

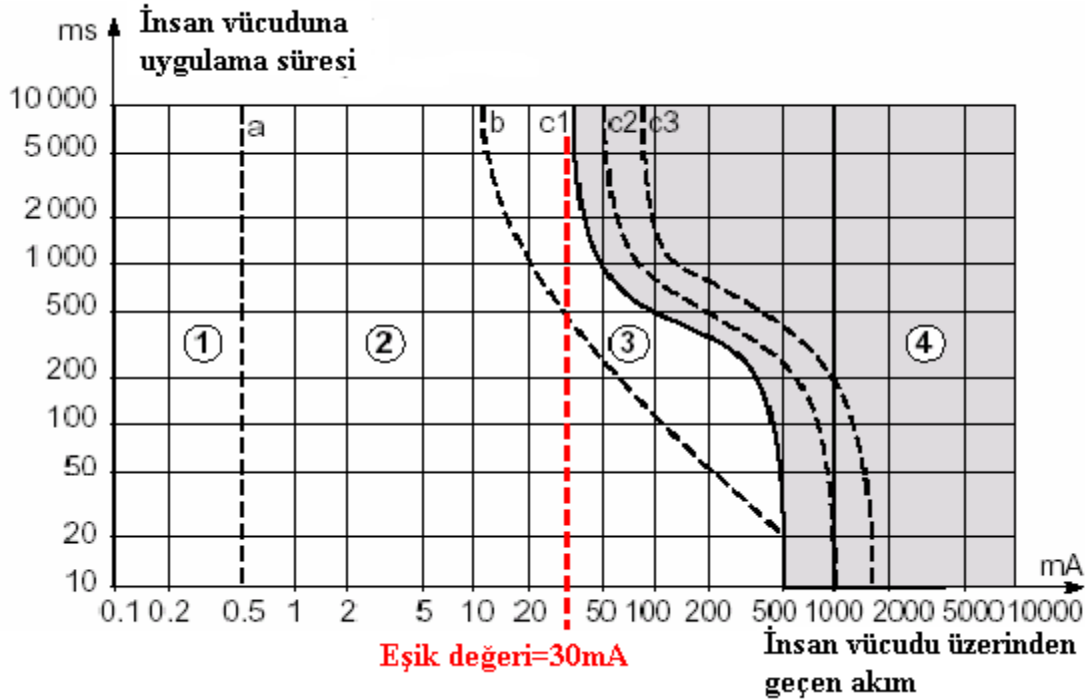
ALÇAK GERİLİM SİSTEMLERİNDE İZOLASYON HATASINA KARŞI TOPRAKLAMA SİSTEMLERİ

İzolasyon hatalarına bağlı tehlikeler

Meydana gelen hatanın sebebine bakılmaksızın bir izolasyon hatası

- İnsan hayatı
- Malzemenin korunması
- Elektrik gücünün kullanımının devamı açısından tehlikeli olmaktadır.

Alçak gerilim sistemlerinde en az 5 saniye için maksimum kabul edilebilen temas gerilimi U_L ; IEC 60479 belirlenmiştir.



1. Bölge : hissetme 2. Bölge: Rahatsızlıklar görülür
3. Bölge: Kaslarda titreşim 4. Bölge: Kalpte fibrilasyon riski

Şekil 1: IEC 60479-1 e göre AC akım etkileri

Kuru ve nemli zemin ve yerlerde : $U_L \leq 50$ V

Oluşabilecek dokunma gerilimleri (V)	< 50	50	75	90	120	150	220	280	350	500	
Koruma cihazının maksimum ayırma süresi (saniye)	ac	5	5	0.60	0.45	0.34	0.27	0.17	0.12	0.08	0.04
	dc	5	5	5	5	5	1	0.40	0.30	0.20	0.10

Islak zemin ve yerlerde : $U_L \leq 25$ V

Oluşabilecek dokunma gerilimleri (V)	25	50	75	90	110	150	220	280	
Koruma cihazının maksimum ayırma süresi (saniye)	ac	5	0.48	0.30	0.25	0.18	0.10	0.05	0.02
	dc	5	5	2	0.80	0.50	0.25	0.06	0.02

Şekil 2: IEC 60364 e göre temas geriliminin maksimum süresi

2. İnsan Hayatının Korunması ve Topraklama sistemleri

Topraklama sistemleri 2 harf kullanılarak ifade edilir.

- Birincisi transformatorun nötr bağlantısı şeklini ifade eder
 1. T Nötr noktası topraga bağlı
 2. I Nötrü izole
- İkincisi cihazın gövde topraklama şeklini ifade eder.
 1. T Doğrudan toprağa bağlı
 2. N Nötr üzerinden bağlı

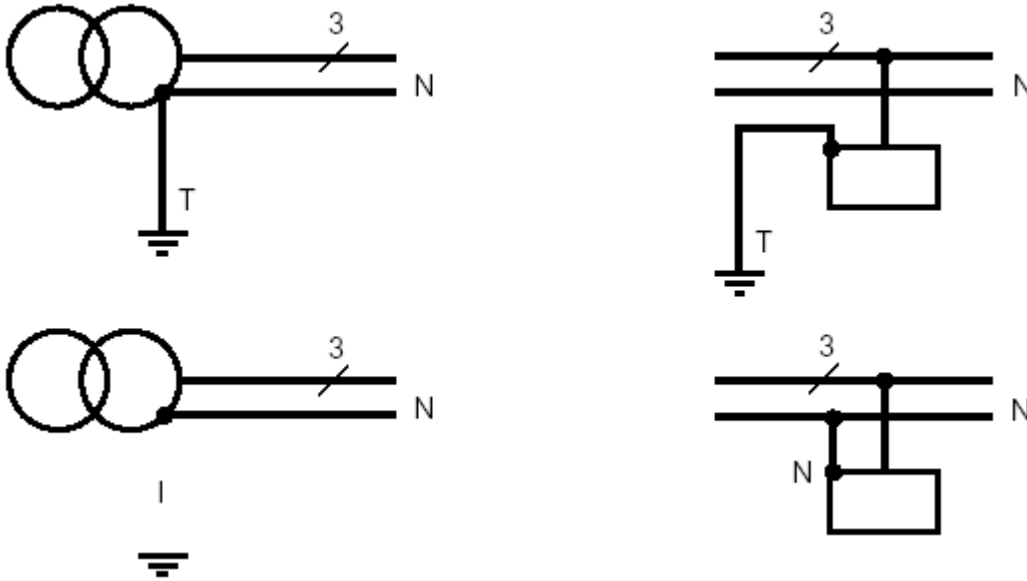
Bu iki harfin kombinasyonu üç konfigürasyonda verilir.

- TT Transformatorun nötrü topraklı ve cihaz gövdesi topraklı
- TN Transformatorun nötrü topraklı ve cihazın gövdesi nötre bağlı
- IT Transformatorun nötrü topraksız va cihazın gövdesi topraklı

IEC 60364 göre TN sistemler birkaç alt sisteme ayrılır.

- TN-C N ve PE nötr iletkenleri bir ve aynıdır.
- TN-S N ve PE nötr iletkenleri ayrıdır
- TN-C-S TN-C den soraki kısmı TN-S dir.

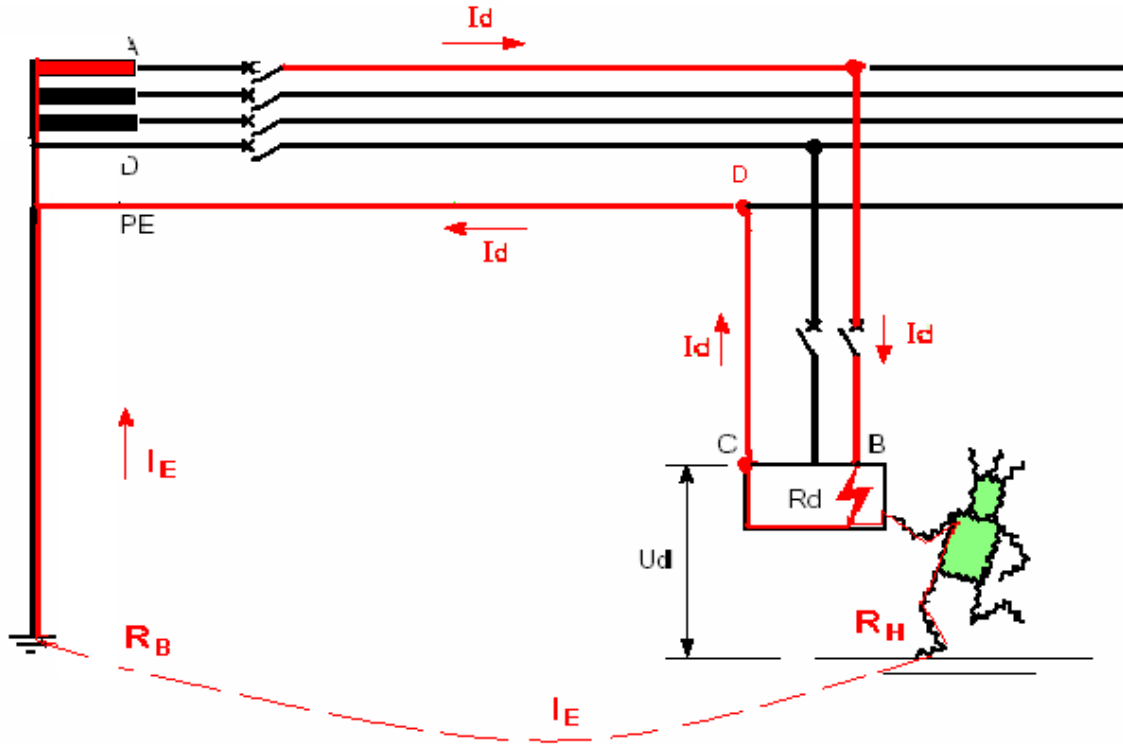
İletken kesitler 10 mm² ye eşit veya düşük olan şebekelerde TN-S sistem kullanmak mecburidir.



Şekil 5 Şebeke de nötr ve cihaz gövdeleri bağlantı şekillleri.

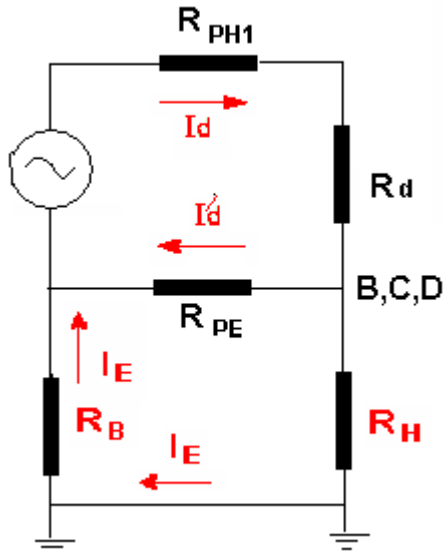
Her bir topraklama sistemi tüm tesis boyunca aynı olmalıdır. Bir tesiste iki ayrı uygulamaya müsaade edilmez.

2.1 TN Sistemler



Şekil 8 TN sistemde hata gerilimi ve akımı

Bir izolasyon hatası meydana geldiğinde I_d hata akımı hata devresini ait kablolardan oluşan devrenin göz empedansı ile belirlenir.



R_d Hatalı yerin kontak geçiş direnci

R_{PH1} faz iletkeninin alternatif akım direnci

R_{PE} koruma iletkeninin alternatif akım direnci

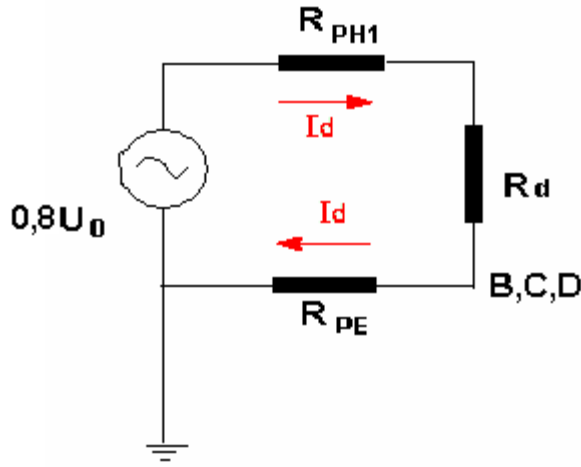
R_H Canlının toplam toprak teması direnci

R_B Enerji kaynağının nötr topraklama direnci

ŞEKİL 8.1 TN Sistemde toprak hata devresi diyagramı

Şekil 8.1 de görülen devrede R_d kontak geçiş direnci, R_{PH1} ve R_{PE} dirençleri yanında çok küçük, devredeki R_{PE} direncine bağlı $R_H + R_B$ dirençleri R_{PE} direncine göre çok büyük olduklarından I_d hata akımı hesabında sonuca ihmal edilebilecek kadar az etki

ettiklerinden ifadeleri basitleştirmek amacıyla aşağıda verilen toprak hata devresi esas alınarak hesap yapılacaktır.



$U_0 = 230\text{V}$ 400/230 V alçak gerilim sistemlerinde faz-nötr gerilimi

Şekil 8.2 Basitleştirilmiş hata devresi diyagramı

$$I_d = \frac{U_0}{R_{PH} + R_d + R_{PE}}$$

$$R_d \approx 0$$

TN sistemlerde hata akımı kısa devre mertebelerinde değere sahiptir, bu nedenle enerji kaynağı iç dirençlerinde büyük gerilim düşümlerine yol açar.

Gerçekte hata akımının kısa devre akımları mertebesinde dir, bu nedenle besleme tarafındaki empedanslarından dolayı %20 gerilim düşümünün meydana geldiği kabul edilir. U_0 sistemin faz-nötr nominal gerilimi olmak üzere U_d hata gerilimi

Hata akımı için

$$I_d = \frac{0,8U_0}{R_{PH} + R_{PE}}$$

B noktasındaki hata dokunma gerilimi

$$U_d = R_{PE} \cdot I_d = 0,8 \cdot U_0 \frac{R_{PE}}{R_{PH1} + R_{PE}}$$

230/400 V şebekelerde $R_{PE} = R_{PH1}$ olması halinde hata gerilimi

$0,8U_0/2 = 0,8 \times 230/2 = 92\text{ V}$ olacaktır. Bu ise emniyetli sınır gerilimi kuru ve nemli yerler için $U_L = 50\text{V}$ ve ıslak yerler için $U_L = 25\text{V}$ değerlerine göre yüksek miktarlardır.

Koruma cihazının gerçekten çalışmasından emin olmak için I_d akımı koruma cihazının I_a çalışma akımı eşik değerinden büyük olması lazımdır. Bu şartın dağıtım devreleri için hata akımların ve iletken kesitlerinin hesabı yapılırken tahkik edilmesi gerekir.

I_d ve L_{max} (koruma cihazının koruyabileceği maksimum mesafe) nin hesabı aşağıda verilen ifadeler yardımıyla yapılabilir.

$$I_d = \frac{0,8.U_0}{Z} = \frac{0,8.U_0}{R_{PH} + R_{PE}} = \frac{0,8.U_0}{\frac{\rho .L}{S_{PH}} + \frac{\rho .L}{S_{PE}}} = \frac{0,8.U_0}{\rho .L.(1 + \frac{S_{PH}}{S_{PE}})}$$

$I_d > I_a$ olmak üzere

Devreyi koruyacak koruma cihazının açma akım eşik değeri için bağlantı iletkeninin maksimum uzunluğu

$$L_{max} \leq \frac{0,8.U_0 .S_{PH}}{\rho .L.(1 + \frac{S_{PH}}{S_{PE}})} \text{ olmalıdır}$$

- L_{max} maksimum mesafe
- U_0 faz-nötr gerilimi 230 V 3-faz 400 V şebekelerde
- I_a otomatik açma akımı
- S_{PH} faz iletkeninin kesiti
- S_{PE} koruma iletkeninin kesiti

Eğer korunan hattın uzunluğu maksimum koruma mesafesinden fazla ise o zaman ya iletkenin kesiti büyütülür veya daha küçük akımlarda çalışan akım koruma cihazları kullanılır.

U_0 (Volt) Faz-nötr gerilimi	Açma süresi (saniye) $U_L=50$ Volt	Açma süresi (saniye) $U_L=25$ Volt
127	0.8	0.35
230	0.4	0.2
400	0.2	0.05
> 400	0.1	0.02

Şekil 9 TN Sistemlerde kesme süresi (IEC 60364 Tablo 41 ve 48A)

Elektrik tesisat projeleri hazırlanırken bağlantı iletkenleri ve koruma elemanları ; sürekli akım taşıma kapasitesi, uzaklığa göre gerilim düşümü , ve motorlardaki gibi ilk devreye girme esnasında geçici akımlar çekiyorsa bu akımlara göre gerilim düşümü ve kısa devreye dayanımı ile ilgili kriterlere göre seçilirler.

Bu kriterlere göre seçilen bağlantı iletkenlerinin aşağıda verilen PE iletkeninin R_{PE} direnç değeri kriterine göre, izolasyon bozulması sonucu meydana gelen hatalarda gerekli koruma yapıp yapmadığı tahkik edilmelidir.

Şekil 8.2 de görülen devrede hata akımı

$$I_d = \frac{0,8U_0}{R_{PH} + R_{PE}}$$

Kirchhof gerilimler kanuna göre

$$R_{PH} \cdot I_d + R_{PE} = 0,8 \cdot U_0$$

$$I_d = \frac{0,8 \cdot U_0}{R_{PE} \cdot \left(\frac{R_{PH}}{R_{PE}} + 1 \right)} \quad R_{PE} = \frac{0,8 \cdot U_0}{I_d \cdot \left(\frac{R_{PH}}{R_{PE}} + 1 \right)}$$

$$R_{PH} = \frac{L_{PH}}{\chi \cdot S_{PH}} \quad R_{PE} = \frac{L_{PE}}{\chi \cdot S_{PE}} \quad L_{PH} = L_{PE} = L$$

$$\frac{R_{PH}}{R_{PE}} = \frac{\frac{L}{\chi \cdot S_{PH}}}{\frac{L}{\chi \cdot S_{PE}}} = \frac{S_{PE}}{S_{PH}} \quad \frac{R_{PH}}{R_{PE}} + 1 = \frac{S_{PE}}{S_{PH}} + 1 = \frac{1}{S_{PH}} (S_{PE} + S_{PH})$$

$$\frac{1}{\left(\frac{R_{PH}}{R_{PE}} + 1 \right)} = \frac{S_{PH}}{S_{PH} + S_{PE}}$$

$$R_{PE} = 0,8 \cdot \frac{S_{PH}}{S_{PH} + S_{PE}} \cdot \frac{U_0}{I_d} \quad I_a < I_d \text{ olması gerektiğinden}$$

$$R_{PE} \leq 0,8 \cdot \frac{S_{PH}}{S_{PH} + S_{PE}} \cdot \frac{U_0}{I_a}$$

Örnek:

Bir 400V , 4 kW 3-fazlı vana motorunu beslemek üzere 350 m uzunluğunda 4x6 mm² NYY-J kablo çekilecektir. Vana motorunu korumak için hat başındaki dağıtım panosuna 16A akım değerinde G-tipi anahtarlı otomatik sigorta konulmuştur. Sigortanın manyetik açma akım eşiği $I_a=8 \cdot I_n=8 \cdot 16=128$ A dir.

$$R_{PE} \leq 0,8 \cdot \frac{S_{PH}}{S_{PH} + S_{PE}} \cdot \frac{U_0}{I_a} = 0,8 \cdot \frac{6}{6+6} \cdot \frac{230}{128} = 0,719 \text{ ohm}$$

değerinden çekilen kablunun $R_{PEkablo}$ direnci küçük olacaktır.

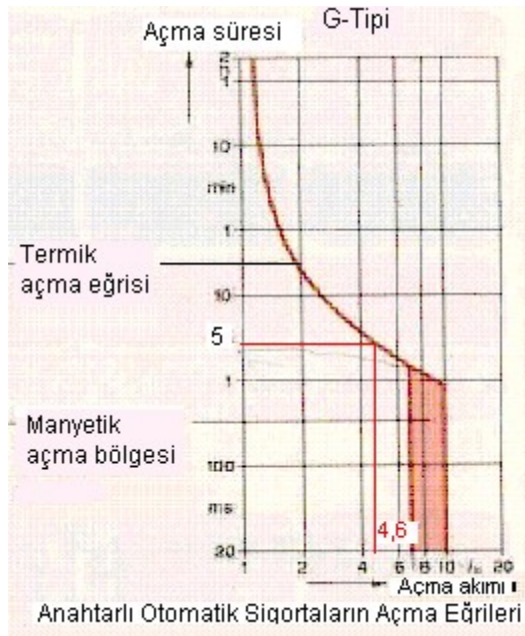
4x6NYY-J kablunun birim kilometredeki direnci 3,62 ohm/km dir

350 metredeki $R_{PEkablo}=0,35 \times 3,62=1,267$ ohm dur. Bu ise olması gereken $R_{PE}=0,719$ ohm değerinden çok yüksektir ve toprak hatası halinde anahtarlı otomatik sigorta istenilen sürede açma yapmayıp, devrede meydana gelen hata akımı

$$I_d = \frac{0,8U_0}{R_{PH} + R_{PE}} = \frac{0,8 \cdot 230}{1,267 + 1,267} = 73A$$

olduğundan

Sigortanın nominal akımı 16A olduğundan , $73/16=4,6$ ve



Şekil 8.3 Açma eğrileri

Şekil 8.3 den açma süresi 5 saniye olarak bulunur .

Bu süre içinde boru hattı $R_{PE} \cdot I_d = 1,267 \cdot 73 = 92,5$ V gerilim altında kalır.

Bu değer $U_L=50$ V değerinin çok üstünde ve tehlikeli değer olup 5 saniye içinde boru hattına dokunan insan için hayati tehlike söz konusudur.

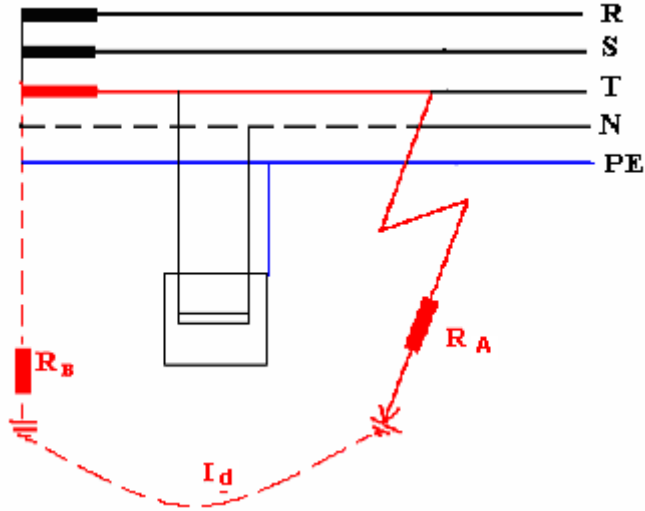
Bu nedenle ya akım değeri sigortanın manyetik açma akım değerine ulaşınca kadar kablo kesiti büyütülmesi veya devreye ilave RCD yerleştirilerek toprak hatasına karşı koruma sağlanmalıdır. En ekonomik çözüm RCD (artık akım koruma) cihazı kullanmaktır.

TN sistemlerde toprak hata akımları kısa devre akımları mertebesinde olduklarından çoğunlukla sigortalar ve kesiciler kullanılmaktadır .Ancak uzun hatlarda bu akım

değerleri oldukça düşmekte ve eğer koruma elemanının açma akım değeri yüksekse standartlarda belirtilen sürede açma yapılamamaktadır.

Bu nedenle uzun hatlarda RCD elemanları kullanmak zorunluluğu ortaya çıkar.

Ayrıca TN sistemlerde alçak gerilim havai hat şebekelerinde izolatör kirlenmesi veya izolatörün tahrip olması nedeniyle özellikle yağışlı havalarda sıkça, Kablo şebekelerinde ise ana hatların bağlantı yerlerinde tozlanma veya nemlenme sebebiyle nadiren ortaya çıkan bir izolasyon hatasından dolayı şebekede oluşur. Buradaki hata korunan cihazda değil bağlantı hatlarındadır.



Şekil 8.4 TN-S sistemlerde hat arızası

Bu durumlarda şebekede sağlam fazlara ait faz-nötr gerilimleri yükselir ve ayrıca nötr de gerilim oluşacağından PE veya PEN iletkenlerine koruma amacıyla bağlanan cihazların gövdeleri, cihazda hata olmamasına rağmen gerilim altında kalır ve gerilimin 50 V u aşması halinde bu cihazlara dokunan insan için hayati tehlike baş gösterir.

Tecrübeler göstermiştir ki yukarıda söz konusu edilen hatalarda meydana gelen kontak direncinin değeri $R_A=7$ ohm dan aşağı değeri almamıştır.

Bu hata durumunda faz-nötr geriliminin 250 V dan ve nötr de oluşacak gerilimin 50 V dan yukarı değeri almaması için R_B nötr topraklama direnci aşağıda verilen ve TT sistemler bölümünde detaylı olarak açıklanacak

$$R_B \leq \frac{U_B}{U_0 - U_B} \cdot R_A = \frac{50}{230 - 50} R_A \text{ şartını gerçekleştirilmesi gerekir.}$$

U_B Bir faz-toprak hatası sonucu nötr noktasının toprağa göre alacağı gerilim.

$R_A=7$ ohm da

$$R_B \leq \frac{U_B}{U_0 - U_B} \cdot R_A = \frac{50}{230 - 50} 7 = 1,94 \text{ohm} \approx 2 \text{ohm} \text{ olması gerekir}$$

Bu devreden geçen hata akımı

$$I_d = \frac{U_0}{R_B + R_A} = \frac{230}{1,94 + 7} = 25,72A$$

Nötrde meydana gelen gerilim

$$U_B = R_B \cdot I_d = 1,94 \times 25,72 = 49,968 \approx 50V$$

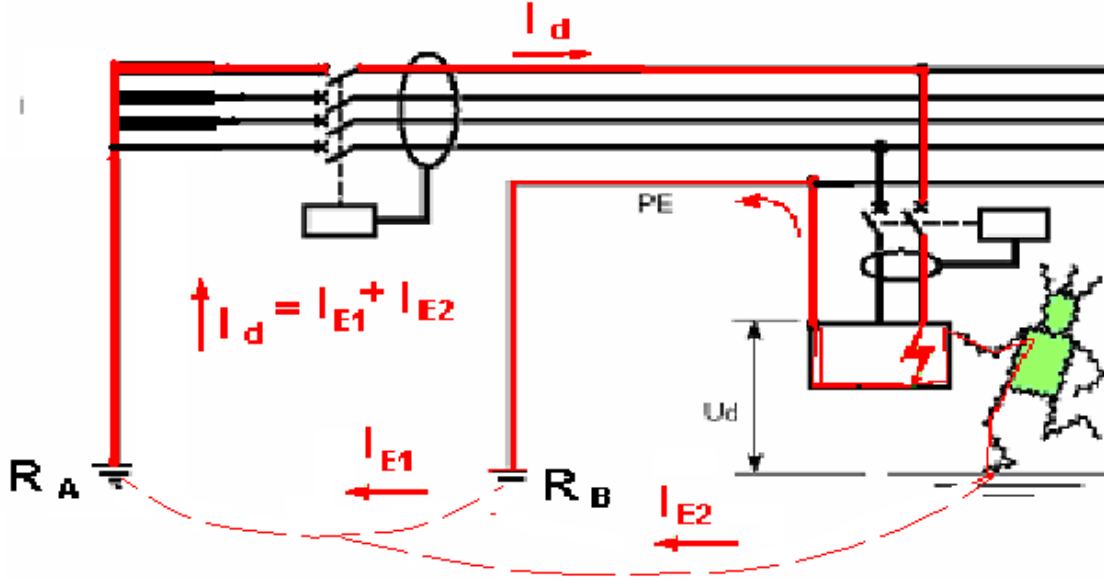
Sağlam fazlara ait faz-nötr gerilimlerinin yükselmesi ise

$$U' = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}U_0\right)^2 + \left(U_B + \frac{U_0}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 220\right)^2 + \left(50 + \frac{220}{2}\right)^2} = 249V$$

olacaktır.

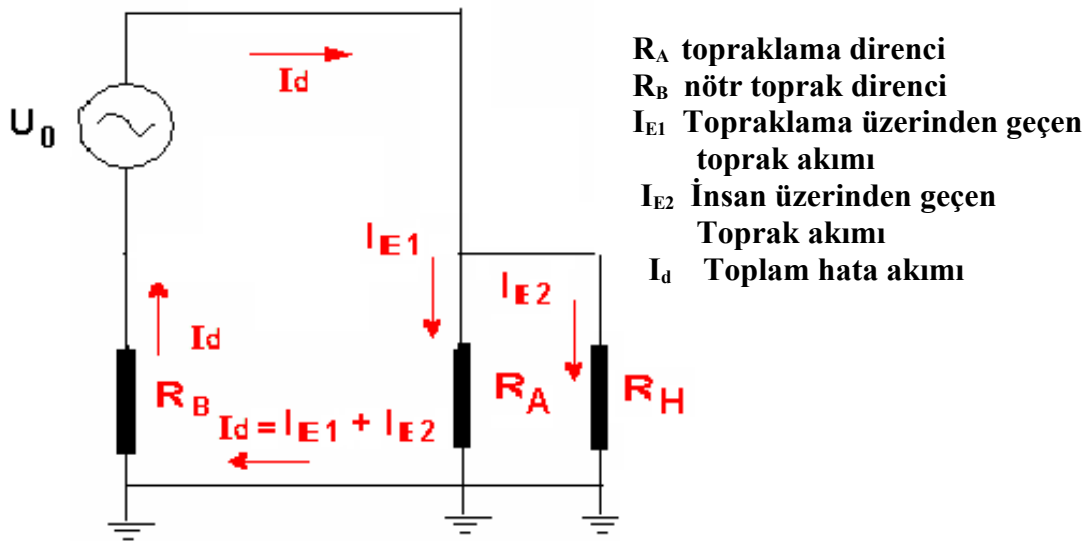
Tüm bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere TN sistemlerde enerji kaynağının (generator, transformator,vb.)toplam nötr topraklama direncinin değeri 2hmm'u aşmamalıdır.

2.2 TT Sistemler



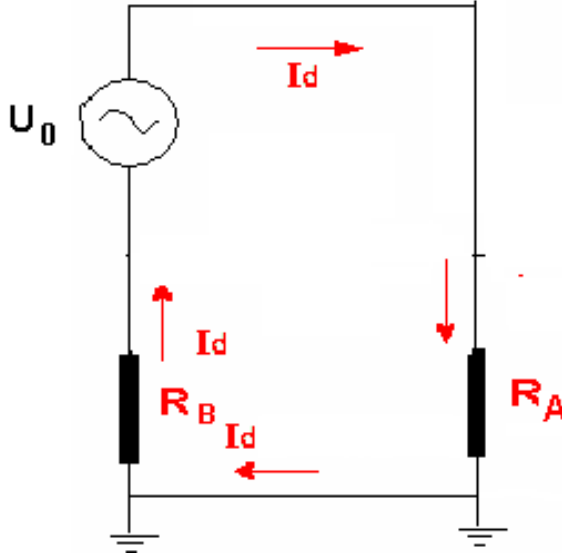
Şekil 10 TT Sistemlerde hata akımı ve gerilimi

İzolasyonda bir hata meydana geldiğinde hata akımı topraklama direnci tarafından belirlenir. $R_d = 0$ kabul edildiğinde ve R_{PH} ve R_{PE} dirençleri R_A ve R_B ye göre sonucu etkilemeyecek kadar küçük olduğundan ihmal edildiğinde hata devresi diyagramı



Şekil 10.1 Hata devresi diyagramı

Hata devresinde R_A topraklama direncine paralel bağlı R_H insan vücudu direnci hesap sırasında önemli miktarda R_A direnç değerini değiştirmeyeceğinden hesapları basitleştirmek amacıyla ihmal edilecektir.



Şekil 10.2 Basitleştirilmiş hata devresi diyagramı

TT sistemlerde hata akımları çok yüksek değerlerde olmayacağından etkili gerilim olarak U_0 alınacaktır.

Şekil 10.2 ye göre hata akımı

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B}$$

hata esnasında meydana gelen dokunma gerilimi

$$U_d = R_A \cdot I_d = \frac{U_0 \cdot R_A}{R_A + R_B}$$

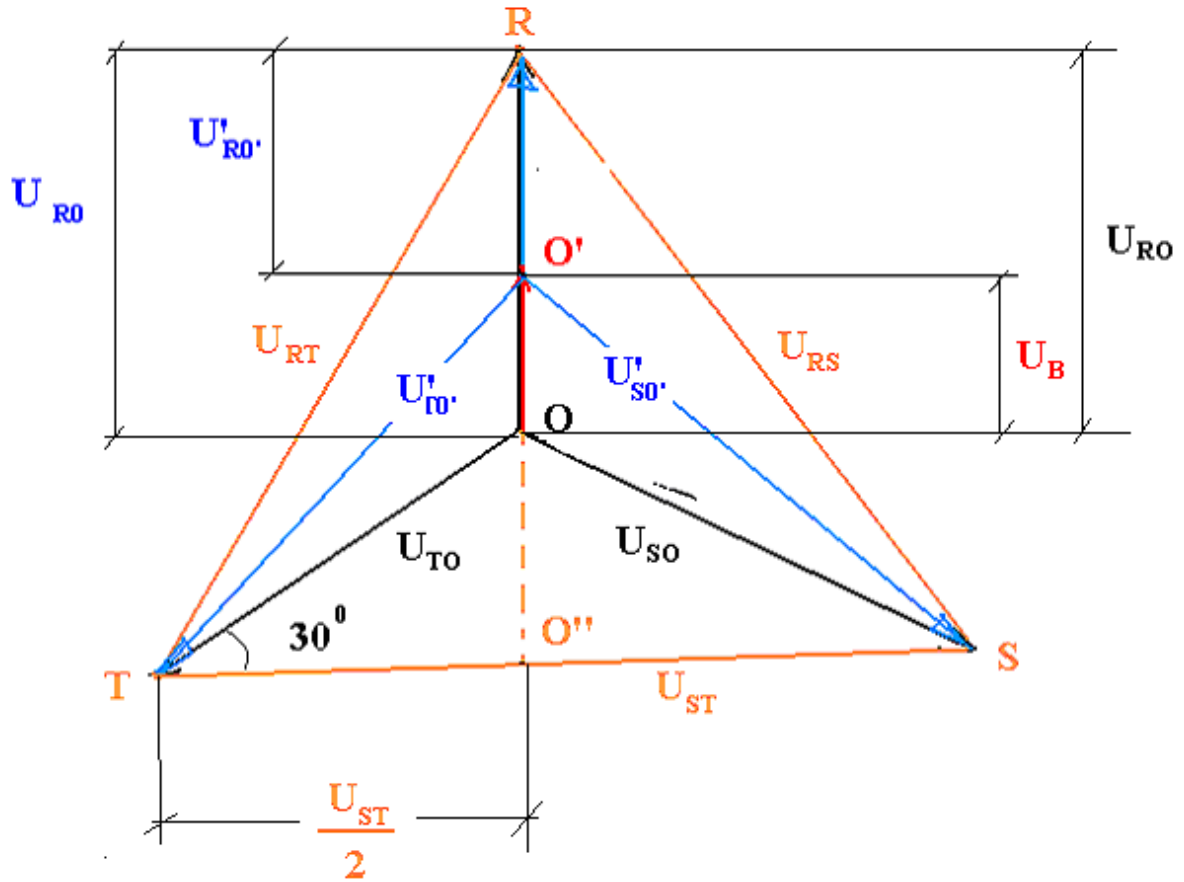
Hatadan dolayı etkilenen tesis bölümü otomatik olarak devreden çıkartılır.

TT sistemlerde toprak hata akımları aşırı akım ve aşırı yük elemanlarının nominal akımları ve ya açma akımlarına göre çok küçük olduğundan bu sistemlerde mutlaka RCD cihazları kullanılmalıdır. Aksi halde aşağıda açıklanacak olan olaylar baş gösterir.

TT sistemlerde toprak hatasına maruz kalmış devrede hata akımı nötr enerji kaynağının nötründe gerilim meydana gelmesine neden olur. Bu gerilim arızasız faz nötr gerilimlerinin yükselmesine yol açar.

Gerilim yükselme ifadeleri gerilimler üçkeni kullanılarak bulunabilir.

Gerilimler üçkeni ;Alçak gerilim sistemlerinde reaktansların etkisinin ihmal edilecek kadar düşük ve aşağı yukarı değişmeyeceği göz önüne alınarak çizilmiştir



Şekil 10.3 Gerilimler üçkeni

U'_{RO} Hatalı fazın faz-nötr gerilimi

U'_{TO}, U'_{SO} Sağlam fazlara ait faz-nötr gerilimlerinin sistemdeki bir faz-toprak hatası sonucu alacağı değer.

U_B Bir faz-toprak hatası sonucu nötr noktasının toprağa göre alacağı gerilim.

$$\sin 30^\circ = \frac{OO''}{OT} \quad OO'' = OT \cdot \frac{1}{2} \quad OO'' = \frac{U_0}{2}$$

$$U_{RO} = U_{SO} = U_{TO} = U_0$$

$$U_{RS} = U_{RT} = U_{ST} = U$$

$$U_{TO'} = U_{SO'} = U'$$

$$O'O'' = O'O + OO'' = U_B + \frac{U_0}{2}$$

$TO'O''$ üçgeninde pisagor bağıntısına göre

$$(TO')^2 = (O'O'')^2 + (TO'')^2 = U^2 + \left(U_B + \frac{U_0}{2}\right)^2$$

$$U'^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}U_0\right)^2 + \left(U_B + \frac{U_0}{2}\right)^2$$

$$U' = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}U_0\right)^2 + \left(U_B + \frac{U_0}{2}\right)^2} \quad \text{Bir faz-toprak hatası halinde sağlam fazların faz-nötr geriliminin alacağı değer.}$$

Örnek:

Yukardaki şekil 10.2 de $R_B=2\text{ohm}$ ve $R_E=4\text{ ohm}$ olsun.

Bir faz-toprak hatası halinde devreden geçen akım

$$I_d = \frac{220}{2+4} = 36,7A$$

Bu akımın nötr topraklama direncinden dolayı meydana getireceği nötr gerilimi

$$U_B = R_B.I_d = 2.36.7 = 73.4V \geq 50V$$

Sağlam fazlardaki gerilimin ulaşacağı değer

$$U' = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}220\right)^2 + \left(73.4 + \frac{220}{2}\right)^2} = 264V \quad \text{olacaktır. Şartnamelere göre gerilim değerlerinin 250 V aşmaması istenir.}$$

Aynı zamanda meydana gelen dokunma gerilimi ise

$$U_d = R_A.I_d = 4.36,7 = 147V \quad \text{olacaktır ve bu değer izin verilen 50 V un üstünde olacağına devreyi derhal kesebilecek RCD cihazının kullanılması gerekliliğini gösterir.}$$

Topraklama bağlantısının maksimum direnci

$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_a}$	U_L	50 V	25 V
3 A		16 Ω	8 Ω
1 A		50 Ω	25 Ω
500 mA		100 Ω	50 Ω
300 mA		166 Ω	83 Ω
30 mA		1,660 Ω	833 Ω

Şekil 11 RCD cihazının hassasiyeti ve sınır gerilim değeri

$U_L [I\Delta n = F(R_a)]$ ne göre cihaz gövdesinin topraklama bağlantısının dirençleri yukarıdaki üst sınırları aşmamalıdır.

Koruma cihazının TT sistemlerde açma yapmaması durumunda faz-nötr gerilimlerinin izin verilen değerinin üstünde değer almasını önlemek için R_A ile R_B dirençleri arasında farkların aşağıda açıklanacak ifadeye göre direnç değerlerinin gerçekleştirilmesi gerekir.

Şekil 10.2 göz önüne alınarak

I_d Hata akımı ,

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B} \quad U_B = I_d \cdot R_B \quad U_B = U_L$$

$$R_B \leq \frac{U_B}{U_0 - U_B} \cdot R_A \quad U_B \text{ hata esnasında meydana gelen nötr gerilimi}$$

Şartnamelere göre $U_L = 50V$ kabul edilmektedir.

$$R_B \leq \frac{50}{U_0 - 50} \cdot R_A \text{ şartı sağlanmalıdır.}$$

2.3 IT Sistemler

Normal işletmede şebeke şebekeye ait kaçak empedanslar üzerinden topraklanmışlardır. 3-fazlı 1 km uzunluğundaki kablunun toprak kaçak empadansı standard olarak

$$C = 1 \mu\text{F} / \text{km},$$

$$R = 1 \text{M}\Omega / \text{km},$$

50 Hz için

$$Z_{cf} = 1 / j C \omega = 3,200 \Omega,$$

$$Z_{rf} = R_f = 1 \text{M}\Omega,$$

$$Z_f \approx Z_{cf} = 3,200 \Omega.$$

Bir fazda toprak hatası olması durumunda

- Nötrün yalıtılması durumunda arıza akımı

$$I_f = I_{c1} + I_{c2},$$

$$I_{c1} = j C_f \omega V_{13},$$

$$I_{c2} = j C_f \omega V_{23}$$

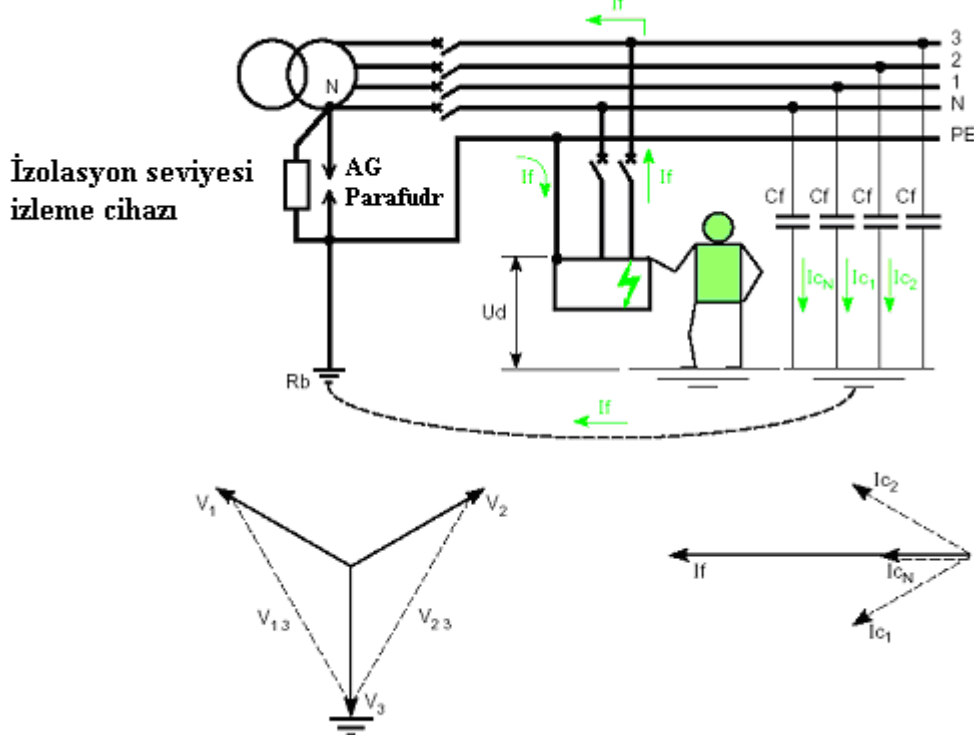
$$I_d = U_{03} C_f \omega.$$

230/400 Volt şebekede 1 km uzunluk için

$$U_c = R_b I_d, \quad 0.7 \text{ eğer } R_b = 10 \Omega. \text{ ise}$$

Bu gerilim değeri tehlikeli olmayıp tesis işletmeye devam edebilir.

Eğer nötr dağıtılmışsa toprağa bağlı olarak nötr kayması ve ilave akım (Şekil 12)



Şekil 12: IT sistemde bir fazda meydana gelen hata akımı

$$I_{cn} = U_0 C_f \omega$$

$$I_d = U_0 4 C_f \omega$$

Nötrün empedans üzerinden topraklaması durumunda bir fazda toprak hatasında

$$I_d = \frac{U}{Z_{eq}}$$

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_n} + 3j C_f \omega$$

İlgili hata gerilimi halen düşük olup tehlikeli olmadığından işletmeye devam edilebilir. Bu sistemde risksiz olarak işletmenin devamı büyük bir avantajdır ancak ikinci bir hata oluşmadan önce hatanın varlığı tanınmalı ve hatayı acilen gidermek için hata takip edilmelidir. Bunu sağlamak için nötr dahil olmak üzere tüm aktif iletkenleri gözlemleyen izolasyon gözleme cihazı vasıtasıyla hata bilgileri sağlanmalı hata yerini tanımlayan bir sistemle hata yeri tesbit edilmelidir.

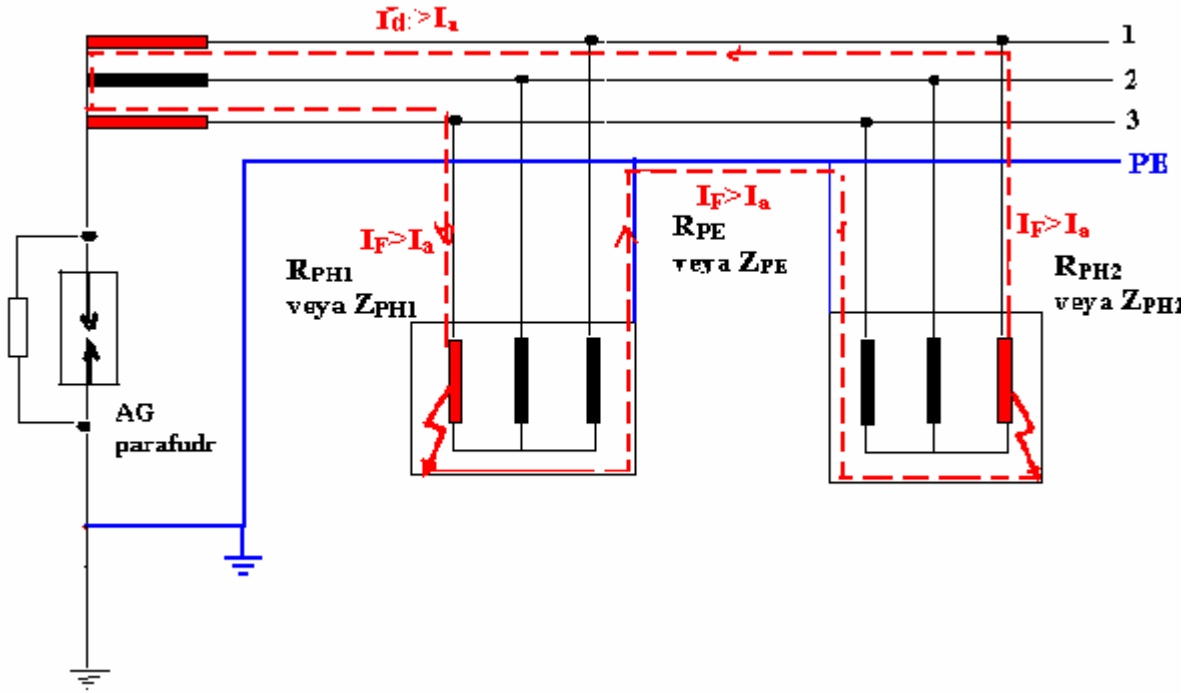
İkinci bir izolasyon hatası halinde sistemin davranışı.

İkinci bir hata ortaya çıktığında henüz birinci hata da giderilmemişse burada üç ihtimalin göz önüne alınması lazımdır.

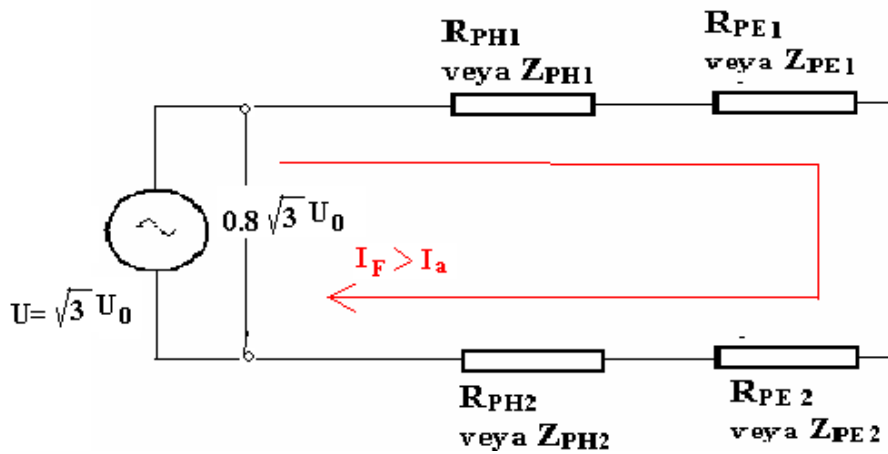
- İkinci bir hata aynı hatalı iletkende ortaya çıkmışsa herhangi bir şey olmaz tesis işletmeye devam edebilir.
- Hata farklı ikinci iletkende ortaya çıkmışsa; eğer cihaz gövdeleri aynı PE iletkenleri üzerinden birbirleriyle bağlanmışsa iki faz kısa devre meydana gelir. Elektrik şok tehlikesi aynen TN sistemlerde olduğu gibi gerçekleşir.
- Eğer iki hatadan biri nötr üzerinde ise hata akımı ve gerilimi TN sistemdekine göre iki kat daha azdır.

Bu sistemde arıza açtırma sistemleri aşağıda belirtilen ifadeleri verilen şartlara uygun olmalıdır

**Nötrüne bir fazlı yükler bağlanmayan 3-faz, 3-hatlı IT sistem
(Nötrü dağıtılmamış sistem)**



Şekil 13. Nötründen dağıtım yapılmamış yani sistemin nötr hattına bir fazlı yükler bağlanmamış 3-faz 3-hatlı IT sistemde 2-faz hata durumu



Şekil 14 Yukardaki hata durumuna ait direnç ve empedans Diyagramı

$$I_d = \frac{U}{R_{PH1} + R_{PE1} + R_{PH2} + R_{PE2}} \quad \text{veya} \quad I_d = \frac{U}{Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{PH2} + Z_{PE2}}$$

$$R'_S = R_{PH1} + R_{PE1} + R_{PH2} + R_{PE2} \quad \text{veya}$$

$$Z'_S = Z_{PH1} + Z_{PE1} + Z_{PH2} + Z_{PE2}$$

eğer $R_{PH1} = R_{PH2} \dots R_{PE1} = R_{PE2}$ **veya** $Z_{PH1} = Z_{PH2} \dots Z_{PE1} = Z_{PE2}$ **ise**

$R_S = (R_{PH} + R_{PE})$ **veya** $Z_S = (Z_{PH} + Z_{PE})$ **olmak üzere ve**

$R'_S = 2R_S$ **veya** $Z'_S = 2Z_S$ **alnır.**

$$I_d = \frac{U}{2.R_S} \quad \text{veya} \quad I_d = \frac{U}{2.Z_S} \quad \text{ifadeleri elde edilir.}$$

$U = \sqrt{3}.U_0$ **ve** $I_F \geq I_a$ **olduğu göz önüne alınarak** $I_a \leq \frac{\sqrt{3}.U}{2.R_S}$ **veya**

$I_a \leq \frac{\sqrt{3}U_0}{2.Z_S}$ **elde edilir. Herbir cihaza ait bağlantı iletkenleri aynı uzunlukta ve kesitte**

değilse

$$I_a \leq \frac{\sqrt{3}.U_0}{(R_{PH1} + R_{PE1} + R_{PH2} + R_{PE2})} \quad \text{veya} \quad I_a \leq \frac{\sqrt{3}.U_0}{(Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{PH2} + Z_{PE2})}$$

$$R'_S \leq \frac{\sqrt{3}.U_0}{I_a} \quad \text{veya} \quad Z'_S \leq \frac{\sqrt{3}.U_0}{I_a}$$

$$R'_S = R_{PH1} + R_{PE1} + R_{PH2} + R_{PE2}$$

$$Z'_S = Z_{PH1} + Z_{PE1} + Z_{PH2} + Z_{PE2} \quad \text{ifadeleri kullanılmalıdır}$$

Ayrıca koruma iletkeni üzerinden devresini tamamlayan iki faz hatası olduğundan devreden geçen hata akımları kısa devre mertebesinde olması sebebiyle Transformatörlerde iç direnç ve reaktansından dolayı iç gerilim düşümleri meydana gelir. %20 civarlarında oluşabilecek bu gerilim düşümünü göz önüne almak için ya transformatör empedanslarını hesaba katarak hata akımlarını hesaplamak veya hesapları kolaylaştırmak için yukardaki ifadeleri

$$I_a \leq \frac{0,8.\sqrt{3}.U}{2.R_S} \quad \text{veya} \quad I_a \leq \frac{0,8.\sqrt{3}U_0}{2.Z_S}$$

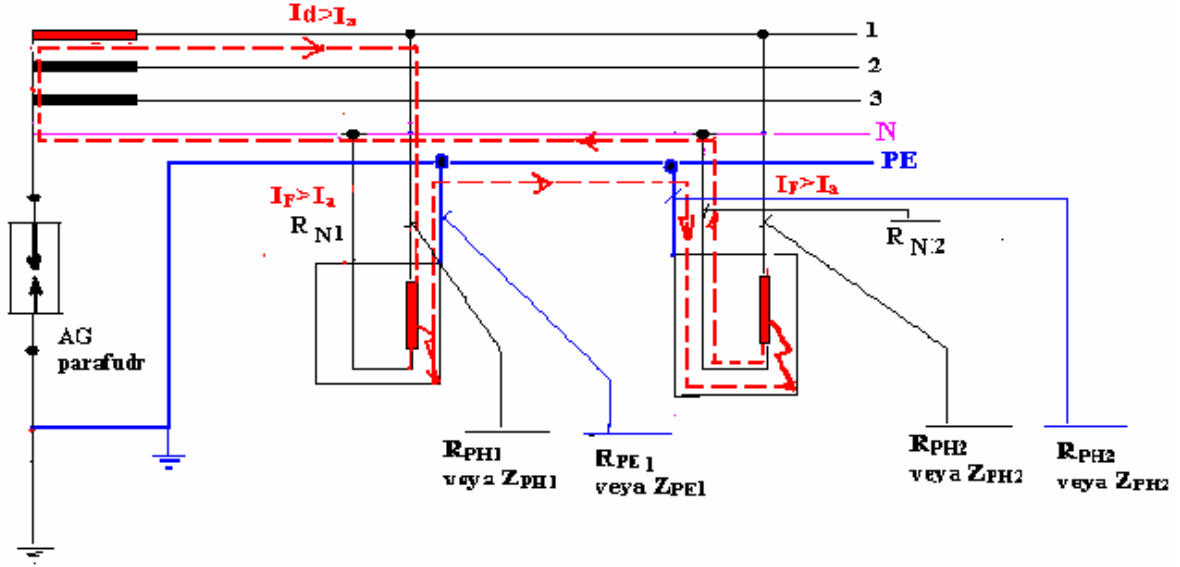
ve

$$R_s \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot I_a} \text{ veya } Z_s \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} U_0}{2 \cdot I_a} \text{ olacaktır.}$$

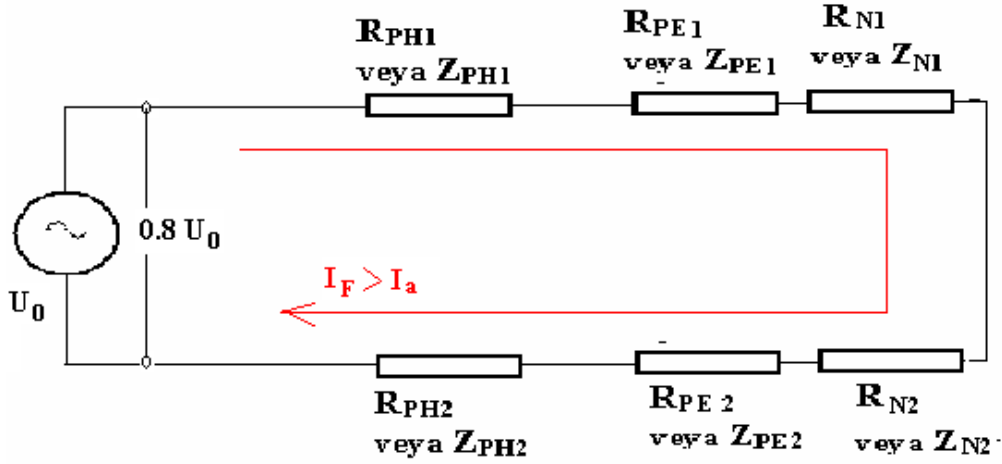
$$I_a \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot U_0}{(R_{PH1} + R_{PE1} + R_{PH2} + R_{PE2})} \quad \text{-----} \quad R'_s \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot U_0}{I_a}$$

$$I_a \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot U_0}{(Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{PH2} + Z_{PE2})} \quad \text{-----} \quad Z'_s \leq \frac{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot U_0}{I_a}$$

**Nötrüne bir fazlı yükler bağlanabilen 3-fazlı, 4-hatlı IT sistem
(Nötrü dağıtılmış sistem)**



Şekil 15 Nötründen dağıtım yapılan yani sistemin nötrüne bir fazlı cihazlar bağlanan 3-faz ,4-hatlı IT sistemde aynı faza bağlı bir fazlı iki cihazın ikisinde bir izolasyon hatası sonunda oluşan durum



Şekil 16 Yukarıdaki hata durumuna ait direnç ve empedans diyagramı

Bu hata şeklinde etkili olan gerilim faz-nötr gerilimidir. Hata devresi faz iletkenleri nötr iletkenleri ve koruma iletkenlerinden meydana gelir. Bu hata IT sistemin nötrünün bir fazlı yüklerin şebekeye bağlantısının yapılabildiği nötr hattına aynı faza bağlı iki cihazda izolasyon hatası olduğunda görülen hata tipidir. Nötrü dağıtılmış şebekede farklı fazlara bağlanan bir fazlı iki cihazda izolasyon hatası sonucu ortaya çıkan hata faz-faz yani iki faz hatası olacaktır.

$$I_d = \frac{U_0}{R_{PH1} + R_{PE1} + R_{N1} + R_{PH2} + R_{PE2} + R_{N2}} \quad \text{veya direnç yerine}$$

empedanslarla hesap yapılırsa

$$I_d = \frac{U_0}{Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{N1} + Z_{PH2} + Z_{PE2} + Z_{N2}} \quad \text{elde edilir}$$

$$R'_S = R_{PH1} + R_{PE1} + R_{N1} + R_{PH2} + R_{PE2} + R_{N2} \quad \text{veya}$$

$$Z'_S = Z_{PH1} + Z_{PE1} + Z_{N1} + Z_{PH2} + Z_{PE2} + Z_{N2} \quad \text{yazabiliriz}$$

eğer $R_{PH1} = R_{PH2} \dots R_{PE1} = R_{PE2} \cdot R_{N1} = R_{N2}$ **veya**

$$Z_{PH1} = Z_{PH2} \dots Z_{PE1} = Z_{PE2} \cdot Z_{N1} = Z_{N2} \quad \text{ise}$$

$$R'_S = 2(R_{PH} + R_{PE} + R_{N1}) \quad \text{veya} \quad Z'_S = 2.(Z_{PH} + Z_{PE} + R_{N2}) \quad \text{olur ve}$$

$$R_S = (R_{PH} + R_{PE} + R_{N1}) \quad \text{veya} \quad Z_S = (Z_{PH} + Z_{PE} + R_{N2}) \quad \text{alınarak}$$

$$I_d = \frac{U_0}{2.R_S} \quad \text{veya} \quad I_d = \frac{U_0}{2.Z_S} \quad \text{ifadeleri elde edilir}$$

$$U = U_0 \quad \text{ve} \quad I_F \geq I_a \quad \text{göz önüne alınarak} \quad I_a \leq \frac{U_0}{2.R_S} \quad \text{veya} \quad I_a \leq \frac{U_0}{2.Z_S}$$

ve $I_a \leq \frac{U_0}{R_{PH1} + R_{PE1} + R_{N1} + R_{PH2} + R_{PE2} + R_{N2}}$ **veya direnç yerine empedanslarla**

hesap yapılırsa $I_a \leq \frac{U_0}{Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{N1} + Z_{PH2} + Z_{PE2} + Z_{N2}}$ **elde edilir.**

Bu tip arızalardada hata akımı kısa devre akımı mertebesinde olduğundan yukarıda anlatılan sebeplerden dolayı

$$I_a \leq \frac{0,8.U_0}{R_{PH1} + R_{PE1} + R_{N1} + R_{PH2} + R_{PE2} + R_{N2}} \quad \text{-----} \quad R'_S \leq \frac{0,8.U_0}{I_a} \quad \text{direnç yerine}$$

empedanslar kullanılırsa

$$I_a \leq \frac{0,8.U_0}{Z_{PH1} + Z_{PH1} + Z_{N1} + Z_{PH2} + Z_{PE2} + Z_{N2}} \quad \text{-----} \quad Z'_S \leq \frac{0,8.U_0}{I_a} \quad \text{ifadesi}$$

geçerli olur

U_0 / U Volt	$U_L = 50$ V		$U_L = 25$ V	
	kesme süresi(saniye)		kesme süresi(saniye)	
U_0 Faz-nötr gerilimi	nötrü dağıtılmış	nötrü dağıtılmamış	nötrü dağıtılmış	nötrü dağıtılmamış
U Faz arası gerilim	nötrü dağıtılmış	nötrü dağıtılmamış	nötrü dağıtılmış	nötrü dağıtılmamış
127/220	0.8	5	0.4	1.00
230/400	0.4	0.8	0.2	0.5
400/690	0.2	0.4	0.06	0.2
580/1 000	0.1	0.2	0.02	0.08

Şekil 14 IT sistemlerde Maksimum kesme süresi (IEC 60364 tablo 41B ve 48A)