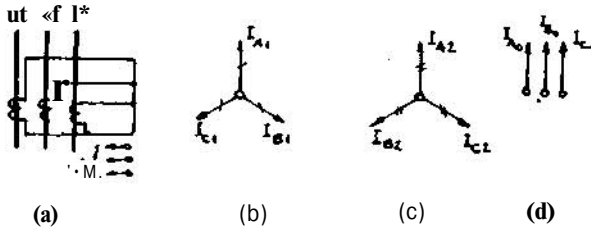
ikinci bölge enerji kaynağı ile buna yakın arıza noktası arasında kalan bölge olup, bu bölgede şartlar iki

faz-toprak kısa devresinde olduğu gibidir.

$$i_A = 0 \quad i_B = -i_C \quad i_n = i_b + i_c = 0$$

Yıldız bağlı dizgelerde nötr hattından yalnız akımın sıfır bileşeni geçer. Doğru ve ters bileşenlerine ait fazörlerin toplamı sıfır olup bu nedenle nötr hattından bu bileşenler akmaz. Sıfır bileşenler ise aynı fazda olup, nötr hattından.

$I_n = 3 I_0$  akımı akar. (Şek. 10d)

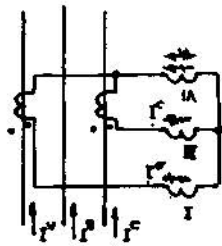


Şekil 10 Yıldız bağlı devrede akım bileşenleri  
a- Bağlantı şeması c- Ters bileşen  
b- Doğru bileşen d- Sıfır bileşeni

Yıldız bağlı sistemlerde akım tr. lerinin birinin ikincisinde bir arıza oluşursa (Devre açılırsa) nötr hattından diğer iki fazın toplamına eşit olan faz akımı büyüklüğünde bir akım akar ve bu olası nötr hattındaki rölenin istenmiyen çalışmasına neden olabilir.

Sonuç olarak; faz hatlarına konan röleler her çeşit arızaya cevap verdikleri halde nötr hattına konan röle yalnızca toprak arızasında çalışır. Bu tip bağlantıda röle akımı faz akımına eşit olup, bağlantı faktörü  $I_q = 1$  dir.

### 63 - Eksik Akım TR. lü ve Röleli Yıldız Bağlantı



Şekil 11 Eksik yıldız bağlı sistem

Bu tip bağlantıda akım tr. leri iki faz için öngörülmüş olup, yıldız bağlanmışlardır. (Şek. 11) Aynı fazlara bağlı rölelerden (I ve III)

$$I_A \quad I_C \quad \text{akımları geçer.}$$

Dönüş iletkeninden ve bu devreye bağlı röleden (IV) geçen akım ise;

$$i_r = -(i_a + i_c) \text{ dir.}$$

Fazör çizimlerinde  $i_a + i_c = -i_b$  olduğu yani dönüş hattından geçen  $i_r$  akımının akım tr. ü uygulanmayan **fal** akımına eşit ve zıt fazda olduğu görülür.

### 63.1 - Üç fazlı kısa devre

Normal işletme şartlarında ya da üç fazlı arıza halinde; akım I ve III röleleri ile nötr hattı üzerindeki IV rölesi üzerinden devresini kapatır.

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad i_B = -(i_A + i_C) \quad i_r = -(i_a + i_c)$$

### 63.2 - İki fazlı kısa devre

Arızalı faza bağlı olarak akım bir ve/veya iki röleden (I ve/veya III) ve nötr hattı üzerindeki IV rölesinden devresini kapatır.

#### 63.2.1 - B ile C kısa devresinde

$$i_A = 0 \quad i_B + i_C = 0 \quad i_B = -i_C$$

$$i_r = i_a + i_c = -i_c$$

I rölesinden akım geçmez, III ve IV rölelerinden  $i_c$  akımı geçer.

#### 63.2.2 - A ile C kısa devresinde

$$i_B = 0 \quad i_A + i_C = 0 \quad U = -rC$$

$$i_r = i_a + i_c = 0, \quad i_a = -i_c$$

I rölesinden  $i_a$  akımı, III rölesinden  $i_c$  akımı geçer. IV rölesinden akım geçmez.

#### 63.2.3 - A ile B kısa devresinde

$$i_c = 0 \quad i_A + i_B = 0 \quad i_A = -i_B$$

$$r = -rA$$

I ve IV rölelerinden  $i_a$  akımı geçer, III rölesinden akım geçmez.

### 63.3 - Faz Toprak Kısa Devresi

63.3.1 - Eğer arıza akım tr. lerinin yer aldığı A ile C fazlarından birinde ise

#### 63.3.1.1 - A fazında kısa devre

$$i_B = 0 \quad i_C = 0$$

$$r = rA$$

I ve IV rölelerinden  $i_a$  akımı geçer. III rölesinden akım geçmez.

#### 63.3.1.2 - C fazında kısa devre

$$i_A = 0 \quad i_B = 0 \quad i_r = i_c$$

III ve IV rölelerinden  $i_c$  akımı geçer. I rölesinden akım geçmez.

**6332** - Eğer arıza akım tr. nün uygulanmadığı fazda (B fazında) oluşursa koruyucu devreden akım geçmez.

Bunun sonucu olarak eksik yıldız bağlı devre tüm faz-toprak arızalarına yanıt veremez. Yalnızca iki fazlı kısa devreler için uygundur. Bağlantı faktörü  $k_j = 1$  dir.

#### 6.4 - Akım TR. lerin Üçgen Rölelerin Yıldız Bağlanması Hali

Bu tip bağlantıda akım tr. lerinin ikincil sargıları üçgen (Şek. 12, 13) bağlanmıştır. Yıldız bağlı röleler ise üçgen bağlı akım tr. lerine bağlanmıştır. Bu tip bağlantıda rölelerden geçen akımların fazörleri;

$$I = \frac{I_A}{k_{CT}} - \frac{I_B}{k_{CT}}, \quad II = \frac{I_B}{k_{CT}} - \frac{I_C}{k_{CT}},$$

$$III = \frac{I_C}{k_{CT}} - \frac{I_A}{k_{CT}} \text{ şeklindedir.}$$

Normal şartlarda ve üç fazlı kısa devre halinde  $I_A + I_B + I_C = 0$  olup, rölelerden faz akımının  $\sqrt{3}$  katında ve ait oldukları fazların akımlarına göre  $30^\circ$  faz farklı akımlar geçer.

Çizelge 3

Arıza cinsi	Arızalı fazlar	Faz akımları	Röleden geçen akımlar		
			I rölesi	II rölesi	III rölesi
İki ful. arıza	A ile B	$I_C = 0$ $I_B = -I_A$	$2I_A$	$I_B$	$-I_A$
	B ile C	$I_A = 0$ $I_C = I_B$	$-I_B$	$I_B$	$I_C$
	Ç ile A	$I_B = 0$ $I_A = -I_C$	$I_A$	$-I_C$	$2I_C$
Faz-Top. arızası	A	$I_A = I_{kd}$ $I_B = I_C = 0$	$I_A$	0	$-I_A$
	B	$I_B = I_{kd}$ $I_A = I_C = 0$	$-I_B$	$I_B$	0
	C	$I_C = I_{kd}$ $I_A = I_B = 0$	0	$-I_C$	$I_C$

Çizelge 3 de arıza cinslerine göre rölelerden geçecek akımların büyüklükleri -akım tr. lerinin dönüştürme oranları  $k_j = 1$  alınarak- gösterilmiştir.

Akım tr. lerinin üçgen bağlanması ile elde edilen bağlantı tipinin özellikleri şunlardır.

a- Her çeşit arızada rölelerden arıza akımı aktığından bu tip bağlantı ile tüm arızalara karşı koruma yapılabilir.

b- Röle akımının faz akımına oranını gösteren bağlantı faktörü ( $k_b$ ) arızanın cinsine göre değişir.

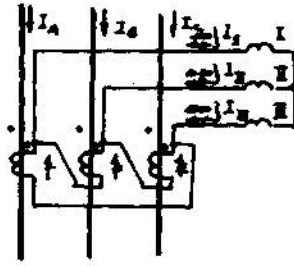
Üç fazlı arızalarda; her üç röleden geçen akım

$$I_r = \sqrt{3} I_f \text{ olduğundan } k_b = \frac{I_r}{I_f} = \frac{\sqrt{3} I_f}{I_f} = \sqrt{3}$$

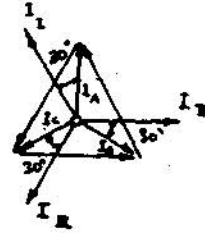
olur.

c- Akımın sıfır bileşeni üçgen bağlı akım tr. nin ikincil sargılarından dışarıya alamayacağından, arıza akımının yalnızca doğru ve ters bileşenleri rölelerden geçer.

Bu tip bağlantı esas olarak diferansiyel ve uzaklık korumaları için uygundur.



Şekil 12 Akım tr. lerinin Üçgen, rölelerin yıldız bağlandığı sistem

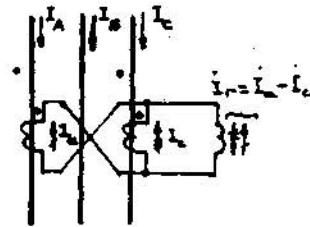


Şekil 13 Şekil-12 deki devrenin akım vektör çizimi

#### 63 - İki Akım TR. lü ve Bir Röleli Bağlantı

Bu tip bağlantıda akım tr. leri iki faza (ör : A ile C fazlarına) (Şek. 14) uygulanır, ikincil sargılar aralarında çapraz paralel bağlanarak uçlar röle sargısı ile bağlanır. Bu durumda röleden geçen akım;

$$I_r = I_A - I_C \text{ olup, } I_r = \frac{I_A}{k_{CT}} - \frac{I_C}{k_{CT}} \text{ şeklindedir.}$$



Şekil 14 Akım tr. lerinin çapraz paralel bağlandığı dizge



### 63.1 - Üç fazlı kısa devrede

Simetrik yüklerde veya üç fazlı kısa devre halinde;  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$  Pı fazör çiziminden;  $\dot{I}_a - \dot{I}_c$  fazörünün şiddetinin  $\sqrt{3} I_f$  olduğu bulunabilir. Buna göre röleden geçen akım;

$$I_r^{(3)} = \sqrt{3} I_f \text{ dir. } \quad I_f = \text{faz akımı}$$

### 6.5.2 - İki fazlı kısa devrede

6.5.2.1 - Akım tr. lerinin yer aldığı A ile C fazları arasındaki kısa devrede:

$$\dot{I}_B = 0 \quad \dot{I}_A + \dot{I}_C = 0 \quad \dot{I}_A = -\dot{I}_C \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = 2\dot{I}_a = 2\dot{I}_f$$

$$I_r^{(2)} = 2 I_f \quad \text{Röleden } 2 I_f \text{ akımı geçer.}$$

6.5.2.2 - Akım tr. lerinin yer almadığı faz ile (B fazı) diğer fazlara arası kısa devrede

#### 63.2.2.1 - B ile C fazı kısa devresi

$$\dot{I}_A = 0 \quad \dot{I}_B = -\dot{I}_C \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = -\dot{I}_c = -\dot{I}_f$$

$$I_r^{(2)} = I_f \quad \text{Röleden } I_f \text{ akımı geçer.}$$

63.2.2.2 - A ile R fazı kısa devresi

$$\dot{I}_C = 0 \quad \dot{I}_B = -\dot{I}_A \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = \dot{I}_a = \dot{I}_f$$

$$I_r^{(2)} = I_f \quad \text{Röleden } I_f \text{ akımı geçer.}$$

### 6.5.3 - Faz toprak kısa devresi

6.53.1 - Akım tr. nün bağlı olduğu faz arızası hali

63.3.1.1 - A fazı kısa devresi

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{kd} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_C = 0 \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = \dot{I}_a = \dot{I}_f$$

63.3.1.2 - C fazı kısa devresi

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{kd} \quad \dot{I}_A = \dot{I}_B = 0 \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = -\dot{I}_c = \dot{I}_f$$

$$I_r^{(1)} = I_f$$

633.2 - Akım tr! nün bağlı olmadığı faz arızası hali

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{kd} \quad \dot{I}_A = \dot{I}_C = 0 \quad \dot{I}_r = \dot{I}_a - \dot{I}_c = 0 \quad \dot{I}_r^{(1)} = 0$$

Yukarıda görüldüğü gibi akım tr. nün uygulanmadığı faz toprak kısa devresinde röle akımı sıfır olduğundan bu tip bağlantı faz-toprak arızaları için uygun değildir.

Röleden geçen akım, arızanın cinsine bağlı olarak değiştiğinden duyarlılık da değişir. A ile B veya B ile C fazları kısa devresinde (B fazında akım tr. ü kullanılmıyor.) röleden geçecek  $I_f$  akımı diğer cins arızalara göre daha küçük olup, duyarlılık da daha düşüktür.

Bu tip bağlantılı bir koruma sistemi; yıldız - üçgen bağlı birgüç tr. nün birincil tarafında yer alırsa, B ile C faz-

ları arasındaki arıza durumunda (Şek. 16) -güç tr. nün mağnetik akımlarının dengelenmesi amacıyla -  $I_a$  ve  $I_c$  akımları eşit ve aynı fazda olacaklarından röle akımı  $I_r = I_a - I_c = 0$  olur. Bu nedenle bu anıza çeşidinde röle çalışmaz. Sonuç olarak tek röleli koruma sistemi yıldız/üçgen bağlı güç tr. lerinin birincillerinde koruma amacıyla kullanılmamalıdır. Ayrıca akım tr. nün uygulanmadığı fazdaki toprak kısa devresi arızasında (B fazı) röle akımı yine sıfır olduğundan, bu cins arızalar için de bu bağlantı şeması uygun değildir.

Bu tip bağlantıda simetrik şartlarda bağlama faktörü

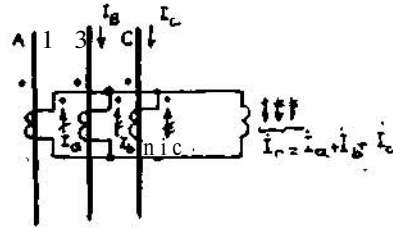
$$k_b^{(3)} = \frac{I_r}{I_f} \text{ y/ } 3' \text{ değerindedir.}$$

### 6.6 - Akım TR. lerinin Sıfır Bileşeni Süzgeç Bağlantısı

Bu tip bağlantıda akım tr. leri üç faza uygulanır, ikincil sargının aynı kutuplu uçları aralarında bağlanarak röle sargısına bağlanır (Şek. 15)

Bu bağlantıda röle akımı akım tr. lerinin ikincil akımlarının toplamına eşittir.  $I_r = I_a + I_b + I_c = 3 I_o$

Bu toplam aynı zamanda akımların sıfır bileşeni verdiğinden, bu devre akımın sıfır bileşeni için bir süzgeç devresidir.



Şekil 15 Akım tr. lerinin sıfır bileşeni süzgeç bağlantısı

### 6.6.1 -Üç fazlı kısa devre

Simetrik yüklerde veya üç fazlı kısa devrede

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \text{ ve } \dot{I}_o = 0 \text{ ve } \dot{I}_o = 0 \text{ dir.}$$

Röleden akım geçmediğinde» röle bu tip arızalara cevap vermez. Fakat akım tr. lerinin hataları nedeniyle ikincil akımların toplamı sıfırdan farklı olup, röleden bu dengesizliğe karşılık olan bir akım geçebilir. Bu bağlantının kullanılması halinde bu akımın dikkate alınması gerekir.

### 6.6.2 -iki fazlı kısa devre

İki fazlı kısa devrelerde (Örneğin A ile B fazı)

$\dot{I}_C = 0$   $\dot{I}_A = -\dot{I}_B$   $\dot{I}_r = 0$  ve  $\dot{I}_o = 0$  olup, röleden yine bir akım geçmediğinden bu tip bağlantı iki faz kısa devrelerine de yanıt vermez.

### 6.63 - Faz-toprak kısa devreleri

Faz-toprak kısa devrelerinde (örneğin A fazı-toprak)

$I_A = I_{kd}$   $I_B = I_C = 0$   $P_r = I_{kd}^2 R_0$  röleden kısa devre akımı geçerek arızaya cevap verir.

#### 6.6.4 • iki faz-toprak arızası

Bu tip arızada (örneğin B ile C fazları - toprak arızası)  $I_A = 0$   $I_r = I_b + I_c = 3 I_0$  olup, röleden yine bir akım geçtiğinden arızaya cevap verir.

Sonuç olarak; bu bağlantı tipi yalnızca toprak arızaları için uygundur.

#### 6.7 - A/Y Bağlı Bir Güç TR. nin Birincilerindeki iki Faz Arızası

Şek. 16 da; en çok kullanılan tr bağlantı gruplarından biri olan A/Y 11 grubundan bir tr. de B ile C fazları arasında kısa devre oluşması halinde akım yönleri gösterilmiştir. Basitleştirmek amacıyla güç tr. nün dönüşürme oranı  $k_{çj} \approx 1$  alınırsa A/Y bağlı sargının akım oranı

$$\frac{I_Y}{I_{\Delta}} = \frac{w_A}{w_Y} = \sqrt{3} \text{ olur.}$$

Bu tr. nün üçgen tarafında b ile c fazları arasında bir kısa devre oluşursa :  $i_a = 0$   $i_c = -i_b = i^j$  dir.

$I^d$  kısa devre akımı —Şek. 16a da görüldüğü gibi— üçgen sargıda iki kola ayrılır. Birinci kol c faz sargısından, diğeri de seri bağlı a ile b fazları sargılarından geçer.

Bu ikinci kolun empedansı iki faz sargısının seri girmesi nedeniyle birinci kolun empedansının iki katıdır.

Bu nedenle  $I^j$  akımının kollara bölüşümünde  $\frac{2}{3} I^j$

c fazı sargısından,  $\frac{1}{3} I_{kd}$  a ile b faz sargılarından geçer.

Transformatörün yıldız tarafındaki faz sargılarından geçen akım, üçgen tarafındaki karşılık olan faz sargılarından geçen akımın  $y/3$  katıdır.

$$I_A = I_{a\Delta} \cdot \sqrt{3} = \frac{I_{kd}}{3} \cdot \sqrt{3} = \frac{I_{kd}}{\sqrt{3}}$$

$$I_B = I_{b\Delta} \cdot \sqrt{3} = \frac{I_{kd}}{3} \cdot \sqrt{3} = \frac{I_{kd}}{\sqrt{3}}$$

$$I_C = I_{c\Delta} \cdot \sqrt{3} = \frac{2}{3} I_{kd} \cdot \sqrt{3} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{kd}$$

Arızanın a ile b veya c ile a fazları arasında olması halinde akımlar benzer şekilde hesaplanır.

Sonuç olarak; transformatörün üçgen tarafında oluşan iki faz kısa devresinde, üçgen tarafında yalnızca iki fazdan akım geçerken ( $I_{an} = 0$   $I_{bh} = I_{kd} > I_{ch} = I_{kd}$ ) yıldız tarafında her üç fazdan geçmektedir.

Benzer şekilde, transformatörün yıldız tarafında oluşan iki faz kısa devresi incelenebilir. Bu durumda üçgen tarafındaki akım dağılımı bir önceki durumdaki yıldız tarafındaki akım dağılımı gibidir.

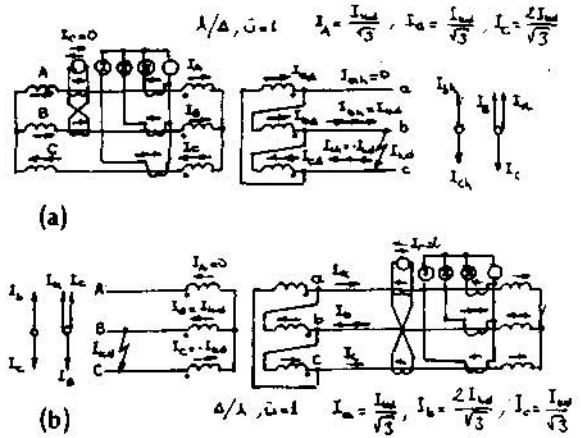
Böyle A/Y bağlı bir güç tr. ü için yıldız, eksik yıldız ve çapraz bağlı akım tr. leri ile yapılan korumalarda aşağıdaki özellikler geçerli olur.

#### 6.7.1 - Akım tr. lerinin yıldız bağlı olduğu devrede

(Şek. 16) bir fazdan  $\frac{2I}{\sqrt{3}kCT}$

ise  $\frac{I_{kd}}{\sqrt{3}kCT}$  akımı geçer. Bu akımlar aynı zamanda

bu fazlara bağlı olan rölelerden geçer ve nötr hattı akımı sıfır olur. Her Uç röle de çalışır. Ancak iki röle, üçüncü röleye göre iki defa daha küçük duyarlılığa sahiptir.



Şekil 16 a- Y / A bağlı güç transformatörü hali  
b- A / Y bağlı güç transformatörü hali

6.7.2 - Akım tr. lerinin eksik yıldız bağlı olduğu devrede ise akım iki faz ile nötr hattından geçer. Nötr'den geçen akım faz akımlarının fazörel toplamına eşittir. Eğer akım tr. leri akımın küçük olduğu fazlarda ise  $0_{kd}/\sqrt{3} \cdot kCT$  rölelerden de bu akım geçeceğinden duyarlılığa yıldız bağlı sisteme göre yarım olacaktır. Bunu önlemek için dönüş hattına bir röle yerleştirerek, bundan geçen akımın üçüncü fazdaki akıma eşit olması sağlanır.

$$I_n = \frac{I_{kd}}{\sqrt{3}} + \frac{I_{kd}}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{kd}$$

6.7.3 - Akım tr. lerinin çapraz bağlandığı tek röleli devrede ise Şek. 16 a ve Şek. 16 b den görüldüğü gibi röleden akım geçmez. Bu nedenle bu tip bağlantı transformatörün çıkışında oluşan kısa devreler için uygulanamaz.

## 7 - AKIM TR. LERİNE BAĞLANABİLEN YÜK EMPEDANSININ HESABI

Akım tr. lerinin hataları yük empedanslarının değerlerine bağlıdır. Bir akım tr. nün yük empedansı :

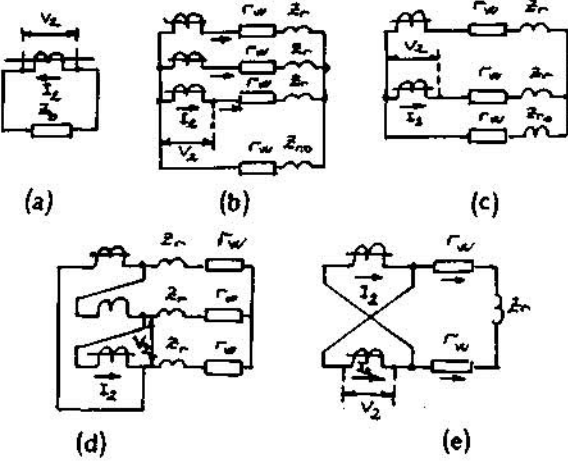
$$Z_j = \frac{\dot{V}_2}{i_2} \text{ şeklinde tanımlanır.}$$

Bu ifade de  $V_2$  ikincil gerilimi,  $i_2$  ise ikincil akımı göstermektedir. (Şek. 17a)

Yük empedansı, bağlantı iletkenlerinin  $r_w$  rezistansı ile  $Z_r$  röle empedansından oluşur.

$$\dot{Z}_b = r_w + \dot{Z}_r$$

ikincil gerilim  $\dot{V}_2 = \dot{Z}_j \cdot \dot{i}_2$  eşitliği akım tr. lerinin bağlantı şekli, arıza cinsi ve arızalı fazların sıralamasına göre değişir.



Şekil 17 Akım tr. lerinin çeşitli bağlantılarındaki yük empedansı hesabı için eşdeğer devreler  
a- Tek akım tr. ü hali  
b- Şek. 8 deki bağlantı hali  
c- Şek. 11 deki bağlantı hali  
d- Şek. 12 deki bağlantı hali  
e- Şek. 14 deki bağlantı hali

### 7.1 - Akım Tr. ve Rölelerin Yıldız Bağlı Hali (Şek. 17b)

#### 7.1.1 - Üç fazlı ve iki fazlı kısa devre

Her iki arızada da  $V_2$  faz empedansındaki gerilim düşümüne eşittir.

$$\dot{V}_2 = \dot{i}_2 (r_w + \dot{Z}_r)$$

$$\dot{Z}_b^{(3)} = \dot{Z}_b^{(2)} = \frac{\dot{V}_2}{i_2} = r_w + \dot{Z}_r$$

#### 7.1.2 - Faz-toprak kısa devresi

Arıza akımı arızalı faz ile nötr'den devresini tamamlayacağından  $V_2$  faz-nötr devresindeki gerilim düşümüne eşit olur.

$$\dot{V}_2^{(1)} = \dot{i}_2 (2r_w + \dot{Z}_r + \dot{Z}_{r0})$$

$$\dot{Z}_b^{(1)} = \frac{\dot{V}_2^{(1)}}{i_2} = 2r_w + \dot{Z}_r + \dot{Z}_{r0}$$

Böylece bu tip bağlantıda en büyük yük empedansının faz-toprak kısa devresinde elde edileceği anlaşılır.

#### 7.2 - Eksik Yıldız Bağlı Sistem (Şek. 17c)

Bu tip bağlantıda akım tr. leri en fazla, akım tr. nün yer aldığı faz ile yer almadığı faz arasındaki bir kısa devre durumunda yüklenir. Bu durumda  $V_z^{(2)}$  gerilimi ve yük empedansı

$$\dot{V}_2^{(2)} = \dot{i}_2 (2r_w + \dot{Z}_r + \dot{Z}_{r0})$$

$$\dot{Z}_b^{(2)} = \frac{\dot{V}_2^{(2)}}{i_2} = 2r_w + \dot{Z}_r + \dot{Z}_{r0} \text{ olur.}$$

#### 73 - Akım TR. nün Çapraz Bağlı Hali (Şek. 17 e)

Bu tip bağlantıda max. yük empedansı, akım tr. leri nin bağlandığı fazların kısa devresinde oluşur.

$$\dot{V}_2^{(2)} = \dot{i}_r (2r_w + \dot{Z}_r)$$

$i_r = 2 i_2$  olduğundan

$$\dot{V}_2^{(2)} = \frac{V_2^{(2)}}{i_2} = 4r_w + 2\dot{Z}_r$$

#### 7.4 - Akım TR. lerinin Üçgen Bağlı Hali (Şek. 17d)

Bu durumda max. yük empedansı üç fazlı ve iki fazlı arıza halinde elde edilir. Şek 17 d den görüldüğü gibi

$$\dot{V}_2 = \dot{i}_I (r_w + \dot{Z}_r) + \dot{i}_{II} (r_w + \dot{Z}_r)$$

A ile B fazları arası kısa devre arızasında;

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_5 = i_6 = i_7 = i_8 = i_9 = i_{10} = i_{11} = i_{12} = i_{13} = i_{14} = i_{15} = i_{16} = i_{17} = i_{18} = i_{19} = i_{20} = i_{21} = i_{22} = i_{23} = i_{24} = i_{25} = i_{26} = i_{27} = i_{28} = i_{29} = i_{30} = i_{31} = i_{32} = i_{33} = i_{34} = i_{35} = i_{36} = i_{37} = i_{38} = i_{39} = i_{40} = i_{41} = i_{42} = i_{43} = i_{44} = i_{45} = i_{46} = i_{47} = i_{48} = i_{49} = i_{50} = i_{51} = i_{52} = i_{53} = i_{54} = i_{55} = i_{56} = i_{57} = i_{58} = i_{59} = i_{60} = i_{61} = i_{62} = i_{63} = i_{64} = i_{65} = i_{66} = i_{67} = i_{68} = i_{69} = i_{70} = i_{71} = i_{72} = i_{73} = i_{74} = i_{75} = i_{76} = i_{77} = i_{78} = i_{79} = i_{80} = i_{81} = i_{82} = i_{83} = i_{84} = i_{85} = i_{86} = i_{87} = i_{88} = i_{89} = i_{90} = i_{91} = i_{92} = i_{93} = i_{94} = i_{95} = i_{96} = i_{97} = i_{98} = i_{99} = i_{100} = i_{101} = i_{102} = i_{103} = i_{104} = i_{105} = i_{106} = i_{107} = i_{108} = i_{109} = i_{110} = i_{111} = i_{112} = i_{113} = i_{114} = i_{115} = i_{116} = i_{117} = i_{118} = i_{119} = i_{120} = i_{121} = i_{122} = i_{123} = i_{124} = i_{125} = i_{126} = i_{127} = i_{128} = i_{129} = i_{130} = i_{131} = i_{132} = i_{133} = i_{134} = i_{135} = i_{136} = i_{137} = i_{138} = i_{139} = i_{140} = i_{141} = i_{142} = i_{143} = i_{144} = i_{145} = i_{146} = i_{147} = i_{148} = i_{149} = i_{150} = i_{151} = i_{152} = i_{153} = i_{154} = i_{155} = i_{156} = i_{157} = i_{158} = i_{159} = i_{160} = i_{161} = i_{162} = i_{163} = i_{164} = i_{165} = i_{166} = i_{167} = i_{168} = i_{169} = i_{170} = i_{171} = i_{172} = i_{173} = i_{174} = i_{175} = i_{176} = i_{177} = i_{178} = i_{179} = i_{180} = i_{181} = i_{182} = i_{183} = i_{184} = i_{185} = i_{186} = i_{187} = i_{188} = i_{189} = i_{190} = i_{191} = i_{192} = i_{193} = i_{194} = i_{195} = i_{196} = i_{197} = i_{198} = i_{199} = i_{200} = i_{201} = i_{202} = i_{203} = i_{204} = i_{205} = i_{206} = i_{207} = i_{208} = i_{209} = i_{210} = i_{211} = i_{212} = i_{213} = i_{214} = i_{215} = i_{216} = i_{217} = i_{218} = i_{219} = i_{220} = i_{221} = i_{222} = i_{223} = i_{224} = i_{225} = i_{226} = i_{227} = i_{228} = i_{229} = i_{230} = i_{231} = i_{232} = i_{233} = i_{234} = i_{235} = i_{236} = i_{237} = i_{238} = i_{239} = i_{240} = i_{241} = i_{242} = i_{243} = i_{244} = i_{245} = i_{246} = i_{247} = i_{248} = i_{249} = i_{250} = i_{251} = i_{252} = i_{253} = i_{254} = i_{255} = i_{256} = i_{257} = i_{258} = i_{259} = i_{260} = i_{261} = i_{262} = i_{263} = i_{264} = i_{265} = i_{266} = i_{267} = i_{268} = i_{269} = i_{270} = i_{271} = i_{272} = i_{273} = i_{274} = i_{275} = i_{276} = i_{277} = i_{278} = i_{279} = i_{280} = i_{281} = i_{282} = i_{283} = i_{284} = i_{285} = i_{286} = i_{287} = i_{288} = i_{289} = i_{290} = i_{291} = i_{292} = i_{293} = i_{294} = i_{295} = i_{296} = i_{297} = i_{298} = i_{299} = i_{300} = i_{301} = i_{302} = i_{303} = i_{304} = i_{305} = i_{306} = i_{307} = i_{308} = i_{309} = i_{310} = i_{311} = i_{312} = i_{313} = i_{314} = i_{315} = i_{316} = i_{317} = i_{318} = i_{319} = i_{320} = i_{321} = i_{322} = i_{323} = i_{324} = i_{325} = i_{326} = i_{327} = i_{328} = i_{329} = i_{330} = i_{331} = i_{332} = i_{333} = i_{334} = i_{335} = i_{336} = i_{337} = i_{338} = i_{339} = i_{340} = i_{341} = i_{342} = i_{343} = i_{344} = i_{345} = i_{346} = i_{347} = i_{348} = i_{349} = i_{350} = i_{351} = i_{352} = i_{353} = i_{354} = i_{355} = i_{356} = i_{357} = i_{358} = i_{359} = i_{360} = i_{361} = i_{362} = i_{363} = i_{364} = i_{365} = i_{366} = i_{367} = i_{368} = i_{369} = i_{370} = i_{371} = i_{372} = i_{373} = i_{374} = i_{375} = i_{376} = i_{377} = i_{378} = i_{379} = i_{380} = i_{381} = i_{382} = i_{383} = i_{384} = i_{385} = i_{386} = i_{387} = i_{388} = i_{389} = i_{390} = i_{391} = i_{392} = i_{393} = i_{394} = i_{395} = i_{396} = i_{397} = i_{398} = i_{399} = i_{400} = i_{401} = i_{402} = i_{403} = i_{404} = i_{405} = i_{406} = i_{407} = i_{408} = i_{409} = i_{410} = i_{411} = i_{412} = i_{413} = i_{414} = i_{415} = i_{416} = i_{417} = i_{418} = i_{419} = i_{420} = i_{421} = i_{422} = i_{423} = i_{424} = i_{425} = i_{426} = i_{427} = i_{428} = i_{429} = i_{430} = i_{431} = i_{432} = i_{433} = i_{434} = i_{435} = i_{436} = i_{437} = i_{438} = i_{439} = i_{440} = i_{441} = i_{442} = i_{443} = i_{444} = i_{445} = i_{446} = i_{447} = i_{448} = i_{449} = i_{450} = i_{451} = i_{452} = i_{453} = i_{454} = i_{455} = i_{456} = i_{457} = i_{458} = i_{459} = i_{460} = i_{461} = i_{462} = i_{463} = i_{464} = i_{465} = i_{466} = i_{467} = i_{468} = i_{469} = i_{470} = i_{471} = i_{472} = i_{473} = i_{474} = i_{475} = i_{476} = i_{477} = i_{478} = i_{479} = i_{480} = i_{481} = i_{482} = i_{483} = i_{484} = i_{485} = i_{486} = i_{487} = i_{488} = i_{489} = i_{490} = i_{491} = i_{492} = i_{493} = i_{494} = i_{495} = i_{496} = i_{497} = i_{498} = i_{499} = i_{500} = i_{501} = i_{502} = i_{503} = i_{504} = i_{505} = i_{506} = i_{507} = i_{508} = i_{509} = i_{510} = i_{511} = i_{512} = i_{513} = i_{514} = i_{515} = i_{516} = i_{517} = i_{518} = i_{519} = i_{520} = i_{521} = i_{522} = i_{523} = i_{524} = i_{525} = i_{526} = i_{527} = i_{528} = i_{529} = i_{530} = i_{531} = i_{532} = i_{533} = i_{534} = i_{535} = i_{536} = i_{537} = i_{538} = i_{539} = i_{540} = i_{541} = i_{542} = i_{543} = i_{544} = i_{545} = i_{546} = i_{547} = i_{548} = i_{549} = i_{550} = i_{551} = i_{552} = i_{553} = i_{554} = i_{555} = i_{556} = i_{557} = i_{558} = i_{559} = i_{560} = i_{561} = i_{562} = i_{563} = i_{564} = i_{565} = i_{566} = i_{567} = i_{568} = i_{569} = i_{570} = i_{571} = i_{572} = i_{573} = i_{574} = i_{575} = i_{576} = i_{577} = i_{578} = i_{579} = i_{580} = i_{581} = i_{582} = i_{583} = i_{584} = i_{585} = i_{586} = i_{587} = i_{588} = i_{589} = i_{590} = i_{591} = i_{592} = i_{593} = i_{594} = i_{595} = i_{596} = i_{597} = i_{598} = i_{599} = i_{600} = i_{601} = i_{602} = i_{603} = i_{604} = i_{605} = i_{606} = i_{607} = i_{608} = i_{609} = i_{610} = i_{611} = i_{612} = i_{613} = i_{614} = i_{615} = i_{616} = i_{617} = i_{618} = i_{619} = i_{620} = i_{621} = i_{622} = i_{623} = i_{624} = i_{625} = i_{626} = i_{627} = i_{628} = i_{629} = i_{630} = i_{631} = i_{632} = i_{633} = i_{634} = i_{635} = i_{636} = i_{637} = i_{638} = i_{639} = i_{640} = i_{641} = i_{642} = i_{643} = i_{644} = i_{645} = i_{646} = i_{647} = i_{648} = i_{649} = i_{650} = i_{651} = i_{652} = i_{653} = i_{654} = i_{655} = i_{656} = i_{657} = i_{658} = i_{659} = i_{660} = i_{661} = i_{662} = i_{663} = i_{664} = i_{665} = i_{666} = i_{667} = i_{668} = i_{669} = i_{670} = i_{671} = i_{672} = i_{673} = i_{674} = i_{675} = i_{676} = i_{677} = i_{678} = i_{679} = i_{680} = i_{681} = i_{682} = i_{683} = i_{684} = i_{685} = i_{686} = i_{687} = i_{688} = i_{689} = i_{690} = i_{691} = i_{692} = i_{693} = i_{694} = i_{695} = i_{696} = i_{697} = i_{698} = i_{699} = i_{700} = i_{701} = i_{702} = i_{703} = i_{704} = i_{705} = i_{706} = i_{707} = i_{708} = i_{709} = i_{710} = i_{711} = i_{712} = i_{713} = i_{714} = i_{715} = i_{716} = i_{717} = i_{718} = i_{719} = i_{720} = i_{721} = i_{722} = i_{723} = i_{724} = i_{725} = i_{726} = i_{727} = i_{728} = i_{729} = i_{730} = i_{731} = i_{732} = i_{733} = i_{734} = i_{735} = i_{736} = i_{737} = i_{738} = i_{739} = i_{740} = i_{741} = i_{742} = i_{743} = i_{744} = i_{745} = i_{746} = i_{747} = i_{748} = i_{749} = i_{750} = i_{751} = i_{752} = i_{753} = i_{754} = i_{755} = i_{756} = i_{757} = i_{758} = i_{759} = i_{760} = i_{761} = i_{762} = i_{763} = i_{764} = i_{765} = i_{766} = i_{767} = i_{768} = i_{769} = i_{770} = i_{771} = i_{772} = i_{773} = i_{774} = i_{775} = i_{776} = i_{777} = i_{778} = i_{779} = i_{780} = i_{781} = i_{782} = i_{783} = i_{784} = i_{785} = i_{786} = i_{787} = i_{788} = i_{789} = i_{790} = i_{791} = i_{792} = i_{793} = i_{794} = i_{795} = i_{796} = i_{797} = i_{798} = i_{799} = i_{800} = i_{801} = i_{802} = i_{803} = i_{804} = i_{805} = i_{806} = i_{807} = i_{808} = i_{809} = i_{810} = i_{811} = i_{812} = i_{813} = i_{814} = i_{815} = i_{816} = i_{817} = i_{818} = i_{819} = i_{820} = i_{821} = i_{822} = i_{823} = i_{824} = i_{825} = i_{826} = i_{827} = i_{828} = i_{829} = i_{830} = i_{831} = i_{832} = i_{833} = i_{834} = i_{835} = i_{836} = i_{837} = i_{838} = i_{839} = i_{840} = i_{841} = i_{842} = i_{843} = i_{844} = i_{845} = i_{846} = i_{847} = i_{848} = i_{849} = i_{850} = i_{851} = i_{852} = i_{853} = i_{854} = i_{855} = i_{856} = i_{857} = i_{858} = i_{859} = i_{860} = i_{861} = i_{862} = i_{863} = i_{864} = i_{865} = i_{866} = i_{867} = i_{868} = i_{869} = i_{870} = i_{871} = i_{872} = i_{873} = i_{874} = i_{875} = i_{876} = i_{877} = i_{878} = i_{879} = i_{880} = i_{881} = i_{882} = i_{883} = i_{884} = i_{885} = i_{886} = i_{887} = i_{888} = i_{889} = i_{890} = i_{891} = i_{892} = i_{893} = i_{894} = i_{895} = i_{896} = i_{897} = i_{898} = i_{899} = i_{900} = i_{901} = i_{902} = i_{903} = i_{904} = i_{905} = i_{906} = i_{907} = i_{908} = i_{909} = i_{910} = i_{911} = i_{912} = i_{913} = i_{914} = i_{915} = i_{916} = i_{917} = i_{918} = i_{919} = i_{920} = i_{921} = i_{922} = i_{923} = i_{924} = i_{925} = i_{926} = i_{927} = i_{928} = i_{929} = i_{930} = i_{931} = i_{932} = i_{933} = i_{934} = i_{935} = i_{936} = i_{937} = i_{938} = i_{939} = i_{940} = i_{941} = i_{942} = i_{943} = i_{944} = i_{945} = i_{946} = i_{947} = i_{948} = i_{949} = i_{950} = i_{951} = i_{952} = i_{953} = i_{954} = i_{955} = i_{956} = i_{957} = i_{958} = i_{959} = i_{960} = i_{961} = i_{962} = i_{963} = i_{964} = i_{965} = i_{966} = i_{967} = i_{968} = i_{969} = i_{970} = i_{971} = i_{972} = i_{973} = i_{974} = i_{975} = i_{976} = i_{977} = i_{978} = i_{979} = i_{980} = i_{981} = i_{982} = i_{983} = i_{984} = i_{985} = i_{986} = i_{987} = i_{988} = i_{989} = i_{990} = i_{991} = i_{992} = i_{993} = i_{994} = i_{995} = i_{996} = i_{997} = i_{998} = i_{999} = i_{1000} = i_{1001} = i_{1002} = i_{1003} = i_{1004} = i_{1005} = i_{1006} = i_{1007} = i_{1008} = i_{1009} = i_{1010} = i_{1011} = i_{1012} = i_{1013} = i_{1014} = i_{1015} = i_{1016} = i_{1017} = i_{1018} = i_{1019} = i_{1020} = i_{1021} = i_{1022} = i_{1023} = i_{1024} = i_{1025} = i_{1026} = i_{1027} = i_{1028} = i_{1029} = i_{1030} = i_{1031} = i_{1032} = i_{1033} = i_{1034} = i_{1035} = i_{1036} = i_{1037} = i_{1038} = i_{1039} = i_{1040} = i_{1041} = i_{1042} = i_{1043} = i_{1044} = i_{1045} = i_{1046} = i_{1047} = i_{1048} = i_{1049} = i_{1050} = i_{1051} = i_{1052} = i_{1053} = i_{1054} = i_{1055} = i_{1056} = i_{1057} = i_{1058} = i_{1059} = i_{1060} = i_{1061} = i_{1062} = i_{1063} = i_{1064} = i_{1065} = i_{1066} = i_{1067} = i_{1068} = i_{1069} = i_{1070} = i_{1071} = i_{1072} = i_{1073} = i_{1074} = i_{1075} = i_{1076} = i_{1077} = i_{1078} = i_{1079} = i_{1080} = i_{1081} = i_{1082} = i_{1083} = i_{1084} = i_{1085} = i_{1086} = i_{1087} = i_{1088} = i_{1089} = i_{1090} = i_{1091} = i_{1092} = i_{1093} = i_{1094} = i_{1095} = i_{1096} = i_{1097} = i_{1098} = i_{1099} = i_{1100} = i_{1101} = i_{1102} = i_{1103} = i_{1104} = i_{1105} = i_{1106} = i_{1107} = i_{1108} = i_{1109} = i_{1110} = i_{1111} = i_{1112} = i_{1113} = i_{1114} = i_{1115} = i_{1116} = i_{1117} = i_{1118} = i_{1119} = i_{1120} = i_{1121} = i_{1122} = i_{1123} = i_{1124} = i_{1125} = i_{1126} = i_{1127} = i_{1128} = i_{1129} = i_{1130} = i_{1131} = i_{1132} = i_{1133} = i_{1134} = i_{1135} = i_{1136} = i_{1137} = i_{1138} = i_{1139} = i_{1140} = i_{1141} = i_{1142} = i_{1143} = i_{1144} = i_{1145} = i_{1146} = i_{1147} = i_{1148} = i_{1149} = i_{1150} = i_{1151} = i_{1152} = i_{1153} = i_{1154} = i_{1155} = i_{1156} = i_{1157} = i_{1158} = i_{1159} = i_{1160} = i_{1161} = i_{1162} = i_{1163} = i_{1164} = i_{1165} = i_{1166} = i_{1167} = i_{1168} = i_{1169} = i_{1170} = i_{1171} = i_{1172} = i_{1173} = i_{1174} = i_{1175} = i_{1176} = i_{1177} = i_{1178} = i_{1179} = i_{1180} = i_{1181} = i_{1182} = i_{1183} = i_{1184} = i_{1185} = i_{1186} = i_{1187} = i_{1188} = i_{1189} = i_{1190} = i_{1191} = i_{1192} = i_{1193} = i_{1194} = i_{1195} = i_{1196} = i_{1197} = i_{1198} = i_{1199} = i_{1200} = i_{1201} = i_{1202} = i_{1203} = i_{1204} = i_{1205} = i_{1206} = i_{1207} = i_{1208} = i_{1209} = i_{1210} = i_{1211} = i_{1212} = i_{1213} = i_{1214} = i_{1215} = i_{1216} = i_{1217} = i_{1218} = i_{1219} = i_{1220} = i_{1221} = i_{1222} = i_{1223} = i_{1224} = i_{1225} = i_{1226} = i_{1227} = i_{1228} = i_{1229} = i_{1230} = i_{1231} = i_{1232} = i_{1233} = i_{1234} = i_{1235} = i_{1236} = i_{1237} = i_{1238} = i_{1239} = i_{1240} = i_{1241} = i_{1242} = i_{1243} = i_{1244} = i_{1245} = i_{1246} = i_{1247} = i_{1248} = i_{1249} = i_{1250} = i_{1251} = i_{1252} = i_{1253} = i_{1254} = i_{1255} = i_{1256} = i_{1257} = i_{1258} = i_{1259} = i_{1260} = i_{1261} = i_{1262} = i_{1263} = i_{1264} = i_{1265} = i_{1266} = i_{1267} = i_{1268} = i_{1269} = i_{1270} = i_{1271} = i_{1272} = i_{1273} = i_{1274} = i_{1275} = i_{1276} = i_{1277} = i_{1278} = i_{1279} = i_{1280} = i_{1281} = i_{1282} = i_{1283} = i_{1284} = i_{1285} = i_{1286} = i_{1287} = i_{1288} = i_{1289} = i_{1290} = i_{1291} = i_{1292} = i_{1293} = i_{1294} = i_{1295} = i_{1296} = i_{1297} = i_{1298} = i_{1299} = i_{1300} = i_{1301} = i_{1302} = i_{1303} = i_{1304} = i_{1305} = i_{1306} = i_{1307} = i_{1308} = i_{1309} = i_{1310} = i_{1311} = i_{1312} = i_{1313} = i_{1314} = i_{1315} = i_{1316} = i_{1317} = i_{1318} = i_{1319} = i_{1320} = i_{1321} = i_{1322} = i_{1323} = i_{1324} = i_{1325} = i_{1326} = i_{1327} = i_{1328} = i_{1329} = i_{1330} = i_{1331} = i_{1332} = i_{1333} = i_{1334} = i_{1335} = i_{1336} = i_{1337} = i_{1338} = i_{1339} = i_{1340} = i_{1341} = i_{1342} = i_{1343} = i_{1344} = i_{1345} = i_{1346} = i_{1347} = i_{1348} = i_{1349} = i_{1350} = i_{1351} = i_{1352} = i_{1353} = i_{1354} = i_{1355} = i_{1356} = i_{1357} = i_{1358} = i_{1359} = i_{1360} = i_{1361} = i_{1362} = i_{1363} = i_{1364} = i_{1365} = i_{1366} = i_{1367} = i_{1368} = i_{1369} = i_{1370} = i_{1371} = i_{1372} = i_{1373} = i_{1374} = i_{1375} = i_{1376} = i_{1377} = i_{1378}$$