

(Bu yazı Kaynak Elektrik Dergisinin Mayıs 2016 sayısından alınmıştır.)

ELEKTRİK TESİSLERİ PROJE, UYGULAMA, YÖNETMELİKLER GÜVENLİK VE TOPRAKLAMADA YENİLİKLER

Prof. Dr. İsmail Kaşıkçı / Biberach Üniversitesi Almanya ismailk@t-online.de

Özet

Elektrik tesislerinin planlanması, boyutlandırılması, hesaplanması ve değerlendirilmesi için tasarımcının geniş çapta elektrik temel bilgisinin yanı sıra her projede geçerli olan Norm ve Standartlara, yönetmeliklere, bilgisayar destekli programlara ihtiyacı vardır. Elektrik tesislerinin sağlıklı kurulması, işletilmesi can ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. Bu yazıda IEC ve EN Standartlarındaki yenikler anlatılacak, Türkiye’de yapılan hatalar üzerinde durulacaktır. Yazıda en son örnekler verilecektir.

1. GİRİŞ

Türkiye’de norm ve standart çalışması sadece ve sadece yabancı uyruklu normların tercümesine dayanıyor. IEEE, IEC, VDE ve BS standartları genelde bir arada karıştırılıp tercüme edilip içinden çıkılmaz ve anlaşılmaz hale getiriliyor. Tercümeler özellikle konuya ve dile hakim olmayan elektrik mühendisi veya tercüme büroları tarafından yapılıyor. Sorumlulara ise tasdik etmek düşüyor. Ülkemizde hala bu alanda ne bir grup nede komisyon çalışması var. Ve en önemlisi elektrik norm komitelerine Türkiye üye olsa da, çalışmalara katılmıyor. Türkiye’de alçak gerilim tesisat ve projeleri için Alman VDE 0100-5-73 serisi 40 sene önce tercüme edilmiştir. Sıfırlama ve koruma topraklamasındaki veriler maalesef birbirine karışmıştır. Bunun yanı sıra TT-Sistem veya daha önceki ismiyle koruma topraklaması Türkiye’de kabul edilmiş. TT-Sistemi dünyanın az ülkesinde kullanılıyor, eğer olsa dahi 2003 yılından sonra IEC’nin önerdiği gibi TN-Sistemine geçilmek zorunda. Şu anda ülkemizin her köşesinde her Avrupa ülkesine ait tesisat ve norm uygulama şeklini görebilmek mümkün. IEC 60364’ün tüm kısımları (Binalarda elektrik tesisatı), IEC 62305: Yıldırımdan korunma normu, IEC 60909-0: Elektrik tesislerinde kısa devre hesapları, TSE tarafından tercüme edilmiştir. Ancak Resmi Gazete’de yayımlanmadığı için uygulamada zorluklar vardır. EN 50522: YG’de topraklama normu EMO tarafından tercüme edilmiş, Enerji Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayımlanmıştır. Bu konuda da ciddi sorunlar vardır.

Dünyadaki politik, ekonomik ve teknik gelişmeler normların yeniden gözden geçirilmesini ve özellikle Avrupa ülkeleri arasında uyumunu da beraberinde getirdi.

Son yıllarda IEC ve IEEE, NEC ortak çalışması ile standartlar arasındaki farklılıkların giderilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

2. BİNALARDA ELEKTRİK TESİSATI

Elektrik Kullanımı için Merkezi Danışma Bürosu "Mesken inşaatında elektrik tesisatı - Talepler, proje ve değerlendirme" konusunda DIN 18015 Normu yayınlamıştır. Bu çalışma tesisatın donanım değeri olarak, binalardaki elektrik tesisatının kalite ve işlevsel yönlerden değerlendirilebilmesini mümkün kılmıştır. Tesisatın donanım değeri Çizelge 1 de gösterildiği gibi binalarda elektrik tesisleri ve otomasyon, yeni teknik ve bilimsel gelişmelere göre yeniden düzenlenmiştir.

Çizelge 1: Binalarda tesisat donanımı

Tesis şekli	Tanımı	Kalitesi
Normal elektrik tesis donanım şekli		
1	*	En az donanım tesisi
2	**	Standart donanım
3	***	Lüks donanım
Otomasyon (akıllı bina) tesis donanım şekli		
1 artı	* artı	En az donanım tesisi
2 artı	** artı	Standart donanım (bir işlev alanına sahip)
3 artı	*** artı	Lüks donanım (iki işlev alanına sahip)

Projelerde uygulanması gerekli olan bir kaç önemli norm ve yönetmelikleri verelim:

- IEC 60364: Binalarda Elektrik Tesisleri <1kV. Tercüme edildi. Veya Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği. Aslında bu terim yanlıştr.
- IEC 60909: Elektrik Sistemlerinde Kısa Devre Hesapları.
- DIN VDE 0101: Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği. Tercüme edildi.
- EN 50522 Kuvvetli Akım Elektrik Tesisleri ve Topraklamalar >1 kV. Tercüme edildi.
- EN 50110 Kuvvetli Akım Elektrik Tesislerinin İşletilmesi.
- IEC 62305: Yıldırımdan Korunma. Tercüme edildi.

3. ELEKTRİK TESİSAT YÖNETME-LİKLERİNDE YENİLİKLER IEC 60364

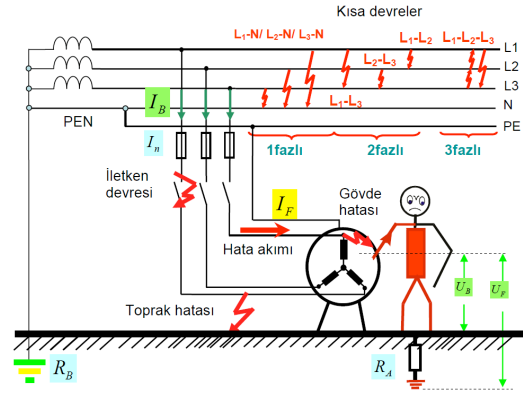
IEC 60364, 50 Hz, 1000 V A.A veya 1500 V gerilim değerlerine (bu değerler dahil) kadar anma gerilimi olan elektrik iç tesislerinin, güvenli ve düzgün çalışmasını sağlayacak tasarım, uygulama ve işletme kurallarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır [1]. Sistemler, donanım, uygulama ve aşırı akım koruma cihazları sigorta (gG), MCB ile ilgili değişiklikleri, yanlış bilinen tanımları şöyle sıralamak mümkündür:

1. Açma akımı için kullanılan k faktörü kalktı.
2. Açma zamanı son devreler (Lineye) ve dağıtım panosu olarak için tekrar düzenlendi. 0,1-0,07-0,2-0,4 ve 5 saniyeler getirildi.
3. B,C ve D kesiciler normlaştı. Açma katsayıları 5, 10, 15 ve 20 kabul edildi. **L** ve **G** üretimden kalktı.
4. AG’de Dokunma gerilimi $U_T = 50$ V AC, 120 V DC. Ancak DC’de çalışmalar devam etmektedir.
5. Dokunma gerilimi YG’de 65 V’tan 75 V’a çıkartıldı.
6. TN, TT ve IT sistemleri kabul edildi.
7. TT sistemi tamamen terk edilmekte.
8. Artık akım koruma cihazının tesisatı- RCD (Residual Current Protective Device) TN ve TT sisteminde her lineye için kullanımı zorunlu hale getirildi.
9. R,Ş,T,Mp yerine L1, L2, L3, PEN (N) terimleri kabul edildi.
10. Küçük voltaj ve koruma ayrılması yerine SELV ve PELV getirildi.
11. Kablo ve iletkenlerin boyutlandırılmasında 30 derece sıcaklık kabul edildi.

12. MCB: Hat veya iletken koruma düzeneği (halk dilinde otomatik sigorta denir) tanımlandı. Art arda bağlı MCB'ler seçici çalışmazlar. Bu yüzden MCB'ler sadece Linyelerde kullanılmalıdır.
13. CB: (Circuit Breaker) TMS'dir.
14. MCCB: Moulded Compound Circuit Breaker, kompakt güç şalteridir.
15. RCD: Artık akım koruma düzeneğidir. Hiçbir zaman el ile açma-kapama işlevi için kullanılmaz. TN-C sistemde kullanılamaz.
16. RCDBO: Hat koruma düzeneği ve artık akım koruma düzeneği kombine edilmiştir.
17. SPD: Surge Protective Device, aşırı gerilim koruma düzeneğidir.
18. Temel koruma (doğrudan temasa karşı koruma)
19. Hata koruması (dolaylı temasa karşı koruma)
20. Her devreye (son linyeye) yangın koruma cihazı (AFD) tesis edilecek.
21. Toprak iletkeni koruma iletkeni değildir.
22. Gövdede oluşan hata akımı faz-toprak hatası değildir.
23. Hayvanlar için kullanılan 25 V dokunma gerilimi normlardan kalkmıştır.
24. Başlı boş gerilim olmaz. Kaçak akımlar oluşur.
25. Hata gerilimi koruması normlardan kalkmıştır.
26. Faz-toprak kısa devresi ancak AG ve YG'de ana dış iletkenin kopması ve yer ile irtibat halinde oluşur.
27. Faz iletkeni, akımı veya gerilimi diye bir tanım yoktur.
28. Çok sayıda topraklama ile iyi bir eşpotansiyel sağlanmaz.
29. Paralel topraklayıcılar göz empedansını düşürmez.
30. Kesicilerde (Güç şalteri) kısa devre açma faktörü 1,2 değildir.
31. Prize ve lamba linyelerine sigorta takılmaz.
32. Tek kutuplu kısa devre akımı NYM iletkenlerinde 80°C – 160°C arasında hesaplanır.
33. Tüç kutuplu kısa devre akımı 20°C de hesaplanır.
34. Tüm topraklayıcılar tek bir noktada birleştirilir (merkezi topraklama).
35. TT ve TT sistemde aşırı akım koruma cihazları, RCD ve yangın koruma cihazları (AFD) kullanılmak zorundadır.
36. Kısa devre ve gerilim düşümü hesaplarında reaktanslar 16 mm² ye kadar ihmal edilir.
37. Topraklı priz olmaz. Yanlış tanım.
38. Hiçbir IEC ve EN standartında paratoner tanımı yoktur. Bu kelime Fransızcadır.
39. W-Otomat diye ne bir tanım ne de bir kesici vardır.
40. NEC'de topraklama için **Grounding** IEC ve EN standartlarında **Earthing** kullanılır.
41. Aktif paratonerler, ne bilimsel gerçeklere, ne de standartlara uymamaktadır. IEC standartlarında aktif paratonerlere yer yoktur.
42. Toprak öz direncini düşürmek için kimyasal maddelerin kullanılması önerilemez.
43. Topraklamada 30 mm x 3,5 mm çelik şerit ya da en küçük çapı 10 mm olan yuvarlak çelik kullanılmalıdır.
44. Bir tesiste en büyük 3 fazlı kısa devre ve en küçük tek faz kısa devre her zaman hesaplanmalıdır. Bazen tek faz kısa devre 3 faz kısa devreden büyük olabilir.
45. Nötr ve koruma iletkeni arasında ölçülen gerilimler tesisinin topraklama direncinden bağımsızdır.
46. Nötr ve koruma iletkeni arasındaki gerilimi düşürmek için koruma iletkenine herhangi bir cihaz takılamaz.

4. KISA DEVRE HESAPLARI EN 60 909-0

İlk önce elektrik tesislerinde ortaya çıkan hata akımlarını tanımlayalım [2,3]. Normal işletme şartlarında potansiyelleri farklı olan gerilim altındaki iletkenler arasında ihmal edilebilir empedanslı bir hata sonucu meydana gelen akımlara hata akımı denir.



Şekil 1: Hataların tanımı

Çeşitli hatalar Şekil 1'de gösterilmiştir. TN sistemde hata akımı devresini şebeke üzerinden (çevrim empedansı), TT sistemde ise toprak üzerinden (toprak çevrim empedansı) tamamlar.

Hata akımı : Normal olmayan veya istenmeyen bir yol oluşması sonucunda akım akan bir devre durumudur. Genellikle bir yalıtım hatası veya yalıtımın köprülenmesi sonucu oluşur. Hata durumunda, gerilim altındaki iletkenler arasında veya gerilim altındaki iletkenler ile ağıttaki veya yabancı iletken bölümler arasında empedansın ihmal edilecek kadar çok küçük olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Aşırı akım : Beyan değerinden büyük bütün akımlardır. İletkenler için beyan değeri, akım taşıma kapasitesidir. Aşırı akım, aşırı yük akımı ve kısa devre olmak üzere ikiye ayrılır.

Aşırı yük akımı : Bir devrede hata yok iken, oluşan aşırı akımdır.

Kısa devre akımı : Normal işletme şartlarında potansiyelleri farklı olan gerilim altındaki iletkenler arasında ihmal edilebilir empedanslı bir hata sonucu meydana gelen akımdır. Kısa devre akımı sadece ana dış iletken (L1-L2-L3) veya ana dış iletken ve nötr (N) arasında ortaya çıkar. Projelerde bir ve üç fazlı kısa devre akımlarının hesabı yapılmalıdır.

Kaçak akım : İşletme araçlarının gerilim altındaki bölümlerinin yalıtımları içinden veya üzerinden, normal şartlarda toprağa akan akımdır. Bu akımlar bilgisayar sistemleri için tehlikelidir.

İşletme cihazları üç fazlı kısa devreye göre seçilecek ve akımın tepe noktası dikkate alınacaktır.

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (1)$$

Dolaylı temasa karşı korumada, koruma cihazının açma koşullarını sağlaması için; TN sistemlerde, I''_{k1} (en küçük kısa devre akımı) hesabı, I''_{max} (en uzun kablo boyu) hesabı ve Z_s (çevrim empedansı değeri) hesabı yapılacak, tek hat gemasında belirtilecektir.

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\left| 2 \cdot Z_{(1)} + Z_{(0)} \right|} \quad (2)$$

İşaretlerin anlamı:

$Z_{(1)}$ Kısa devre pozitif bileşen empedansı

$Z_{(0)}$ Kısa devre sıfır bileşen empedansı Ω olarak

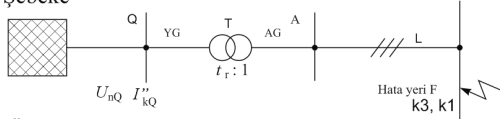
c Gerilim faktörü (0,95 ve 1,1)

U_n Şebeke beyan gerilimi V olarak.

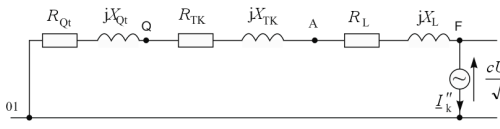
TT sistemlerde; R_A (toprak direnci) hesabı ; I''_{k1} (tek fazlı hata akımı) ve hata akımı I_f hesabı yapılacaktır.

Şekil 3' de bir elektrik dağıtım şebekesi ve kısa devre eşdeğer şemaları (EŞ) gösterilmiştir.

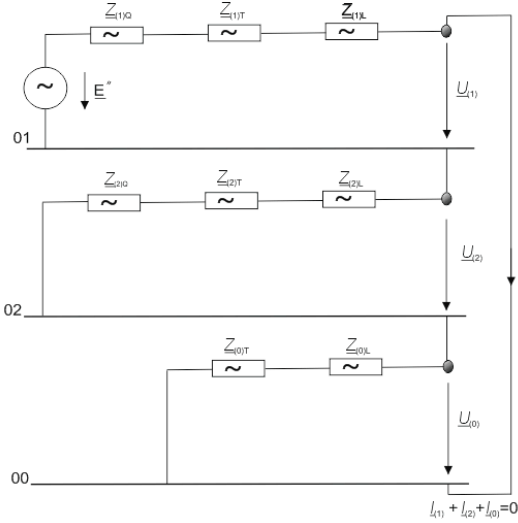
a) Şebeke



b) Üç kutuplu kısa devre eşdeğer şeması



c) Tek kutuplu kısa devre eşdeğer şeması



Şekil 3: Elektrik dağıtım şebekesi ve kısa devre eşdeğer şemaları

Transformatör ve generatörlerde empedans düzeltme faktörleri dikkate alınacaktır. Aşırı akımlara karşı (aşırı yük ve kısa devre), aşırı akım koruma cihazları bu akımlara göre seçilecek ve ayarlanacaktır. Örnek olarak:

1. Sigortalar (NH veya DO2): Çok yüksek kısa devre akımlarında devreyi hızlı bir şekilde açar. Son devrelerde kullanılmaz. Seçicilik için en az $1,6 \times I_n$ şartı aranır.
2. Hat koruma cihazları veya minyatür kesiciler (MCB), A,B,C, K ve D tipleri gibi: A ve B binalarda, diğerleri motorlarda kullanılır. MCB'lerde seçicilik sağlanamaz.

Açma akımları I_a : B: $5 \times I_n$, C: $10 \times I_n$, K: $15 \times I_n$ ve D: $20 \times I_n$ olmalıdır.

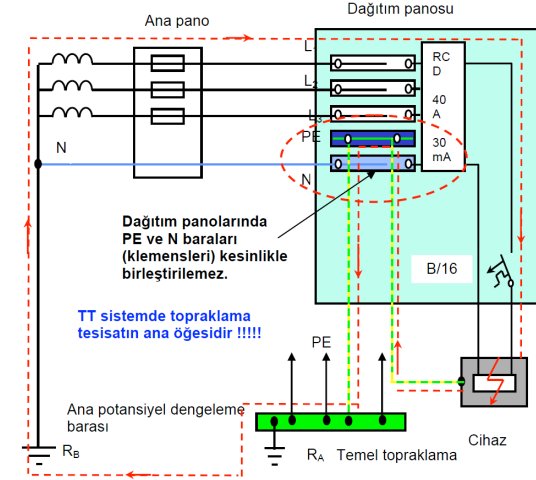
Termik manyetik şalterler (MCCB): Ana kolon ve çok büyük yüklerde ve motorlarda kullanılır. MCCB'lerde zaman ve akım ayarı yapılır.

Kaçak akım röleleri (RCD): Aşırı yük ve kısa devre akımlarını kesmez. Sadece yalıtımlığın bozulduğu durumlarda, gövde hata akımlarını keser. Ana şalter olarak kullanılmaz. 300 mA'de S (selektif) sembolü aranır.

5. IEC 60 364-4-41 ŞOK AKIMLAR

Bu kısım IEC 60364'ün en önemli konusudur. Tesisin güvenli çalışması ve insana, cana ve mala zarar gelmemesi için en temel güvenlik önlemleri verilmiştir. Akım kaynağının ve cihazların nasıl topraklanması gerektiği, açma ve koruma şartları geniş bir şekilde anlatılmıştır. Ülkemizde daha fazla TT sistemi kurulduğu için bu konu anlatılacaktır. Genel olarak transformatörü kendine ait olan tesislerde TN sisteminin kurulması yararlı olacaktır.

TT sistemde akım kaynağı sadece bir noktada topraklanmıştır. Şebeke boyunca Nötr iletkenin topraklanması gerekmez. Cihaz ise koruma iletkeni (PE) ile ana potansiyel dengeleme barasına bağlanmıştır (Şekil 4). Bu durumda nötr iletkeni (N) ile koruma iletkeni (PE) ayrı tesis edilir.



Şekil 4: TT sistemde hatalar

TT sistemde topraklama direncinin hesabı, toprağın özgül toprak direncine ve topraklama elektrodunun tipine bağlı olarak değişir ve istenilen direnci elde etmek oldukça zordur. Dolayısıyla kaçak akım rölesinin (RCD) tesisi zorunludur. TT sistemde topraklama şartlarını **Şekil 4** ile inceleyelim [3].

Sisteme aşırı akım koruma düzeneği (örnek sigorta (NH00/63A), minyatür kesiciler (B, C) veya TMS) tesis edilirse, çevrim empedansı için

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \quad (3)$$

şartı yerine getirilmelidir. Bu formül TN sistemi içinde geçerlidir.

Simgeler:

Z_s : Akım kaynağı, kablo ve iletkenler, koruma iletkeni, koruma ve işletme topraklayıcıların dirençlerinin toplamı Ω olarak.

I_a : Koruyucu düzeneğin otomatik çalışmasına sebep olan akım A olarak.

U_0 : Ana dış iletken ile toprak arasındaki gerilim (230 V) V olarak.

Kısa devrede TT sistemi TN gibi çalışır. Koruma düzeneğin bir artık (kaçak) akım koruma düzeneği olması halinde, I_a 'nın yerine artık (kaçak) çalıştırma akımı RCD'nin nominal akımı I_n (Ör. 30 mA) alınmalıdır. Bu durumda gerilim 50 V alınacaktır. TT sistemde sigorta veya minyatür kesicinin yanısıra RCD her Linyeye kesinlikle tesis edilmelidir. 2016 senesinden sonra yapılan tüm tesislerde yangın koruma cihazı AFD kesinlikle tüm devrelere tesis edilmelidir. Akım devresine RCD tesis edilirse aranan topraklama direnci:

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_{\Delta n}} \quad (4)$$

formülü ile bulunur.

IEC 60364 Kısım 41'e göre TT sistemde yeni açma zamanları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: TT sistemde yeni açma zamanları

Şebeke gerilimi	230 V	400 V	> 400 V
t_a	0,2 s	0,07 s	0,04 s

Dağıtım panosunda açma zamanı 1 s olarak verilmiştir. RCD'nin tesis edildiği bir sistemde topraklama direncinin bir veya beş Ohm istenmesi anlamsızdır. Amerika ve birçok Avrupa ülkelerinde bu değer 20 ile 100 Ohm arasında sınırlanmıştır. Sadece bir fikir edinmek açısından topraklama direnci ölçülmelidir.

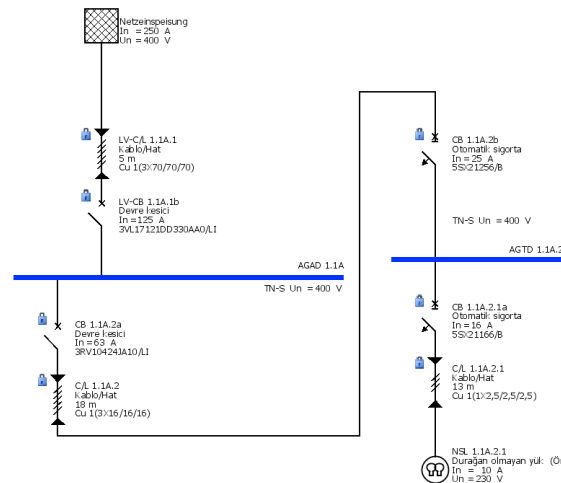
6. SEÇİCİLİK IEC 60364-5-53, 710-718

Normal elektrik tesislerinde, hastane ve insan kalabalıklarının olduğu bina ve meskenlerde kesinlikle seçiciliğin sağlanıp sağlanmadığı hesap yolu ve ölçme ile kontrol edilmelidir [4,5]. Tek kutuplu kısa devre hesabı yapıldıktan, kablo ve iletkenler seçildikten sonra tesiste seçicilik incelenir. IEC 60364 Bölüm 43 ve 53'e göre tesiste aşırı akım koruma düzeneklerinin koordinasyonu çok önemlidir. Amaç sadece hatanın oluştuğu yerde devreyi açmaktır.

Türkiye'de yapılan projelerde seçicilik yoktur. YBK'dan itibaren B32, B25 ve B16 A ard arda tesis edilmektedir. Dairelerde her Linyeye kaçak akım rölesinin (RCD 30 mA) tesisi zorunludur. Dairenin ana girişine kesinlikle tek bir RCD 30mA tesis edilmemelidir. Ana panoda 300 mA, RCD seçici olmalıdır. Bu ancak yangın riski olan tesislerde önerilir. Aslında bunada gerek yoktur. Çünkü yangın koruma cihazının (AFD) tesisi zorunlu hale getirilmiştir.

Türkiye'de uygulanan tip projelerde yapılan hataları inceleyelim (Şekil 5).

1. Bu tesiste seçicilik sağlanamaz.
2. Ana dağıtım panosuna tesis edilen RCD 300mA selektif olmalıdır.
3. Her Linyeye RCD/30mA tesis edilmelidir.
4. Son devrelere kesinlikle C tesis edilemez. Bunun yerine prizler için B16A, NYM-J 3x2,5 mm² ve aydınlatma için B10 A, NYM-J 3x1,5 mm² tesis edilmelidir.
5. Topraklama elektrodunun direnci R_s en büyük kesiciye göre seçilmelidir. Aksi takdirde RCD'nin çalıştırma akımı I_{th} dikkate alınmalıdır.
6. **Önemli açıklama: C minyatür kesici geçikmeli değildir. Kesinlikle bina ve dairelerde priz veya ışıklandırma Linyeleri için kullanılamaz.**



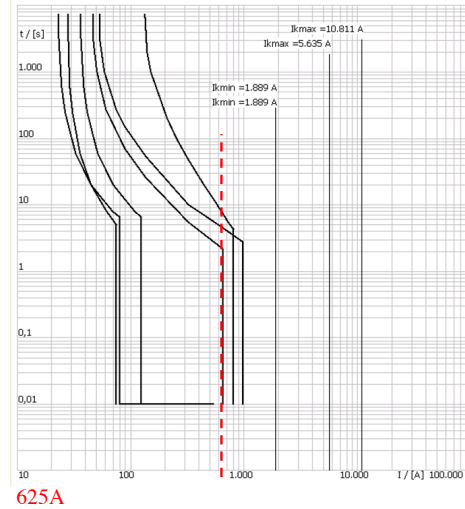
Şekil 5: Şebeke incelemesi

Sigortalarda seçicilik için en önemli şart bir önceki sigortanın anma akımı son devredeki sigortanın anma

akımına göre en az 1,6 (2) katı olmalıdır. Termik manyetik şalterler aşırı yükte şalterin anma akımına, kısa devrede tek kutuplu kısa devre akımına göre ayar edilmelidir. Her iki koruma düzenekleri için üretici firmaların verileride önemlidir.

Üç kutuplu kısa devre akımları için koruma düzeneğinin kesme kapasitesi (I_{cn}) dikkate alınmalıdır. Örnek: İlk önce ana kabloya B25A-MCB, son linyeye B16A-MCB ile tesis edildiğini düşünelim.

MCB-B16 A, MCB-B25 A, E63 A ve 125 A TMS arasında seçicilik eğrilerini inceleyelim.



Şekil 6: Seçicilikte akım-zaman eğrileri

Simaris ile yapılan hesaplara göre eğrilerde gösterildiği gibi B16 A ile B25 A arasında kesinlikle seçicilik yoktur (Şekil 6). B16 A ve B25 A kesicilerin açma akımları 80 A ve 125 A'dır. Dolayısıyla her iki kesici 625 A'de devreleri açacaktır. **MCB'ler seri olarak tesis edilemez.**

Örnek: Ana kablodaki B25 A'ın yerine E63A selektif kesici tesis edelim. Son linyeler B16 A veya B10 A olsun. Bu durumdaki selektif seçiciliği inceleyelim. Eğrilerde gösterildiği gibi E63 A ile B16 A arasında seçicilik vardır. Devre sadece B16 A tarafından kesilecektir ve sağlıklı bir tesis kurulmuş olacaktır.

TT sistemde yapılan hesaba göre 32,85 A hata akımı B16 A MCB tarafından 8,3 s de kesilecektir. Bu durumda insan ve malın kurtulma olanağı yoktur. Devreye 30 mA RCD tesis ettiğimizde insan kurtulacaktır.

Normlara göre RCD %50 ile %100 fark hata akımında devreyi kesmelidir. Ancak 22 mA'ı geçmemelidir. Kaldığı RCD her ay mekanik olarak el ile, her 6 ayda bir elektriksel olarak kontrol edilmelidir.

2007 Temmuz ayında yayınlanan IEC 60364 Bölüm 41'e göre bina içindeki 20A ve bina dışındaki 32A e kadar olan tüm linyelere (akım devrelerine) kesinlikle 30mA RCD tesis edilecektir. TT sistemde hata açma süreleri son linyelerde 230V-AC de 0,2s ve 400V-AC de 0,07s olduğunun isbatı zorunludur. Ana dağıtım panosunda 1s istenir. **TT sistemdeki daha önce geçerli olan 5 saniye açma süresi yitirilmiştir.**

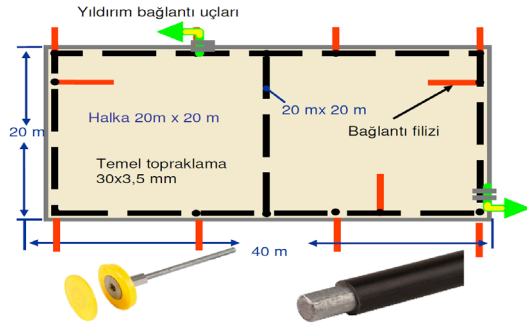
Örnek: 2 kW bir cihazın işletme akımı 8,7 A'dır. Normal şartlarda bu akım L1 den cihaza gelir ve N üzerinden devresini tamamlar. Herhangi bir gövde hatasında nötr üzerinden geçen akım geçiş direncine göre bir miktarı bu sefer cihazın gövdesine tesis edilmiş olan koruma iletkeni

üzerinden devresini tamamlar. RCD koruma iletkeni üzerinden akan kaçak akımı görecektir ve devreyi istenilen zaman ve akımda kesecektir.

7. AG ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA VE KORUMA İLETKENİ (IEC 60 364-54)

7.1 Temel Topraklama

Yeni yapılan tüm binalarda temel topraklamanın uygulanması zorunludur (**Şekil 7**) [5,7]. Son yıllarda mesafe tutucular ile yapılan temel topraklamanın yarınsırası hasırı olan veya olmayan bina temeli, beyaz ve siyah tekne meto ile yapılan topraklamalar ile tesisler daha güvenli hale gelmiştir.



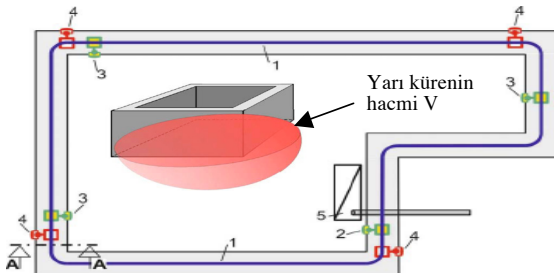
Şekil 7: Temel topraklama

Temel topraklama genişleme direncinin hesabı için aşağıda verilen **formül** artık **geçerli değildir**. D burada temel topraklayıcının **eşdeğer çapıdır**.

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{\pi \cdot D} \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi}} \quad (5)$$

Temel topraklamaya ek olarak **koruma potansiyel dengeleme** elektrik ve mekanik tesisat tesisler arasında (örnek gaz, su kalorifer, elektrik ve elektronik tesisler) ortaya çıkan hatalar nedeniyle potansiyel farklılıkları ve gerilimleri önlemek veya en az indirmek için yapılan bir işlemdir. Potansiyel dengeleme güvenliğin amaçlı olarak (koruma potansiyel (dengeleme) her bina ve tesiste uygulanması zorunlu ve gereklidir. Fonksiyon potansiyel dengeleme işletme şartlarından dolayı (örnek elektrik manyetik dayanıklılık veya binaların yıldırmaya karşı korunması gibi) gereklidir . Beton içinde tesis edilen temel topraklamanın direnci genelde bir Ohm'un altındadır.

Temel topraklamanın genişleme direnci yarı küre metotuna göre aşağıdaki **yeni formül** ile hesaplanacaktır (Şekil 8):



Şekil 8: Temel topraklama

Açıklamalar: 1.Temel topraklama 2.Topraklama iletkeni bağlantı noktası 3. Potansiyel dengeleme iletkeni bağlantı noktası 4. Yıldırım indirme iletkeni 5. YBK ve pano

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d} \quad d = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V} \quad (6)$$

Beyaz ve siyah tekne adı verilen yalıtımda temelde **temel topraklama** potansiyel düzenleyici görevini yapar. Geçiş direnci $\leq 0,2$ Ohm'un altında olmalıdır ve ölçülmelidir. Burada halka topraklama ana topraklama görevini görür (Şekil 9). Buna ek olarak kazıkların çakılması yanlıştır.



Şekil 9: Beyaz tekne metodu
Halka topraklamanın genişleme direnci:

$$R_A = \frac{(7) \rho_E}{\pi^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{2\pi \cdot D}{d} \quad D = 1,13 \cdot \sqrt{A}$$

7.2 Koruma iletkeni kesitleri

Koruma iletkenleri kesitleri ana dış iletkene bağlı olarak Çizelge 2' e göre seçilecektir.
Bu çizelge TN sistemi için geçerlidir.

Çizelge 2: Faz iletkeninin kesit alanına göre koruma iletkeninin minimum kesit alanı hesabı

Ana dış İletken Kesiti S_L mm ²	Koruma İletkeni kesiti S_{PE} mm ²	
	Koruma İletkeni ile ana dış İletken aynı malzemeden	Aynı malzemeden olursa
$S_L \leq 16$	$S_{PE} = S_L$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S_L$
$16 < S_L \leq 35$	16	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
$S_L > 35$	$\frac{S_L}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S_L}{2}$

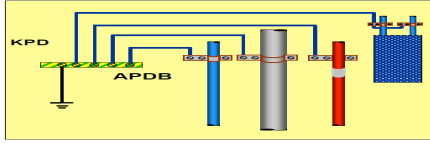
TT sistemde koruma iletkeni kesiti 25 mm² Bakır ve 35 mm² Alüminyum ile sınırlandırılmıştır. Koruma iletkenin kesiti hesaplanmak istenirse, aşağıdaki formül ile kesit, elde edilen değerden küçük olmayacaktır.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (7)$$

Burada:
 S İletkenin mm^2 olarak anma (nomina) kesit alanıdır.
 I Hata akımı. (a.a. için etkin değer).
 t Koruma cihazının hata akımına (A) karşılık geçen açma süresi (s),
 k İletken malzemesinin öz direncini, sıcaklık katsayısını ve ısı kapasitesini, ve aynı zamanda ilgili başlangıç ve son sıcaklıkları hesaba alan bir katsayı.
 k katsayısının değeri Çizelgeden okunur veya hesap yolu ile bulunur.

6.3 Koruma potansiyel dengeleme iletkenleri kesitleri

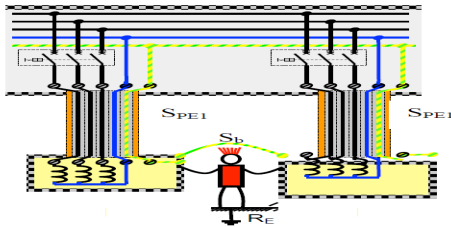
Ana potansiyel dengeleme barasına tesis edilen koruma potansiyel dengeleme iletken (KPD) kesitleri aşağıdaki değerlerden küçük olmayacaktır (Şekil 10):
Bakır 6 mm², Alüminyum 16 mm², Çelik 50mm².



Şekil 10: KPD tesisi

6.4 Tamamlayıcı potansiyel dengeleme iletken kesitleri

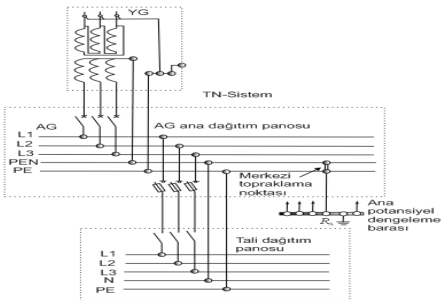
Koruma şartlarının sağlanamadığı koşullarda yapılır. İki işletme cihazını birbiriyle bağlayan tamamlayıcı potansiyel dengeleme iletkenin kesiti en küçük koruma iletkenin kesitinden küçük olmamalıdır (Şekil 11).



Şekil 11: Tamamlayıcı potansiyel dengeleme

6.5 Merkezi topraklama noktası

Koruma iletkeni ve bilgi işlem bilgi kablolardan oluşan akımlar sistemde hatalara ve bozukluklara yol açar. Topraklamanın şekli bu hatalar için belirleyicidir. TN sistemde Nötr ve koruma iletkeni tamamen ayrılmalı, transformatörün yıldız noktasından gelen hat izole edilmelidir. İşletme ve koruma topraklaması bir noktada birleştirilmeli ve topraklanmalıdır (Şekil 12). TT sistemde bu sorun yoktur ve nötr ile koruma iletkeni hiçbir zaman birleştirilmemelidir.



Şekil 12: Merkezi topraklama noktası

8. İLK VE SÜREKLİ ÖLÇÜMLER IEC 60364-600, DIN VDE 0701/0702

Elektrik tesisleri işletmeye alınmadan önce ve işletme esnasında mühendis veya yetkili tesisatçı tarafından ölçümleri yapılmalı, ölçüm sonuçları protokole geçirilmeli ve beş sene saklanmalıdır [8,9].

Ölçümler sırasıyla:

1. Koruma $< 1 \Omega$ ve potansiyel dengeleme iletkeninin $< 0,1 \Omega$ çok küçük bir dirence sahip olup olmadığı ölçülür.

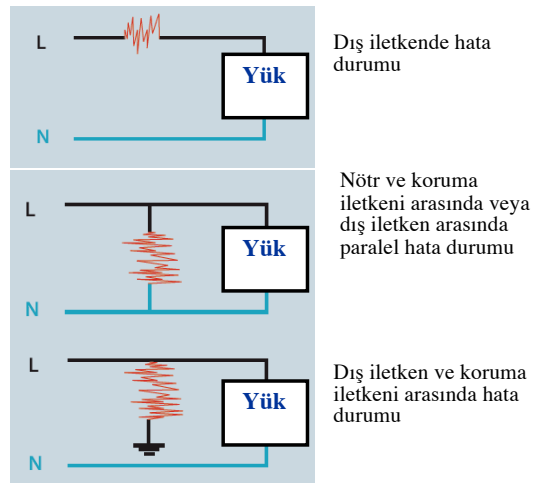
2. İletkenlerin izolasyon direnci ölçülür $> 1 M\Omega$.
3. Bir fikir edinmek açısından topraklama direnci ölçülür.
4. Çevrim (kısa devre) direnci ölçülür.
5. RCD Koruma önlemi zaman ve akım bazında denir ve ölçülür.
6. Gerekli ise zeminin izolasyon direnci ölçülür.
7. Şebekenin iç direnci gerekirse ölçülür.
8. Döner alan ölçülür.
9. Ayrıca elektrikli ev ve el cihazları örnek ütü ve fön gibi her sene sürekli olarak koruma iletkeni $< 0,3 \Omega$, izolasyon direnci $> 1 M\Omega$, dokunma veya kaçak akımlar $< 0,5 \text{ mA}$ ölçülmelidir.

Normlara uygun olmayan, kopya edilen, ezberle yapılan projeler reddedilmelidir. Uzmanlık sınavları yapılmalı herkes her alanda çalışmamalıdır. Sorun, proje yapmak, uygulamak, tesis ölçmek, yetki, bağlantı gücü, kurulu güç üzerindeki teknisyen ve mühendis tartışmalarının çok daha ötesinde kişisel gelişme, bilgi, araştırma, öğrenme, beceri ve tecrübe ile ölçülmelidir. Elektrik tesisleri, iletim, dağıtım, kısa devre hesapları koruma, AG ve YG topraklama norm ve standartlar, yönetmelikler, vs.. ve projeler yapmak için Elektrik ve Elektronik Mühendisi olup birkaç gün/saat seminare katılıp sertifika alacak kadar basit değildir. 2 yıllık teknisyen okullarındaki durum da maalesef farklı değildir. Genel olarak öğretim üyeleri ve öğretmenlerin durumu çok zayıftır. Öğretmenlerin eğitilmesi de ayrıca bir sorundur.

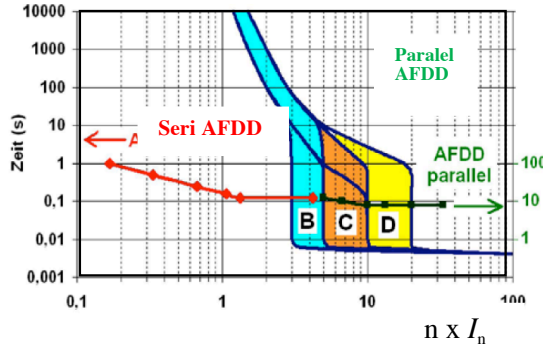
Türkiye’de maalesef sadece topraklama direnci ölçülmektedir.

9. KABLO VE İLETKENLERİN ARK HATALARINA KARŞI KORUNMASI (AFD)

2016 senesinden sonra yapılan tüm elektrik tesisleri MCB ve RCD’nin yanısıra ark hatalarına karşı AFD cihazı ile korunmalıdır. Kablo ve iletkenleri aşırı akımlara karşı koruyan cihazlar sigorta ve kesiciler uzun yıllar kanıtlanmış ve denenmiştir. Ancak sigorta ve kesiciler çok küçük olan ark akımlarını korumak için uygun değildir. Yangın koruma şalteri bu koruma boşluğunu doldurmuştur. İletkenlerde seri ve paralel hatalar, yalıtım hataları AFD, MCB ve RCD ile çok etkili bir şekilde korunacaktır (Şekil 13). Şekil 13’de görüldüğü gibi AFD çok küçük akımlarda devreyi açmaktadır.



Şekil 13: İletkenlerde hatalar [13]



Şekil 14: AFD (16 A) ve MCB eğrileri [13]

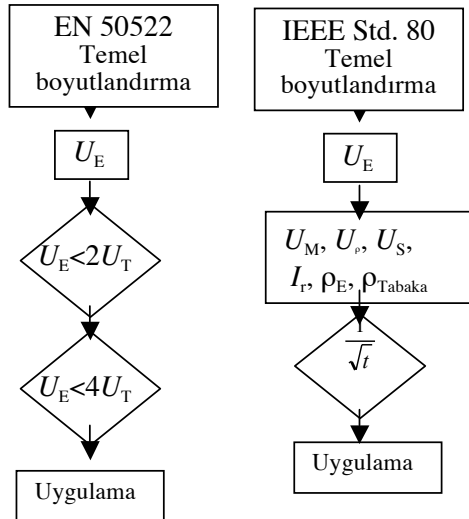
10. IEEE Std. 80 ve EN 50522 KARŞILAŞTIRMASI

EN 50522, VDE 0141' in genişletilmiş ve yenilenmiş şeklidir. Bu norm Türkiye'de yıllar önce tercüme edilmiş ve uygulanmıştır. 2001 senesinde EMO Bursa'nun öncülüğünde yapılan çalışmalar sonucu şimdiki topraklamalar yönetmeliği yayımlanmış ve aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

1. AG Elektrik tesisleri: IEC 60 364-20
2. AG Elektrik tesisleri: IEC 60 364-4-41
3. AG Elektrik tesisleri: IEC 60 364-4-442
4. Doğrulama: IEC 60 364-6-600
5. AG'de Topraklama: IEC 60 364-5-54
6. Kısa devre hesapları: IEC 60 909-0
7. YG'de Topraklama: EN 50522
8. YKS Tesisi: IEC 62305-3
9. İletişim sistemleri: DIN VDE 0800

Görüldüğü gibi Yönetmelik sadece AG ve YG'de topraklamayı değil başka konularda içermektedir.

Bu bölümde her iki norm kısaca karşılaştırılacaktır [11,12].



IEEE Std. 80'de:

- Global topraklama yok.
- Temel topraklama yok.
- Potansiyel sürüklenmesi yok.
- 50 kg ve 75 kg insan önemli.

- 0,5 s veya 1 s açma zamanına göre insan vücudundan geçen akım çok fazla.
- Bakırın erime noktası baz alınıyor (1048 °C), 80 kA.
- Halka kenarında ve dışında dokunma ve adım gerilimi önemsiz.
- Bu standart AG elektrik tesislerinde kullanılamaz!!!!

IEEE Std. 80 uluslararası bir Norm değildir.

11. SEMİNERLERDE, KİTAPLARDA VERİLEN YANLIŞ BİLGİLER

Son on senede topladığım teorik ve pratik yanlış bilgi ve terimleri, bazı sertifikalı seminer ve kitaplarda anlatılan anlamsız sözleri ve konuları, devamlı sorulan soruları isim ve adres belirtmeden bilginize sunuyorum. Yorum size ait.

1. TT şebekelerde çarpılma gerilim 50 Volt (Gerilim sınır değeri).
2. TT sistemlerde devre 30 mA de 5 saniyede kesilmeli.
3. Topraklamada tek doğru yoktur.
4. 50 Volt olacak diye bir kaide yok, kanun değil.
5. Elektrik kaçağı.
6. Topraklamanın asıl amacı gerilimi sınırlandırmak.
7. Çevre topraklaması.
8. Temel topraklama, koruma topraklaması, işletme topraklaması, fonksiyonel topraklama olarak 4' e ayırıyoruz.
9. Temel topraklama; bina üzerinde olusan statik yükün ve kaçak akımın boşaltılması için yapıyoruz.
10. Bina Rüzgardan dolayı statik yükleniyor.
11. Fazlardaki voltaj değerleri değişiyor.
12. 20 m mesafe bırakmam lazım, ayrı ayrı topraklama yaparsam 1 Ohmın altında bir değer elde etmem lazım.
13. Biz 1 ohm olarak genelliyoruz, kesin bir bilgi değildir. 1 Ohm bizim üst limitimizdir.
14. TN sistemde nötr koparsa akım makinenin gövdesindedir.
15. TT sistemde 2 tane koruma var, işletme ve koruma topraklaması.
16. Temel topraklaması yaptık, çevre topraklamasında yaptık, ve yardımcı topraklamada yaptık.
17. Yönetmeliğin amacı gerilimi sınırlandırmak.
18. Çevre topraklamasını bakıra yönlendiriyoruz.
19. Bakır levha yasaklanmış diye birşey yok. Tavsiye etmiyoruz.
20. Bir dinleyici levhadan şerite çevirin, 16 kat daha kaliteli direnç elde edersiniz diyor. Eğitici katılıyor.
21. 1 Ohm direnç değerini elde etmek istiyorsanız 1266 topraklama çubuğu kullanmanız lazım.
22. Yatay iletkenler bakır iletkenler.
23. Biz temel topraklamayı topraklama direncini düşürmek için yapıyoruz. Direnci düşürmek için çevre topraklaması yapıyoruz. Yani sigortanın sigortası.
24. Termo kaynak geçiş direncini sıfıra yaklaştırır.
25. Can simitlerimizden bir tanesi direnç düşürücü kimyasal toz kullanıyoruz, termo kaynak yapıyoruz.
26. Kaçak akım şalteri diyor fakat selektiviteden bahsetmiyor.
27. Anahtarlı otomatik sigorta diyor.
28. Kablo kesitlerinin ne kadar olacağını formülize etmiyor.
29. Selektivitede TMS' yi söylüyor fakat sigortaları söylemiyor.
30. Selektivitede 1,6 katı her yerde geçerlidir diyor.
31. Akımları hep 2 katı alıyor. Güç 12 kW ise 24 Amper diyor.
32. Girişteki anahtarlı otomatik şalter 10 kA olmak zorunda, linje 3 kA olmak zorunda diyor.
33. Trafonuz kendinize aitse gerilim düşümü aydınlatma için % 6,5 güç için % 8 alabilirsiniz.

34. Fen adamlarında proje yapıyor diyor dinleyici o zaman fark yaratın diyor, Keşif yapın, kısa devre hesabı yapın diyor.
35. Siyah tekne topraklamasında topraklama direnci kaç ohm olmalıdır.
36. Temel topraklamasından kablo bacasından yukarıya kadar şerit çıksa ve daire topraklamalarında buna bağlı olsa ne olur.
37. YG direklerinde ve Trafo binalarında koruma topraklaması nasıl yapılmalı, kaç ohm olmalıdır.
38. Transformatörde işletme topraklaması kaç ohm olmalıdır?
39. Bina çevresinde yapılan topraklama bizleri korumak için yapılır.
40. Topraklama ile sigortanın akımını sağlarız.
41. Topraklama cihazın gövdesinin bir topraklayıcıya bağlanmasıdır.
42. Temel topraklamaya ne gerek var 2-3 sene sonra galvanizler çürür hiçbir işe yaramaz.
43. Nötr ile toprağı birleştiren sistemler çok eskide kaldı.
44. İstedığınız her türlü topraklamayı yapabilirsiniz.
45. Topraklama direnci sigorta olmayan kullanılmayan yerde örnek direkt 5 ohm olmalıdır.
46. 20 A sigorta 30, 40 ve 70 A de açarmı?
47. Topraklama direnci
R = 220 Volt / 32 Amper ise
R = 7 ohm dan düşük olabilir.
48. TN sistemde, TT olduğu gibi 2 ayrı koruma iletkeni yok, 5 s daha kısa sürede kesiliyor.
49. Topraklama ile sigortanın akımını sağlarız.
50. Topraklamamın asıl amacı gerilimi sınırlandırmak.
51. Cihazlar niçin topraklanır?
Arıza akımlarını toprağa akıtmak için.
52. Toprağa kaçak olduğu zaman topraklama sigortayı attırır.
53. Cihaz üzerindeki statik elektrikleri yok etmek için topraklama yapılır.
54. Evlere gelen şebeke voltajı 220 veya 380 olarak değişebilir ve güç faktörüne göre değişir.
55. Motorun 3 fazından biri gelmiyordu. Diğer faz ile köprü yaptım, motor yine çalışmadı. Ne dersiniz?
56. 0,25 Ohmu yakalayamassak sigortanın akımını düşürecekmiş?
57. Gerilimlerin geri dönüşü için parafudr kullanmak lazım.
58. KAR çalıştığı nasıl denenecek:
Cevap: Nötr ile toprağı birbirine değdirerek deneyebiliriz. Ama hemen açacak.
59. Günlük kontrol edilecekmi? Hayır
60. KAR olduğunda topraklamayı kullanmaz.
61. KAR takıldığı yerde topraklama gerekmi? Bence yok. Avrupa ülkesinde yok.
62. 63 A'den sonra TMŞ kullanılır.
63. Topraklama direnci C 32A ise:
a) TT Sistemde:
 $R_A = U_B / I_n = 50V / 320A = 0,16 \text{ Ohm olur.}$
b) TN Sistemde:
 $R_A = U_0 / I_n = 230V / 320A = 0,71 \text{ Ohm olur.}$
64. Yıldırım akımı 20 m de sönümlenir.
65. 40 A (20 kW) üzeri TMŞ kullanın.
66. Yıldırımdan aldığımız akım ile bir lambayı 3 dakika yakıyoruz.
67. Sigortanın atması için sürekli akımın olması lazım.
68. Toprakdan akım trafo merkezine nasıl akar?
69. Potansiyel dengeleme binanın stresini almak için yapılır!
70. Üniversiteyi yeni bitirdim.
3 tane paralel çalışan bir trafo projesi aldım.
Projeyi nasıl yaparım?
71. 400 m³ toprak hesabı yaptım.
Ne yapayım?

72. Piyasada topraklama direncinin 1 , 3, 5 Ohmun altı olacak diye bir uygulama var.
73. TN sisteme geçmek büyük bir yatırım gerektirir.
74. Toprağın rengi sarı yeşil.
75. Anlamsız terimler:
a. Toprak artık akım anahtarı
b. Artık akım anahtarı
c. Toprak ölçümü
d. Otomatik anahtar
e. Koruma iletkeni üzerinden toprakla birleştirmek
f. Sıfır hattı potansiyeli
76. İşletme topraklaması koruma topraklamasından 20 metre daha derine çakılmalıdır.
77. Üniversiteyi yeni bitirmiş bir elektrik mühendisi prizi üç faza bağlıyor. Yüksek gerilimde nötr iletkeni çekiyor.
78. Bir teknisyen TT sistemde akım nasıl topraktan akar diye soruyor.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de elektrik mesleği denince akla topraklama gelir. Bu işlem topraklama direncini ölçmekten, kazıklar çakırmaktan öteye geçememiştir. Her ne kadar temel topraklama sistemi uygulansada, yapılan işin norm ve standartlara uymadığı kesindir.

Son yıllarda IEC 60364’ün tüm bölümlerinde çok önemli değişiklikler olmuştur. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları alanında çok iyi çalışmalar yapılsada, elektrik tesisleri alanındaki önemli normlar ülkemize maalesef hemen hemen hiç yansımamıştır. TSE ülkemizi IEC ve CENELEC’te temsil etmekte, standartları tercüme etmekte. Ancak bu çalışmalar pratiğe yansımamakta ve uygulamada zorluklar vardır.

Diğer taraftan yönetmelikleri Enerji Bakanlığı yayımlamaktadır. Bu TSE’ye göre bir çelişkidir. 2001 de Enerji Bakanlığı tarafından yayımlanan Topraklamalar Yönetmeliği eskimiştir. Yürürlükte olan EİTY’ni kullanmak ve uygulamak sakıncalıdır. Taslak halinde bekleyen Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği acilen ve tamamen yenilenip hemen yayımlanmalıdır. Kısa devre normu IEC 60909-0, YKS normu IEC 62305 açılan yayımlanmalıdır. Veya TSE’deki tercümeleri alınıp uygulanmalıdır. Meslek okulları ve üniversitelerde yönetmelikler dersin bir parçası olmalıdır.

En basit ve en uygun çözüm, Enerji Bakanlığı tüm IEC ve EN standartlarını tekrar tercüme etmeden, ettirmeden TSE’ye yönlendirerek resmi gazetede atıf yapıp yürürlüğe koymasındır.

Her projede uygulanması gereken işlemleri tekrar belirtelim:

- İşletme (tasarım) akımı hesaplanır.
- Aşırı akım koruma cihazının nominal akımı tesbit edilir.
- Kablo veya iletken kesiti, döşeme usulüne, ortam sıcaklığına ve damar sayısına göre Çizelgelerden okunur.
- Kısa devre hesapları yapılır.
- Şok akımlara karşı güvenlik kontrol edilir (Otomatik açma).
- Gerilim düşümü hesapları yapılır.
- Seçicilik kontrol edilir.
- Temel topraklama, tek hat ve ana potansiyel dengeleme şemaları çizilir.
- Tesis işletmeye alınmadan önce ölçümler ve testler yapılır.

Topraklama direnci hesaplarında dikkat edilmesi gereken hususları genel hatları ile tekrar belirtelim:

- TT ve TN sistemlerinde temel topraklama direncinin 2 Ω’dan küçük olması IEC ve EN normlarında

belirtilmemiştir. Böyle bir değer hiçbir kurum ve kuruluş tarafından istenemez.

- 2 Ω gerilim terazisinden dolayı verilen bir değerdir. Normlardan kalkmıştır.
- **Topraklama direnci** kaç Ohm olmalıdır gibi bir soru sorulmaz. Projeye göre hesaplanması gerekir.
- RCD kullanıldığında genel olarak topraklama direnci hesabına gerek yoktur.
- RCD tüm sistemlerde ve tesislerde her ayda bir mekanik ve her 6 ayda bir elektriksel olarak testleri yapılmalı, denetlenmelidir.
- Tüm binalarda son devrelere (Örnek 30 mA-RCD, ana dağıtım panosuna gerekli ise seçici 300 mA RCD tesis edilebilir.
- RCD kesinlikle açma kapama şalteri olarak kullanılmamalıdır.
- Binalara tesis edilen RCD'den kullanıcı, mühürlü yerlerde enerji veren kuruluş sorumludur. Söküldüğünde yasal işlem uygulanmalıdır.
- Kazık ve levha topraklamasına son verilmelidir.
- Yüksek gerilim elektrik tesislerinde topraklama direnci, topraklama empedansı, dokunma gerilimi, termik ve dinamik zorlamalar çok önemli bir yer tutar. Alçak gerilime göre hesap ve ölçmeler değişiktir.

KAYNAKÇA

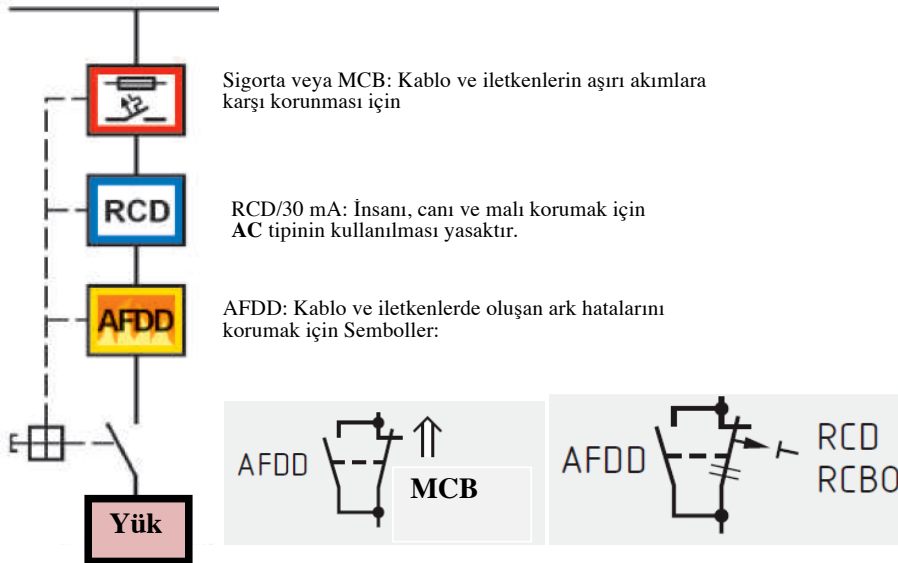
1. IEC 60364, Elektrik İç Tesisat Yönetmeliği
2. IEC 60909-0:2002-07: Short-circuit current calculation in three-phase ac-systems

3. İsmail Kaşıkçı, IEC 60 909: Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları, 2007 Birsan Yayınevi
4. İsmail Kaşıkçı, Uygulamalı AG Elektrik Tesisleri, IEC 60364 Normları ve Açıklamaları, 2010 Birsan Yayınevi
5. İsmail Kaşıkçı, AG Elektrik Tesislerinde Topraklama ve Ölçme, IEC 60364-30-41-54-600, DIN 18014, 2010 Birsan Yayınevi
6. İsmail Kaşıkçı, Elektrik Tesisleri Proje ve Uygulamaları, 2. Baskı, 2014 Birsan Yayınevi
7. İsmail Kaşıkçı, Alçak Gerilim Elektrik Tesislerinin Projelendirilmesi, Cihazlar, Standartlar, Pratik Uygulama Örnekleri, ETMD Dizisi 02, 2002 ISBN 975-97704-0-7-7
8. İsmail Kaşıkçı, Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği Uygulama Kitabı, ETMD Dizisi 01, 2002, ISBN 975-97704-0-1-5
9. İsmail Kaşıkçı, AG Elektrik Tesislerinde Topraklama ve Ölçme Tekniği, TMMO EMO İzmir, 2004, ISBN 975-97704-0-1-5
10. İsmail Kaşıkçı, YG Elektrik Tesislerinde Topraklama, TMMO EMO İzmir, 2005 ISBN 975-97704-0-1-5
11. IEEE Std. 80 Guide for Safety in AC Substation Grounding
12. İsmail Kaşıkçı, Elektrik Mühendisliği, Üretim, İletim ve Dağıtım, Birsan Yayınevi, 2013
13. Brandschutzschalter, Siemens, 5SM6, Technik-Fibel, www.siemens.de/lowvoltage/afdd

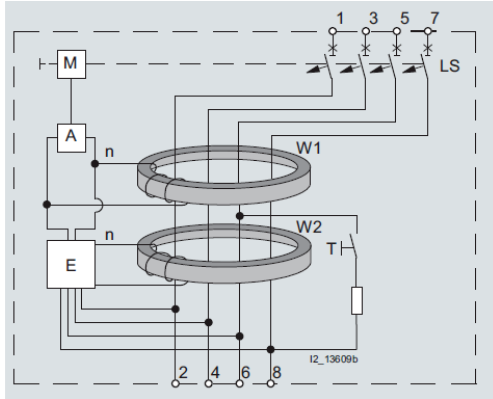
Kısaltmalar

AFD: Arc Fault Detection Device (Ark hatalarını algılama ve koruma cihazı)
AFCI: Arc Fault Circuit Interruptor (AFD+MCB), MCB ile kombine edilmiş
MCB: Miniature Circuit Breaker (Aşırı akım koruma cihazı, B ve C gibi)
RCD: Residual Current Protective Device (Artık akım koruma cihazı)

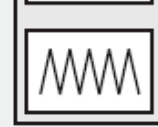
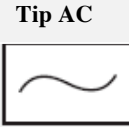
Örnek 1: Bir son akım devresinin (Linye) korunması



Örnek 2: Kombine edilmiş MCB/RCD



Tip A Tip B Tip F

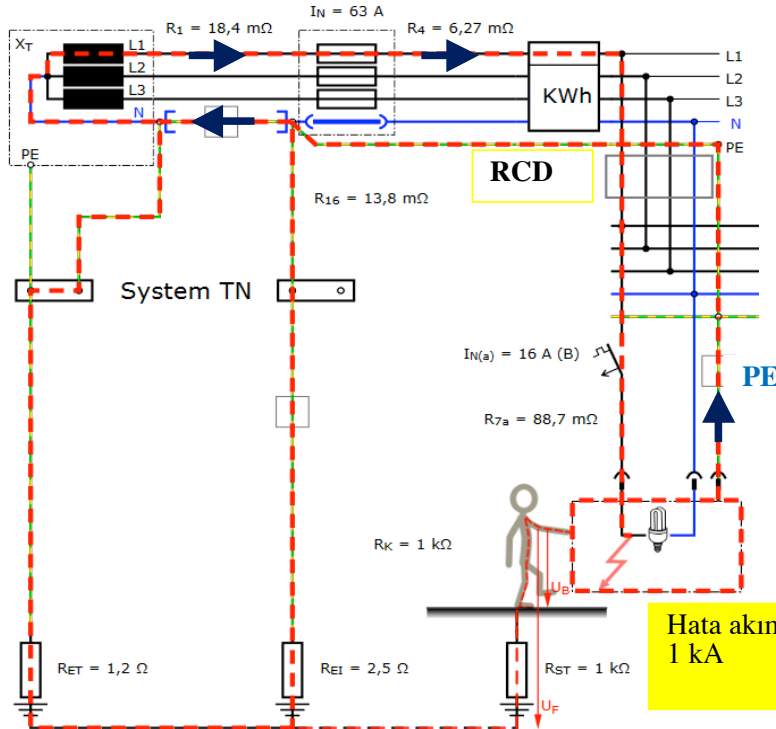


Not: Tip B en uygun olan RCD koruma cihazıdır. Tip AC kullanılmaz.

Örnek 3: Aynı topraklama koşullarına sahip TN ve TT sistemi inceleyelim.

Bu örnek INSTROM hesap ve çizim programı ile incelenmiş ve hesaplanmıştır.

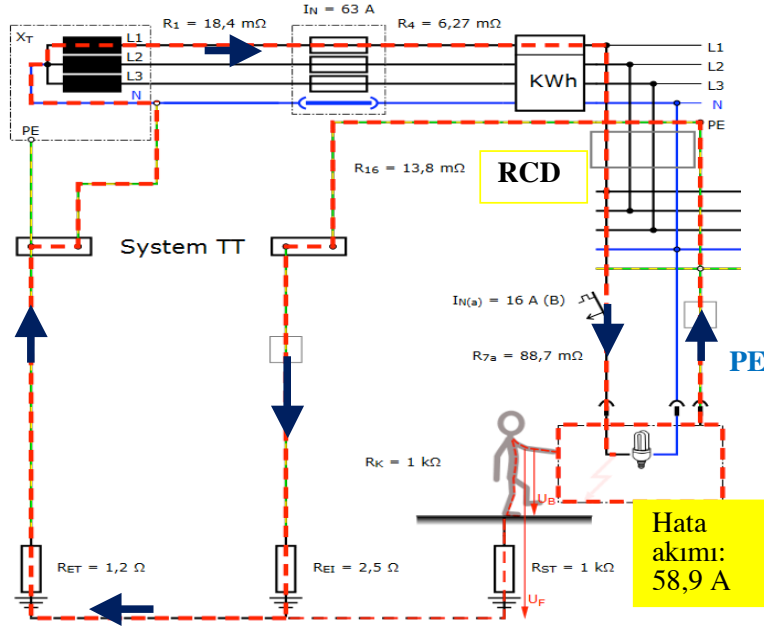
TN -Sistem



- Otomatik açma sağlandı. $1 \text{ kA} > 80 \text{ A}$
- Temel topraklama direnci 100Ω 'a çıkarıldı. Otomatik açma sağlandı. Hata akımı değişmedi.
- Koruma iletkeni koptu. Hata akımı 115 mA oldu.
- RCD/30 mA tesis edildi. Hata akımı temizlendi.

Hata akımı:
1 kA

TT-Sistem



- Otomatik açma sağlanmadı. $58,9 \text{ A} < 80 \text{ A}$
- Temel topraklama direnci 100Ω 'a çıkarıldı. Otomatik açma sağlanmadı. Hata akımı $2,39 \text{ A}$ 'e düştü.
- Koruma iletkeni koptu. Hata akımı 115 mA oldu.
- RCD/30 mA tesis edildi. Hata akımı temizlendi.

Bir fikir edinmek açısından çeşitli ülkelerde istenen topraklama dirençleri aşağıda verilmiştir. Bu değerler toprağa daha çok bakır, kazık vs. çakılması anlamına gelmez. Avrupa ülkelerinde IEC 60364, ABD'de NEC geçerlidir.

	Ülkeler	Yapılar	Koruma topraklaması Genişleme direnci	İşletme topraklaması
1	İtalya	TT ve TN	$R_A \leq 20 \Omega$	$R_B \leq 2 \Omega$
2	İspanya	TT ve IT	$R_A \leq 25 \Omega$	$R_B \leq 2 \Omega$
3	Fransa	TT ve TN		$R_B \leq 2 \Omega$
4	Belçika	TT ve TN	AG, $R_A \leq 30 \Omega$	
5	Avusturya	TT ve TN	$R_A \leq 100 \Omega$	
6	ABD	TN	YG, $Z_E \leq 1 \Omega$ AG, $R_A \leq 25 \Omega$ SPD $R_A \leq 1 \Omega$	$R_B \leq 1-5 \Omega$
7	UK	TT ve TN	Tablo 41.5 $R_A > 200 \Omega$ sabit değil 542.2.2'e bak	$R_B \leq 2 \Omega$
8	Almanya	TT ve TN	R_A için bir değer yok	R_B için bir değer yok
8	Hollanda	TN	$R_A \leq 166 \Omega$	
9	Norveç	IT		
10	İrland	TN	$R_A < 100 \Omega$	
11	Türkiye	TT, TN veya her ikisi karışık	$R_A \leq 2 \Omega$ $R_A \leq 1 \Omega$ $R_A \leq 5 \Omega$ $R_A \leq 0,5 \Omega$ $R_A \leq 0,3 \Omega$ Direkler $R_A \leq 5 \Omega$ YKS $R_A \leq 10 \Omega$	$R_B \leq 2 \Omega$
12	Türkiye	Yüksek gerilim: 380 kV : $Z_E \leq 0,5 \Omega$, 154 kV: $Z_E \leq 1 \Omega$ 31,5 kV: $Z_E \leq 2 \Omega$		