

ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6) İLETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI

- * İLETKEN KESİTLERİNİN BELİRLENMESİ
- * KABLOLARIN YÜKLENME KAPASİTESİ HESABI
- * HAVANIN TERMAL DİRENCİ
- * KABLOLARIN DÜZENLENMESİ
- * ORTA GERİLİM SİSTEMLERİNDE BAĞLANTI HATLARININ VE KABLO KESİTİNİN TAYİNİ
- * KABLO ISINMA KAYIPLARI
- * BARA SİSTEMLERİ
- * BUSBAR TAŞIMA SİSTEMLERİ
- * KABLOLARIN TESİS TASARIMI
- * KABLO TAŞIYICILARI

ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6)

İletkenlerin Boyutlandırılması

Notları Derleyen:
Aydın Bodur
Emre Metin

Notları Yayına Hazırlayan:
Aydın Bodur
Hakkı Ünlü

M.Turgut Odabaşı'na Saygılarımızla

Elektrik Kuvvetli Akım Notları, Turgut Odabaşı'nın Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinde yayınladığı yazılardan, 'Elektrik Kuvvetli Akım Tesisat El Kitabı' ile her bölümün sonunda belirtilen ABB, Schneider, Chevron, NAFVAC ve Siemens'in hazırladığı İmalat, Bakım, Montaj El kitaplarından EMO için derlenmiştir.



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6): İletkenlerin Boyutlandırılması

Notları Derleyen:

Aydın Bodur
Emre Metin

Notları Yayına Hazırlayan:

Aydın Bodur
Hakkı Ünlü

621.31906 BOD 2011

Elektrik Kuvvetli Akım: İletkenlerin
Boyutlandırılması / Elektrik Mühendisleri Odası-1.bs-
ankara,2011

258 s.;24 cm ISBN 978-605-01-0061-7 (EK/2011/11)

Elektrik

Elektrik Kuvvetli Akım Notları, Turgut Odabaşı'nın Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinde yayınladığı yazılardan, 'Elektrik Kuvvetli Akım Tesisat El Kitabı' ile her bölümün sonunda belirtilen ABB, Schneider, Chevron, NAVFAC ve Siemens'in hazırladığı İmalat, Bakım, Montaj El kitaplarından EMO için derlenmiştir.

İÇİNDEKİLER

6.1. İletken kesitlerinin belirlenmesi	9
6.1.1. Kablo tipinin seçimi	10
6.1.2. Kablo kesiti hesaplarında işlem sırası	11
6.1.3. Maksimum tasarım akımının belirlenmesi	12
6.1.4. Yük kullanma faktörü	13
6.1.5. Genel kural	14
6.1.5.1. Nominal veya ayar akımı I_N	14
6.1.5.2. Klasik açtırma akımı	14
6.1.6. Kabloların nominal geriliminin belirlenmesi	15
6.1.6.1. Nominal gerilim	15
6.1.6.2. İşletme gerilimi	16
6.2. Kabloların yüklenme kapasitesi hesabı	17
6.2.1 Termal dirençler	21
6.2.1.1 Kablonun termal direnci :	21
6.3.Havanın termal direnci :	26
6.3.1. Havada yatay düzenleme :	26
6.3.2. Atmosferik basınç :	33
6.3.3. Ortam sıcaklığı :	35
6.4. Kabloların düzenlenmesi	36
6.5. Toprağın termal direnci	39
6.5.1. Toprak içindeki bir kablonun sıcaklık alanı	39
6.5.2. Toprak termal direncinin açıklanması	41
6.5.2.1. Günlük yüklenme eğrileri ve karakteristik çap d_y	43
Karakteristik çap d_y eşitlik 54'den	49
Termal-özgül direnç için $\rho_E = 1 \text{ Km/W}$	49
Örnek:	49
Tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV farklı işletme şartlarında toprak içine tesis edilmiş	49
6.5.3. Toprakta gruplandırma	53
6.6. Sapma şartları	63

6.6.1. Tesis metotları.....	63
6.6.2. Havada tesis edilen kablolar (havai hatlar)	69
6.6.2.1. f_1 Düzeltme faktörü	70
6.6.2.2. f_2 Düzeltme faktörü	72
6.6.2.3 Kabloların kesitlerini belirlemek için aşağıda ..	78
6.6.3. Kabloların toprak içinde tesis edilmesi.....	81
6.6.3.1. f_1 Düzeltme faktörü	81
6.6.3.2. f_2 Düzeltme faktörü.....	82
6.6.3.3. f_2'' Düzeltme faktörü	83
6.6.3.4. f_3 Düzeltme faktörü.....	84
6.6.3.5. Kablo kesitinin tayini için işlem sırası.....	84
6.6.4. Dengeli 3-fazlı sistemler üzerine harmonik akımların etkileri:	85
6.6.5. Tek sayılı harmoniklerin faz iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması	90
6.6.6. Kısa süreli ve aralıklı çalışma halinde kablo kesitinin belirlenmesi	93
6.6.7. Kabloların havalandırmasız kanallarda ve tünellerde tesis edilmesi	95
6.7. Orta gerilim sistemlerinde bağlantı hatlarının ve kablo kesitinin tayini.....	98
6.7.1. Kesit tayini için işlem sırası.....	98
6.7.2. Maksimum Dizayn Akımı (I_B) tayini.....	99
6.7.3. Kablolar ve bağlantı hatlarında akım taşıma kapasitelerinin tayin edilmesi.....	99
6.8. Gerilim düşümü hesabı	104
6.8.1 Ohmik metoda göre gerilim düşümü hesabı	104
6.8.2. Uzun kablo halinde gerilim düşümüne göre kablo kesitinin belirlenmesi	111
6.8.3. MVA metodu ile gerilim düşümü hesapları.....	115
6.9. Kablo ısınma kayıpları	135

6.10. Kabloların kısa devre şartları altında	ısınma
açısından kontrolü	136
6.10.1 Kısa devre şartları altındaki performans	136
6.10.2. Kısa devre çalışması:.....	138
6.10.3 İletkenin kısa devre taşıma kapasitesi	140
6.10.4. Kablo ekranlarının, metal mahfazalarının ve zırhların kısa devre dayanım kapasiteleri.....	154
6.10.5. Kablo ekranı topraklama şartları	158
6.10.6. Kablo ekranındaki termik etkiler	162
6.10.7. Ekranların çapraz bağlanması	162
6.10.8. Kısa devre dinamik zorlanma.....	164
6.10.9. Nötr iletkeninin minimum kesitinin tayini	167
6.10.10. Koruma (PE) iletkeni	170
6.10.11. OG/AG transformatoru ve ana AG panosu arasındaki koruma iletkeni kesitleri	175
6.10.12. TT sistemlerde PE koruma iletkeni kesitleri aşağıda verilen değerlerle sınırlandırılır.....	176
6.10.14. Nötr iletkenlerinin kesiti	177
6.11. Bara sistemleri.....	180
6.11.1. Giriş.....	180
6.11.2. Bara tipleri.....	181
6.11.4 . Bara malzemelerinin seçimi	183
6.11.5. Baraların akım taşıma kapasiteleri	185
6.11.5.1. Dizayn şartları	185
6.11.5.2. Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri	188
6.11.6. Kısa devre etkileri	192
11.6.1.2 Baraların kısa devre akımları etkisiyle ısınması	192
6.11.6.2. Kısa devrede elektrodinamik zorlanma.....	193
6.11.7. Baraların bağlanması.....	195
6.11.7.1. Bara bağlantı metotları	195
6.11.7.2. Bağlantı direnci	196
6.11.7.3. Kontak geçiş direnci.....	198
6.11.7.4. Kontak basıncının etkisi	198

6.11.7.5. Civata bağlantılarının düzenlenmesi.....	200
6.11.8. Bara empedansları.....	201
6.11.8.1. Direnç.....	201
6.11.8.2. Endüktans ifadeleri	204
6.11.9. Baraların boyutlandırılması.....	206
6.11.9.1. Baraların boyutlandırılmasında işlem sırası	206
6.11.9.3. Baraların fiziksel karakteristikleri.....	207
6.11.9.4. Termik dayanım	207
6.11.9.5. Elektro dinamik dayanım	211
6.12 . Busbar taşıma sistemleri (BTS)	212
6.12.1. Dağıtım busbarları.....	212
6.12.2. Besleme veya bağlantı busbarları	213
6.12.3. Koruma elemanları.....	215
6.12.4. Teknik özellikler	216
6.12.4.1 Kısa devre şartları altındaki performans	216
6.12.5. Besleme sistemi	217
6.12.6. BTS geometrisi	217
6.12.7. BTS akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi	218
6.12.8. BTS koruması	220
6.12.8.1. BTS Aşırı yüke karşı koruma	220
6.12.8.2. BTS kısa devreye karşı koruma	221
6.12.9. BTS’lerde gerilim düşümü.....	222
6.12.10. Büyük endüstriyel tesislerde BTS uygulamaları	226
6.12.10.1. Üç taraftan beslenen sistemler	226
6.12.10.3. İki taraftan beslenen ana dağıtım busbarlı sistemler	227
6.13. Kabloların tesis tasarımı.....	228
6.13.1. Kablolarda izin verilen bükülme yarıçapları.....	231
6.13.2. Kabloların beton boru içinde toprakta tesis edilmesi	232
6.14. Kablo taşıyıcıları	234
6.14.1. Payanda ve tutucu bağlantıları	234
6.14.2. Kablo taşıyıcıları ve tutucuları.....	234

6.14.2.1. Trapez tip tutucu	235
6.14.2.4. Merkezi askı tutucu	238
6.14.2.5. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu	239
6.14.2.6. İki kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu	239
6.14.2.7. Tek raylı kablo askı tutucuları.....	239
6.14.3. Kablo taşıyıcı payandaları.....	240
6.14.4. Taban ve çatı tesisleri.....	240
6.14.5. Düşey uygulamalar.....	241
6.14.5. Kablo taşıyıcılarının doğrusal tesisi	241
6.14.5.1. Doğrusal bölümde pozisyonlama	241
6.14.5.2. Genleşme ek plakaları	242
6.14.5.3. Düşey ayarlanabilen bağlantı ek plakaları .	245
6.14.5.4. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakaları	246
6.14.6. Kablo taşıyıcılarının panoya veya döşenmeye giriş bağlantı plakaları	246
6.14.7. Kablo taşıyıcısı redüksiyon (kesit azaltma) bağlantısı	247
6.14.8. Kablo taşıyıcısı yüksekliğini azaltma bağlantı ek plakaları	247
6.14.10. Sonlandırma plakaları	248
6.14.11. Tek raylı kablo taşıyıcısında montaj birleştiricileri	248
6.14.12. Bağlantı tesisleri.....	249
6.14.12.1. Bağlantılar için tavsiye edilen tutucu yerleri	249
6.14.12.2. Yatay dirsek tutucuları	249
6.14.12.3. Yatay T bağlantısı tutucuları.....	250
6.14.12.4. Yatay Y bağlantısı tutucuları	250
6.14.12.5. Yatay 4lü geçiş bağlantıları tutucuları	251
6.14.12.6. Redüksiyon bağlantıları	251
6.14.12.7. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri	252
6.14.12.8. Düşey kablo taşıyıcıları T bağlantıları	252
6.14.12.9. Kablo destek bağlantıları.....	253
6.14.13. Aksesuarlar.....	253

6.14.13.1. Bariyer bantları	253
6.14.13.2. Kablo taşıyıcılarından çıkışlar	254
6.14.13.3. Kablo kanalından kablo taşıyıcısına geçiş	254
6.14.13.4. Kablo tesisat boruları ile kablo taşıyıcıları arasındaki adaptörler	255
6.14.14. Topraklama ve bağlantılar	256
6.14.14. Ayrı topraklama bağlantı hatlı tesis edilen kablo taşıyıcıları	257
6.14.15. Atlama bağlantıları	257
6.14.16. Kabloların kablo taşıyıcı üzerine tesisi	257
6.14.17. Kablo çekme aparatları	258
6.14.18. Kablo çekme makaraları	258
6.14.19. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması	258
FAYDALANILAN KAYNAKLAR	259
SON SÖZ	259

6.1. İletken kesitlerinin belirlenmesi

İletken kesitlerinin hesaplanması ve belirlenmesi için aşağıda belirtilen kriterler göz önüne alınır.

1. İletken, güç kaynağına bağlanan ekipman veya tesis bölümünün çekeceği azami akımı veya yükü herhangi bir zarara ve aşırı ısınmaya uğramadan sürekli olarak taşıyabilecek kapasitede olmalı
2. İletkenin bağlandığı cihazlarda ve tüketicilerde gerek geçici çalışma şartlarında gerekse sürekli çalışma şartları altında işletmesinde performans düşüklüğüne neden olacak ve standartlarda öngörülen değerlerden fazla gerilim düşümü meydana getirmemeli
3. Kısa devre veya toprak hatası gibi herhangi bir hata halinde bağlı olduğu koruma cihazında standartların öngördüğü sürede koruma cihazına açma yaptırabilecek seviyede hata akımı meydana getirmeli ve belirlenen hata açma süresinde meydana gelen hata akımının yol açacağı termik ve elektrodinamik etkilere dayanıklı olmalı ve söz konusu hataların giderilmesi sırasında oluşabilecek gerilim güç frekansındaki gerilim yükselmelerine ve osilasyon frekansındaki gerilim darbelerine karşı uygun izolasyon seviyesinde olmalı.
4. Motorların doğrudan yol alması gibi darbeli yüklenme durumunda oluşabilecek geçici olay sürelerinde uygun gerilim düşümü meydana getirerek şebeke stabilitesini devam ettirebilecek nitelikte olması ve söz konusu sürede geçecek akımın neden olabileceği termik ve elektrodinamik zorlanmalara dayanıklı olması gerekir.
5. İzolasyon hatasında meydana gelebilecek tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerine karşı insan hayatını

koruma açısından koruma cihazını standartların ön gördüğü sürede açtırabilecek nitelikte olmalıdır.

6.1.1. Kablo tipinin seçimi

Kablo tipinin seçiminde seçiminde aşağıdaki özellikler göz önüne alınır.

- İletken malzemesi (Bakır, Alüminyum): Maliyet, akım taşıma kapasitesi, korozyon şartlarına karşı direnci, boyut ve ağırlık gerekliliklerine bağlı olarak seçilir. Genelde bakırın akım taşıma kapasitesi aynı kesitteki alüminyuma göre %30 daha fazladır. Aynı kesitteki alüminyum iletkenin elektrik direnci bakıra göre %60 daha fazla ve ağırlığı %35 kadar azdır.
- İzolasyon malzemesi (PVC, XLPE, EPR) : İzolasyon malzemesi kablunun normal ve kısa devre şartları altında maksimum sıcaklığına dolayısıyla akım taşıma kapasitesine etki eder.
- İletken tipi (tekdamarlı, tekdamarlı ekranlı, çok damarlı): Tesis metodunun gerektirdiği tesis zorluğu (bükülme, güzergah boyunca ekler, izolasyon derecesi, mekanik mukavemeti) dikkate alınarak seçilir.
- Kablolar tesis gerilimleri, kullanılan tesis gerilimleri esas alınarak belirlenmelidir.

Endüstriyel tesislerde 95 mm² den büyük kesitlerdeki kablolar gerek birim mm² deki akım yoğunluğunun düşük olması ve gerekse iletken çapının büyümesinden dolayı skin efekt (iletken cidar/yüzey-kabuk) etkisinin artmasından dolayı nadir olarak kullanılır. Zira mm² başına akım taşıma kapasitesi düşük olacağından ve bakır kayıpları artacağından gerek yatırım maliyetleri ve gerekse işletme giderleri

açısından ekonomik olmaktan çıkar. Bu durumda yüksek değerlerde yük taşınması durumunda yükün durumuna göre 2 veya 3 adet paralel kablo tesis edilir, daha yüksek yük devrelerinde ve daha uzun mesafelerde OG dağıtım önerilir.

6.1.2. Kablo kesiti hesaplarında işlem sırası

1. Kademe

- Beslenecek cihazlara ait yük gücü kullanarak I_B maksimum dizayn akımı ve Koruma cihazına ait I_N nominal akımı veya açtırma akım eşik değeri bulunur.
- Kablonun beslediği cihazın terminallerine kadar I_{sc} kısa devre akımı belirlenerek kablounun aşırı akım ve aşırı yük termik dayanımına uygun ve seçiciliği sağlayabilecek koruma cihazının açma ve kapama kapasitesi ve hata açtırma akım eşik değeri belirlenir.

2. Kademe

- Tesis şartlarına bağlı olarak (tesis metodu, ortam sıcaklığı vb) f toplam düzeltme faktörü tayin edilir.
- I_N ve f 'ye bağlı olarak kablo imalatçı kataloglarından uygun iletken kesiti seçilir.

3. Kademe

- İzin verilen maksimum gerilim düşümü kontrol edilir.
- Kısa devre durumunda iletkenlerin termik dayanımları kontrol edilir.
- TN ve IT sistemlerde dolaylı temaslara karşı insan hayatını koruma ile ilgili maksimum hat uzunluğu kontrol edilir.

6.1.3. Maksimum tasarım akımının belirlenmesi

Tesis tipine uygun olarak I_B maksimum tasarım akımı belirlenir. Her bir cihaz kendine ait güç kaynağı tarafından besleniyorsa; I_B maksimum dizayn akımı, en az beslenen cihazın nominal akımına eşit olmalıdır. Diğer taraftan hat sistemi, birden fazla cihazı besliyorsa; I_B maksimum dizayn akımı tesisin kullanma ve eş zamanlık faktörü hesaba katılarak bulunan çekilen akımların toplamıdır.

Elektrik motorlarının yol alması veya yüklerin periyodik olarak devreye girmeleri durumunda akım darbeleri, bu sırada oluşacak gerilim düşümleri ve bunların termik etkileri de hesaba katılır.

Bazı tesislerde ileride olabilecek gelişmelerin de hesaba katılması istenir. Akımlar bu gelişmeler göz önüne alınarak belirlenir ve ileride olabilecek güç artışları maksimum dizayn akımına ilave edilir.

Tesisteki yüklerin çektiği akımların belirlenmesi:

Doğru akım için
$$I = \frac{P(W)}{U(V)}$$

Alternatif akımda

Bir fazlı sistemlerde
$$I = \frac{S(VA)}{U(V)}$$
 ve 3-fazlı sistemlerde

$$I = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)}$$

S : Görünen güç tüketimi (VA)

U : 1-fazlı güç beslemesinde iki iletken arasındaki gerilim
3-fazlı güç beslemesinde faz-faz gerilimi

İletkenden harmonik akımları aktığında; bu akımlar hesaba katılır. İletken kesitini seçmek için aşağıda verilen ifade ele alınır.

$$I_{rms} = I_1 + \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2$$

I_1 50 Hz frekansta akımın temel dalga değeri

I_h h harmonik sayısına göre akım değeri

Güç faktörü ve verim göz önüne alınarak görünen gücün belirlenmesi

$$S = \frac{P}{\eta \cdot \cos \phi} \text{ kVA}$$

P aktif güç Kw

η Verim %

$\cos \phi$ güç faktörü

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos \phi}$$

6.1.4. Yük kullanma faktörü

Endüstriyel tesislerde tayin edilen cihazlar kullanımda hiçbir zaman tam yüküne erişmezler. Kullanım faktörü k_U genellikle 0,3 ila 1 arasında değişir. *Kullanım faktörü, motorlar için 0,75 ve aydınlatma ve ısıtma yükleri için 1 alınabilir.*

Eş zamanlık faktörü ks: endüstriyel tesislerde aynı besleme sistemi üzerine bağlanan yükler aynı anda devrede olmazlar. Bu durumu göz önüne almak için iletken boyutlandırılmasında eş zamanlık faktörü uygulanır. *Eş zamanlık faktörü aydınlatma, aydınlatma ve klima sistemleri*

için 1 ve prizler için 20 adete kadar 0,1 ile 0,2 uygulanır. Nominal akımları aynı olan devrelerde 2-3 adete kadar eşzamanlık faktörü 0,9; 4-5'e kadar 0,8; 5-9'a kadar 0,7 ve 10 ve daha yukarı adetlerde 0,6 alınabilir.

6.1.5. Genel kural

IEC 364'e göre kesici veya sigorta gibi koruma cihazlarının doğru işlem görebilmesi için besleme hatları için aşağıda belirlenmiş şartların yerine getirilmesi gerekir.

6.1.5.1. Nominal veya ayar akımı I_N

I_Z kablonun veya besleme hattının azami yük taşıma kapasitesi

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

Röle ayar akımı veya sabit akımlı koruma cihazının (anahtarlı otomatik sigorta ve kesici) açtırma akım eşik değeri maksimum dizayn akımından büyük, kablonun azami akım taşıma kapasitesinden küçük olmalıdır.

Not: Motorların direkt yol almasında I_Z akımı motor besleme kablusunun yol alma süresinde taşıyabileceği akım olacağı göz önüne alınmalıdır.

6.1.5.2. Klasik açtırma akımı

$$I_2 \leq 1,45.I_Z$$

Kesicilerde

IEC 898 de belirtilen konutlarda ve iş yerlerinde kullanılan kesicilerde

$$I_2 \leq 1,45.I_Z$$

IEC 947-2 de belirtilen endüstriyel tesislerde kullanılan kesicilerde

$$I_2 \leq 1,45.I_{set}$$

$I_N \leq I_Z$ iken $I_2 \leq 1,45.I_Z$ olacaktır.

Sigortalarda

IEC 269-1 e göre

$$I_2 = k_2.I_N \Rightarrow k_2 = 1,6.....1,9 \Rightarrow k_3 = \frac{k_2}{1,45}$$

Eğer $I_N = \frac{I_Z}{k_3}$ ise $I_2 \leq 1,45.I_Z$ olacaktır

Buna göre g sigortalar için

$$I_N \leq 10A \rightarrow k_3 = 1,31$$

$$10 < I_N \leq 25A \rightarrow k_3 = 1,21$$

$$I_N > 25A \rightarrow k_3 = 1.10$$

6.1.6. Kabloların nominal geriliminin belirlenmesi

6.1.6.1. Nominal gerilim

Güç kablusunun nominal gerilimi ilgili elektriksel karakteristikleri göz önüne alınarak kablunun testinin ve

konstrüksiyonun yapılacağı gerilim değeridir. Nominal gerilim, U_0/U Volt gibi iki gerilim değeri ile belirlenir. U_0 faz iletkeni ile toprak arasındaki RMS efektif gerilim değeri, U çok damarlı kablolar veya tek damarlı kablo sistemlerinde iki faz iletkeni arasındaki RMS efektif gerilim değeridir. Alternatif akım sistemlerinde bir iletkenin nominal gerilimi, en az kablonun tesis edildiği yerdeki sistemin gerilimine eşit olmalıdır. Bu uygulama ya U_0 gerilim veya U gerilimi esas alınarak gerçekleştirilir. Doğru akım sistemlerinde kablonun nominal gerilimi, sistemin nominal geriliminin 1,5 katı kadar olabilir.

6.1.6.2. İşletme gerilimi

İşletme gerilimi güç sisteminde belirli bir yerde ve zamanda iletkenler arasına veya iletken ile toprak arasına uygulanan gerilimdir.

İzin verilen sürekli işletme gerilimi

0,6/1 kV gerilime kadar U_0/U nominal gerilimli kablolar, 3-fazlı ve 1-fazlı AC sistemlerde ve DC tesislerde izin verilen sürekli işletme gerilimleri, nominal gerilim değerlerini aşağıda verilen oranlar kadar aşabilir.

450/750 kV nominal gerilimli kablolar, %10 ve
0,6/1 kV nominal gerilimli kablolar, %20'dir.

6.2. Kabloların yüklenme kapasitesi hesabı

Kablo iletkeninden akan akımdan dolayı iletken ve kablonun iletken içinden akan akımın neden olduğu metal kılıflarda meydana gelen kayıplardan dolayı ısınır. Burada dielektrik kayıplar ihmal edilecektir. Kararlı hal şartları altında ısı yayılımı, kablodaki tüm kayıpların toplamına eşittir. Isı kayıpları, kablonun yüzeyinden konveksiyon ve radyasyonla ortama yayılır. Kablo toprak altına tesis edilirse; kayıplardan dolayı oluşan ısı, kablo yüzeyinden ve kabloyu saran topraktan çepeçevre atmosfere yayılırlar. İletken sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark, yaklaşık olarak toplam kayıplarla orantılıdır. Isı yayılımının kanunu Ohm kanununa benzerlik arz eder.

Ø ısı akışı, I elektrik akımına, $\Delta\theta_L$ sıcaklık farkı, U gerilimine ve toplam termik direnç ΣT , R elektrik direncine karşılık düşer.

Böylece $U = I.R$ denkleminde

$$\Delta\theta = \Phi.\Sigma T \text{ elde edilir.}$$

Ø ısı akışı (kayıplar); P'_i yük akımına bağlı ısı kayıpları ve P'_d besleme gerilimi ile ilgili dielektrik kayıpların toplamıdır.

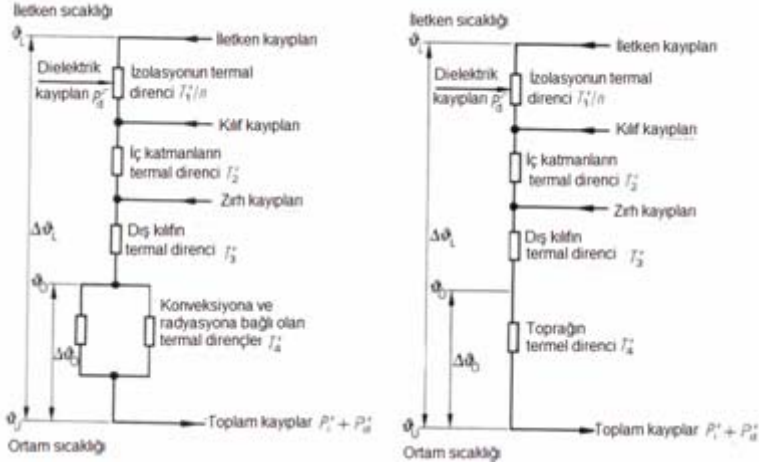
T'_K Kablonun termal direnci

T'_4 Konveksiyon ve radyasyona bağlı olan termal direnci

T'_L Havanın termal direnci

T'_E Toprağın termal direnci

Elektrik akımının akışı ile ısı akışı arasındaki benzerliği kullanarak Şekil 6.1 de gösterilen eşdeğer diyagram çizilebilir.



a) Kablonun havada tesisi

b) Kablonun toprakta tesisi

Şekil 6.1: *Kabloda ısı akışı için eşdeğer devre*

P'_i : İletkende, metal bölümlerde ve kablo zırhlarında oluşan yük akımı ile bağlantılı ısı kayıpları

P'_d : Kablo izolasyonunda meydana gelen dielektrik kayıpları

ϑ_L : İletken sıcaklığı,

$\Delta\vartheta_L$: İletken sıcaklığındaki artış

ϑ_0 : Kablo yüzeyinin sıcaklığı

$\Delta\vartheta_0$: Kablo yüzeyindeki sıcaklık artışı

ϑ_u : Ortam sıcaklığı

n adet iletkenin akım akmasından dolayı bir kabloda oluşan kayıplar

$$P'_i = n.I^2.R'_{wr}$$

ve dielektrik kayıplar

$$P'_d = n.\omega.C'_b.\left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right).\tan \delta$$

R_{wr} efektif direnç müsaade edilen işletme sıcaklığında sabit olup aşağıda gösterilen eşitlikle belirlenir.

$$R'_{wr} = R'_g + \Delta R = R'_g (1 + y_s + y_p) (1 + \lambda_{11} + \lambda_2)$$

$\mathcal{G}_{Lr}$ İzin verilen işletme sıcaklığında ki doğru akım direnç değeri

$$R'_g = R'_{20} [1 + \alpha_{20} (\mathcal{G}_{Lr} - 20)] \quad \text{ve ilave}$$

direnç

$$\Delta R' = R'_{wr} - R'_g$$

Alternatif akım kayıplarına bağlı akımların sebep olduğu iletken direncindeki ölçülebilir yükselme ilave dirençle belirlenir. Bu kayıplar her bir iletkende mevcut olan skin efekt/kabuk etkisi ve proximity efekt/yakınlık etkisi (y_s ve y_p) indüksiyon ve eddy akımları tarafından metal ekranda meydana gelen (λ_{11}) ve aynı şekilde metal zırh üzerinde (λ_2) faktörlerine tekabül eden akımların her bir iletken üzerindeki sıcaklık yükselmesi aşağıdaki ifade ile belirlenir.

Kablonun gerçek termal direnç değeri

$$T'_K = \left(\frac{T'_1}{n} \right) + T'_2 + T'_3$$

İfadelerde açıklık ve basitlik elde etmek için; fiktif termal direnç tanımlanır. Akım tesirinden dolayı ısı kayıpları için fiktif termal direnç

$$T'_{Ki} = \frac{\frac{T'_n}{n} + (1 + \lambda_1) T'_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} + T'_3$$

Dielektrik kayıplarına bağlı olan fiktif direnç

$$T'_{Kd} = \frac{T'_1}{2n} + T'_2 + T'_3$$

Bu bağlantılardan $\mathcal{G}_{Lr}$ müsaade edilen işletme sıcaklığı ve $\mathcal{G}_U$ bir ortam sıcaklığı için

$$I_z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U - \Delta \mathcal{G}_d}{n \cdot R'_{wr} (T'_{Ki} - T'_4)}}$$

Dielektrik kayıplarından dolayı sıcaklık yükselmesi

$$\Delta \mathcal{G}_d = P_d \cdot (T'_{Kd} + T'_4)$$

Efektif direnç $\mathcal{G}_{Lr}$ müsaade edilen işletme sıcaklığına göre hesaplanır. Çevrenin termal direnci T'_4 işletme şartları tarafından belirlenir. Havada tesis edilme durumunda havanın termal direnci T'_L ile hesap yapılır. Ortam sıcaklığı 30°C alınarak

$$I_r = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - 30 - \Delta \mathcal{G}_d}{n \cdot R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_{Lu})}}$$

Havada kablonun farklı serilme şekillerinde yüklenme kapasitesi hesabı düzeltme faktörü kullanarak yapılır. Düzeltme faktörü f, 30°C den farklı ortam sıcaklığı $\mathcal{G}_u$ ortam sıcaklığında

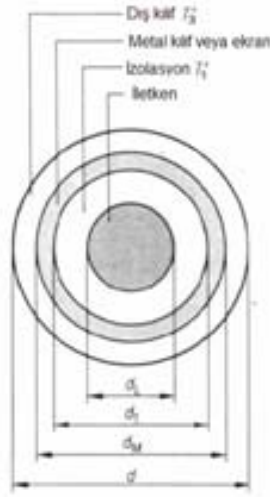
$$f = \frac{I_z}{I_r} = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U - \Delta \mathcal{G}_d}{\mathcal{G}_{Lr} - 30 + \Delta \mathcal{G}_d}}$$

Normal olarak $\Delta \mathcal{G}_d$ kablodaki dielektrik sıcaklık yükselmesi $U \geq 10$ kV PVC kablolardan ayrı olarak $U = 30$ kV a kadar kablolarda ihmal edilebilir.

6.2.1 Termal dirençler

6.2.1.1 Kablonun termal direnci :

Kablonun termal direnci T'_K 'nın hesabında kablo kılıfının ve elektriksel izolasyonun termal izolasyon etkisi göz önüne alınır ve termal dirençler ve kablo inşa verileri kullanılarak hesap yapılmalıdır. Mesela metal kılıflı tek damarlı kablo için



Şekil 6.2. Tek damarlı kabloda T'_1 ve T'_3 termal dirençleri,

$$T'_K = T'_1 + T'_3 = \frac{\rho_1}{\rho_2} \ln \frac{d_1}{d_L} + \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M}$$

ρ_1 : İzolasyonun termal özgül direnci

ρ_3 : Dış kılıf malzemesinin termal özgül direnç

d_L : İletkenin dış çapı

d_1 : Metal kılıf veya ekranın altındaki izolasyonun dış çapı

d_M : Metal kılıf veya ekranın dış çapı

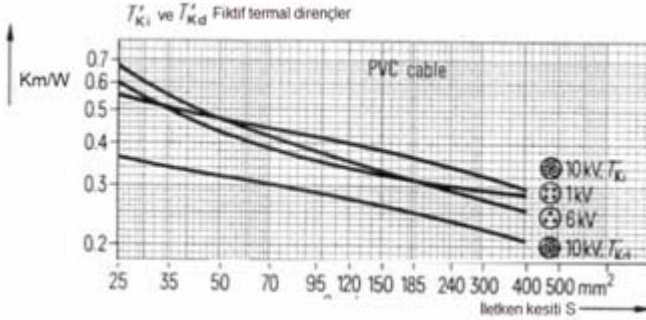
d : Kablonun dış çapı

Metal kaplamanın termal izolasyon etkisi çok küçüktür ve ihmal edilir. Kabloda kullanılan malzemelerin termal direnç değerleri aşağıda verilen Tablo 6.1'e göre bulunabilir.

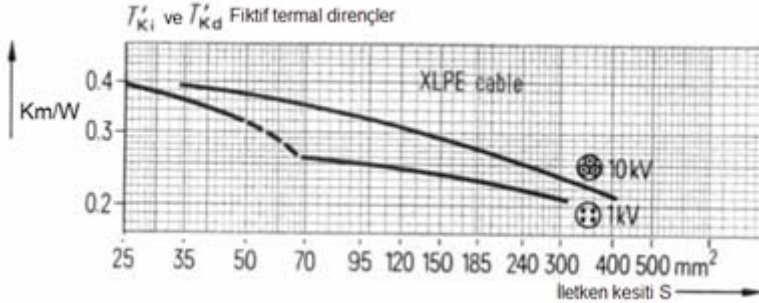
T'_{Ki} fiktif termal direnç ve T'_{Kd} fiktif termal dirençleri denklemleri tabloda verilen eşitliklere göre hesaplanabildiği gibi Şekil 6.3'e göre de belirlenebilir.

Yapı Tarzı	Standart	İzin verilen İşletme sıcaklığı °C	İzin verilen sıcaklık yükselmesi		İzolasyon malzemesinin termal dirençleri Km/W
			Toprakta K	Havada K	
XLPE Kablo		90			3,5
PE Kablo		90			3,5
PVC Kablo					6,0

Tablo 6.1. İzin verilen işletme sıcaklıkları ve termal özgül dirençler.



a) PVC kablolar için fiktif termal dirençler



b) 3-fazlı 3-damarlı XLPE Kablolarda fiktif termal dirençler

Şekil 6.3. Fiktif termal dirençler

Örnek:

Kablo tipi NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV 0 °C de doğru akım direnci

$$R_{20} = 0.206 \, \Omega/\text{km}$$

90 °C de efektif direnci havada veya toprakta

Demet şeklinde tesis

$$R'_{wr} = 0.269 \, \Omega/\text{km}$$

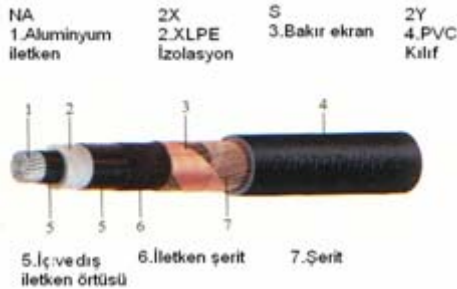
Toprakta yan yana tesis $R'_{wr} = 0.285 \, \Omega/\text{km}$

Yapı şeklinin detayları

Alimünyum iletkenin

Çapı , $d_L = 14.5 \, \text{mm}$

İç iletken katın kalınlığı, 0.1 mm
 XLPE izolasyonun kalınlığı, 5.5 mm
 Ekran altında koruma kaplamasını ihtiva eden dış iletken kalınlığı, 0.8 mm
 Ekran altındaki çap, $d_1 = 28.5$ mm
 Tek ekran hattı çapı, 0.5 mm
 Ekran hattının helisel inşasından dolayı boydaki artış $z = 0.05$ mm (%5)
 Çapraz helisel şeritin kalınlığı, $\delta = 0.2$ mm
 Çapraz helisel şeritin genişliği, $b = 5.0$
 Çapraz şeritin helisel inşa tarzından dolayı artışı,
 $z = \%5 = 0.05$
 Ekranın geometrik kesiti, $q_M = 25 \text{ mm}^2$
 Ekranın elektriksel iletkenliğinin ortalama değeri, $\chi = 56.10^6 \text{ 1}/\Omega\text{m}$
 Dış ekranın çapı, $d_M = 29.9$ mm
 Ekran üstünde ayrı katman ve koruma katmanlarının kalınlığı, 0.4 mm
 Dış PE Kılıfın kalınlığı, 2.5 mm
 Dış çap, $d = 35.7$ mm



Şekil 6.4. NA2XS2Y kablo

Tablo 6.1' deki termal özgül direnç değerlerini kullanarak

$$T'_1 = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_M} = \frac{3.5}{2\pi} \cdot \ln \frac{28.5}{14.5} = 0.376 \frac{Km}{W}$$

$$T'_3 = \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M} = \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{35.7}{29.9} = 0.099 \frac{Km}{W}$$

$$T'_K = T'_1 + T'_3 = 0.376 + 0.0099 = 0.475 Km / W$$

T'_{Ki} fiktif termal direnç hesabında , λ_1 kılıf kayıp faktörü aşağıda verilen Tablo 6.2'ye göre bulunur ve λ_2 ve T'_2 ekran ve zırh arasındaki koruma kaplaması ve zırh olmadığı müddetçe sıfırdır.

Buna göre

$$T'_{Ki} = \frac{0.376}{1 + 0.016} + 0.099 = 0.469 Km / W \text{ dir.}$$

Düzenleme	λ_{n1}	T'_{Ki} Denk 9	T'_{Ki} Denk 8
Toprakta demetlenmiş	0.0160	0.469	≈ 0.52
Havada demetlenmiş	0.0163	0.601	≈ 0.645
Toprakta yan yana	0.0776	0.448	≈ 0.5

Tablo 6.2. Kılıf kayıp faktörleri

6.3.Havanın termal direnci :

6.3.1. Havada yatay düzenleme :

Havada tesis edilmiş kablolarda ısı konveksiyon ve radyasyonla yayılır. Havanın termal direnci T'_{Lu}

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_K \alpha_K + f_S \alpha_S)} \text{ dir.}$$

Burada güneş radyasyonu gibi dış ısı artışları göz önüne alınmamıştır. α_K ısı transfer kat sayısı 1013 hPa atmosferik basınçta kuru havada

$$\alpha_K = k' \frac{0.0185}{kd} + k'' 1.08 \left(\frac{\Delta \vartheta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$k' = 0.919 + \frac{\vartheta_m}{369}$$

$$k'' = 1.033 - \frac{\vartheta_m}{909}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_0 + \vartheta_U}{2}$$

$$\Delta \vartheta_0 = \vartheta_0 - \vartheta_U$$

Radyasyon için termal transfer kat sayısı α_S

$$\alpha_S = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[(273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_U)^4 \right]}{\Delta \vartheta_0}$$

Burada $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$ (Stephan–Boltzman sabiti), ε_0 kablo yüzeyinin emisyon faktörüdür. Kablo yüzeyi için emisyon faktörü $\varepsilon_0 = 0.95$ alınabilir.

$$\text{Sıcaklık yükselmesi } \Delta \mathcal{G}_0 = \frac{(\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_U - \Delta \mathcal{G}_d)}{T'_{Ki} + T'_{Lu}} + P'_d T'_{Lu}$$

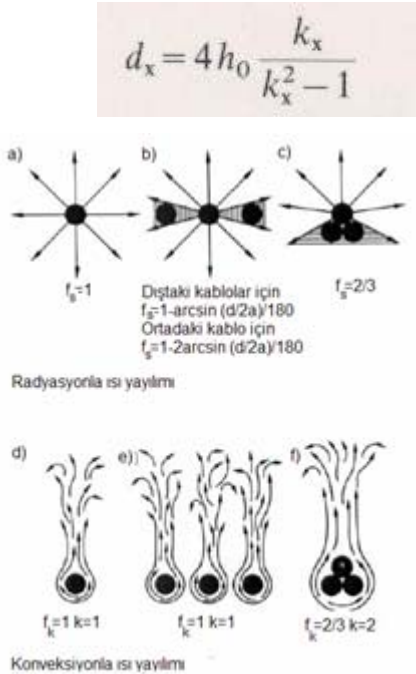
$$\Delta \mathcal{G}_0 = P'_d (T'_{Kd} + T'_{Lu}) \quad \text{Dielektrik kayıpların sebep olduğu}$$

sıcaklık yükselmesi $\Delta \mathcal{G}_0$ Sıcaklık yükselmesi hesabında

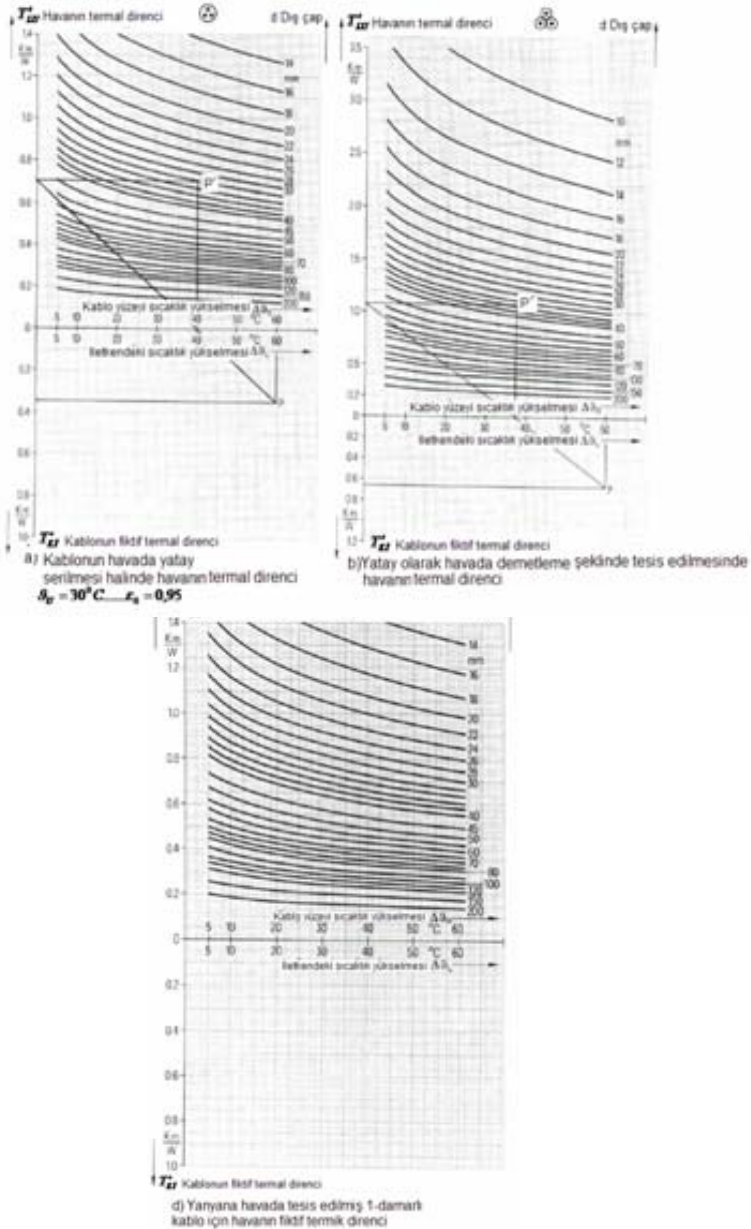
$T'_{Lu} = 0.5 \text{ Km/W}$ alınır. 30°C ortam sıcaklığında ve

dielektrik kayıpsız çok damarlı kablolar için dış termal dirençler, kabul edilebilir doğrulukla aşağıda verilen eğrilerden elde edilebilir. Dielektrik kayıpların ihmal edilebildiği yerlerde aşağıda verilen eşitlik elde edilir

$$\frac{\Delta \mathcal{G}_{Lr}}{\Delta \mathcal{G}_0} = \frac{T'_{Ki} + T'_{Lu}}{T'_{Lu}}$$



Şekil 6.5. Havada tesis edilmiş kablolarda ısı yayılımı



Grafik metotta kablonun fiktif termal direncinin $T'_{Ki} = 0.35$ Km/W ve müsaade edilen sıcaklık yükselmesi $\Delta \vartheta_{Lr} = 60$ kabul edilir.

Şekil 6.5’de demetlenmiş tek damarlı kablolar için dış kılıf ve izolasyonun termal direnci ısı yayılımının kısıtlanmasından dolayı artar. Şekil 6.2’de verilen metal kılıfın termal iletkenliği haiz olmadığı kabloda

$$T'_1 = f_\varphi \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L}$$

$$T'_3 = f_\varphi \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M}$$

$$f_\varphi = \frac{\pi}{\pi - \varphi}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180^\circ} \arcsin \left(\frac{d_L}{2d} \right)$$

Metal muhafazalı kablolar ve ısı yayılımı geliştirilmiş kablolar için Tablo 4’de belirtilen ilave bilgiler göz önüne alınarak aşağıdaki ifadeler uygulanır.

$$\frac{1}{T'_1} = \frac{1}{f_\varphi T_1} + \frac{1}{f_M T'_M}$$

$$T_1 = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L}$$

$$T'_M = \sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M}} \pi T_1 \cot \left[\varphi \sqrt{\frac{\rho_M}{4\delta_M} \frac{d_1}{\pi T_1}} \right]$$

ρ_M metal kaplamanın termal direncini belirtir ve Tablo 6.3'den seçilir.

Malzeme	ρ_M Termal direnç Km/W
Bakır	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Alimünyum	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Kurşun	$28,7 \cdot 10^{-3}$
Çelik	$19,1 \cdot 10^{-3}$

Tablo 6.3. Termal dirençler

	Kılıf ve ekran faktörü f_M	Kılıf veya ekranın termal efektif kalınlığı δ_M	Metal kılıf veya ekranın ortalama çapı d_{Mm}
Metal kılıf	1	δ_M	$d_M - \delta_M$
Aralıklı n sarım	$\frac{\pi \cdot d_{Mm}}{n \cdot b \cdot (1 + z)}$	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1 + z^2}}$	$d_M - \delta$
n adet çapraz helisel şeritlerde den dolayı %5 artışlı hat ekranı	$\frac{\pi \cdot d_{Mm}}{n \cdot b \cdot (1 + z)}$	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1 + z^2}}$	$d_M - \delta$
Aşırı sarım uygulanmış şerit $z=0,05$	1	$\approx \delta$	$d_M - 2\delta$
Aralıksız iki şerit uygulanmış	1	$\delta \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1 + z^2}} \cdot \frac{n \cdot b \cdot (1 + z)}{\pi \cdot d_{Mm}}$	$d_M - 2\delta$

Tablo 6.4. Kılıf veya ekranın efektif termal kalınlık hesabı için geçerli şartlar

Tablo 6.4 ile ilgili açıklamalar

d_M : Çapraz helisel şerit metal kılıf veya ekranın dış çapı

b : Çapraz helisel şeritin genişliği

n : Çapraz helisel şeritin adedi

z : Çapraz helisel şeritin helisel sarılmasından dolayı uzunluğunda

δ : Çapraz helisel şeritlerin her biri

δ_M : Metal kılıfın kalınlığı

Örnek: Üç adet tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV havada tesis edilen demetlenmiş kablo

$$\varphi = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180} \arcsin\left(\frac{d_L}{2d}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{180} \left(\frac{14.5}{2 \times 35.7}\right) = 0.728$$

$$f_\varphi = \frac{\pi}{\pi - \varphi} = \frac{\pi}{\pi - 0.728} = 1.302$$

$$T_1' = \frac{\rho_1}{2\pi} \ln \frac{d_1}{d_L} = \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{28.5}{14.5} = 0.376 \text{ Km/W}$$

$$\delta_M = \delta = 0.2$$

$$f_M = \frac{\pi d_{mM}}{nb(1+z)} = \frac{\pi(d_M - \delta)}{nb(1+z)} = \frac{\pi(29.9 - 0.2)}{1 \times 5(1 + 0.30)} = 14.35$$

$$\begin{aligned} T_M' &= \sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M}} \pi T_1' \coth \left[\sqrt{\frac{\rho_M d_1}{4\delta_M}} \frac{1}{\pi T_1'} \right] = \\ &= \sqrt{\frac{2.7 \times 10^{-3} \times 28.5 \times 10^{-3}}{4 \times 0.2 \times 10^{-3}}} \pi 0.376 \coth \left[0.728 \sqrt{\frac{2.7 \times 10^{-3} \times 28.5 \times 10^{-3}}{4 \times 0.2 \times 10^{-3}}} \frac{1}{\pi 0.376} \right] \\ &= 1.646 \text{ Km/W} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{T'_1} = \frac{1}{f_\phi T'_1} + \frac{1}{f_M T'_M} = \frac{1}{1.302 \times 0.376} + \frac{1}{14.35 \times 1.646} = \frac{1}{0.480}$$

$$T'_1 = 0.480$$

$$T'_3 = f_\phi \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{d}{d_M} = 1.302 \frac{3.5}{2\pi} \ln \frac{35.7}{29.9} = 0.129 \text{ Km/W}$$

$$T'_{Ki} = \frac{T'_1}{1 - \lambda_1} + T'_3 = \frac{0.480}{1 + 0.0163} + 0.129 = 0.601 \text{ Km/W}$$

$$\Delta \vartheta_0 = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U) T'_{Lu}}{T'_{Ki} + T'_{Lu}} = \frac{(90 - 30) 60}{0.601 + 1.06} = 38.3 \text{ K}$$

$$\vartheta_0 = \Delta \vartheta_0 + \vartheta_U = 38.3 + 30 = 68.3 \text{ K}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_0 + \vartheta_U}{2} = \frac{\Delta \vartheta_0 + 2\vartheta_U}{2} = \frac{38.3 + 2 \times 30}{2} = 49.15^\circ \text{ C}$$

$$k' = 0.919 + \frac{\vartheta_m}{369} = 0.919 + \frac{49.15}{369} = 1.05$$

$$k'' = 1.033 - \frac{\vartheta_m}{909} = 1.033 - \frac{49.15}{909} = 0.98$$

Şekil 6.5a ve 6.5b'ye göre $k = 2, f_s = 2/3, f_k = 2/3$

$$\alpha_k = k' \frac{0.0185}{k.d} + k'' 1.08 \left(\frac{\Delta \vartheta_0}{k.d} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.05 \frac{0.0185}{2 \times 35.7 \times 10^{-3}} + 0.98 \times 1.08 \left(\frac{38.3}{2 \times 35.7 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 5.366 \frac{W}{\text{Km}^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[(273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_U)^4 \right]}{\Delta \vartheta_0} = \frac{0.95 \times 5.67 \left[(273 + 68.3)^4 - (273 + 30)^4 \right]}{38.3 \times 10^{-3}} = 1.06 \frac{\text{Km}}{W}$$

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi d (f_k \alpha_k + f_s \alpha_s)} = \frac{1}{\pi \times 35.7 \times 10^{-3} \left(\frac{2}{3} 5.366 + \frac{2}{3} 7.229 \right)} = 1.06 \frac{\text{Km}}{W}$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U}{n R_{wr} (T'_{Ki} + T'_{Lu})}} = \sqrt{\frac{90 - 30}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.601 + 1.06)}} = 366 \text{ A}$$

Dielektrik kayıplar ihmal edilmiştir.

6.3.2. Atmosferik basınç :

Konveksiyonla olan ısı yayılımı atmosfer basıncının azalmasıyla azalır. Yüksek rakımlarda konveksiyon için olan termal ısı transfer sabitesi aşağıdaki ifade yardımıyla bulunur.

$$\alpha_k = k' \frac{0.0185}{kd} + k'' \cdot 1.08 \left(\frac{\Delta \theta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{p}{1013 \text{ hPa}} \right)^{\frac{1}{4}} \dots$$

Deniz seviyesinden yükseklik m	0	1000	2000	3000	4000
Atmosferik Basınç hPa	1013	899	795	701	616

Tablo 6.5. Deniz seviyesinden yüksekliğe göre atmosferik basıncın değişmesi

Örnek: Kablo tipi NA2X2Y 1x150 RM/25 12/20 kV

Deniz seviyesinden yükseklik : 3000 m

Bu seviyede atmosferik basınç :701 hPa

$$\Delta \vartheta_0 = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U) T'_{Lu}}{T'_{Ki} - T'_{Lu}} = \frac{(90 - 30) \cdot 1,134}{0,601 + 1,134} = 39,22 \cdot K$$

$$\vartheta_0 = \Delta \vartheta_0 + \vartheta_u = 39,22 + 30 = 69,22 \cdot K$$

$$P'_d = 0$$

$$\vartheta_m = \frac{\Delta \vartheta_0 + 2\vartheta_U}{2} = \frac{39,22 + 2 \times 30}{2} = 49,61 \cdot ^\circ C$$

$$k' = 0,919 + \frac{\vartheta_m}{369} = 1,033 + \frac{49,61}{369} = 1,0534$$

$$k'' = 1,033 - \frac{\vartheta_m}{909} = 1,033 - \frac{49,61}{909} = 0,9784$$

$$\alpha_k = k' \frac{0,0185}{kd} + k'' 1,08 \left(\frac{\Delta \vartheta_0}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{p}{1013} \right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= 1,0534 \frac{0,0185}{2 \times 35,7 \times 10^{-3}} + 0,9784 \times 1,08 \left(\frac{39,22}{2 \times 35,7 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 4,528 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma \left[(273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_U)^4 \right]}{\Delta \vartheta_0} = \frac{0,95 \times 5,67 \left[(273 + 69,22)^4 - (273 + 30)^4 \right]}{39,22 \times 10^{-3}}$$

$$= 7,621 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$T'_{Lu} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot (f_K \cdot \alpha_K + f_S \cdot \alpha_S)} = \frac{1}{x35,7x10^{-3} \left(\frac{2}{3} 4,528 + \frac{2}{3} 7,261 \right)} = 1,134 \cdot \frac{Km}{W}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U}{n \cdot R'_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_{Lu})}} = \sqrt{\frac{90 - 30}{1x0,269x10^{-3} (0,601 + 1,134)}} = 359.A$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{359}{366} = 0,981...$$

6.3.3. Ortam sıcaklığı :

Kablo çevresi boyunca havanın termal direnci sabit iletken ve artan ortam sıcaklığında çok az miktarda değişir. Normal olarak tatmin edici bir şekilde denklem farklı ortam sıcaklıkları için yüklenme kapasitesinin tesbitinde aşağıda örnekte verilen eşitlik kullanılır.

Örnek: 30⁰C'den sapan $\vartheta_U = 45^0 C$ ortam sıcaklığı için çevirme faktörü

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U}{\vartheta_{Lr} - 30}} = \sqrt{\frac{90 - 45}{90 - 30}} = 0.87$$

Güneş ışığı radyasyonu :

Güneş ışığı radyasyonuna maruz yani güneş ışığı altındaki kablolar ilave bir sıcaklık yükselmesine maruzdurlar. Bu ilave sıcaklık yükselmesi aşağıda verilen ifade ile belirlenir.

$$\Delta \vartheta_s = \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_s \dots (34)$$

Kablo yüzeyinin sıcaklık yükselmesi ortam sıcaklığına bağlı olarak

$$\Delta \vartheta_s = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d + \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_{Ki}) T'_S}{T'_{Ki} + T'_S} + P'_d \cdot T'_S \cdot \text{ve yüklenme}$$

kapasitesi olarak

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_U - \Delta \vartheta_d - \Delta \vartheta_s}{n \cdot R_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_S)}}$$

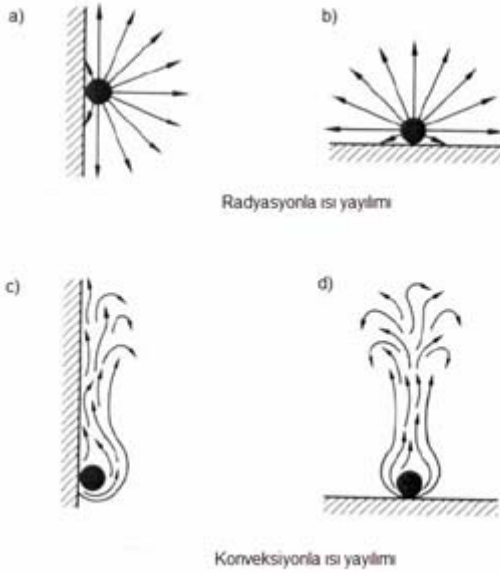
Dış koruma kılıfının Malzemesi	Tutunum Katsayısı α_0
Asfaltlanmış Jüt	0.8
PVC	0.6
PE	0.4
Polikloroplen	0.8
Kurşun	0.6

Tablo 6.6. Kablo yüzeyinin güneş ışığını tutunum katsayısı

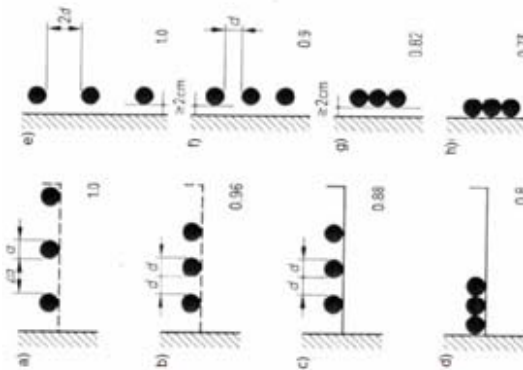
E solar radyasyon yoğunluğu kabloların yatay düzenleme ile tesis edilme durumunda en fazla 1,35 Kw/m² değerini alır. Normalde gerçek değerler, yüksekliğe, mevsimlere, hava şartlarına, günün belli saatlerine bağlı olarak bu değer çok altındadır. Hesaplarda E=1 kW/m² kullanılır.

6.4. Kabloların düzenlenmesi

Kabloların ısı yayılımı duvar, döşeme, tavan yüzeyleri ile temas halinde olması durumunda etkilenir. Temasın olduğu noktada havanın akışı engellenir ve bu nedenle konveksiyonla ısı yayılımı azalır. Radyasyonla ısı yayılımı yayınlanma ve temasta olunan komşu alanın sıcaklığı tarafından etkilenir. Şekil 6.7



Şekil 6.7. Temas halinde olunan diğer yüzeyler tarafından ısı yayılımının engellenmesi



Şekil 6.8. Havada çeşitli düzenlemeler için azaltma faktörleri

Örnek:

Havada demetlenmiş üç adet tek damarlı kablo

NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 Kv E=1 kW/m²

E=1kW/m²

$$\Delta\vartheta_{0s} = \frac{(\vartheta_{Lr} - \vartheta_{Uj} + \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_{Ki}) \cdot T'_S}{T'_{Ki} + T'_S} = \frac{(90 - 30 + 0,4 \times 35,7 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^3 \times 0,601) \cdot 1,035}{0,601 + 1,035} = 43,39 \cdot K$$

$$\vartheta_0 = \Delta\vartheta_{0s} + \vartheta_{Uj} = 43,39 + 30 = 73,39 \cdot K$$

$$\vartheta_m = \frac{\Delta\vartheta_{0s} + 2\vartheta_{Uj}}{2} = \frac{43,39 + 2 \times 30}{2} = 51,7^\circ C$$

$$k' = 0,919 + \frac{\vartheta_m}{369} = 1,0591$$

$$k'' = 1,033 - \frac{\vartheta_m}{909} = 0,9761$$

$$\alpha_k = k' \frac{0,0185}{kd} + k'' 1,08 \left(\frac{\Delta\vartheta_{0s}}{kd} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,591 \frac{0,0185}{2 \times 35,7 \times 10^{-3}} + 0,9761 \times 1,08 \left(\frac{43,39}{2 \times 35,7 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{4}} = 5,509 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_0 \sigma [(273 + \vartheta_0)^4 - (273 + \vartheta_{Uj})^4]}{\Delta\vartheta_{0s}} = \frac{0,95 \times 5,67 [(273 + 73,39)^4 - (273 + 30)^4]}{14,8} = 7,408 \cdot \frac{W}{Km^2}$$

$$T'_S = \frac{1}{\pi d (f_k \cdot a_k + f_s \cdot \alpha_s)} = \frac{1}{\pi \times 35,7 \times 10^{-3} \left(\frac{2}{3} 5,509 + \frac{2}{3} 7,408 \right)} = 1,035 \cdot \frac{Km}{W}$$

$$\Delta\vartheta_s = \alpha_0 \cdot d \cdot E \cdot T'_S = 0,4 \times 35,7 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^3 \times 1,035 = 14,8 \cdot K$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_{Uj} - \Delta\vartheta_s}{n \cdot R_{wr} \cdot (T'_{Ki} + T'_S)}} = \sqrt{\frac{90 - 30 - 14,8}{1 \times 0,269 \times 10^{-3} \cdot (0,601 + 1,035)}} = 320 \cdot A$$

$$f_s = \frac{I_z}{I_r} = 0,87$$

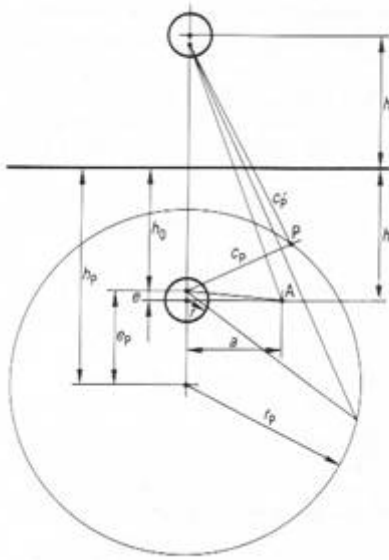
6.5. Toprağın termal direnci

6.5.1. Toprak içindeki bir kablonun sıcaklık alanı

Kabloda meydana gelen P' ısı kaybı toprağa çepeçevre kat ederek yeryüzüne doğru akar ve buradan havaya yayılır. Toprakta bir kablonun sıcaklık alanını izah edebilmek için, toprak yüzeyinin termal transfer direncini ihmal ederek ρ_E toprak termal direnci ve ϑ_E sabit toprak sıcaklığı kabul edilir.

P noktasındaki sıcaklık artışı

$$\Delta \vartheta_p = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln \frac{c'_p}{c_p} \dots (37)$$



Şekil 6.9: Çapı $d=2r$ ve gömülme derinliği h olan kablonun sıcaklık alanı

İzotermal hatlar $\Delta \mathcal{G}_p = \text{Sabit}$ olma şartına dayandırılarak belirlenir. Bundan dolayı

$$k_p = \frac{c'_p}{c_p} = \text{Sabit olması gerekir.}$$

İzoterm için geometrik sabite

$$k_p = \exp\left(\frac{2\pi\Delta \mathcal{G}_p}{\rho_E P'}\right).$$

$d=2r$ kablonun çapı olmak üzere ve h kablo gömülme derinliğinde İzoter eğrilerinin yarı çapı

$$r_p = \frac{2h_0 k_p}{k_p^2 - 1} \dots (39)$$

İzotermin derinliği $h_p = h_0 (k_p^2 + 1) / (k_p^2 - 1) = h_0 + e_p \dots$

İzotermin ekzantrikliği $e_p = 2h_0 / (k_p^2 - 1) = h_p - h_0 \dots$

Hat kaynağının derinliği $h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} \dots$

Kablonun ekzantrikliği $e = h - h_0 = h - \sqrt{h^2 - r^2} \dots$

Eğer izotermin derinliği h_p ve yarı çapı r_p biliniyorsa

$$k_p = \frac{h_0 + h_p - r_p}{h_0 - h_p + r_p} \dots$$

$$h_0 = \sqrt{h_p^2 - r_p^2} \dots$$

Toprak yüzeyinin $c'_p / c_p = 1$ olduğu bir P noktasında sıcaklık yükselmesi sıfırdır.

Kablo ekseninden a uzaklıkta ve toprak yüzeyinden h derinlikte bir A noktasında sıcaklık yükselmesi

$$\Delta \vartheta_a = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k_a$$

Karşılıklı ısıtma için geometrik sabit

$$k_a = \sqrt{\frac{(2h-e)^2 + a^2}{e^2 + a^2}} = \sqrt{\frac{\left(h + \sqrt{h^2 - r^2}\right)^2 + a^2}{\left(h - \sqrt{h^2 - r^2}\right)^2 + a^2}}.$$

6.5.2. Toprak termal direncinin açıklanması

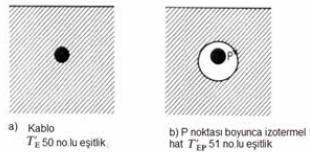
Kablo yüzeyinin ısı yükselmesi ifadesinde $a = r$ koyarak ve bazı işlemlerden sonra aynı şekilde $d = 2r$ koyarak

$$\Delta \vartheta_E = P' \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k...$$

Kablonun geometrik sabitesi $k = \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1}.$

Bu ise kablonun termal direncinin kablo yüzeyi ile toprak arasındaki termal direnç olduğunu açıklar. (Şekil 6.10a)

$$T'_E = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln \left(\frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1} \right).$$



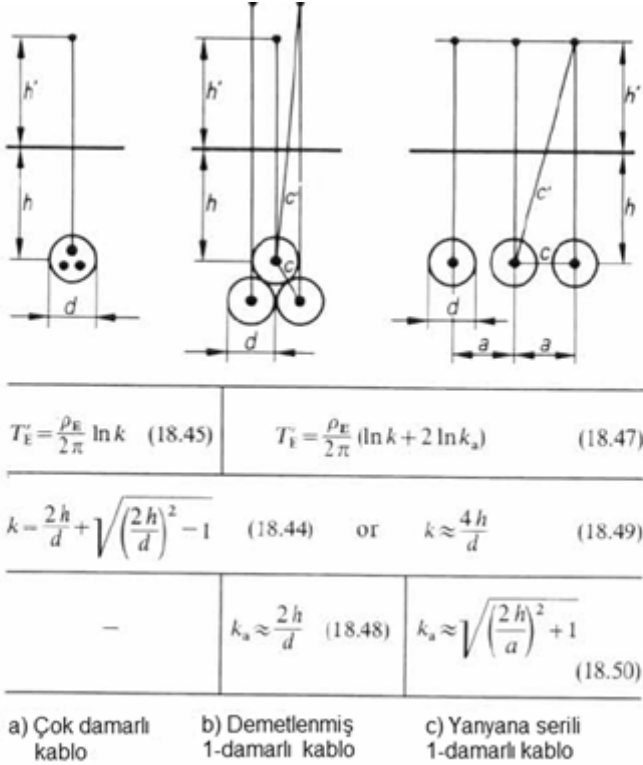
Şekil 6.10: Toprak –termal direnci

Aynı şekilde P noktası boyunca izoterm ile toprak yüzeyi arasında ki toprak termal direnci

Şekil 10b'ye göre,

$$T'_{EP} = \frac{\rho_E}{2\pi} \ln k_P \dots (51)$$

Şekil 6.11 de bir kablonun geometrik sabiti $k_a \approx 2h/d$ olarak gruplandırma için alınabilir.



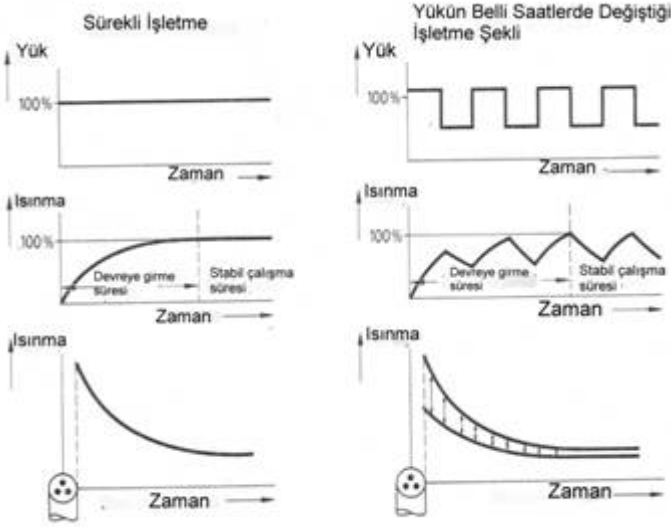
Şekil 6.11. Kurumamış toprak ve ρ_E sabit $m=10$ olan işletme şartları için toprağın termal direnci

Normal olarak kablo yarı çapına bağlı olarak kabloların gömülme derinliği çok geniştir. $h/d \geq 5$ olan yerlerde Şekil

6.11 de verilen $k \approx \frac{4h}{d}$ eşitliği kullanıldığında 5.2 paragrafının başlangıcında verilen eşitlikte bulunan değerden sapması ancak %1 kadardır.

6.5.2.1. Günlük yüklenme eğrileri ve karakteristik d_y

Yükün belirli zamanlarda değiştiği işletme şeklinde Kabloların yüklenme kapasitesi sürekli işletme şeklindeki yüklenme kapasitesine göre çok daha fazladır.



Şekil 6.12. Sürekli işletme ve yükün belirli zamanlarda değiştiği işletme şekillerine göre toprağın ısınması

m : Günlük yüklenme faktörü $0,5 \leq m \leq 1$

$\mu = 0,3m + 0,7m^2$..(52) Kayıp faktörü

Sinüsoidal yük değişimlerinde
$$d_y = \frac{0,205}{\sqrt{w} \left(\frac{\rho_E}{Km / W} \right)^{0,4}} .$$

Dikdörtgen lineer yük değişimlerinde

$$d_y = \frac{0,493 \sqrt{\frac{\mu}{w}}}{\left(\frac{\rho_E}{Km / W} \right)^{0,4}} .$$

Ne sinüsoidal ve ne de dikdörtgen lineer olmayan yüklerde

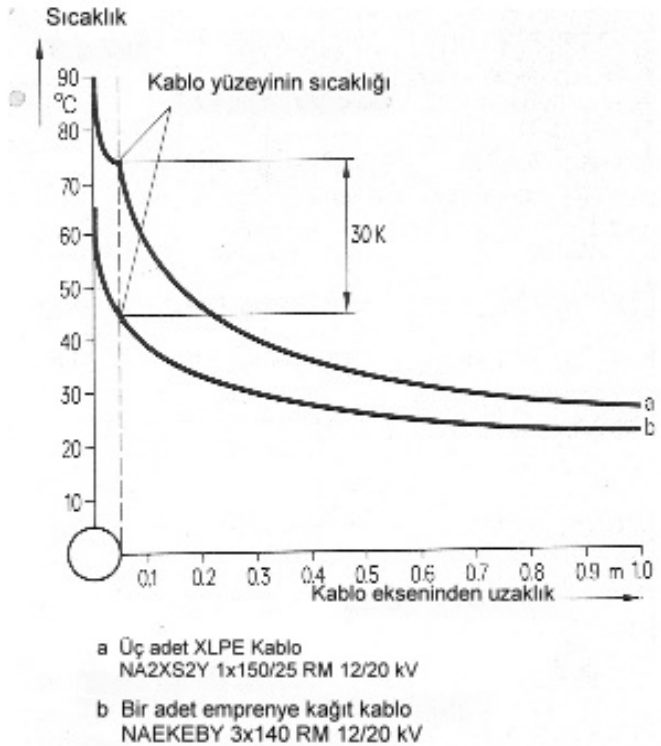
$$d_y = \frac{0,103 + 0,246 \sqrt{\mu}}{\sqrt{w} \left(\frac{\rho_E}{Km / W} \right)^{0,4}} .$$

Yük faktörü m	Kayıp faktörü μ	d _y Karakteristik çap mm		
		Sinüsoidal yük	Dikdörtgen lineer yük	Karışık yük
0,5	0,325	0,205	0,281	0,243
0,6	0,432	0,205	0,324	0,265
0,7	0,553	0,205	0,367	0,286
0,8	0,688	0,205	0,409	0,307
0,9	0,837	0,205	0,451	0,328

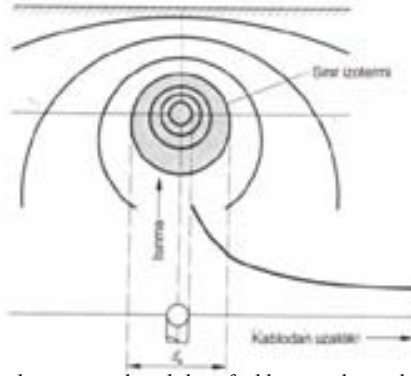
Tablo 6.7: Maksimum yüklenme ile günlük yük eğrileri ve toprak termal direnci 1,0 Km/W için kayıp faktörleri ve karakteristik çaplar.

Geometrik sabit ise
$$k_y = \frac{2h}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_y}\right)^2 - 1} \approx \frac{4h}{d_y} ..$$

Toprağın kuruması ve d_x sınır izotermi şekil de görüleceği üzere azami müsaade edilen işletme sıcaklığıyla sınırlandırılmış belirli yükleri haiz farklı yapıda kabloların yüzlerinin farklı sıcaklıkta oldukları farz edilecektir.



Şekil 6.13. Farklı kablolar tarafından toprağın ısıtılması



Şekil 6.14. Toprağın kurumasından dolayı farklı termal özgül dirençlerde yerin ısınması.

d_x : Kuru sahada sınır izotermin çapı

DIN VDE 0298 Bölüm 2 da verilen şarta dayanarak sıcaklık yükselmesinin sınırlandırılması $\Delta \vartheta_x$; $\Delta \vartheta_x = 15 + \frac{(1-m)100}{3}$

ve sonuçları

$\Delta \vartheta_x = 15$ K $m=1.0$ da sürekli işletme için

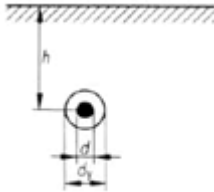
$\Delta \vartheta_x = 25$ K $m=0.7$ de kullanılan yük işletmesi için

$\Delta \vartheta_x = 32$ K $m=0.5$ de günlük yük eğrileri için

Sınır izotermal hatları içinde toprak-termal özgül direnci yaklaşık kuru kumtoprak veya gömme malzemesi olarak kum kullanıldığında $\rho_x = 2.5$ Km/W alınabilir. Sınır izotermin dışında ise

$\rho_E = 1.0$ Km/W yaklaşık tabii toprakta alınabilir.

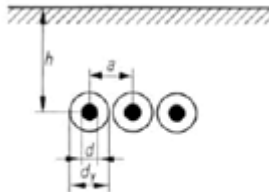
6.5.2.2. Fiktif toprak-thermal dirençler T'_x ; T'_{xy}



$$T'_{xy} = \frac{\rho_s}{2\pi} [\ln k + (\mu-1) \ln k_y] \quad 59$$

$$T'_x = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln k \quad 60$$

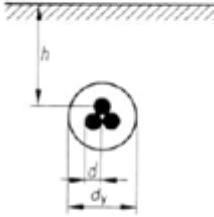
a) Çok damarlı kablo



$$T'_{xy} = \frac{\rho_s}{2\pi} [\ln k + (\mu-1) \ln k_y + \mu 2 \ln k_a] \quad 61$$

$$T'_x = \frac{\rho_s}{2\pi} (\ln k + 2 \ln k_a) \quad 62$$

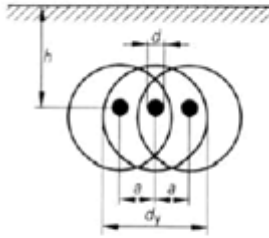
b) Yan tana 1-damarlı kablo $d_y \leq 2a$



$$T'_{xy} = \frac{\rho_s}{2\pi} [\ln k + 3(\mu-1) \ln k_y + 2 \ln k_a] \quad 63$$

$$T'_x = \frac{\rho_s}{2\pi} (\ln k + 2 \ln k_a) \quad 64$$

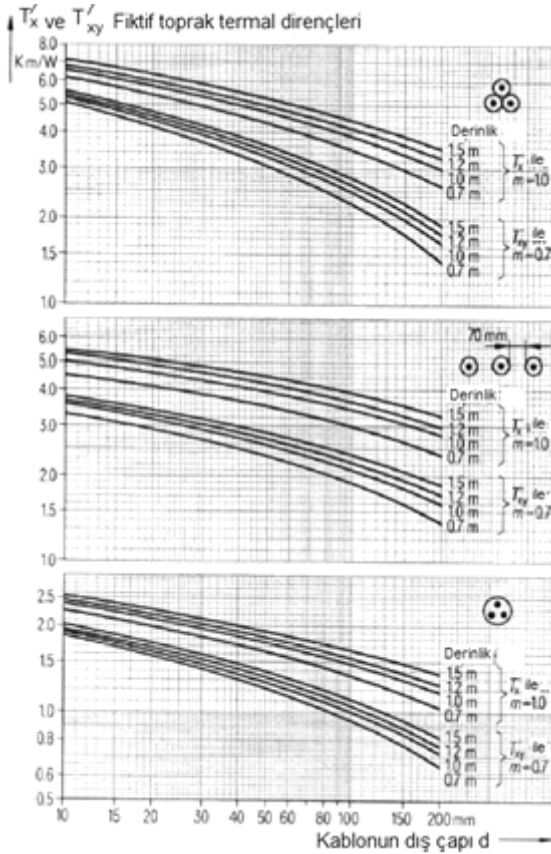
c) Demetlenmiş 1-damarlı kablo



d) Yanyana 1-damarlı kablode $d_y \geq 2a$

Şekil 6.15. Fiktif toprak-thermal dirençlerinin $m < 1.0$ günlük yük çevriminde ve toprağın kurumasında hesaplanmasında kullanılan formüller

k ve k_a Şekil.6.11 den ve k_y yukarıda verilen eşitlik den bulunur.



Şekil 6.16: $m=1,0$ da ve $m=0,7$ de d relatif dış çap, h serilme derinliği

$\rho_X = 2,5 Km/W$ ve $\rho_E = 1,0 Km/W$ özgül toprak termal direncinde T'_X ve T'_{XY} fiktif toprak –termal dirençleri

Yük kapasitesi

$$I_z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E - P'_d(T'_{Kd} + T'_x) + [(\rho_x / \rho_E) - 1]\Delta \mathcal{G}_x}{nR'_{wr}(T'_{Ki} + T'_{xy})}}$$

Yük faktörü : yük faktörü eğrilerinden

Kayıp faktörü μ eşitlik 52'den

Karakteristik çap d_y eşitlik 54'den

Termal-ölgül direnç için $\rho_E = 1 \text{ Km/W}$

$$\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}_{Lr} - P'_i T'_{Ki} P'_i T'_{Kd}$$

$$\mathcal{G}_x = \mathcal{G}_E + \Delta \mathcal{G}_x \quad (67)$$

Örnek:

Tek damarlı NA2XS2Y 1x150 RM/25 12/20 kV farklı işletme şartlarında toprak içine tesis edilmiş

$m=0.7$ ve $w=1$

$$\mu = 0.3m + 0.7m^2 = 0.3 \times 0.7 + 0.7 \times 0.7^2 = 0.553 \quad (68)$$

$$d_y = \frac{0.103 + 0.246\sqrt{\mu}}{\sqrt{w}(\rho_E)^{0.4}} = \frac{0.103 + 0.246\sqrt{0.553}}{\sqrt{1}(1.0)^{0.4}} = 78.42 \text{ Km/W}$$

$$k = \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1} = \frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}} + \sqrt{\left(\frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}}\right)^2 - 1} = 78.42 \text{ Km/W}$$

$$k_y = \frac{2h}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_y}\right)^2 - 1} = \frac{2 \times 0.7}{0.286} + \sqrt{\left(\frac{2 \times 0.7}{0.286}\right)^2 - 1} = 9.69 \text{ Km/W}$$

$$k_a \approx \frac{2h}{d} = \frac{2 \times 0.7}{35.7 \times 10^{-3}} = 39.23 \text{ Km/W}$$

$$T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} [\ln k + 3(\mu - 1) \ln k_y + 2 \ln k_a] = \frac{2.5}{2\pi} [\ln 78.42 + 3(0.553 - 1) \ln 9.69 + 2 \ln 39.23] = 3.445 \text{ Km/W}$$

$$T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} [\ln k + 2 \ln k_a] = \frac{2.5}{2\pi} [\ln 78.42 + 2 \ln 39.23] = 3.445 \text{ Km/W}$$

$$\Delta \mathcal{G}_x = 15 + \frac{(1-m)100}{3} = 15 + \frac{(1-0.7)100}{3} = 25 \text{ K}$$

Hesaplar özel işletme şartları için yapılıyorsa

$$P'_d = 0, T'_K = 0.469 Km / W, R_{wr} = 0.269 \Omega / km$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E + \left[\left(\rho_x / \rho_E \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_x}{n R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_{Kl})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[\left(2.5 / 1.0 \right) - 1 \right]}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.469 + 3.445)}} = 320.A$$

$$\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}_{Lr} - P'_i T'_{Ki} = \mathcal{G}_{Lr} - n I_r^2 R'_{wr} T'_{Ki} = 90 - 1 \times 320^2 \times 0.269 \times 10^{-3} \times 0.469 = 77.1^0 C$$

$$P'_d, P'_i = n \omega C_b \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right) \cdot \tan \delta \quad \text{ve} \quad P'_i = n I_r^2 R'_{wr} \text{ eşitliklerinden}$$

hesaplanır.

$$\mathcal{G}_x = \mathcal{G}_E + \Delta \mathcal{G}_x = 20 + 25 = 45^0 C$$

Kabul edilen $\mathcal{G}_0 > \mathcal{G}_x$ değerinin gerçekleştiği görüldü.

m=1 de demetlenmiş tesis $\mu = 1$ ve $T'_{xy} = T'_x$

$$\Delta \mathcal{G}_x = 15 + \frac{(1-1).100}{3} = 15.K$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E + \left[\left(\rho_x / \rho_E \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_x}{n R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_x)}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[\left(2.5 / 1 \right) - 1 \right] 15}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.469 + 4.656)}} = 259.A$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{259}{320} = 0,81$$

Yan yana toprak içinde tesis edilme

Bu durumda her bir termal direnç Şekil 6.11, 6.15 deki ifadeler ve Şekil 6.16 daki eğriler kullanarak elde edilir.

$$T'_x = 3.794.Km / W$$

Buna göre $T'_{xy} = 2.583.Km / W$ bulunur.

$$T'_{Ki} = 0.448.Km / W$$

$$R'_{wr} = 0.285.ohm / km$$

$$I_r = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E + \left[\left(\rho_x / \rho_E \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_x}{n R'_{wr} (T'_{kl} + T'_{Ki})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[(2.5/1.0) - 1 \right] 25}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.448 + 2.583)}} = 363 A$$

$$I_z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E + \left[\left(\rho_x / \rho_E \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_x}{n R'_{wr} (T'_{Ki} + T'_x)}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[(2.5/1) - 1 \right] 25}{1 \times 0.269 \times 10^{-3} (0.448 + 3.749)}} = 277 A$$

$$f = \frac{I_z}{I_r} = \frac{277}{353} = 0,79$$

m=0.7 durumunda

$$\mathcal{G}_0 = 90 - 1 \times 353^2 \times 0.285 \times 10^{-3} \times 0.448 = 74.1^0 C$$

$$\mathcal{G}_x = 20 + 15 = 35^0 C$$

m=1 için ve demetlenmiş tesiste kuru alanın h_x serilme derinliği ve d_x çapının hesabı

$d_x > d_y$ farz edilerek

$$h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} = \sqrt{0.7^2 - (35.7 \times 10^{-3} / 2)^2} \approx 0.7.m$$

$$k_x = \exp \left[\frac{2\pi \Delta \mathcal{G}_x}{3 \rho_E \mu P'_i} \right] = \exp \left[\frac{2\pi \cdot 15}{3 \times 1 \times 1.0259^2 \cdot 0.269 \times 10^{-3}} \right] = 5.70$$

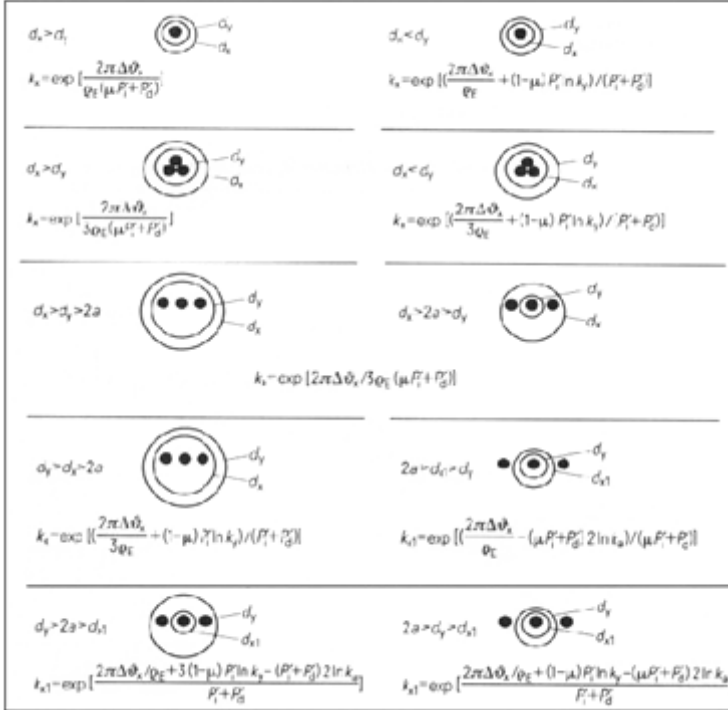
$$d_x = 4h_0 \frac{k_x}{k_x - 1} = 4 \times 0.7 \frac{5.70}{5.70^2 - 1} = 0.51.m$$

$$h_x = h_0 \frac{k_x + 1}{k_x^2 - 1} = 0.7 \frac{5.70^2 + 1}{5.70^2 - 1} = 0.74.m$$

$$d_y = 0.286.m.....d_x > d_y$$

Kuru alanın çapı

Öncelikle yük kapasitesinin bilinmesiyle bulunabilir. Hesaplamalar için gerekli geometrik faktör Şekil 6.1' de verilen ifadeler yardımıyla bulunabilir



Şekil 6.17. Bir adet 3-damarlı kablo ve üç adet 1- damarlı kablo için kuru alanın geometrik sabiteleri.

Kuru alanın çapı

$$\text{İsoterm derinliği} \quad h_x = h_0 \frac{k_x^2 + 1}{k_x^2 - 1}$$

$$\text{Kaynak derinliği} \quad h_0 = \sqrt{h^2 - r^2} \dots (42)$$

6.5.3. Toprakta gruplandırma

Gruplandırma nedeniyle $\Delta T'_x$ ve $\Delta T'_{xy}$ ilave fiktif termal dirençler kabloların ortak bir kablo kanalı içerisinde grup olarak tesisi veya yetersiz açıklıkta diğer bir kablonun tesisi ile karşılıklı ısınma tesiri oluşur. Bundan dolayı kablonun yüklenebilme kapasitesi daha da azalır.

Çok damarlı kablolar için $\Delta T'_x$ ve $\Delta T'_{xy}$ ilave termal dirençler

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \left[\sum_2^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 1)(\mu - 1).Lnk_y \right]$$

$m=1$ de sürekli işletme ve dielektrik kayıpları göz önüne

$$\text{alınarak } \Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_2^N \delta_i$$

Benzer şekilde 3-fazlı sistemde üç adet 1-damarlı kablo için ifadeler benzer işlemlerle

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \left[\sum_4^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 3)(\mu - 1).Lnk_y \right]$$

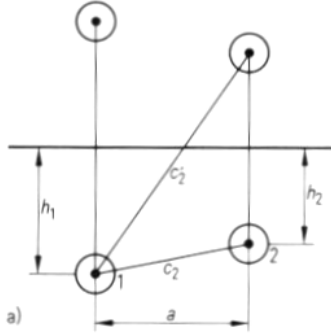
$$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_4^N \delta_i \text{ olarak bulunur.}$$

N_y , d_y karakteristik çaplı daire içindeki kablo sayısı

$\Sigma \delta_i$ 1, 2, 3,.....i,N kablo sayısı için gruplandırma faktörü toprakta tesis edilen kablolarda, ortadaki kablo en fazla ısınan kablo olup hesapta göz önüne alınacak kablodur.

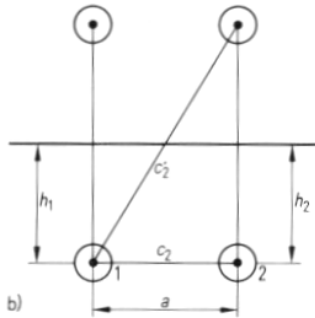
Farklı derinlikte tesis edilen İki kablo için şekil 6.18 a ve 6.18b de gruplandırma faktörleri verilmiştir.

$$\Sigma \delta = Ln \frac{\sqrt{(h_2 + h_2) + a^2}}{(h_2 - h_1) + a^2}$$

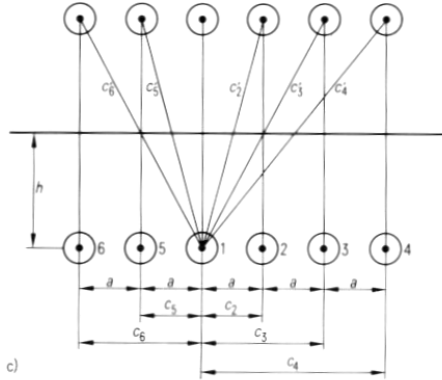


Şekil 6.18a: Farklı derinlikte tesis edilen iki kablo

$$\Sigma \delta = \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1} \approx Lnk_a$$



Şekil 6.18 b: Aynı derinlikte tesis edilen İki kablo için gruplandırma faktörü



Şekil 6.18c: Aynı derinlikte 2 den fazla sayıda tesis edilen kablo

Aynı derinlikte tesis edilen 6 kablo için gruplandırma faktörü

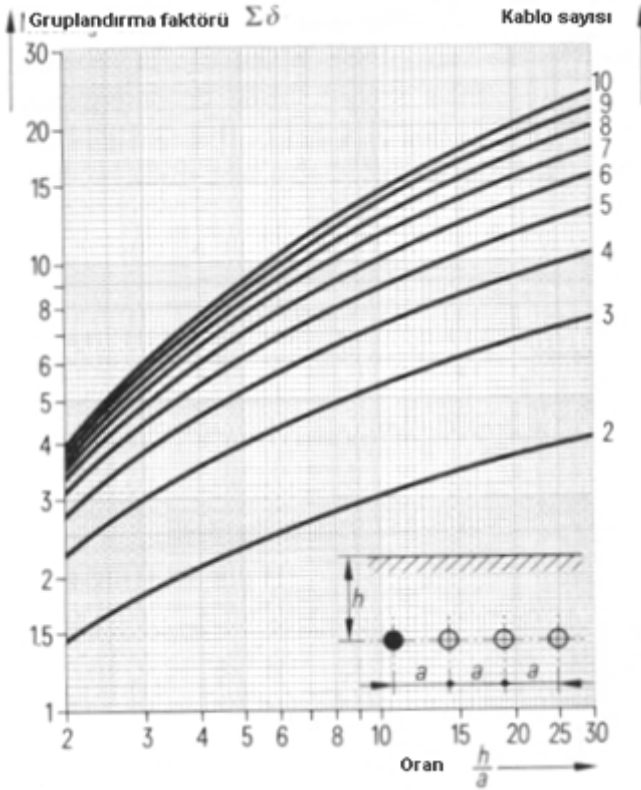
$$\sum_2^6 \delta_i = 2. \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1} + 2. \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2a}\right)^2 + 1} + \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{3a}\right)^2 + 1}$$

Demetlenmiş ve demetler arasındaki uzaklık demetin merkezinden merkezine b olan 1-damarlı kabloların gruplandırılmasında basitleştirilmiş hesap kullanılabilir.

Üç adet demetlenmiş kablo için 8 adet 3-fazlı sistem gibi düşünerek

$$\sum_4^{18} \delta_i = 3. \left[2. \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2 + 1} + 2. \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2b}\right)^2 + 1} + \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{3b}\right)^2 + 1} \right]$$

Gruplandırma faktörü için değerler Şekil 6.19 dan elde edilebilir.



Şekil 6.19: h serilme derinliğinde kablolar arası uzaklık a olan Sistemde $\Sigma\delta$ gruplandırma faktörü

Yüklenebilme kapasitesi

Aynı yüke haiz ve aynı tipte N adet kablonun yüklenebilme kapasitesi

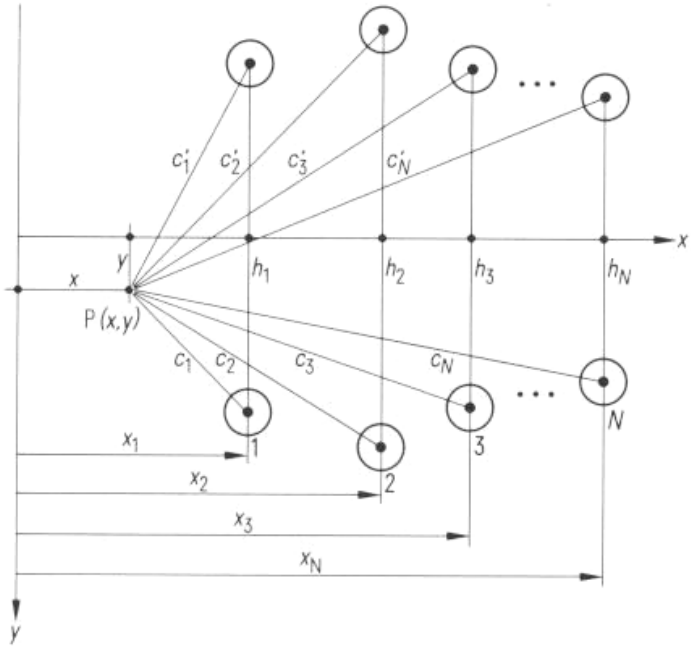
Kuru alanın genişlemesi

$$I_z = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E - P'_d(T'_{Kd} + T'_x + \Delta T'_x) + [(\varrho_x/\varrho_E) - 1] \Delta \vartheta_x}{n R'_{wr}(T'_{Ki} + T'_{xy} + \Delta T'_{xy})}}$$

Kuru alan özel durumunda d_x çapına eşdeğer çaplı daire veya buna yakın şekilde gösterilmesi mümkündür.

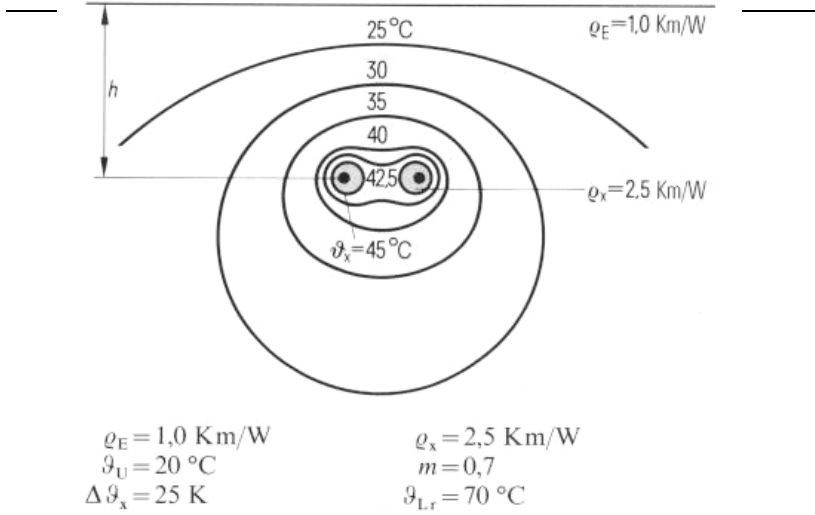
Sınır izotermi

$$\Delta \mathcal{G}_X = \sum_{i=1}^N (\mu_i \cdot P_{ii} + P_{di}) x \frac{\rho_E}{2\pi} \cdot \ln \sqrt{\frac{(y + h_i - e_i)^2 + (x_i - x)^2}{(y - h_i + e_i)^2 + (x_i - x)^2}}$$



Şekil 6.20: $P(x,y)$ noktasının ısıtılması 1...2...3...N adet kablo vasıtasıyla

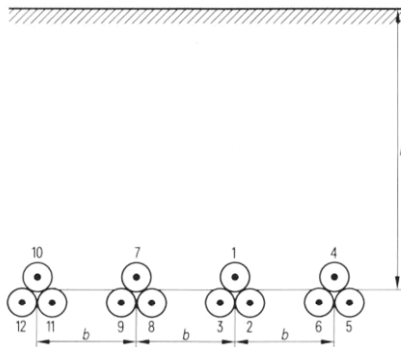
Yukarıdaki ifade yardımıyla nemli alanlardaki izotermelerde tesbit edilir.



Şekil 6.21: NYY 3x150 iki adet kablunun sıcaklık sahaları

Örnek:

Dört devre demetlenmiş 1-damarlı NA2XS2Y 1x50RM/25 kablolar aynı kablo kanalında aralarındaki açıklık 7 cm olacak şekilde tesis edilmiştir. İki demet arasındaki açıklık demet merkezlerinden itibaren d kablo çapı olmak üzere $b=2d+70 \text{ mm}=2 \times 35,7+70=141,4 \text{ mm}$ dir.



Şekil 6.22: Örnek ile ilgili şekil

$$\begin{aligned}
 \Delta T'_{xy} &= \frac{\rho_x}{2\pi} \left[\sum_4^9 \delta_i + \mu \cdot \sum_{9+1}^{12} \delta_i + (9-3)(\mu-1) \ln k_y \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} \left[3x2 \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2} + 1 + \mu \cdot 3x1 \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{2b}\right)^2} + 1 + (9-3)(\mu-1) \ln \frac{4h}{d_y} \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} \left[6 \ln \sqrt{\left(\frac{2,0,7}{0,14}\right)^2} + 1 + 0,553x3 \ln \sqrt{\left(\frac{0,7}{0,14}\right)^2} + 1 + 6(0,553-1) \ln \frac{4,0,7}{0,286} \right] = \\
 &= \frac{2,5}{2\pi} [13,85 + 0,553x4,89 - 6,12] = 4,15 \text{ Km} / W
 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{0,7m}{0,14m} = 5 \text{ için}$$

$$\sum_4^9 \delta_i \approx 3x2x23 = 13,8$$

$$\sum_{10}^{12} \delta_i = \sum_4^{12} \delta_i - \sum_4^9 \delta_i \approx 3.(3,95 - 2,3) = 4,95$$

$$I_Z = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{Lr} - \mathcal{G}_E + \left[\left(\frac{\rho_x}{\rho_E} \right) - 1 \right] \Delta \mathcal{G}_x}{n \cdot R'_{wr} \cdot (T'_{Kl} + T'_{xy} + \Delta T'_{xy})}} = \sqrt{\frac{90 - 20 + \left[\left(\frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] \cdot 25}{1x0,269x10^{-3} \cdot (0,469 + 3,445 + 4,15)}} = 223 A$$

Örnek

NYSEY 3x185RM/25 6/10 kV iki adet 3- fazlı kablo aralarında 7 cm mesafe olmak kaydıyla, aynı kablo kanalı içerisinde tesisi edilmişlerdir. diğer kabloların yerleşimi Şekil 6.23 de görülmektedir. Şekilde görülen diğer kablo yüklü değildir.

Aşağıda verilen elektrik ve termal değerler geçerlidir.

$$R'_{wr} = 0,121 \text{ ohm} / \text{km}$$

$$I_r = 394 \text{ A}$$

$$P'_d = 3,7 \text{ W} / \text{m}$$

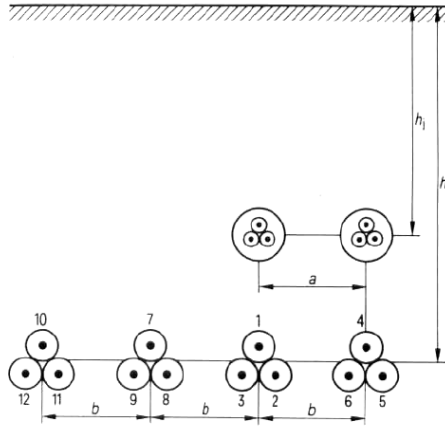
$$d = 68,8 \text{ mm} \cdot \text{referans} \cdot \text{çap}$$

$$T'_{KI} = 0,364 \text{ Km} / \text{W}$$

$$T'_{Kd} = 0,253 \text{ Km}$$

$$T'_{xy} = 1,071 \text{ Km} / \text{W}$$

$$T'_X = 1,474 \text{ Km} / \text{W}$$



Şekil 6.23. Yukardaki örnekle ilgili düzenleme şekli

Bir kablonun yüklenebilme kapasitesi

$$I_r = \sqrt{\frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_E - P'_d(T'_{KI} + T'_X) + \left[\left(\frac{\rho_X}{\rho_E} \right) - 1 \right] \cdot \Delta \vartheta_X}{n \cdot R'_{wr} \cdot (T'_{KI} + T'_{xy})}} = \sqrt{\frac{70 - 20 - 3,7(0,253 + 1,474) + \left[\left(\frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] \cdot 25}{3 \times 0,121 \times 10^{-3} \cdot (0,364 + 1,071)}} = 394 \text{ A}$$

$$a = 70 \text{ mm} + d \approx 70 \text{ mm} + 69 \text{ mm} = 139 \text{ mm}$$

$$\frac{h_j}{a} = \frac{0,7 \text{ m}}{0,139 \text{ m}} = 5,04$$

Şekil 6.19 dan $\sum_1^2 \delta_i = 2,31$

$m=0,7$ yükleme faktörü için Tablo 8.31 den $\mu = 0,553$ ve $d_y = 0,286$. Yukarıdaki örneklerde $k_y = 9,69$ bulunmuştu

Böylece

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi} \left[\sum_2^{N_y} \delta_i + \mu \sum_{N_y+1}^N \delta_i + (N_y - 1)(\mu - 1) \ln k_y \right] = \frac{2,5}{2\pi} [2,31 + 0 + (2 - 1)(0,553 - 1) \ln 9,69] = 0,515 \text{ Km} / W$$

$$N_y = 2 \text{ ve } \sum_2^{N_y} \delta_i = \sum_2^2 \delta_i = 2,31$$

$$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi} \cdot \sum_2^N \delta_i = \frac{2,5}{2\pi} \cdot 2,31 = 0,919$$

$$I_z = \sqrt{\frac{70 - 20 - 3,7(0,253 + 1,474 + 0,919) + \left[\left(\frac{2,5}{1,0} \right) - 1 \right] \cdot 25}{3 \times 0,121 \times 10^{-3} \cdot (0,364 + 1,071 + 0,515)}} = 331 A$$

Genellikle kablonun ısınma şartları göz önüne alınarak iletken kesitinin belirlenmesinde, gerek zaman kazanmak gerekse hesapları basitleştirmek amacıyla imalatçı kataloglarından alınan değerlerden hareket edilir. Kablo imalatçı kataloglarında açıkta tesis edilen kablolar için 30°C hava sıcaklığında 3-damarlı tek kablo için veya 3 devreli tek damarlı kablolar için ve toprak altında tesis edilen kablolarda 20°C toprak sıcaklığında ve 3-damarlı tek kablo veya 3 devreli tek kablo için verilir. Gerçekte bu şartlar uygulamalarda gerçekleştirilemez. Bu nedenle söz konusu sapma şartlarını karakterize eden katsayılar göre kablo katalogundaki değerler esas alınarak kablonun tesis, ortam

şartlarına göre alabileceği değer hesaplanır. Yukarıdaki hesaplar, tablolarda verilen sapma şartlarından farklı durumları karakterize eden özel hallerde kullanılır.

Söz konusu sapma şartlarında kablonun akım taşıma kapasitesini hesaplamak için hesapları kolaylaştırmak için sonraki bölümde açıklanacak olan belirli sapma şartları göre hazırlanan azaltma veya düzeltme faktörleri gerçek tesis şartlarına göre seçilerek ve dizayn şartlarına göre belirlenen akım taşıma kapasiteleri ile çarpılarak belirlenir.

Bu sapma şartları

1. Değişik tesis metodları
2. Değişik ortam sıcaklığı
3. Değişik kablo tertiplenmesi
4. Değişik toprak termal özgül direnç değerleridir.

Gerçekte imalatçılar tarafından verilen kablo akım taşıma çizelgeleri yukarda açıklanan işlemler sonucu belirlenir.

İleriki bölümlerde açıklanan sapma şartlarına göre hazırlanan düzeltme veya azaltma faktörleri de yukarıda açıklanan metodlarla belirlenir. Söz konusu sapma şartlarından farklı durumlar ortaya (farklı toprak termal özgül direnci, olağan dışı ortam sıcaklığı veya özel kablo imalatı gibi) yukarda açıklanan işlemlere başvurulur.

6.6. Sapma şartları

6.6.1. Tesis metotları

Yukarda açıklanan hesaplara kablo kesitinin ısınmaya göre hesabını kolaylaştırmak için belirlenen tesis şartları ve şekilleri esas alınarak belirlenen düzeltme faktörleri

kullanılmak suretiyle büyük yaklaşıklıklarla hesaplar yapılmaktadır.

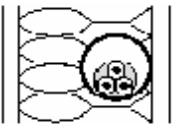
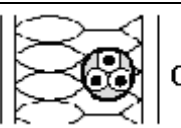
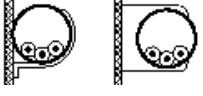
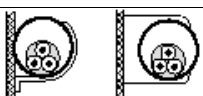
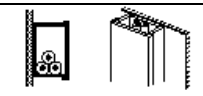
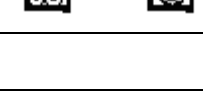
Eğer aşağıda verilen şartların ve şekillerin dışında bir tesis şekli mevcutsa bu durumda yukarda açıklanan metodlar kullanılarak kabloların ısınmaya göre hesapları yapılacaktır.

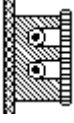
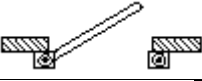
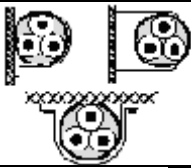
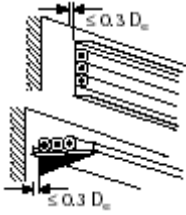
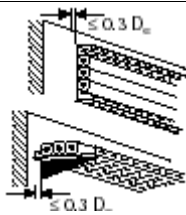
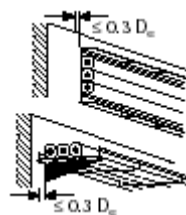
İletkenlerin akım taşıma kapasitelerini belirlemek ve dolayısıyla taşıyabileceği azami yük akımına göre kablo kesitini hesaplamak için kablo tesis metodlarını göz önüne alarak gerçek şartlara göre aşağıda açıklanacak metodlar uygulanarak kabloların azami akım taşıma kapasitesi belirlenecektir.

Tesis Metodu								
Tesis yeri	Kroşesiz	Kroşeli	Boru içinde	Yükseltilmiş taban	Kablo dakları	Kablo merdiveni Kablo tavası Kablo dirsekleri	İzolatör üzerine	Mesnet üzerine
Bina boşluğu	40,46 15,16	0	15,16	-	0	30,31,32 33,34	-	-
Kablo kanalı	56	56	54,55	0	44	30,31,32 33,34	-	-
Toprağa gömülü	72,73	0	70,71	-	70,71	0	-	-
Yapının içine gömülü	57,58	3	1,2 , 59, 60	50, 51, 52 , 53	44, 45	0	-	-
Yüzeye monteli	-	21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	6,7,8,9	30, 31, 32, 33,34	36	-
Askılı	-	-	0	10, 11	10,11	30, 31, 32, 33,34	36	35

Tablo 6.9. Tesis metotları

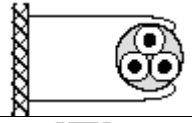
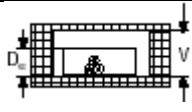
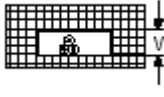
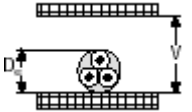
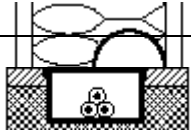
- İzin verilmez
0 Pratikte kullanılmaz

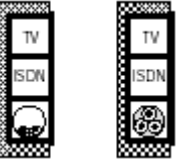
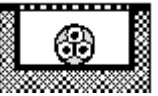
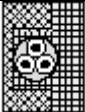
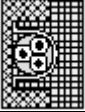
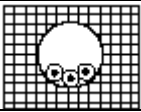
Tesis Metodu	Tesis şekli Sıra no	Açıklama	Kablo akım kapasitesini sağlamak için kullanılacak referans metot
	1	Termal olarak izole edilmiş duvar içine yerleştirilmiş boru içinde tek damarlı kablolar ve hatlar	A1
 Oda	2	Termal olarak izole edilmiş duvar içine yerleştirilmiş boru içinde çok damarlı kablolar	A2
 Oda	3	Termal olarak izole edilmiş duvar içine doğrudan yerleştirilmiş çok damarlı kablo.	A3
	4	Duvar üzerine veya boru çapının 0,3 katından az mesafede yerleştirilmiş boru içine tesis edilen izole hatlar ve tek damarlı kablo	B1
	5	Duvar üzerine veya boru çapının 0,3 katından az mesafede yerleştirilmiş boru içine tesis edilen izole hatlar ve çok damarlı kablo	B2
	6	Tahta duvar üzerine yerleştirilmiş yatay (6) ve düşey (7) kablo taşıyıcıları içinde tesis edilmiş izole hatlar ve kablolar	B1
	7		
	8	Askılı kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş izole hatlar ve tek damarlı kablolar (8)	B1(8) B2(9)
	9	Askılı kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş çok damarlı kablolar (9)	

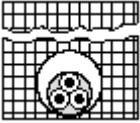
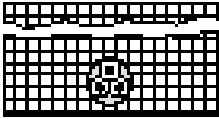
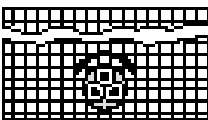
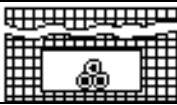
	12	Kapalı kalıplar içine tesis edilmiş izole hatlar ve tek damarlı kablolar	A1
	13 14	Duvara bağlı kapalı kablo taşıyıcıları içinde Tek damarlı(13),çok damarlı(14) kablolar	B1(13) B2(14)
	15	Boru içine tesis edilmiş iletken veya yapı içine yerleştirilmiş tek damarlı kablo	A1
	16	Boru içinr yarlaştırılmış izole iletkenler veya kapı çerçevesine yerleştirilen tek ve çok damarlı kablolar.	A1
	20 21	Tek ve çok damarlı kablolar - duvara sabitlenen veya kablo çapının 0,3 katından az bir uzaklıkta duvara sabitlenen(20) ve tavana sabitlenen(21)	C
	30	Deliksiz kablo taşıyıcıları üzerine	C
	31	Delikli kablo taşıyıcıları üzerine	E veya F
	32	Kablo merdivenleri üzerine	E veya F

İLETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI -ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM NOTLARI

(6)

	33	Duvardan kablo çapının 0,3 katından fazla uzaklıkta	E veya F veya G
	34	Kablo merdiveni	E veya F
	35	Askı teli üzerinde asılı tek ve çok damarlı kablo	E veya F
	36	İzolator üzerinde çekili bara veya izole iletken.	B1(8) B2(9)
	40	Bina boşluğuna tesis edilmiş tek ve çok damarlı kablolar	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	24	Bina boşluklarına yerleştirilmiş kablo dağları içine tesis edilmiş izole iletkenler	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	44	Termal direnci 2Km/W dan yüksek beton içindeki kablo dağları içine tesis edilmiş izole iletkenler	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	46	Tek ve çok damarlı kablolar -Asma tavan - Yükseltilmiş taban	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	50	Zemin içinde kapakları zeminle aynı yüzeyde kablo kanalı içine tesis edilmiş tek damarlı kablolar ve izole iletkenler	B1

	51	Zemin içinde kapakları zeminle aynı yüzeyde kablo kanalı içine tesis edilmiş çok damarlı kablolar	B2
	52 53	Gömülü kablo taşıyıcıları içine tesis edilmiş izole iletken ve tek damarlı kablolar(52) ve çok damarlı kablolar(53)	B1 (52) or B2 (53)
	54	Yatay veya düşey ırak giden havalandırmasız kablo kanalı içine yerleştiririlen boru içine tesis edilen izole hatlar ve tek damarlı kablolar.	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	55	Zemin içinde açık veya havalandırılmalı kablo kanalı içindeki boru içine tesis edilen izole iletkenler.	B1
	56	Zemin içinde açık veya havalandırılmalı kablo kanalı içindeki boru içine tesis edilen çok damarlı kablolar.	B1
	57	Herhangi bir mekanik koruma olmadan termal direnci 2Km/W dan fazla olan doğrudan tesis edilen tek ve çok damarlı kablo	C
	58	Mekanik korumalı termal direnci 2Km/W dan fazla olan doğrudan tesis edilen tek ve çok damarlı kablo	C
	59	Duvarı içindeki borulara tesis edilen izole iletkenler ve tek damarlı kablolar	B1
	60	Boru içine yerleştirilmiş izole iletkenler veya kapı çerçevesine yerleştirilen tek ve çok damarlı kablolar.	B2

	70	Toprak içinde kablo dakları veya boru içine tesis edilen çok damarlı kablolar	D
	72	Mekanik koruma olmadan toprak içine doğrudan tesis edilen ekranlı tek damarlı ve çok damarlı kablolar	D
	73	Mekanik korumalı toprak içine doğrudan tesis edilen ekranlı tek damarlı ve çok damarlı kablolar	D
	71	Toprak içinde kablo dakları veya boru içine tesis edilmiş tek damarlı kablolar	D

Tablo 6.10. Tesis metotları

6.6.2. Havada tesis edilen kablolar (havai hatlar)

Kablo imalatçı kataloglarında havada tesis edilme şekline göre akım taşıma kapasiteleri kablo başına ve 30⁰C ortam sıcaklık şartları altında verilir. Gerçekte tesis edilme şartları ve tesisin çalışma ortam sıcaklıkları bu değerlerden çok farklıdır. Kabloların akım taşıma kapasiteleri değişen ortam sıcaklıkları ve tesis metotlarına göre farklı değerler aldığından kabloların akım taşıma kapasiteleri tesiste oluşabilecek en yüksek ortam sıcaklıkları ve tesis metotları göz önüne alınarak yeniden belirlenmelidir. Bu ise düzeltme faktörleri belirlenerek ve toplam düzeltme faktörleri imalatçı kataloğunda verilen değerler ile çarpılarak sağlanır.

Havada tesis edilen kabloların akım taşıma kapasitesini elde etmek için aşağıda verilen ifade kullanılır.

$$I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \text{ (A)} \quad (4.13)$$

- I_0 Tek damarlı iletkenin 30°C referans sıcaklığında akımtaşıma kapasitesidir.
- f_1 30°C den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü
- f_2 Kablonunu demet veya yatay serilme ve tesis şekline göre düzeltme faktörü

6.6.2.1. f_1 Düzeltme faktörü

Bu sıcaklıktan değişik ortam sıcaklıklarında Tablo 6.11’de verilen değerlerle, bu akım taşıma kapasitesi değeri çarpılarak, ortam sıcaklığına göre akım taşıma kapasitesi bulunur. Düzeltme faktörü belirlenirken kablonun tesis edildiği ortamın ulaşabileceği en yüksek ortam sıcaklığı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle dizayn işleminin başında meteorolojik veriler ve tesiste ortam sıcaklığını arttırabilecek ısı kaynaklarının varlığı ve sıcaklık derecesinin yükseltmeye olan etkilerinin incelenmesi ve ekonomik olma durumlarına bağlı olarak soğutmayı sağlamak üzere soğutma sistemleri ve hava akış sistemleri tesis edilmelidir.

30°C den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü aşağıda verilen formüle göre belirlenir.

$$f_1 = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_0}{\theta_p - 30^\circ}}$$

θ_p Kararlı hal çalışması için izin verilen en yüksek sıcaklık
°C

θ_0 Ortam sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$

Ortam sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$	Kablo İzolasyon Tipi			
	PVC	XLPE ve EPR	Mineral (*)	
			PVC kaplı veya çıplak bara 70°C	Kapalı ortam içindeki bara 105°C
10	1,22	1.15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1	1	1	1
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,87	0,92
45	0,79	0,87	0,75	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65		0,65		0,70
70		0,58		0,65
75		0,50		0,60
80		0,41		0,54
85				0,47
90				0,40
95				0,32

(*) Daha yüksek sıcaklıklar için imalatçıya danışılmalı

Tablo 6.11. 30°C farklı ortam sıcaklıklarında f_1 düzeltme faktörü

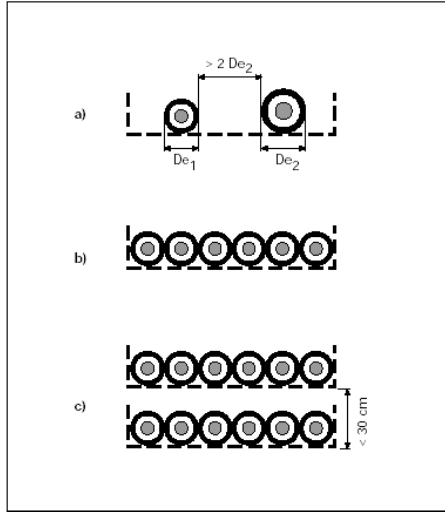
6.6.2.2. f_2 Düzeltme faktörü

Kabloların akım taşıma kapasiteleri yakınlarına serilen diğer kablolarda I^2R bakır kayıpları nedeniyle ortaya çıkan ısı yayılımından etkilenir. Tek kablonun ısı yayılımı yanına başka kablo serili aynı kablonun ısı yayılımından farklıdır.

Isı yayılımından etkilenme kablonun yatay olarak ve demetleme şeklinde tesis edilme tarzına göre farklı olacaktır.

Yatay olarak kablo tesisi: Birden fazla kablonun birbirleriyle temas ederek veya aralarında açıklık bulunarak yanyana tesis edilme şeklidir.

Kablolar yanyana, yatay şekilde tavana, duvara sabitlendiği gibi aynı şekilde delikli veya deliksiz kablo tavaları ve kablo merdivenleri üzerine tesis edilirler



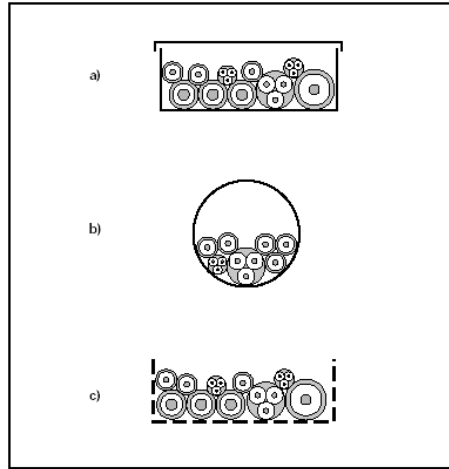
Kabloların serilmesi a) aralarında açıklıklı, b) Birleşik , c) Çift katlı serme

Şekil 6.24. Kabloların yatay şekilde havada tesis edilmesi

Demetleme şeklinde kablonun tesis edilmesi: Birden fazla kablonun aralarında açıklık olmadan katmanlar halinde bir arada tesis edilmeleridir.

f_2 düzeltme faktörü aşağıdaki şartlar gerçekleştiğinde 1'e eşittir.

- Farklı devrelere ait tek damarlı kablolar arasındaki açıklık, en büyük kesite sahip kablonun dış çapının iki katı değerinde olması halinde
- İki çok damarlı kablo arasındaki açıklık, en büyük kesitli kablonun dış çapının iki katı olması halinde
- Komşu kabloların nominal akım taşıma kapasitesinin %30 değeri ile yüklenmesi halinde.



Demetlenmiş kablolar a) Kablo taşıyıcıları ile
b) Boru içinde c) Delikli kablo tanvası ile

Şekil 6.25. Kabloların demetleme şeklinde tesisi

Demetlenmiş veya yatay tesis edilmiş kablolar için azaltma faktörü demetlerin aynı kablolardan ve eşit olarak yüklendiği varsayılarak hesap edilir. Akım taşıma kapasitesi hesabı yapılırken aynı tip kabloları ihtiva eden kablo grubunun aynı izin verilen maksimum sıcaklığı esas alınarak ve komşu üç kablonun aynı kesit aralığı (örneğin 10 mm² den 25 mm² ye kadar) olduğu göz önüne alınır. Farklı kesitlerdeki demetlenmiş kablolar için azaltma faktörü hesabı kabloların kesitlerine ve kabloların sayısına bağlıdır.

Boru içindeki farklı kesitlerdeki izole iletkenler ve kablolar için düzeltme faktörü, kablo taşıyıcıları ve kablo daklarında

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{n}} \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

n demetteki devre sayısı

Bu ifade ile elde edilen düzeltme faktörü daha küçük kesitteki kabloların aşırı yüklenme tehlikesini azaltır fakat kapasitesine göre çok daha büyük kesitte kablo seçimine neden olur. Bu gibi kapasite altı kullanımından büyük ve küçük kablolar, aynı grup içerisinde demetlenmezse sakınılabilmektedir. Aşağıda verilen tabloda azaltma faktörleri gösterilmektedir.

		Yanyana dizilmiş veya demetlenmiş kablo sayısı													Akım taşıma kapasitesi hesabında kullanılacak referans tesis tipi
No	Kabloların tesis şekli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
1	Yüzey üzerinde, duvara gömülü veya kapalı ortamda demet şeklinde	1,0	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38	A, F	
2	Duvar, döşe-	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70					

	me veya deliksiz kablo tavaşı üzerine tek kat yatay tesis		Dokuz devreden fazla veya çok damarlı kablolar için daha düşük değerde azaltma faktörü kullanılamaz.	C
3	Asma tavan altına doğrudan sabitlenmiş tek katlı serme	0,95 0,81 0,72 0,68 0,66 0,64 0,63 0,62 0,61		
4	Delikli kablo tavaşı üzerine düşey veya yatay tek kat serme	1,0 0,88 0,82 0,77 0,75 0,73 0,73 0,72 0,72		E, F
5	Takozlu veya mesnetli kablo merdiveni üzerine tek katlı yatay serim	1,0 0,87 0,82 0,80 0,80 0,79 0,79 0,78 0,78		

Tablo 6.12. Gruplandırılmış kablolar için f_2 düzeltme faktörleri

Not 1: Bu faktörler eşit olarak yüklü kabloların aynı gruplarında kullanılırlar.

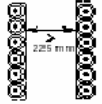
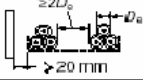
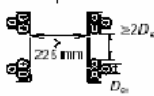
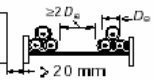
Not 2: Komşu kabloların arasındaki yatay açıklıkların uzunluğu kablo çapının iki katını aştığı yerlerde düzeltme faktörü kullanılmaz.

Not 3: Aynı azaltma faktörleri

- iki veya üç adet tek damarlı kablo gruplarında
- Çok damarlı kablolarda kullanılırlar

Not 4: Eğer sistem hem iki ve hemde üç damarlı kabloları ihtiva ediyorsa kabloların toplam sayısı devre sayısı olarak alınır

Not 5: Eğer grup n adet tek damarlı kablo ihtiva ederse ya iki iletkeni yüklenmiş $n/2$ adet devre olarak veya üç iletkeni yüklenmiş $n/3$ devre olarak göz önüne alınır.

Tablo 6.13'teki tesis metodları			Tava sayısı	3-fazlı devre sayısı (not4)			Çarpım değerleri
				1	2	3	
Delikli tavalar (not2)	31		1 2 3	0.98 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	Yatay düzenlemede üç kablo
Düşey delikli tavalar (not3)	31		1 2	0.96 0.95	0.86 0.84	- -	Düşey düzenlemede üç kablo
Kablo merdiveni (not2)	32 33 34		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	Yatay düzenlemede üç kablo
Delikli tavalar (not2)	31		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	
Düşey delikli tava (not3)	31		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	Üçlü düzenlemede üç kablo
Kablo merdiveni (not3)	32 33 34		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

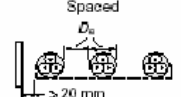
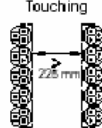
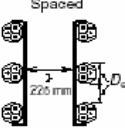
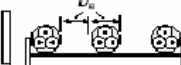
Tablo 6.13. *F* tipi tesis metodunda tek damarlı kablolar için f_2 düzeltme faktörü

Not 1: Düzeltme faktörleri tek yatay tesis için verilmiş olup (veya üçgen tertip) birbirine dokunan [touched] birden fazla yatay tesis edilmiş kablolar için kullanılamazlar. Bu gibi tesisler için değerler önemli derecede düşük olabilir ve uygun bir metot vasıtasıyla belirlenmesi gerekir.

Not 2: Değerler tavalar arası düşey açıklığın 300 mm olması hali için verilmiş olup daha az değerde açıklıklar [spaces] için düzeltme faktörü değeri daha da azalır.

Not 3: Değerler arka arkaya olan tavalar arasındaki açıklığın 225 mm olması hali için verilmiş olup herhangi bir tava ile duvar arasındaki mesafe 20 mm olmalıdır.

Not 4: Her bir fazda birden fazla kabloya sahip devreler için Her üç faz için bir iletken göz önüne alınır.

Tesis Metodu			Tava Sayısı	Kablo sayısı					
				1	2	3	4	6	9
Delikli tava (not2)	31	Touching 	1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
			2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
			3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		Spaced 	1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	–
			2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	–
			3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	–
Dik delikli tavalar (not2)	31	Touching 	1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
			2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
		Spaced 	1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	–
			2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	–
Kablo merdivenleri (not2)	32	Temas 	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
			2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
			3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
	33	Açıklık 	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	–
			2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	–
			3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	–

Tablo 6.14. E tipi tesis metodunda çok damarlı kablolar için f_2 düzeltme faktörü

Not 1: Faktörler yukarıdaki tabloda görüldüğü şekilde tek kat serimli Tesislerde uygulanır, birbirine temas eden bir kattan fazla serimlere uygulanmaz. Bu gibi tesisler için düzeltme

faktörlerinin değerleri önemli miktarda düşük olabilir ve bunların yaklaşık metotla tesbit edilmesi gerekir.

Not 2: Düzeltme faktörlerinin değerleri tavalara arası düşey açıklığın 300 mm ve duvarla tava arasındaki açıklığın 20 mm olması hali için verilmiştir. Verilen açıklıklardan daha az açıklıklar için azaltma faktörlerinin değerleri daha da azalır.

Not 3: Düzeltme faktörlerinin değerleri arka arkaya monteli tavalara arası açıklığın 225 mm olması hali için verilmiş olup daha az açıklıklar için düzeltme faktörlerinin değerleri azalacaktır.

6.6.2.3 Kabloların kesitlerini belirlemek için aşağıda

verilen işlem sırası uygulanacaktır.

1. Tablo 6.10'den tesis metodu belirlenecek.
2. Tablo 6.11'den izolasyon malzemesi ve ortam sıcaklığına göre f_1 düzeltme faktörü belirlenecek.
3. Tablo 6.12, 6.13, 6.14'e göre kullanılan tesis metodu esas alınarak f_2 düzeltme faktörü belirlenecek.
4. I_B yük akımını (veya koruma cihazının nominal akımını) elde edilen düzeltme faktörlerine bölerek I'_B akım değeri hesap edilecek

$$I'_B = \frac{I_B}{f_1 \cdot f_2} \text{ (A)}$$

5. Tablo 6.15 veya 6.16'dan tesis metoduna, iletkenin cinsi ve izolasyonuna ve enerjili iletken sayısına bağlı olarak $I_0 \geq I_b$ akım taşıma kapasiteli kablo kesiti bulunur.
6. Kablonun gerçek akım taşıma kapasitesi $I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2$ ifadesiyle bulunur.

Tesis metodu	A1						A2						B1						B2						C						
	Cu		Al		PVC		Cu		Al		PVC		Cu		Al		PVC		Cu		Al		PVC		Cu		Al		PVC		
iletken	XLPE EPR	2	3	2	3	2	XLPE EPR	2	3	2	3	2	XLPE EPR	2	3	2	XLPE EPR	2	3	2	3	2	XLPE EPR	2	XLPE EPR	2	3	2	3	2	
izolasyon	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	
yüklenen	18	21	11,5	13,5	18	21	11,5	13,5	18	21	11,5	13,5	21	25	10	11,5	15,5	22	18,5	15,5	15	24	22	18,5	15,5	24	22	18,5	15,5	24	
iletkenler	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15	18	21	11,5	13,5	18	21	11,5	13,5	18	21	11,5	13,5	21	25	10	11,5	15,5	22	18,5	15,5	15	24	22	18,5	15,5	24	22	18,5	15,5	24	
2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	35	31	25	24	27	25	20	18,5	33	30	25	22	42	37	32	30	28	40	35	30	27	31	28	34	32	45	35	32	28	25	
6	45	40	34	31	35	32	26	24	42	38	32	28	54	48	41	36	33	58	51	44	38	43	35	40	52	46	41	35	32	28	
10	61	54	46	42	48	44	36	32	57	51	45	38	75	66	57	50	59	64	60	52	46	54	48	41	56	50	45	37	32	28	
16	81	73	61	56	64	58	48	43	76	68	57	52	100	88	76	68	79	91	80	69	62	72	64	54	62	107	95	85	76	64	56
25	106	95	80	73	84	76	63	57	99	89	75	68	131	117	101	89	105	121	105	90	80	94	84	71	62	138	119	112	96	101	90
35	131	117	99	89	103	94	77	70	121	109	92	83	164	144	125	110	126	146	128	111	99	115	103	86	77	147	138	119	106	112	103
50	168	141	119	108	123	113	83	84	145	130	110	99	200	179	151	134	157	221	194	168	148	138	124	104	92	209	179	168	144	154	135
70	200	179	151	136	158	142	118	107	183	164	138	125	242	222	192	171	200	273	241	208	183	175	156	131	116	269	229	213	184	198	174
95	241	216	182	164	191	173	142	129	220	197	167	150	285	263	232	207	242	315	278	241	210	188	167	141	125	328	278	258	222	241	211
120	278	249	210	188	220	197	164	149	253	227	192	172	321	300	269	242	271	345	308	271	239	210	188	167	141	371	321	299	259	280	245
150	318	285	240	216	253	226	189	170	290	259	218	196	364	342	309	281	314	388	351	314	281	248	216	190	160	441	371	344	309	271	241
185	362	324	273	245	288	256	215	194	329	295	248	223	423	401	367	339	371	465	423	386	351	314	281	248	216	505	424	392	341	311	273
250	423	371	321	286	338	301	252	227	395	356	291	261	507	479	441	401	471	551	507	464	423	386	351	314	281	593	500	461	403	352	302
300	481	435	367	328	381	341	289	261	472	436	351	296	571	536	501	461	541	621	571	528	481	441	401	361	321	661	571	528	481	441	401
400																															
500																															
600																															
630																															

Tablo 6.15. PVC ve EPR/XLPE kabloların tesis metoduna göre akım taşıma kapasiteleri

Tesis metodu	C						E veya F						G					
	Metalik ekran sıcaklığı 70 °C		Metalik ekran sıcaklığı 105 °C		Metalik ekran sıcaklığı 70 °C		Metalik ekran sıcaklığı 105 °C		Metalik ekran sıcaklığı 70 °C		Metalik ekran sıcaklığı 105 °C		Metalik ekran sıcaklığı 70 °C		Metalik ekran sıcaklığı 105 °C		Metalik ekran sıcaklığı 70 °C	
Brant	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli	PVC kaplı veya açıkta	Öplak kablo dokunma engelli
Yükümlü iletkenler	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Simetrik	23	19	21	26	24	21	25	21	23	31	26	29	36	29	33	3	3	3
1.5	31	26	29	36	33	36	33	26	31	41	36	39	48	39	43	43	43	37
2.5	40	35	38	51	44	47	44	37	41	54	46	51	63	51	56	56	56	49
4	48	42	46	61	53	57	50	44	49	64	56	61	76	61	66	66	66	59
1.5	25	21	23	26	26	26	26	22	26	33	28	32	39	32	35	35	35	30
2.5	34	28	31	42	36	41	36	30	34	45	38	43	53	43	47	47	47	40
4	45	37	41	55	47	53	47	40	45	60	50	56	69	56	61	61	61	53
6	57	48	52	70	59	67	60	51	57	76	64	71	87	71	78	78	78	69
10	77	65	70	96	87	97	82	69	77	104	87	96	117	96	105	105	105	92
16	102	86	92	127	107	119	100	87	100	132	115	127	157	125	137	137	137	120
25	133	112	120	166	140	164	142	120	132	179	158	164	204	162	178	178	178	157
35	163	137	147	203	171	201	174	147	161	220	184	200	248	197	216	216	216	187
50	202	169	181	251	213	238	215	182	198	272	228	241	297	242	266	266	266	231
70	241	207	221	302	260	288	264	223	243	333	279	300	369	294	323	323	323	281
95	286	249	264	359	312	344	317	267	289	400	335	359	439	353	388	388	388	341
120	340	296	313	424	369	403	364	308	331	460	385	411	507	402	441	441	441	396
150	398	357	376	485	418	455	416	352	377	526	441	469	577	460	507	507	507	456
185	460	417	437	550	465	507	472	399	426	596	500	530	650	507	557	557	557	507
240	574	484	507	681	581	637	552	486	496	697	584	617	757	607	667	667	667	607

Tablo 6.16. Ekranlı kabloların akım taşıma kapasiteleri

6.6.3. Kabloların toprak içinde tesis edilmesi

Tesis tipi ve akım taşıma kapasitesine göre kablo kesitinin seçimi

Toprağa içine tesis edilen kabloların akım taşıma kapasitesi aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur.

$$I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \text{ (A)}$$

Bulunan değer $I_Z \geq I_B$

I_0 Toprak içine gömülü olarak tesis edilen tek damarlı kablonun 20°C referans sıcaklıkta akım taşıma kapasitesi

I_B Azami dizayn akımı (A)

f_1 20°C den farklı sıcaklıklar için düzeltme faktörü

f_2 kablonun yanındaki diğer kablolardan dolayı düzeltme faktörü

f_3 toprağın termeldirencinin referans değer 2,5km/W değerinden farklı olması halinde düzeltme faktörü.

6.6.3.1. f_1 Düzeltme faktörü

Toprak sıcaklığı °C	İzolasyon	
	PVC	XLPE iye EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	–	0.60
70	–	0.53
75	–	0.46
80	–	0.38

Tablo 6.17. 20°C den farklı toprak ortam sıcaklığı için düzeltme faktörlerinin değerleri

6.6.3.2. f_2 Düzeltme faktörü

Kabloların akım taşıma kapasitesi yanındaki diğer kabloların ısı yayılımından etkilenir. Düzeltme faktörü aşağıda verilen ifade yardımıyla hesaplanır.

$$f_2 = f_2' \cdot f_2''$$

Kablo sayısı	Kablolar arası açıklık(a)				
	Kablolar temasda	Bir kablo çapı kadar	0.125 m	0.25 m	0.5 m
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

Çok damarlı kablolar



Tek damarlı kablolar

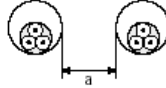


Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/W için verilmiştir.

Tablo 6.18. Doğrudan toprak içine gömülen kablolar için düzeltme faktörü f_2'

Kablo sayısı	Kablolar arası açıklık(a)			
	Kablolar temasda	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

Çok damarlı kablo



Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/VV için verilmiştir.

Tablo 6.19. Toprak içinde kablo dakları içindeki çok damarlı kablolar için f_2' düzeltme faktörleri

iki veya üç kablo tek damarlı devre sayısı	Daklar arası açıklık(a)			
	Kablo dakları birbiri ile temasta	0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90

Tek damarlı kablo



Değerler 0,7 m tesis derinliği ve toprak termal direnci 2,5 km/VV için verilmiştir.

Tablo 6.20. Toprak içinde kablo dakları içindeki tek damarlı kablolar için f_2'' düzeltme faktörleri

6.6.3.3. f_2'' Düzeltme faktörü

- Toprağa doğrudan gömülü veya aynı dak içinde başka bir kablo bulunmazsa $f_2''=1$ alınır.

- Eğer aynı dak içinde aynı kesitte iletkenler bulunursa Tablo 6.20 deki 1. sıradaki değerler alınır.
- Eğer iletken büyüklükleri farklı değerlerde ise aşağıdaki ifadeden f_2'' bulunur

$$f_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

- n: dak içindeki devre sayısı.

6.6.3.4. f_3 Düzeltme faktörü

Toprağın termal özgül direnci kablonun ısı yayılımını etkiler.

Termal özgül direnç km/W	1	1.5	2	2.5	3
Düzeltme faktörü	1.18	1.1	1.05	1	0.96

Not1:Düzeltme faktörünün doğruluğu+-%5 toleransları içindedir

Not2:Düzeltme faktörleri torak içindeki daklara serili kablolar içinde uygulanabilir, daha hassas değerlerin istenildiği yerlerde IEC60287 de verilen metod yardımıyla hesaplanabilir.

Not3: Düzeltme faktörleri 0,8 m derinliğe kadar gömülü daklar için uygulanabilir.

Tablo 6.21. 2,5 km/W değerlerinden farklı termal özgül dirençleri için f_3 düzeltme faktörü

6.6.3.5. Kablo kesitinin tayini için işlem sırası

- Tablo 6.17'den izolasyon malzemesi ve toprak sıcaklığına göre f_1 düzeltme faktörü belirlenir

Tablo 18,19,20, yi veya farklı boyutta kablolar tesis edilmişse

$f_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$ ifadesini kullanarak f_2'' Düzeltme faktörü tayin

edilir.

- Tablo 6.21'den f_3 düzeltme faktörü belirlenir

- Bu faktörler I_B yük akımına (veya koruma cihazının nominal akımına) bölünerek I'_B akımı hesap edilir

$$I'_B = \frac{I_B}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \text{ (A)} \quad (4.20)$$

- Tablo 6.22 den tesis metoduna göre $I_0 \geq I_b$ olacak şekilde kablo kesiti belirlenir
- Seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi $I_Z = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$ (A) (4.21) ifadesi kullanarak bulunur.

İletken?	Tesis metodu	D							
									
	iletken?	Cu				Al			
	izolasyon	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
S(mm²)	Yüklü iletkenler	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		26	22	22	18				
2.5		34	29	29	24	26	22	22	18.5
4		44	37	38	31	34	29	29	24
6		56	46	47	39	42	36	36	30
10		73	61	63	52	56	47	48	40
16		95	79	81	67	73	61	62	52
25		121	101	104	86	93	78	80	66
35		146	122	125	103	112	94	96	80
50		173	144	148	122	132	112	113	94
70		213	178	183	151	163	138	140	117
95		252	211	216	179	193	164	166	138
120		287	240	246	203	220	186	189	157
150		324	271	278	230	249	210	213	178
185		363	304	312	258	279	236	240	200
240		419	351	361	297	322	272	277	230
300		474	396	408	336	364	308	313	260

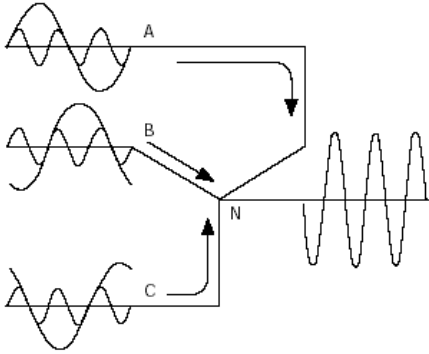
Tablo 6.22. Toprağa gömülü kabloların akım taşıma kapasiteleri

6.6.4. Dengeli 3-fazlı sistemler üzerine harmonik akımların etkileri:

3. harmonik akımlarının nötr iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması: 4-damarından da akım taşınan 4 veya 5-damarlı kablolarda harmoniklerin etkilerinden dolayı

düzeltilme faktörü ile çarpılması gerekir. Nötr hattı üzerinden genellikle yok edilemeyen önemli miktarda 3. harmonik akımları geçer. 3. harmonik nedeniyle nötr hattı üzerinden geçen akımların değeri 3. faz iletkenlerinden geçen akımların değerini aşabilir. Böyle durumlarda nötr akımlarının, devrede bulunan kabloların akım taşıma kapasiteleri üzerinde önemli etkisi olacaktır.

Tablo 6.22'deki değerler nötr iletkenin kesiti ve malzemesinin faz iletkeni ile aynı olan 4 veya 5-hatlı, 3-fazlı dengeli sistemler için geçerlidir. Bu azaltma faktörleri 3. harmonik akımları esas alınarak belirlenmiştir. Eğer sistemde %10 dan daha fazla değerde yüksek harmonikler varsa veya fazlar arası dengesizliğin %50 lerden fazla olması beklenen sistemlerde daha düşük değerde azaltma faktörü uygulanmalıdır. Bu faktörler sadece yüklü fazlarda akımların gerçek şekilleri göz önüne alınarak hesaplanabilir.



Şekil 6.26. Her bir faza ait 3. harmonik akımlarının

Nötr akımının faz akımından daha fazla olması muhtemel yerlerde kablo büyüklüğü nötr akımları esas alınarak belirlenir.

Faz akımındaki üçüncü harmonik miktarı	Azaltma faktörü			
	%	Faz akımları esas alınarak kesit seçimi	Kablo seçimi için göz önüne alınan akımlar I_B'	Nötr akımı esas alınarak kesit seçimi I_N'
			Kablo seçimi için göz önüne alınan akımlar I_B'	Kablo seçimi için göz önüne alınan akımlar I_B'
	0 ÷ 15	1	$I_B' = \frac{I_B}{k_{tot}}$	-
	15 ÷ 33	0.86	$I_B' = \frac{I_B}{k_{tot} \cdot 0.86}$	-
	33 ÷ 45	-	-	$I_B' = \frac{I_N}{0.86}$
	> 45	-	-	$I_B' = I_N$

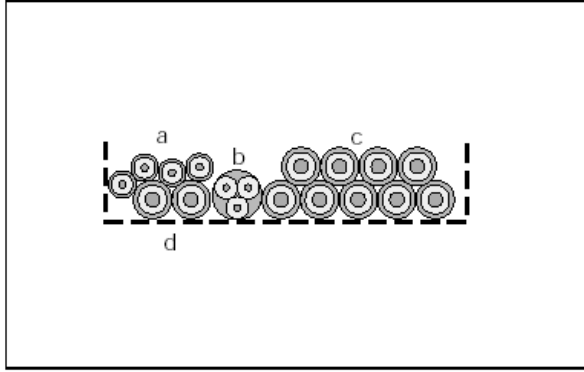
Tablo 6.23. 4 veya 5 damarlı kablolarda 3. harmoniklerden dolayı düzeltme faktörü

Örnek: 3-fazlı dengeli harmoniksiz devrede kablo boyutlandırılması

Boyutlandırılacak kablo ile ilgili karakteristikler:

- İletken malzemesi Bakır
- İzolasyon PVC
- Kablo tipi Çok damarlı
- Tesis şekli Delikli kablo tavası üzerine demetlenmiş kablo
- Yük akımı 100 A
- Tesis şartları Ortam sıcaklığı 40^0C
- Tava içindeki diğer devreler
- a) 4x50mm² 4 adet tek damarlı kablodan meydana gelen 3-fazlı sistem
- b) 1x(3x50) mm² 1 adet kablodan ibaret 3-fazlı devre

- c) Herbir faz için 3 kablo olmak üzere 9x95 mm² kesitinde 9 adet tek damarlı kablodan ibaret 3 fazlı devre



Şekil 6.27. Yukarda verilen örneğe ait şekil

Tablo 6.22’den E ve 31 referans no.lu tesis şekli söz konusudur.

Tablo 6.17’den 40°C ortam sıcaklığına göre düzeltme faktörü
 $f_1 = 0,87$

Tablo 6.18 den $f_2 = 0,73$

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} = \frac{100}{0,87 \cdot 0,73} = 157,4A$$

$I_0 \geq I'_b = 154,7A$ olması gerektiğinden Tablo 6.15’den 70 mm² kesitinde kablo seçildi; söz konusu kablonun normal şartlar altında akım taşıma kapasitesi 196 A dir.

Kablonun belirtilen gerçek şartlar altında akım taşıma kapasitesi

$$I_z = 157,4 \cdot 0,87 \cdot 0,73 = 124A \text{ dir.}$$

Örnek:

Önemli derecede 3. harmonik ihtiva eden 3-fazlı sistemde kablo boyutlandırılması.

Boyutlandırılacak kablonun karakteristikleri

• İletken malzemesi	Bakır
• İzolasyon malzemesi	PVC
• Kablo tipi	3 damarlı
• Tesis tipi	Yatay delikli kablo tavası
• Yük akımı	115 A

Tesis şartları

• Ortam sıcaklığı	30°C
• Yanyana devre sayısı	-

İşlem sırası

Tablo 6.9'den 31 referans no.lu E tipi tesis metodu

f_1 sıcaklığa bağlı düzeltme faktörü $f_1=1$ (Tablo 6.11 den 30°C için)

f_2 yan yana olan kablo sayısına bağlı düzeltme faktörü $k_2=1$

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2} = \frac{115}{1.1} = 115A$$

Eğer sistemde harmonik yok ise Tablo 6.15'den $I_0 \geq I'_b = 115A$ için 35mm² kesit bulunur ve standart referans şartlarda bu kablonun taşıyacağı akım 126 A dir.

Gerçek şartlarda akım taşma kapasitesi $I_z = 126.1.1 = 126A$ dir.

3. harmonik miktarı %28 ise Tablo 6.23'den azaltma faktörü 0,86 olarak uygulanır.

$$I'_b = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2 \cdot 0,86} = \frac{115}{1.1.0,86} = 133,7 A \text{ olur ve Tablo 6.15'den}$$

gerekli iletken kesiti 50mm^2 olarak bulunur.

3.harmonik miktarı %40 ise kablonun boyutlandırılması nötr iletkeni esas alınarak yapılmalıdır buna göre

$$I_N = \frac{I_b}{f_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = \frac{150}{1} \cdot 3 \cdot 0,4 = 138 A$$

$$\text{ve akım değeri } I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{138}{0,86} = 160,5 A$$

Tablo 6.15'den 196 A akım taşıma kapasiteli 70 mm^2 kablo seçildi.

Eğer sistemdeki 3. harmonik miktarı %60 ise Tablo 6.23'den

$$I_N = \frac{I_b}{f_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III} = \frac{150}{1} \cdot 3 \cdot 0,6 = 207 A$$

$$I'_b = I_N = 207 A \text{ ve}$$

Tablo 6.15'den 238 akım taşıma kapasiteli 95 mm^2 kablo seçilmelidir.

6.6.5. Tek sayılı harmoniklerin faz iletkeni üzerindeki etkilerinin göz önüne alınması

Azami akım taşıma kapasitesi belirlenirken UPS, frekans konvertörü ve deşarj lambalı aydınlatma armatürleri gibi lineer yükleri besleyen kablolarda cihazın üzerinde verilen güçlerin belirlediği akımın yanında söz konusu cihazları

ürettiği harmonik akımların etkisi aşağıda verilen ifade ile göz önüne alınmalıdır

$$I_{rms} = I_1 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2$$

I_1 50 Hz frekansta akımın temel dalga değeri cihazın üzerindeki nominal güce tekabül eden akım

I_n n harmonik sayısına göre akım değeri. Üretici firma tarafından verilen ve harmonik spektrum cihazı vasıtasıyla yapılan testler sonucu testler sonucu belirlenen harmonik akımlarının değerleri .

Ülkemizde harmonik üreten cihazları besleyen kabloları ait akım taşıma kapasiteleri belirlenirken; ne yazık ki temel akım bileşenine göre hesaplar yapılmakta kablo kesitleri temel akım bileşenine göre belirlenmekte, koruma cihazlarının açtırma değerleri söz konu akımlar esas alınarak ayarlanmakta veya seçilmekte. Tesisin çalışma sırasında koruma cihazlarının açtırma yaptırması üzerine nedeni araştırılmadan koruma akım ayar değerleri değiştirilmekte veya yüksek akım çeken koruma cihazları takılmaktadır. Sonuçta çeşitli yangınlara neden olunmaktadır.

Örnek : 250 kW gücünde bir motor 400 Volt, 300 kVA gücünde bir frekans konvertörü ile tahrik edilecektir. Bu frekans konvertörünün kablo kesiti belirlenecektir. Kablo havada tesis edilecek ve kablo tek olarak çekilecektir. Ortam sıcaklığı 35°C dir.

Frekans konvertörü girişi 6-darbeleri doğrultuculu ve herhangi bir harmonik bastırıcı sisteme sahip değildir. Harmonik miktarları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

6-darbeli sistemler (indüktörsüz)

Temel harmonik	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

Sistemden çekilecek azami temel akım harmonik bileşeni

$$I_1 = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)} = \frac{300.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 433 A$$

Azami dizayn akımı

$$I_B = I_{rms} = I_1 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 = 433 + 433 \cdot [(0,63)^2 + (0,54)^2 + (0,1)^2 + (0,061)^2 + (0,067)^2 + (0,048)^2]$$

Buradan azami dizayn akımı $I_B = I_{rms} = 749 A$ olarak bulunur.

Görüleceği üzere harmonik etkileri göz önüne alınamadan yapılan hesaplamalarda kablo kesiti 433 A akım değerine göre belirlenecek ve koruma akım açtırma değeri ise 500A civarında ve kesici nominal akım değeri ise 630 A olarak belirlenecektir.

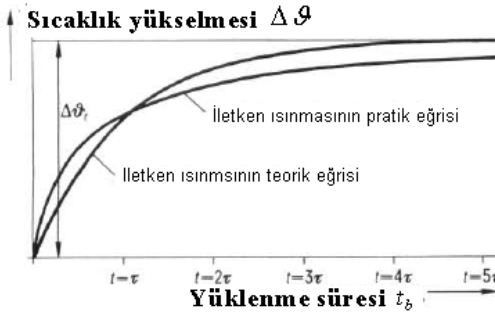
Ancak gerçekte tam kapasite çalışma durumunda kablo üzerinden geçen akım 749A olduğundan kesici en fazla 1-2 dakika içinde açtırma yapacak ve işletmeci tarafından açtırma eşik değeri kesici ayarının son değeri 630A ayarlanacaktır. Bu durumda da kesici 5-10 dakika süre sonunda açtıracak ve işletmeci tarafından 800A nominal değerde kesici takılacaktır. Düzeltme faktörleri göz önüne alındığında seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi takriben 0,89 değerinde olacaktır. Eğer işletmeci kesiciyi ve kesici aşırı yük açtırma değerini değiştirirken söz konusu harmonik etkileri göz önüne alarak kablo kesitlerininide değiştirmesse aşırı ısınmadan dolayı kablonun erken yıpranmasına ve kabloda bir süre sonra yangına neden olacaktır. Bu konular

hakkında detaylı bilgilere güç kalitesi bölümünün harmonikler kısmında ve koruma sistemlerinin incelenmesi bölümünün kabloların aşırı yüklerle karşı korunması kısmından ulaşabilirsiniz.

6.6.6. Kısa süreli ve aralıklı çalışma halinde kablo kesitinin belirlenmesi

Minimum zaman değerinde hesaplama

Tipik sıcaklık yükselme eğrileri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.28. Sıcaklık yükselme eğrileri

Teorik ısınma eğrisinin ifadesi $\Delta\theta = (\theta_e - \theta_u) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

τ Zaman sabiti olmak üzere

$$\tau = T.C$$

T termal direnç, C ısı kapasitesi

Kablounun minimum zaman değeri

$$C = n.c.S$$

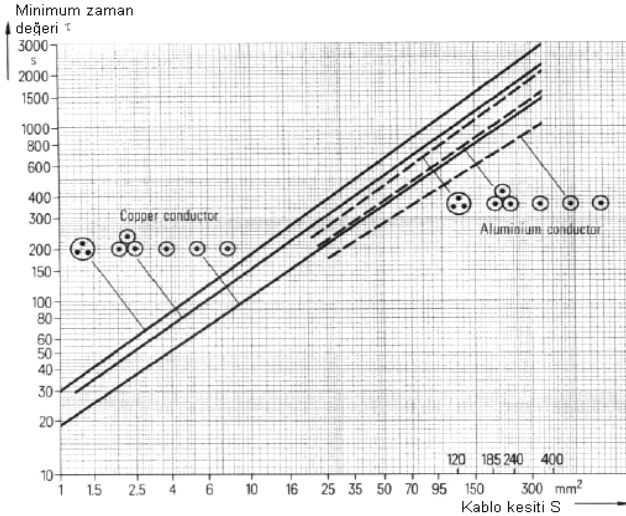
$$\tau = B \cdot \left(\frac{S}{I_r} \right)^2 \quad B = \frac{\Delta \vartheta_r \cdot \chi_{20} \cdot c}{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_{Lr} - 20^{0C})}$$

İletken malzemesi	α_{20} 1/K	χ_{20} 1/ Ω m	c J/K m ³
Bakır	0.00393	56×10^6	3.45×10^6
Aluminyum	0.00403	34×10^6	2.50×10^6

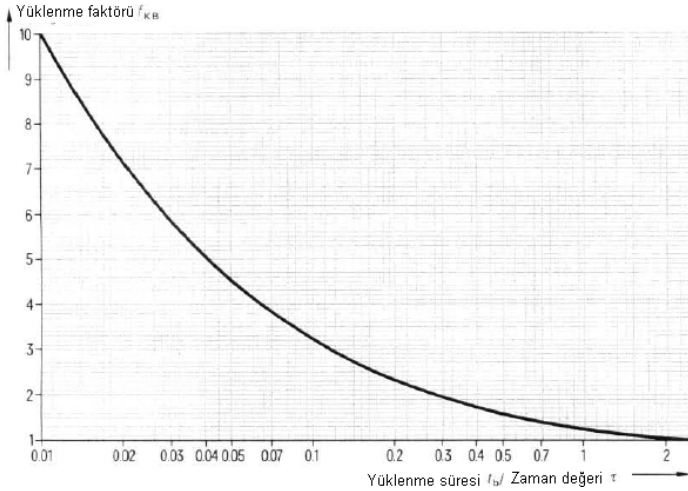
Tablo 6.24. Minimum zaman değeri hesabında kullanılan malzeme parametrelerinin değerleri

İletken malzemesi	İzin verilen işletme sıcaklık değerlerinde B A ² s/m ⁴ değerleri				
	90 °C	80 °C	70 °C	65 °C	60 °C
Bakır	9.09×10^{15}	7.82×10^{15}	6.46×10^{15}	5.75×10^{15}	5.01×10^{15}
Aluminyum	3.98×10^{15}	3.42×10^{15}	2.83×10^{15}	2.52×10^{15}	2.20×10^{15}

Tablo 6.25. Havada tesis durumunda minimum zaman değeri hesabında kullanılan B değerleri



Şekil 6.29. 0,6/1 kV PVC kabloların min. zaman değeri ile ilgili kesitleri



Şekil 6.30. *Yüklenme eğrisi*

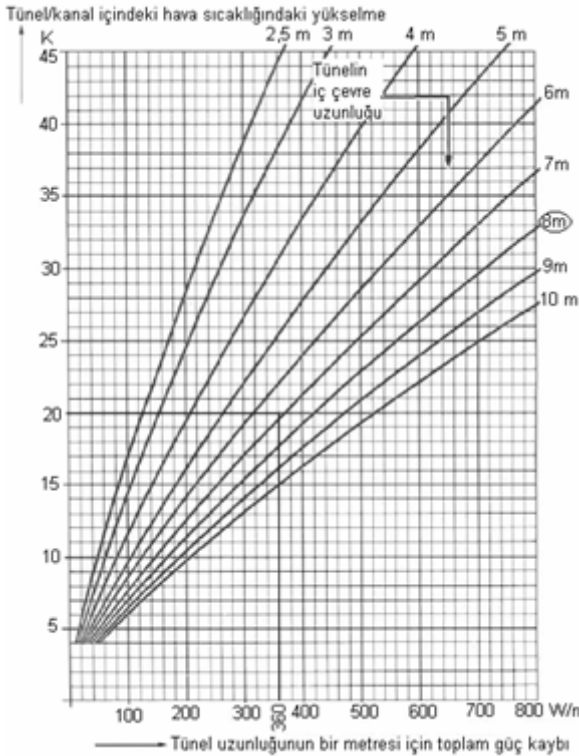
6.6.7. Kabloların havalandırmaz kanallarda ve tünellerde tesis edilmesi

Havalandırmaz kapalı kanallar/tünellerde, kablolarla oluşan ısı üretimi sadece duvarlar, taban ve tavan boyunca transfer edilebilir. Tabii havalandırma, çoğunlukla mekan kapalı olduğu için yapılamaz. Bu nedenle ısı akışı engellenir ve kanal içinde kablo çevresinde sıcaklık yükselmesine neden olur. Kanal/tünellerdeki havanın sıcaklık yükselmesi kanal/tünelin boyutlarına ve tüm kablolardaki toplam kayıpların büyüklüğüne bağlıdır.

Aşağıda verilen şekil kullanılarak kanal içindeki kabloların 1-m için kayıpları hesaplanarak tünelin/kanalın çevre uzunluğu

bulunabilir. Örneğin 360 W/m birim toplam kayıp için tünelin / kanalın çevre uzunluğu 8 metre olacaktır.

Tesisin çalışma şekline göre tünel/kanal içindeki kablolar aynı sürede ve aynı akım değerinde yüklenemez . Bundan dolayı bir kablo için güç kaybı hesap edilirken aşağıda verilen ifade ile belirlenen 24 saat yüklenme akımı göz önüne alınır.



Şekil 6.31. Tünel/kanal uzunluğunun 1-metresinde oluşan kablo kayıplarında tünel/kanal hava sıcaklığının artışı

Bu akım

$$I_{ort} = \frac{\sqrt{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots}}{\sqrt{t_1 + t_2 + \dots}} \text{ ifadesi ile belirlenir.}$$

$$t_1 + t_2 + \dots = 24 \text{ saat}$$

$I_1, I_2, \dots$ akımları $t_1, t_2, \dots$ sürelerinde akan akımlardır.

Eğer tünel duvarları boyunca ısı dağılımı yetersiz ise (çoğunlukla toprak içinde olmayan tüneller) tünelin içindeki hava çok ısınır ve iletken sıcaklığı izin verilen sınırların üzerine çıkar. Bu nedenle tüneller mutlaka havalandırılmalıdır.

Çoğu durumlarda hesaplamalar tünelde üretilen toplam kayıplar esas alınarak yapılır. Ancak gerçekte tünel duvarları boyunca yayılan ısı soğutma açısından yeterli değildir. Gerekli soğutmayı sağlamak için yeterli şekilde boyutlandırılan fanlar vasıtasıyla cebri havalandırma sağlamak şarttır. $\sum V$ kanalda kablolar tarafından üretilen toplam kayıplar, L tünelin uzunluğu ve $\Delta \theta_a$ tünelin giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık yükselmesi, yani sıcaklık farkı olmak üzere Q havalandırma için gerekli hava miktarı $Q = 0,77 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sum V \cdot L}{\Delta \theta_a} \text{ m}^3/\text{sn}$ ifadesi ile belirlenir.

Hava akış hızı v ve A da tünelin kesiti olmak üzere

$$v = \frac{Q}{A} \text{ m/sn olarak hesaplanır.}$$

6.7. Orta gerilim sistemlerinde bağlantı hatlarının ve kablo kesitinin tayini

6.7.1. Kesit tayini için işlem sırası

1. Taşınacak veya temin edilecek yüke ait I_B dizayn akımının belirlenmesi
2. Tesisin çalışacağı şartlar altında kablonun S_1 kesitinin belirlenmesi. Bu işlem için aşağıda verilen bilgilerin sağlanması gerekir.
 - Gerçek tesis şartları altındaki f_1 düzeltme faktörü
 - Standart tesis şartları altında kablonun veya hat iletkenlerinin çeşitli kesit ve tipleri için imalatçı firma tarafından verilen akım taşıma kapasiteleri
3. Kısa devre halinde kablo ana iletkeninin belirlenen süre içinde (koruma cihazının hata temizleme süresi) termik dayanımı sağlayacak S_2 kesitinin belirlenmesi
4. Bir toprak hatası halinde kablo ekranının termik dayanımı için gereken S_3 kesit değerinin belirlenmesi,
5. S_1 , S_2 , S_3 kesitleri arasında en büyük nominal kablo kesiti seçilecektir.
6. Ekonomik kesit için gerekli hesaplar yapılacaktır.

6.7.2. Maksimum Dizayn Akımı (I_B) tayini

Maksimum dizayn akımı hatların veya kabloların beslediği yüklere ait güçlerin toplamı esas alınarak ve gerekli durumlarda kullanma ve eşzamanlık faktörleri göz önüne alınarak belirlenir.

Orta gerilim sistemlerinde genellikle hatlar, transformatör, motor ve ark ocakları gibi tekil yükleri besler. Böyle durumlarda (I_B) akımı bağlanan cihazın nominal akımına eşit alınır ve kesinlikle ne kullanma faktörü ne de eş zamanlılık faktörleri hesaba dahil edilmezler.

6.7.3. Kablolar ve bağlantı hatlarında akım taşıma kapasitelerinin tayin edilmesi

Genel kurallar:

Akım taşıma kapasitesi çalışma ömrünü etkilemeyecek şekilde kabloların taşıyabileceği maksimum akımdır.

Kabloların akım taşıma kapasiteleri standartlarca öngörülen tesis şartları altında imalatçılar tarafından veya standartlar tarafından verilen değerlerdir.

Gerçek tesis şartları altında kabloların akım taşıma kapasitelerini belirlemek için aşağıda açıklanan işlemler sırayla mutlaka gerçekleştirilmelidir.

- Tablo 6.26 da açıklanan tesis metodlarına göre uygulanacak düzeltme faktörleri belirlenir.
- Tablo 6.27 ve 6.28'den kullanılacak düzeltme faktörlerinin değerleri belirlenir.

- f genel düzeltme faktörü belirlenir.
- Tablo 6.26’da emprenye edilmiş kağıt yalıtkanlı kabloların ve Tablo 6.27’de 6.29’dan sentetik izolasyonlu kablolar için standart şartlar altında kablonun taşıyacağı maksimum I_0 akım belirlenir.
- $I_A = f.I_0$ ifadesi yardımıyla kablonun gerçek tesis şartları altında maksimum akım taşıma kapasitesi bulunur.,

Tesis Metodları	Örnek	Tablo sütunu	Uygulanan düzeltme faktörleri		
			f_0	f_1	f_5
A. Duvarda tesisat boruları içinde		(3)	0,90	f_1	f_5
B. Duvara gömülü borular içinde		(3)	0,90	f_1	f_5
F. Kablo taşıyıcıları üzerine		(3)	1	f_1	f_5
G. Mesnetler üzerine veya kablo merdivenlerine		(3)	1	f_1	f_6
H. Kapalı kanal içine		(3)	0,90	f_1	f_5
J. Açık kanal içine		(3)	1	f_1	f_6
L1. Açıkta borular içinde veya havalandırılmalı kanal içinde		(3)	0,80	f_1	f_5

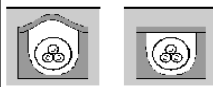
Tablo 6.26. Tesis metodları

Tesis Metodu	Örnek	Tablo kolonu		Uygulanan düzeltme faktörleri		
				f_0	f_1	f_5
L3. Açıkta veya Havalandırmalı kanalda doğrudan tesis		(3)		0,90.	f_1	f_5
L4. Kapalı kanallarda doğrudan tesis		(3)		0.80	f_1	f_5
L5. İçine kum doldurulmuş kanallarda doğrudan tesis		(3)		0.80	f_1	f_5
N. Duvar içinde kanallarda tesis		(3)		0,90.	f_1	f_5
P. İmal edilen bloklar içinde		(3)		0,90.	f_1	f_5
S1. Doğrudan toprağa gömülü zırlı kablolar		P (1)	D (7)	1	f_1	f_3
S2. Toprağa gömülü mekanik korumalı kablolar		(1)	(2)	1	f_2	f_3

P : Sürekli işletme şartları

D: Kesintili işletme şartları

Tablo 6.26 Tesis metodları (devam)

Tesis Metodu	Example	Table column		Correction factors to be applied			
		P	D	f_0			
S3. Boru içinde , toprağa gömülü		(1)	(2)	0.8	f_2	f_3	f_4
S4. Kabloların üçgen formasyonda toprağa gömülü prefabrike kanallarda (özel dolgu yapılabilir) tesisi		(1)	(2)	0.8	f_2	f_3	f_4
S5. Bir-damarlı kabloların ayrı ayrı kanallarda toprak içinde tesisi		(1)	(2)	0.8	f_2	f_3	f_4
Bir-damarlı kabloların aralarında açıklık bulunan prefabrike kanallarda toprak içinde tesisi		(1)	(2)	0.8	f_2	f_3	f_4
V. Hava hatları		(3)		1.1	f_1	--	--

P : Sürekli işletme şartları; D: Kesintili işletme şartları

Tablo 6.26. Tesis metotları (devam)

Sıcaklık °C	İzolasyon malzemesi tipi	
	PVC PE	XLPE EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	1.00	1.00
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76

Tablo 6.27. Havada tesis edilen kablolarda 30°C den değişik ortam sıcaklıkları için f_1 düzeltme faktörleri

Sıcaklık °C	İzolasyon malzemesi tipi	
	PVC PE	XLPE EPR
0	1.18	1.13
5	1.14	1.10
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
20	1.00	1.00
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
60	0.45	0.65
65	-	0.60
70	-	0.53
75	-	0.46
80	-	0.38

Tablo 6.28. Toprakta tesis edilen kablolarda ortam sıcaklığının 20°C den değişik olması durumunda f_2 düzeltme faktörü

Toprak Termal özgül direnci K.m/W	Nem	Toprak Cinsi			3-adet 1-damarlı kablo	3-fazlı kablolar
0.5	Çok nemli toprak	Kum			1.25	1.20
0.7	Nemli toprak				1.14	1.10
0.85	Normal toprak		Balçık		1.06	1.05
1	Kuru toprak		ve		1.00	1.00
1.2	Çok kuru toprak		Kireç	0.93	0.95	
1.5				Kül	0.85	0.88
2				ve	0.75	0.79
2.5				Klinker	0.68	0.72
3				0.62	0.68	

Tablo 6.29. Toprakta tesis edilen kablolarda 1K.m/W değerinden değişik toprak termal özgül direnci için f_3 düzeltme faktörü

6.8. Gerilim düşümü hesabı

6.8.1 Ohmik metoda göre gerilim düşümü hesabı

İletkene bağlı yükün çektiği akımın, iletken kesiti ve iletken uzunluğuna bağlı olarak iletken üzerinde gerilim düşümleri meydana gelir. İletken kesitlerinin akım taşıma kapasiteleri ve kısa devreye dayanma kapasiteleri açısından kesitlerinin belirlenmesinden sonra ekipmanların gerekli çalışma güvenilirliğine ve istenilen performansa sahip olması için cihaz bağlantı yerlerinde gerilim değerlerinin standartlarda belirlenen toleranslar içinde olması gerekmektedir.

S [mm ²]	Tek damarlı kablo		İki damarlı/uç damarlı kablo	
	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]	r[Ω/km] @ 80 [°C]	x[Ω/km]
1.5	14.8	0.168	15.1	0.118
2.5	8.91	0.156	9.08	0.109
4	5.57	0.143	5.68	0.101
6	3.71	0.135	3.78	0.0955
10	2.24	0.119	2.27	0.0861
16	1.41	0.112	1.43	0.0817
25	0.889	0.106	0.907	0.0813
35	0.641	0.101	0.654	0.0783
50	0.473	0.101	0.483	0.0779
70	0.328	0.0965	0.334	0.0751
95	0.236	0.0975	0.241	0.0762
120	0.188	0.0939	0.191	0.074
150	0.153	0.0928	0.157	0.0745
185	0.123	0.0908	0.125	0.0742
240	0.0943	0.0902	0.0966	0.0752
300	0.0761	0.0895	0.078	0.075

Tablo 6.30. Bakır iletkenli kabloların birim başına uzunluğa göre direnç ve reaktansları

Z empedansını haiz bir iletkendeki gerilim düşümü

$$\Delta U = k \cdot Z \cdot I_b = k \cdot I_b \cdot \frac{L}{n} \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) [V]$$

k=2 tek fazlı sistemlerde

$k=\sqrt{3}$ üç fazlı sistemlerde

I_b (A) yük akımı , eğer yük akımı hakkında herhangi bir bilgi yoksa I_Z kablonun akım taşıma kapasitesi göz önüne alınacaktır.

L (km) kablonun uzunluğu

n herbir fazdaki paralel iletken sayısı

r (ohm/km) bir kablonun km başına direnci

x (ohm/km) bir kablonun km başına reaktansı

$\cos \phi$ yükün güç faktörü

Gerilimin düşümünün % değeri U_N nominal gerilim olmak

üzere

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$$

Kabloların direnç ve reaktans değerleri per-unit uzunluğa göre yukardaki ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Verilen değerler 50 Hz frekans için olup, 60 Hz frekans için bu değerler 1,2 ile çarpılacaktır.

S [mm ²]	Tek damarlı kablo		İki damarlı/üç damarlı kablo	
	$r[\Omega/\text{km}]$ @ 80 [°C]	$x[\Omega/\text{km}]$	$r[\Omega/\text{km}]$ @ 80 [°C]	$x[\Omega/\text{km}]$
1.5	24.384	0.168	24.878	0.118
2.5	14.680	0.156	14.960	0.109
4	9.177	0.143	9.358	0.101
6	6.112	0.135	6.228	0.0955
10	3.691	0.119	3.740	0.0861
16	2.323	0.112	2.356	0.0817
25	1.465	0.106	1.494	0.0813
35	1.056	0.101	1.077	0.0783
50	0.779	0.101	0.796	0.0779
70	0.540	0.0965	0.550	0.0751
95	0.389	0.0975	0.397	0.0762
120	0.310	0.0939	0.315	0.074
150	0.252	0.0928	0.259	0.0745
185	0.203	0.0908	0.206	0.0742
240	0.155	0.0902	0.159	0.0752
300	0.125	0.0895	0.129	0.075

Tablo 6.31. Alüminyum iletkenli kabloların per-unit uzunluğa göre direnç ve reaktansları

Gerilim düşümü hesaplarını kolaylaştırmak amacıyla belirlenen güç faktörü değerlerinde kesitlerin birim

uzunluklarına göre özgül gerilim düşümlerini veren tablolar hazırlanır. Yaklaşık güç faktörüne eşit olan özgül gerilim düşümü ele alınarak hesap yapılır.

Aşağıda verilen tablolar ortak $\cos \varphi$ değerinde kesitlere göre belirlenen $\Delta U_x \left(\frac{V}{A.km} \right)$ değerlerini vermektedir.

S[mm ²]	cos φ =1		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	29.60	25.63	30.20	26.15
2.5	17.82	15.43	18.16	15.73
4	11.14	9.65	11.36	9.84
6	7.42	6.43	7.56	6.55
10	4.48	3.88	4.54	3.93
16	2.82	2.44	2.86	2.48
25	1.78	1.54	1.81	1.57
35	1.28	1.11	1.31	1.13
50	0.95	0.82	0.97	0.84
70	0.66	0.57	0.67	0.58
95	0.47	0.41	0.48	0.42
120	0.38	0.33	0.38	0.33
150	0.31	0.27	0.31	0.27
185	0.25	0.21	0.25	0.22
240	0.19	0.16	0.19	0.17
300	0.15	0.13	0.16	0.14

Tablo 6.32. $\cos \varphi = 1$ de bakır iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm ²]	cos φ =0.9		iki damarlı 1-faz	üç damarlı 3-faz
	Tekdamarlı kablo 1-faz	3-faz		
1.5	26.79	23.20	27.28	23.63
2.5	16.17	14.01	16.44	14.24
4	10.15	8.79	10.31	8.93
6	6.80	5.89	6.89	5.96
10	4.14	3.58	4.16	3.60
16	2.64	2.28	2.65	2.29
25	1.69	1.47	1.70	1.48
35	1.24	1.08	1.25	1.08
50	0.94	0.81	0.94	0.81
70	0.67	0.58	0.67	0.58
95	0.51	0.44	0.50	0.43
120	0.42	0.36	0.41	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.25	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

Tablo 6.33. $\cos \varphi = 0,9$ de bakır kablo için özgül gerilim düşümü

S[mm ²]	Tekdamarlı kablo 1-faz		iki damarlı 1-faz	
	1-faz	3-faz	1-faz	3-faz
1.5	25.34	21.94	25.79	22.34
2.5	15.31	13.26	15.55	13.47
4	9.62	8.33	9.76	8.45
6	6.45	5.59	6.53	5.65
10	3.93	3.41	3.95	3.42
16	2.51	2.18	2.52	2.18
25	1.62	1.41	1.63	1.41
35	1.20	1.04	1.19	1.03
50	0.91	0.79	0.90	0.78
70	0.66	0.57	0.65	0.56
95	0.50	0.44	0.49	0.42
120	0.42	0.36	0.40	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

Tablo 6.34. $\cos \varphi = 0,85$ de bakır iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm ²]	Tekdamarlı kablo 1-faz		iki damarlı 1-faz	
	1-faz	3-faz	1-faz	3-faz
1.5	22.42	19.42	22.81	19.75
2.5	13.57	11.75	13.76	11.92
4	8.54	7.40	8.65	7.49
6	5.74	4.97	5.80	5.02
10	3.52	3.05	3.52	3.05
16	2.26	1.96	2.25	1.95
25	1.47	1.28	1.47	1.27
35	1.10	0.95	1.08	0.94
50	0.84	0.73	0.83	0.72
70	0.62	0.54	0.60	0.52
95	0.48	0.42	0.46	0.40
120	0.41	0.35	0.38	0.33
150	0.35	0.31	0.33	0.29
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.23	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.22	0.19

Tablo 6.35. $\cos \varphi = 0,75$ de bakır kablolar için özgül gerilim düşümü
 $\cos \varphi = 1$

S[mm ²]	Tekdamarlı kablo		iki damarlı	üç damarlı
	1-faz	3-faz	1-faz	3-faz
1.5	48.77	42.23	49.76	43.09
2.5	29.36	25.43	29.92	25.91
4	18.35	15.89	18.72	16.21
6	12.22	10.59	12.46	10.79
10	7.38	6.39	7.48	6.48
16	4.65	4.02	4.71	4.08
25	2.93	2.54	2.99	2.59
35	2.11	1.83	2.15	1.87
50	1.56	1.35	1.59	1.38
70	1.08	0.94	1.10	0.95
95	0.78	0.67	0.79	0.69
120	0.62	0.54	0.63	0.55
150	0.50	0.44	0.52	0.45
185	0.41	0.35	0.41	0.36
240	0.31	0.27	0.32	0.28
300	0.25	0.22	0.26	0.22

Tablo 6.36. $\cos \varphi = 1$ de alüminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm ²]	single-core cable		two-core cable	three-core cable
	single-phase	three-phase	single-phase	three-phase
1.5	44.04	38.14	44.88	38.87
2.5	26.56	23.00	27.02	23.40
4	16.64	14.41	16.93	14.66
6	11.12	9.63	11.29	9.78
10	6.75	5.84	6.81	5.89
16	4.28	3.71	4.31	3.73
25	2.73	2.36	2.76	2.39
35	1.99	1.72	2.01	1.74
50	1.49	1.29	1.50	1.30
70	1.06	0.92	1.06	0.91
95	0.78	0.68	0.78	0.68
120	0.64	0.55	0.63	0.55
150	0.53	0.46	0.53	0.46
185	0.44	0.38	0.44	0.38
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.30	0.26	0.30	0.26

Tablo 6.37. $\cos \varphi = 0,9$ de alüminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

S[mm ²]	$\cos \varphi = 0.8$			
	Tek damarlı kablo 1-fazlı	3-fazlı a.se	iki damarlı 1-fazlı a.se	3-damarlı 3-fazlı
1.5	39.22	33.96	39.95	34.59
2.5	23.67	20.50	24.07	20.84
4	14.85	12.86	15.09	13.07
6	9.94	8.61	10.08	8.73
10	6.05	5.24	6.09	5.27
16	3.85	3.34	3.87	3.35
25	2.47	2.14	2.49	2.16
35	1.81	1.57	1.82	1.57
50	1.37	1.18	1.37	1.18
70	0.98	0.85	0.97	0.84
95	0.74	0.64	0.73	0.63
120	0.61	0.53	0.59	0.51
150	0.51	0.45	0.50	0.44
185	0.43	0.38	0.42	0.36
240	0.36	0.31	0.34	0.30
300	0.31	0.27	0.30	0.26

Tablo 6.38. $\cos \varphi = 0,8$ de alüminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

İletken Kesiti	$\cos \varphi = 0,85$			
	Tek damarlı kablo		2-damarlı	3-damarlı
S(mm ²)	1-fazlı	3-fazlı	1-fazlı	3-fazlı
1,5	41,63	36,05	42,42	36,73
2,5	25,12	21,75	25,55	22,12
4	15,75	13,63	16,02	13,87
6	10,53	9,12	10,69	9,26
10	6,40	5,54	6,45	5,58
16	4,07	3,52	4,09	3,54
25	2,60	2,25	2,63	2,27
35	1,90	1,65	1,91	1,66
50	1,43	1,24	1,43	1,24
70	1,02	0,88	1,01	0,88
95	0,76	0,66	0,76	0,65
120	0,63	0,54	0,61	0,53
150	0,53	0,46	0,52	0,45
185	0,44	0,38	0,43	0,37
240	0,36	0,31	0,35	0,30
300	0,31	0,27	0,30	0,26

Tablo 6.39. $\cos \varphi = 0,85$ güç faktörü için alüminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü $\cos \varphi = 0,75$

S[mm ²]	1-fazlı	3-fazlı	1-fazlı	3-fazlı
1.5	36.80	31.87	37.47	32.45
2.5	22.23	19.25	22.58	19.56
4	13.95	12.08	14.17	12.27
6	9.35	8.09	9.47	8.20
10	5.69	4.93	5.72	4.96
16	3.63	3.15	3.64	3.15
25	2.34	2.02	2.35	2.03
35	1.72	1.49	1.72	1.49
50	1.30	1.13	1.30	1.12
70	0.94	0.81	0.92	0.80
95	0.71	0.62	0.70	0.60
120	0.59	0.51	0.57	0.49
150	0.50	0.43	0.49	0.42
185	0.42	0.37	0.41	0.35
240	0.35	0.31	0.34	0.29
300	0.31	0.27	0.29	0.25

Tablo 6.40. $\cos \varphi = 0,75$ de alüminyum iletkenli kablolar için özgül gerilim düşümü

Örnek:

Aşağıda özellikleri verilen kablonun gerilim düşümü hesabı yapılacaktır.

- Nominal gerilim 400 V
- Kablo uzunluğu 25 m
- Kablo tipi Tek damarlı bakır kablo 3x50 mm²
- Yük akımı $I_B = 100$ A
- Güç faktörü $\cos \varphi = 0,9$

Tablo 6.33'den $\Delta U_X = 0,81(V / A.km)$ elde edilir.

Kablodaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta U = \Delta U_X \cdot I_B \cdot L = 0,81 \cdot 100 \cdot 0,025 = 2,03 \text{ V}$$

Bu gerilim düşümünün % değeri

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{2,03}{400} \cdot 100 = \%0,51$$

Örnek:

Aşağıda özellikleri verilen 3-fazlı kablonun gerilim düşümü hesaplanacaktır

- Nominal gerilimi 400 V
- Kablo uzunluğu 50 m
- Kablo tipi Çok damarlı bakır kablo 2x(3x10)
- Yük akımı $I_b=50$ A
- Güç faktörü $\cos \varphi = 0,85$

Tablo 6.34'den çok damarlı 10 mm² kablo için $\Delta U_x = 3,42.(V / A.km)$ elde edilir .

Kablodaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L / 2 = 3,42 \cdot 50 \cdot 0,05 / 2 = 4,28 V$$

Gerilim düşümünün % değeri

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4,28}{400} \cdot 100 = \%1,07$$

6.8.2. Uzun kablo halinde gerilim düşümüne göre kablo kesitinin belirlenmesi

Kablo kesitini belirlemek için $\Delta U_{\max}$ gerilim düşümünü hesaplamak için aşağıdaki ifade kullanılır.

$$\Delta U_{X \max} = \frac{\Delta u \% \cdot U_r}{100 \cdot I_B \cdot L}$$

Bulunan değer Tablo 6.33'deki değerlerle karşılaştırılarak ΔU_X değeri $\Delta U_{X \max}$ değerinden küçük alınarak kablo kesiti seçilir.

Örnek:

$P_N = 35kW$, ($U_r = 400V$, $f = 50Hz$, $\cos \varphi = 0,9$) değerindeki bir yük çok damarlı EPR izolasyonlu delikli kablo tavaasına serili bir kablo ile beslenecektir. Maksimum izin verilen gerilim düşümü %2 dir.

$$\text{Yük akımı } I_B \quad I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi} = \frac{35.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 56.A$$

$$\%2 \text{ gerilim düşümü için } \Delta U_{x \max} = \frac{\Delta u \% \cdot U_r}{100 \cdot I_B \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0,14} = 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$$

Tablo 6.33'den 50 mm² kablo seçilebilir.

Bu kesit için $\Delta U_x = 0.81 < 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$.

Elde edilen değer kullanılarak sonuçta

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_B \cdot L = 0.81 \cdot 56 \cdot 0.14 = 6.35 \text{ V}$$

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6.35}{400} \cdot 100 = 1.6\%$$

bulunur.

Damar adedi ve kesiti	Doğru akım direnç 70 °C R_0 Ω/km	Efektif direnç 70 °C R_w Ω/km	Reaktans X_L Ω/km	$f(q) = R_w \cos \varphi + X_L \sin \varphi$				
				$\cos \varphi =$				
				0.95	0.9	0.8	0.7	0.6
mm^2				Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
4 x 1.5 re ^a	14.47	14.47	0.115	13.8	13.1	11.65	10.2	8.77
4 x 2.5 re	8.71	8.71	0.110	8.31	7.89	7.03	6.18	5.31
4 x 4 re	5.45	5.45	0.107	5.21	4.95	4.42	3.89	3.36
4 x 6 re	3.62	3.62	0.100	3.47	3.30	2.96	2.61	2.25
4 x 10 re	2.16	2.16	0.094	2.08	1.99	1.78	1.58	1.37
4 x 16 re	1.36	1.36	0.090	1.32	1.26	1.14	1.02	0.888
4 x 25 re	0.863	0.863	0.086	0.847	0.814	0.742	0.666	0.587
4 x 35 sm	0.627	0.627	0.083	0.622	0.60	0.55	0.498	0.443
4 x 35 re (Al)	1.055	1.055	0.083	1.03	0.986	0.894	0.8	0.699
4 x 50 sm	0.463	0.463	0.083	0.466	0.453	0.42	0.38	0.344
4 x 50 se (Al)	0.772	0.772	0.083	0.76	0.731	0.667	0.6	0.53
4 x 70 sm	0.321	0.321	0.082	0.331	0.326	0.306	0.283	0.258
4 x 70 se (Al)	0.534	0.534	0.082	0.533	0.516	0.476	0.432	0.386
4 x 95 sm	0.231	0.232	0.082	0.246	0.245	0.235	0.221	0.205
4 x 95 se (Al)	0.386	0.386	0.082	0.392	0.383	0.358	0.33	0.3
4 x 120 sm	0.183	0.184	0.080	0.2	0.2	0.195	0.186	0.174
4 x 120 se (Al)	0.305	0.305	0.080	0.315	0.309	0.292	0.271	0.247
4 x 150 sm	0.149	0.150	0.080	0.168	0.17	0.168	0.162	0.154
4 x 150 se (Al)	0.248	0.249	0.080	0.266	0.259	0.247	0.231	0.213
4 x 185 sm	0.118	0.1202	0.080	0.139	0.143	0.144	0.141	0.136
4 x 185 se (Al)	0.197	0.198	0.080	0.213	0.213	0.206	0.196	0.183
4 x 240 sm	0.0901	0.0922	0.079	0.112	0.117	0.121	0.121	0.119
4 x 300 sm (Al)	0.0718	0.0745	0.079	0.0954	0.101	0.107	0.109	0.108

^a Yeterli doğrulukta 2,3,3.1/2 damarlı kablolar içinde geçerlidir.

sm örçülü sektör kesitli
se dolu sektör kesitli
re dolu dresel kesitli

(Al)

Tablo 6.41. PVC yalıtıkanlı kablolar $\frac{U_0}{U} = \frac{0.6}{1} \text{ kV}$ (NYY,NYCY , NYCWY, NAYY, NAYCY, NAYCWY) ın direnç reaktans değerleri

Damar adedi ve kesit mm^2	Doğru akım direnci 90°C R_{90} Ω/km	Etkin direnç 90°C R_w Ω/km	Reaktans $\pm$ X_L Ω/km	$f(q) = R_w \cos \varphi + X_L \sin \varphi$ $\cos \varphi =$				
				0.95 Ω/km	0.9 Ω/km	0.8 Ω/km	0.7 Ω/km	0.6 Ω/km
$3 \times 25/16 \text{ sm}^a$	0.921	0.921	0.081	0.900	0.864	0.785	0.703	0.617
$3 \times 35/16 \text{ sm}$	0.668	0.669	0.078	0.660	0.636	0.582	0.524	0.464
$3 \times 50/25 \text{ sm}$ (Al)	0.494 0.822	0.494 0.822	0.078 0.080	0.494 0.806	0.479 0.775	0.442 0.706	0.401 0.633	0.359 0.557
$3 \times 70/35 \text{ sm}$ (Al)	0.342 0.568	0.342 0.568	0.076 0.079	0.349 0.564	0.341 0.546	0.319 0.502	0.294 0.454	0.266 0.404
$3 \times 95/50 \text{ sm}$ (Al)	0.246 0.410	0.247 0.411	0.075 0.078	0.258 0.415	0.255 0.404	0.243 0.376	0.226 0.343	0.208 0.308
$3 \times 120/70 \text{ sm}$ (Al)	0.195 0.324	0.196 0.325	0.075 0.077	0.210 0.333	0.209 0.326	0.202 0.306	0.191 0.282	0.178 0.257
$3 \times 150/95 \text{ sm}$ (Al)	0.158 0.364	0.160 0.265	0.074 0.078	0.175 0.276	0.176 0.273	0.172 0.256	0.165 0.241	0.155 0.221
$3 \times 185/95 \text{ sm}$ (Al)	0.126 0.210	0.128 0.212	0.075 0.078	0.145 0.226	0.148 0.225	0.147 0.216	0.143 0.204	0.137 0.190
$3 \times 240/120 \text{ sm}$ (Al)	0.0961 0.160	0.0988 0.162	0.074 0.078	0.117 0.178	0.121 0.180	0.123 0.176	0.122 0.169	0.118 0.160
$3 \times 300/150 \text{ sm}$	0.0766	0.0799	0.074	0.099	0.104	0.108	0.109	0.107

4-damarlı kablolar içinde geçerlidir.

Tablo 6.42. PVC yalıtımlı çok damarlı AG kabloların direnç değerleri

NYFGY BAKIR İLETKENLİ
NAYFGY ALUMİNYUM İLETKENLİ

NYSEY BAKIR İLETKENLİ
NAYSEY ALUMİNYUM İLETKENLİ

Damar adedi ve kesit mm^2	Doğru akım direnci 20°C R_{20} Ω/km	İlave direnç ΔR $\Omega/\text{km} \times 10^{-3}$	Maksimum sıcaklıkta etkin direnç R_w Ω/km	Damar adedi ve kesit mm^2	Doğru akım direnci 20°C R_{20} Ω/km	İlave direnç ΔR $\Omega/\text{km} \times 10^{-3}$	Maksimum sıcaklıkta etkin direnç R_w Ω/km
3.5/6 kV				5.8/10 kV			
$3 \times 25 \text{ re}$	0.722	—	0.863	$3 \times 25 \text{ re/6}$	0.722	—	0.849
$3 \times 35 \text{ sm}$	0.524 0.876	1.0 0.9	0.628 1.056	$3 \times 35 \text{ rm/6}$ re/6	0.524 0.876	0.6 0.5	0.617 1.036
$3 \times 50 \text{ sm}$	0.387 0.641	1.2 1.1	0.464 0.773	$3 \times 50 \text{ rm/6}$	0.387 0.641	0.7 0.6	0.456 0.758
$3 \times 70 \text{ sm}$	0.268 0.443	1.5 1.3	0.322 0.535	$3 \times 70 \text{ rm/6}$	0.268 0.443	1.0 0.7	0.316 0.524
$3 \times 95 \text{ sm}$	0.193 0.320	1.9 1.6	0.233 0.387	$3 \times 95 \text{ rm/6}$	0.193 0.320	1.3 0.9	0.228 0.379
$3 \times 120 \text{ sm}$	0.153 0.253	2.2 1.8	0.185 0.306	$3 \times 120 \text{ rm/6}$	0.153 0.253	1.6 1.1	0.182 0.300
$3 \times 150 \text{ sm}$	0.124 0.206	2.6 2.1	0.151 0.250	$3 \times 150 \text{ rm/6}$	0.124 0.206	2.0 1.4	0.148 0.245
$3 \times 185 \text{ sm}$	0.0991 0.164	3.1 2.5	0.1216 0.200	$3 \times 185 \text{ rm/6}$	0.0991 0.164	2.5 1.7	0.1191 0.196
$3 \times 240 \text{ sm}$	0.0754 0.125	3.8 3.0	0.0939 0.154	$3 \times 240 \text{ rm/6}$	0.0754 0.125	3.4 2.3	0.0921 0.150

Tablo 6.43. PVC yalıtımlı çok damarlı OG kabloların direnç değerleri

İLETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI -ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM NOTLARI

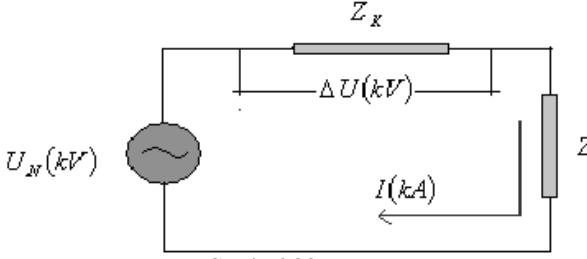
N2YSY BAKIR İLETKENLİ NA2YSY ALUMİNYUM İLETKENLİ				N2XSŞY BAKIR İLETKENLİ NA2XSŞY ALUMİNYUM İLETKENLİ			
Damar adedi ve kesit	Doğru akım direnç 20 °C R_{20}	İlave direnç ΔR	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç R_w	Damar adedi ve kesit	Doğru akım direnç 20 °C R_{20}	İlave direnç ΔR	Maksimum sıcaklıkta efektif direnç R_w
mm ²	Ω/km	$\Omega/\text{km} \times 10^{-3}$	Ω/km	mm ²	Ω/km	$\Omega/\text{km} \times 10^{-3}$	Ω/km
6/10 kV				6/10 kV			
3 x 35 sm	0.524	0.8	0.6278	3 x 35 sm	0.524	0.8	0.6690
3 x 50 sm	0.387 0.641	0.9 0.8	0.4639 0.7710	3 x 50 sm	0.387 0.641	0.9 0.8	0.4944 0.8226
3 x 70 sm	0.268 0.443	1.1 0.9	0.3218 0.5332	3 x 70 sm	0.268 0.443	1.0 0.9	0.3427 0.5689
3 x 95 sm	0.193 0.320	1.3 1.0	0.2322 0.3855	3 x 95 sm	0.193 0.320	1.2 1.0	0.2473 0.4113
3 x 120 sm	0.153 0.253	1.5 1.2	0.1846 0.3052	3 x 120 sm	0.153 0.253	1.5 1.1	0.1966 0.3255
3 x 150 sm	0.124 0.206	2.2 1.7	0.1506 0.2492	3 x 150 sm	0.124 0.206	2.0 1.6	0.1601 0.2657
3 x 185 sm	0.0991 0.164	2.5 1.9	0.1211 0.1989	3 x 185 sm	0.0991 0.164	2.3 1.8	0.1287 0.2121
3 x 240 sm	0.0754 0.125	3.1 2.3	0.0933 0.1525	3 x 240 sm	0.0754 0.125	2.9 2.1	0.0990 0.1624

Tablo 6.44. PE yalıtımlı kabloların direnç değerleri XLPE yalıtımlı kabloların direnç değerleri

6.8.3. MVA metodu ile gerilim düşümü hesapları

Enerji kaynağı ile tüketici arasındaki devre elemanlarının kısa devre güçlerinden yararlanarak herhangi şebeke boyunca gerilim kademelerinden dolayı eleman empedanslarında herhangi bir gerilim transformasyonuna gerek kalmadan gerilim düşümü hesapları kolayca yapılabilir.

Gerilim düşümü hesapları ile ilgili ifadeler aşağıda verilecektir.



Şekil 6.32. Empedans diyagramı

$Z_K (ohm)$ Tüketici uçlarına kadar olan toplam devre empedansı

$S_{SC} (MVA)$ Tüketici uçlarına kadar olan toplam kısa devre gücü

$Z (ohm)$ Tüketici empedansı

$S_L (MVA)$ Tüketici gücü

Devre empedanslarının kısa devre güçleri ve yükler cinsinden ifadeleri

$$\text{Şebeke empedansı } Z_N = \frac{U_1^2}{S_{SCN}}$$

$$\text{Transformatör empedansı } Z_T = \frac{U_1^2}{S_{SCT}}$$

$$\text{Transformatör kısa devre gücü } S_{SCT} = \frac{S_T}{u_{SCT}}$$

S_T Transformatör gücü

$$\text{Yük empedansları } Z_{L1} = \frac{U_1^2}{S_{L1}}, Z_{L2} = \frac{U_1^2}{S_{L2}}$$

Devreden akan akım

$$I = \frac{U_N (kV)}{\sqrt{3} \cdot (Z_K + Z)}$$

Devrede meydana gelen gerilim düşümü

$$\Delta U(kV) = \sqrt{3} \cdot Z_K \cdot I = \sqrt{3} \cdot Z_K \cdot \frac{U_N(kV)}{\sqrt{3} \cdot (Z_K + Z)} = U_N(kV) \cdot \frac{Z_K}{Z_K + Z}(kV)$$

Tüketici uçlarına kadar olan toplam devre empedansı

$$Z_K = \frac{U_N^2(kV)^2}{S_{SC}(MVA)} \cdot (ohm)$$

Tüketici empedansı

$$Z = \frac{U_N^2}{S_L(MVA)} \cdot (ohm)$$

Empedans değerleri yukarıdaki ifadede yerlerine konursa

$$\Delta U(kV) = U_N \cdot \frac{\frac{U_N^2}{S_{SC}}}{\frac{U_N^2}{S_{SC}} + \frac{U_N^2}{S_L}} = \frac{S_L(MVA)}{S_{SC}'' + S_L(MVA)} U_N(kV)$$

Gerilim düşümünü % cinsiden bulunmak istenirse

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_L}{S_{SC}'' + S_L} \cdot 100$$

Örnek: Şekil 6.33'deki M1 motorunun sürekli çalışmada çekeceği elektriksel güç 2,53 MVA ve yol alma esnasında çekeceği güç ise 12,27 MVA dır. Motorun klemenslerine kadar olan sürekli çalışma ve yol alma hallerine ait gerilim düşümleri bulunacaktır. Kablonun kısa devre gücü:

$$S_{KABM1} = 1102 MVA$$

Motor klemenslerine kadar olan toplam kısa devre gücü

$$S_{K212}'' = \frac{1}{\frac{1}{184,44} + \frac{1}{105} + \frac{1}{1102}} = 63,2(MVA)$$

1. Sürekli çalışma hali için gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{2,53}{63,2 + 2,53} \cdot 100 = \%3,585$$

Bu gerilim düşümü sistemde sadece M1 motoru çalışırken 154kV şebekeden itibaren M3 motorunun klemenslerine kadar olan gerilim düşümüdür. Ancak sistem boyunca TR2 transformatöründen diğer yüklerde çekileceğinden gerilim düşümü daha yüksek olacaktır.

2. Motorun yol alması halinde motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

Motorun yol alma esnasında şebekeden çekeceği güç aynı zamanda motorun kısa devre gücü olup

$$S_M = 1900kW, \dots \eta = 0,95, \dots \cos \varphi = 0,85$$

ve

$$S''_{SCM1} = 5,3 \cdot \frac{1900}{0,85 \cdot 0,95} = 12,47(MVA) \text{ dir}$$

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{SCM1}}{S''_K + S_{SCM1}} \cdot 100 = \frac{12,47}{63,2 + 12,47} \cdot 100 = \%16,47$$

olacaktır.

Eğer TR1 transformatörünün sekonder gerilimi yükte kademe değiştirici vasıtasıyla yük değişimlerinde sabit tutulursa TR1 transformatör sekonder baralarına kadar enerji kaynağı iç direnci sıfır olan enerji kaynağı olarak varsayılabilirdiğinden $S_{SCN} = \infty$ dir. Buna göre Motor klemenslerine kadar kısa devre gücü

$$S''_{K212} = \frac{1}{\frac{1}{S_{SCN}} + \frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{TR2}} + \frac{1}{S''_{KABM1}}} = \frac{1}{\frac{1}{\infty} + \frac{1}{3427} + \frac{1}{105} + \frac{1}{1102}} = 93.(MVA)$$

Motorun sürekli çalışma durumunda

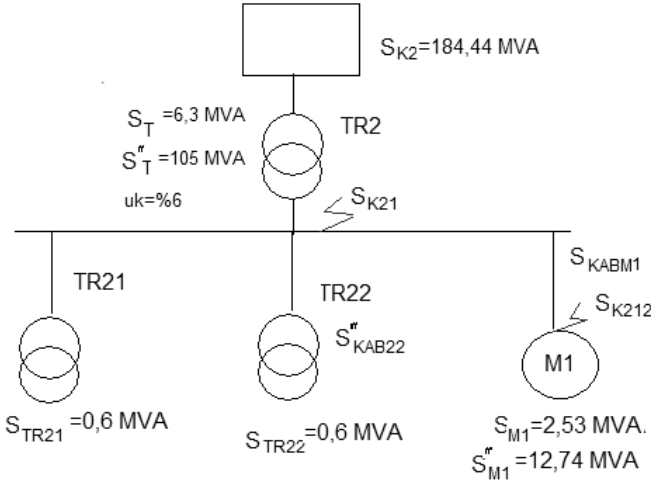
$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{2,35}{93 + 2,35} \cdot 100 = \%2,47$$

Motorun yol alma durumunda

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{S_{M1}}{S''_K + S_{M1}} \cdot 100 = \frac{12,47}{93 + 12,47} \cdot 100 = \%11,8$$

olacaktır.

Sistemden birden fazla yük çekildiği durumlarda gerilim düşümü hesabı



Şekil 6.33. Sistemde birden fazla yük çekilme hali

Burada iki durumda oluşan gerilim düşümlerinin toplamı göz önüne alınacaktır.

1. Tesiste devrede olan diğer yüklerden dolayı oluşan gerilim düşümü

$$\Delta u_1(\%) = \frac{S}{S''_{K21} + S} \cdot 100 \quad S = S_{TR21} + S_{TR22}$$

2. Motor yükünden oluşan gerilim düşümü

$$\Delta u_2 = \frac{S_{M1}}{S_{K212} + S_{M1}}$$

M1 motorunun bağlantı noktasındaki toplam gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \right) \cdot 100$$

Örnek: Şekil 6.33’de verilen tek hat şemasında $S''_{K21} = 67.(MVA)$ ve $S''_{K212} = 63,2.(MVA)$ dir. M3 motorunun sürekli çalışmada çekeceği güç 2,53 MVA ve yol alma esnasında çekeceği güç ise 12,27 MVA dır. Transformatörlerden herbirinin çekeceği güç ise 0,6 (MVA) dır. Motorun klemenslerine kadar olan sürekli çalışma ve yol alma hallerine ait gerilim düşümleri bulunacaktır.

Motorun yol alma motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$S = S_{TR21} + S_{TR22} = 0,6 + 0,6 = 1,2.(MVA)$$

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K212} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{12,47}{63,2 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%18,24$$

Sürekli çalışma halinde motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K212} + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{2,53}{63,2 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%5,7$$

Sürekli çalışma halinde ise motorun şebekeden çektiği akımı veya gücü motor miline bağlanan yük belirler gerilimin düşmesi halinde dahi motor şebekeden aynı gücü çeker.

TR2 ana besleme barasındaki gerilim düşümü

M1 motorunun yol alması halinde

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K21} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{12,47}{67 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%17,45$$

Motorun sürekli çalışması halinde

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K21} + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{67 + 1,2} + \frac{2,53}{67 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%5,17$$

Eğer Şekil 6.33’de görülen TR1 ana indirici transformatörün sekonder gerilimi, yüklükten kademe değiştirici vasıtasıyla yük değişimlerine karşı sabit tutulursa; iç direnci sıfır olan besleme kaynağı olarak varsayılır.

Buna göre $S''_{K1} = \infty$ olduğundan

$$S''_{K212} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{ENH1}} \frac{1}{S''_{TR2}} + \frac{1}{3427} + \frac{1}{105}} = 102.(MVA),$$

$S''_{K212} = 93.(MVA)$ olacaktır.

Motorun yol alma motor terminallerine kadar olan gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K212} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{102 + 1,2} + \frac{12,47}{93 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%12,36$$

TR2 ana besleme barasındaki gerilim düşümü

M1 motorunun yol alması halinde

$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{SCM1}}{S''_{K21} + S_{SCM1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{105 + 1,2} + \frac{12,47}{105 + 12,47} \right) \cdot 100 = \%11,8$$

Motorun sürekli çalışması halinde

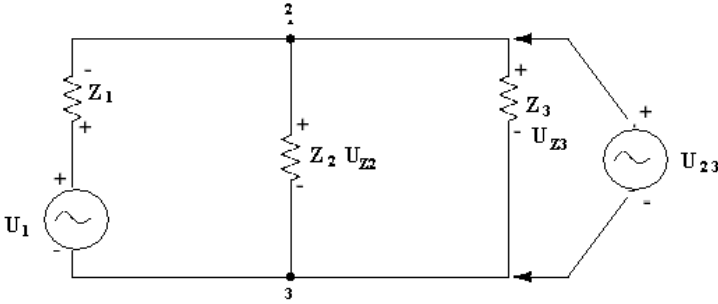
$$\Delta u(\%) = \left(\frac{S}{S''_{K21} + S} + \frac{S_{M1}}{S''_{K21} + S_{M1}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,2}{105 + 1,2} + \frac{2,53}{105 + 2,53} \right) \cdot 100 = \%3,38$$

6.8.4. Radyal şebekelerde Millman Teoremi yardımıyla dağıtım merkezlerinin ana baralarındaki gerilimin belirlenmesi ve gerilim düşümünün bulunması

Radyal şebekelerin dağıtım merkezlerinde transformatörün regülasyonunu yani dağıtım baralarındaki gerilim ayarını yapabilmek ve bu baralarda bulunan düşük gerilim, aşırı akım, aşırı yük rölelerinin açtırma eşik değeri ve açtırma sürelerini belirleyebilmek ve aynı zamanda şebekenin dinamik stablitesini görebilmek için gerek sürekli rejim halinde ve gerekse sistemde motorların yol almasında olduğu gibi darbeli yüklenme durumlarında dağıtım merkezlerindeki ana baralarda gerilimin değerinin bilinmesi gerekir. Omik veya diğer adıyla empedans metodu ile yapılan gerilim düşümü hesaplarında işlem adedinin ve işlemdeki küsuratın fazla ve özellikle geniş ve diğer baralarda şebekeden çekilen yük sayısının yüksek oluşu hesap karmaşasına ve hesap hatalarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çoğu zaman şebekeler projelendirilirken yük dağılım analizi ve transiyent yüklenmenin ortaya çıkardığı dinamik stablitenin belirlenmesi gibi bir çalışma yapılmamamaktadır. Sonuçta dağıtım şebekelerinde sık sık enerji kesilmelerine raslanılmaktadır. Aşağıda açıklanacak metotla dağıtım baralarındaki gerilim oldukça işlem basitliği ve çabukluğu sağlamaktadır.

Millman teoreminin açıklanması:

Şekil 6.34'de tek taraftan beslenen radyal şebekenin devre şemasında Z_2 ve Z_3 , 2 barasına paralel bağlı tüketici yük empedansları olup Z_1 , 2 barası ile U_1 güç kaynağı arasındaki bağlantı empedanslarını göstermektedir.



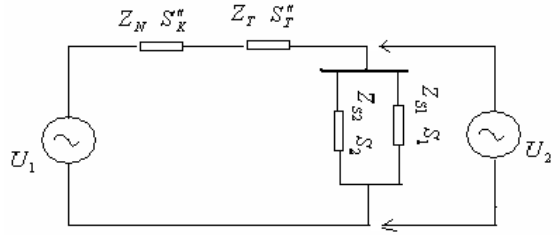
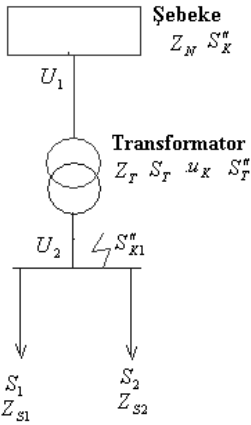
Şekil 6.34. Tek taraftan beslenen elektrik devresi

Yukardaki verilen elektrik devresi için Millman teoremine göre aşağıdaki ifade yazılır

$$U_{23} = \frac{\frac{U_1}{Z_1} + \frac{U_{Z2}}{Z_2} + \frac{U_{Z3}}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} = \frac{\frac{U_1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_2}} \Rightarrow U_{Z2} = U_{Z3} = 0$$

Z_2 ve Z_3 yük empedanslarına ait kollara herhangi bir güç kaynağı bağlı olmadığından U_{Z2} ve U_{Z3} gerilim değerleri sıfır alınacaktır

1-Kademeli radyal şebekede Millman teoremine göre dağıtım barasındaki gerilim ifadesi



Şekil 6.35.a. 1-kademeli radyal şebeke Şekil 6.35.b. 1-kademeli radyal şebeke devre şeması

$$U_2 = \frac{U_1}{\frac{Z_N + Z_T}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}}$$

Devre empedanslarının kısa devre güçleri ve yükler cinsinden ifadeleri

$$\text{Şebeke empedansı } Z_N = \frac{U_1^2}{S_K''}$$

$$\text{Transformatör empedansı } Z_T = \frac{U_1^2}{S_T''}$$

$$\text{Transformatör kısa devre gücü } S_T'' = \frac{S_T}{u_K}$$

S_T Transformatör gücü

$$\text{Yük empedansları } Z_{S1} = \frac{U_1^2}{S_1}, Z_{S2} = \frac{U_1^2}{S_2}$$

(2) ifadesi empedanslar yerine yük güçleri ve kısa devre güçleri cinsinden yazılıp sadeleştirilirse U_1 olarak sekonder bara tarafında transformatörün sekonder boşta gerilimi alınabilir. Yük empedansları yerine yukarda belirtilen gerilim ve kısa devre güçleri veya yük cinsinden değerleri (2) ifadesi cinsinden yerine konup sadeleştirilirse

$$S_{K1}'' = \frac{1}{\frac{1}{S_K''} + \frac{1}{S_T''}} \quad U_2 \quad \text{Barasının kısa devre gücü olmak}$$

üzere

$$U_2 = \frac{S_{K1}''}{S_{K1}'' + S_1 + S_2} \cdot U_1 \text{ ifadesi elde edilir.}$$

Metodun uygulanmasında dikkat edilecek noktalar:

1.Özellikle şebeke bağlantılarını gerçekleştiren kablo veya enerji nakil hatlarıyla kablo hatlarının kısadevre gücü bulunurken bağlı olduğu taraftaki transformatörün boşta gerilim değeri esas alınacaktır.

2.Gerilim değerleri bulunurken bağlı olduğu kademedeki transformatörün boşta sekonder gerilimi esas alınacaktır.

Örnek: Aşağıdaki örneğimize ilişkin Şekil 6.35’de şebeke kısa devre gücü $S''_K = 1500 MVA$, transformatör gücü $S_T = 25 MVA$, Transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi) $u_k = \%11$

Transformatörün boşa çevirme oranı 154/31,5 kV. U_2 barasından çekilen güçler:

$$S_1 = 8 MVA, S_2 = 10 MVA (\text{sürekli}) \text{ ve } S_3 = 18 MVA$$

(15 sn süreyle darbeli).

31.5 kV barada gerilim değerleri bulunacaktır.

1. Darbesiz yük çekme durumu

Transformatörün kısa devre gücü

$$S''_T = \frac{S_T}{\frac{u_k}{100}} = \frac{25}{\frac{11}{100}} \approx 227,27 MVA$$

$$S''_{K1} = \frac{1}{\frac{1}{S''_K} + \frac{1}{S''_T}} = \frac{1}{\frac{1}{1500} + \frac{1}{227,27}} \approx 197,37 MVA$$

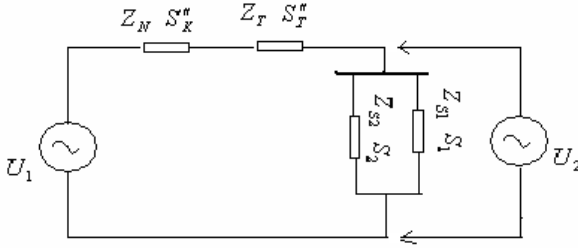
Dağıtım barası gerilimi

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2} \cdot U_1 = \frac{197,37}{197,37 + 8 + 10} \cdot 31,5 = 28,862 kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{31,5 - 28,862}{31,5} \cdot 100 = \%8,37$$

Devre omik metotla çözülürse



Devre empedansları

Şebeke empedansı $Z_N = \frac{U_1^2}{S_K''} = \frac{(154)^2}{1500} = 15,811ohm$

31,5 kV tarafına çevrilmesi

Şebeke empedansı

$$Z_N = \frac{U_1^2}{S_K''} \cdot \left(\frac{31,5}{154} \right)^2 = 15,811 \cdot \left(\frac{31,5}{154} \right)^2 = 0,662ohm$$

Transformatör empedansı

$$Z_T = u_K \frac{U_1^2}{S_T} = 0,11 \frac{(31,5)^2}{25} = 4,366ohm$$

Yük empedansları

1. yük empedansı $Z_{S1} = \frac{U_1^2}{S_1} = \frac{(31,5)^2}{8} = 124ohm$

2.yük empedansı $Z_{S2} = \frac{U_1^2}{S_2} = \frac{(31,5)^2}{10} = 99,23ohm$

Toplam yük empedansı

$$Z_s = \frac{1}{\frac{1}{Z_{S1}} + \frac{1}{Z_{S2}}} = \frac{1}{\frac{1}{124} + \frac{1}{99,23}} = 55,12ohm$$

Toplam devre direnci

$$\sum Z = Z_N + Z_T + Z_S = 0,662 + 4,366 + 55,12 = 60,15 \text{ohm}$$

$$\text{Devreden geçen akım } I = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot \sum Z} = \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 60,15} = 302,35 \text{ A}$$

U_2 barasına kadar gerilim düşümü

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (Z_N + Z_T) \cdot I = \sqrt{3} (0,662 + 4,366) \cdot 302,35 = 2633 \text{ Volt}$$

$$(\%) \text{ gerilim düşümü } \Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_1} \cdot 100 = \frac{2633}{31500} \cdot 100 = \%8,36$$

U_2 barasındaki gerilim

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 31,5 - 2,633 = 28,867 \text{ Volt}$$

İki metotla da bulunan gerilimler arasındaki fark, 5 Volt olarak görülmektedir. Söz konusu fark, işlem esnasında küsüratların yuvarlatılmasından ileri gelmektedir.

2. Darbeli yük durumu

Bu durumda $S_2 = 18 \text{ MVA}$ olacağından

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + S_1 + S_2} \cdot U_1 = \frac{197,37}{197,37 + 8 + 18} \cdot 31,5 = 27,833 \text{ kV}$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{31,5 - 27,833}{31,5} \cdot 100 = \%11,64$$

İndirici merkez ana dağıtım barasında bu derece gerilim düşümü dinamik stabilite açısından çok büyük bir değerdir.

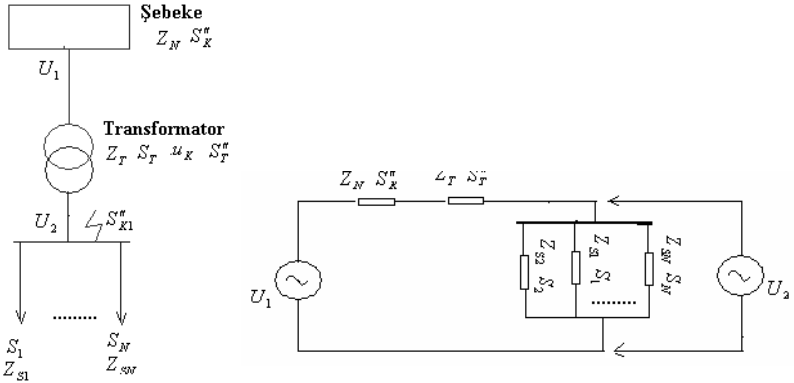
Bu gibi durumlarda yapılabilecekler

- Transformator gücü büyütülür

- Transformatörün sekonder çıkış kademesi boşa kademe değiştiricisi vasıtasıyla 33kV'a ayarlanır. Bu ise yük değişimleri sık olan şebekelerde yükün az olduğu saatlerde gerilim yükselmelerine neden olur.
- Transformatör yükte kademe değiştirici ile donatılarak sekonder çıkış gerilimi 31,5 kV değerinde sabit tutulur. Gerilimin sabit tutulması durumunda sekonder baralar sonsuz güçlü şebeke gibi kabul edilebilir.

Aynı baradan N sayıda yük çekilmesi durumu

Aynı dağıtım barasından birçok besleme veya nakil hatları çıktığı durumlarda U_2 barasındaki gerilim ifadesi



Şekil 6.36.a. 1- kademeli radyal şebekede Şekil 6.36.b. Besleme şekline ait devre şeması

N adet yükün besleme durumu

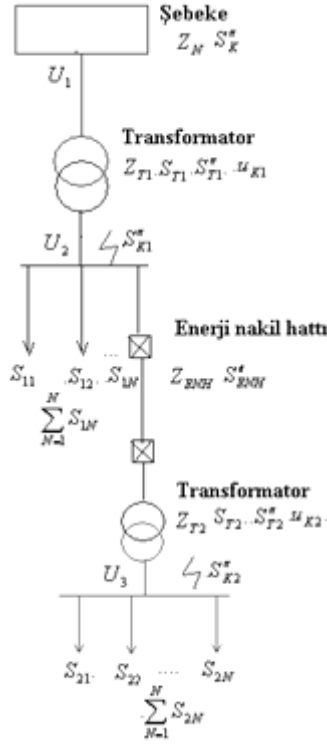
U_2 barasındaki gerilim ifadesi

$$U_2 = \frac{S_{K1}''}{S_{K1}'' + S_1 + S_2 + \dots + S_N} \cdot U_1 \quad (5)$$

Genel olarak ifade edilirse

$$U_2 = \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_N} \cdot U_1 \quad (6) \text{ yazılır.}$$

2-kademeli radyal şebekede 2.kademedeki dağıtım barasındaki gerilim



Şekil 6.37. 2-Kademeli radyal şebeke

İkinci kademedeki U_3 gerilimi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_2 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1$$

U_2 geriliminin ifadesi yerine konduğunda

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1$$

Örnek : Şebeke kısa devre gücü $S''_K = 1500MVA$, 1. transformatöre ait değerler transformatör gücü $S_T = 25MVA$, transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi) $u_k = \%11$ transformatörün boşa çevirme oranı 154/31,5 kV .

U_2 barasından çekilen güçler

$\sum S_{1N} = 10MVA$, $\sum S_{2N} = 2MVA$ (sürekli) ve $\sum S_{2N} = 13MVA$ (15 saniye süre ile darbeleri) gücü 630m uzunluğunda 3x3/0 AWG PIGEON hattı ile 31,5 kV ana baraya bağlı 31,5/6,3 kV dağıtım transformatörü üzerinden çekilmektedir. 2. transformatöre ait değerler, transformatör gücü $S_T = 6,3MVA$, transformatör empedans gerilimi (nisbi kısa devre gerilimi) $u_k = \%5,74$ transformatörün boşa çevirme oranı 31,5/6,3 kV . 6,3 kV barada gerilim değerleri bulunacaktır.

Ana indirici merkezdeki transformatörde, yükte kademe değiştircinin bulunmadığı

şebekede darbesiz yük bulunmaması durumunda

Enerji nakil hattının empedansı

Tek devre 3x3/0 (PIGEON) hattın km başına birim empedansı

$$z_{ENH1} = 0,338 + j0,348.(ohm / km) \quad \text{olup} \quad \text{uzunluğu}$$

$$L_{ENH1} = 0,63km \text{ dir}$$

Hattın toplam empedansı

$$Z_{ENH1} = 0,63 \cdot \sqrt{0,338^2 + 0,348^2} = 0,306.ohm$$

$$\text{Kısa devre gücü} \quad S''_{ENH1} = \frac{(31,5)^2}{0,306} = 3427.MVA$$

1. transformatörün kısa devre gücü

$$S''_{T1} = \frac{S_{T1}}{u_{K1}} = \frac{25}{\frac{11}{100}} \approx 227,27MVA$$

2. transformatörün kısa devre gücü

$$S''_{T2} = \frac{S_{T2}}{u_{K2}} = \frac{6,3}{\frac{5,74}{100}} \approx 110MVA$$

2. kademe dağıtım barasının kısa devre gücü

$$S''_{K2} = \frac{1}{\frac{1}{S''_K} + \frac{1}{S''_{T1}} + \frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{T2}}} = \frac{1}{\frac{1}{1500} + \frac{1}{227,27} + \frac{1}{3427} + \frac{1}{110}} \approx 69,2MVA$$

2. kademe dağıtım barasındaki gerilim

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1 = \frac{69,2}{69,2 + 2} \cdot \frac{197,37}{197,37 + 10} \cdot 6,3 = 5,56kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 5,56}{6,3} \cdot 100 = \%11,75$$

darbeli yük çekme durumunda

2. kademe dağıtım barasına bağlanan motora yol verildiğinde 11MVA değerinde motorun yol verme yükü ile yüklendiğinde

1. kademedeki toplam yük $\sum S_{1N} = 10MVA + 11MVA = 20MVA$ ve

2. kademedeki toplam yük $\sum S_{2N} = 2MVA + 11MVA = 13MVA$ olacaktır.

2. kademe baradaki gerilim düşümü

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot \frac{S''_{K1}}{S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_{1N}} \cdot U_1 = \frac{69,2}{69,2 + 13} \cdot \frac{197,37}{197,37 + 20} \cdot 6,3 = 4,816kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 4,816}{6,3} \cdot 100 = \%23,6$$

Görüleceği üzere gerilim düşümünün daha dağıtım baralarında %23,6 olması dolayısıyla motorun yol direkt yol alamayacağı gibi baraya bağlı diğer fiderlerde gerilim düşümünün aşırı derecede olmasından dolayı devre dışı olacaktır. Sistem bu haliyle söz konusu motorun yol alması için uygun değildir.

2. Ana indirici merkezde 31,5 kV sekonder gerilimi sabit tutmak için yükte kademe değiştiricinin bulunduğu durumlarda ise

darbesiz yük çekilme durumunda

Ana indirici merkezde 31,5 kV sekonder gerilim yükte kademe değiştirici vasıtasıyla sabit tutulduğunda ana dağıtım barası kısa devre gücü S''_{K1} yaklaşık sonsuz kabul edilebilir.

Bu durumda 2.kademe dağıtım barası kısa devre gücü

$$S''_{K2} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{ENH1}} + \frac{1}{S''_{T2}}} = \frac{1}{\frac{1}{3427} + \frac{1}{110}} \approx 106,6MVA$$

Bara gerilimi ise

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_1 = \frac{106,6}{106,6 + 2} \cdot 6,3 = 6,184kV$$

Gerilim düşümü ise

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 6,184}{6,3} \cdot 100 = \%1,86 \text{ olacaktır}$$

Darbeli yük durumunda

Bara gerilimi

$$U_3 = \frac{S''_{K2}}{S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N}} \cdot U_1 = \frac{106,6}{106,6 + 13} \cdot 6,3 = 5,615kV$$

Gerilim düşümü

$$\Delta u(\%) = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{6,3 - 5,615}{6,3} \cdot 100 = \%10,9$$

Sistem söz konusu motora yol vermeye uygun hale gelir.

J- Sayıda kademeye sahip Radyal şebekelerde J kademesindeki dağıtım barasının U_{J+1} gerilimi

$$U_{J+1} = \frac{S''_{K1} \cdot S''_{K2} \cdot \dots \cdot S''_{KN}}{\left(S''_{K1} + \sum_{N=1}^N S_{1N} \right) \left(S''_{K2} + \sum_{N=1}^N S_{2N} \right) \dots \left(S''_{KN} + \sum_{N=1}^N S_{JN} \right)} \cdot U_1$$

yazılır ve

Genel olarak gerilim düşümü

$$U_{N+1} = \frac{\prod_{N=1}^N S''_{KN}}{\prod_{J=1}^{J=N} \left(S''_{KJ} + \sum_{N=1}^N S_{JK} \right)} \cdot U_1 \text{ ifadesiyle belirlenir.}$$

6.9. Kablo ısınma kayıpları

S [mm ²]	Tek damarlı kablo		iki damarlı/üç damarlı kablo	
	Cu	Al	Cu	Al
1.5	14.8	24.384	15.1	24.878
2.5	8.91	14.680	9.08	14.960
4	5.57	9.177	5.68	9.358
6	3.71	6.112	3.78	6.228
10	2.24	3.691	2.27	3.740
16	1.41	2.323	1.43	2.356
25	0.889	1.465	0.907	1.494
35	0.641	1.056	0.654	1.077
50	0.473	0.779	0.483	0.796
70	0.328	0.540	0.334	0.550
95	0.236	0.389	0.241	0.397
120	0.188	0.310	0.191	0.315
150	0.153	0.252	0.157	0.259
185	0.123	0.203	0.125	0.206
240	0.0943	0.155	0.0966	0.159
300	0.0761	0.125	0.078	0.129

Tablo 6.45. 80°C'de tek ve çok damarlı kabloların direnç değerleri (ohm/km)

3-fazlı sistemde kayıplar $P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$

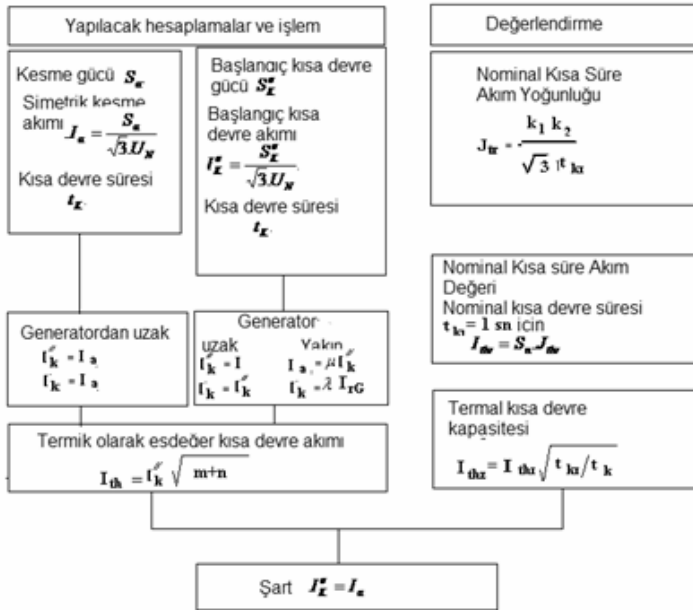
1-fazlı sistemde kayıplar $P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$
burada

- I_b yük akımı (A)
- r birim başına kablo uzunluğundaki özgül direnç (Tablo 27)
- L kablo uzunluğu.

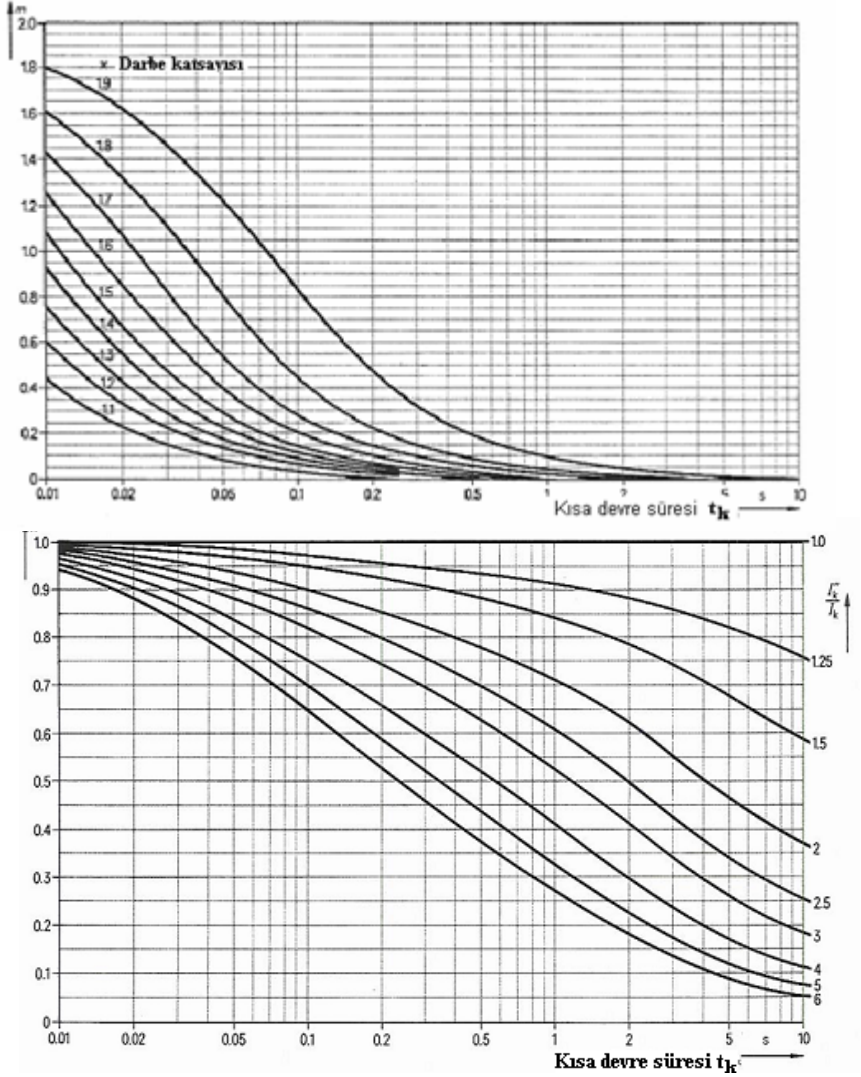
6.10. Kabloların kısa devre şartları altında ısınma açısından kontrolü

6.10.1 Kısa devre şartları altındaki performans

Aşağıdaki şekildeki veriler esas alınarak kısa devre zorlamalara uygun iletken ve ekran kesitinin tesbit edilmesi gerekir. Bir iletken kesiti, t_k kısa devre süresinde I_{th} termal eşdeğer kısa devre akımı olmak üzere $I_{th} \leq I_{thz}$ şartlarını yerine getirdiğinde uygun olarak seçilmiş demektir. Burada I_{thz} , termal şartlar tarafından belirlenen termal kısa devre kapasitesidir.



Şekil 6.38. Kısa devre şartları altında I_{th} ve I_{thz}



Şekil 6.39. Eşdeğer kısa devre akımı I_{sh} hesabı için m ve n faktörleri

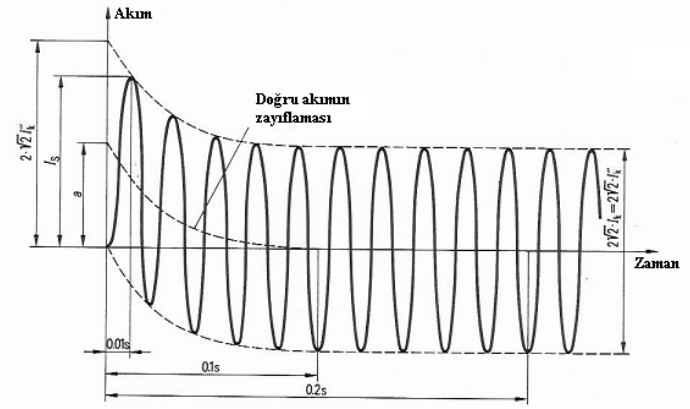
6.10.2. Kısa devre çalışması:

Hesaplamalar için başlangıç simetrik kısa devre gücü S_k'' veya sistemi besleme şebekesine bağlayan kesicinin kısa devre gücü S_a bilinmelidir. Kısa devre süresinde akan I_{th} efektif kısa devre akımının termal etkisini belirlemek için en yüksek akım miktarını verecek kısa devre şekli ele alınır.

Termal etki olarak gerçek kısa devre akımı azalan doğru akım bileşeni (faktör m) ve alternatif akım bileşeni (faktör n) den meydana gelir.

Bu faktörlerden termal eşdeğer kısa devre akımı

$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n}$ olarak hesaplanır.



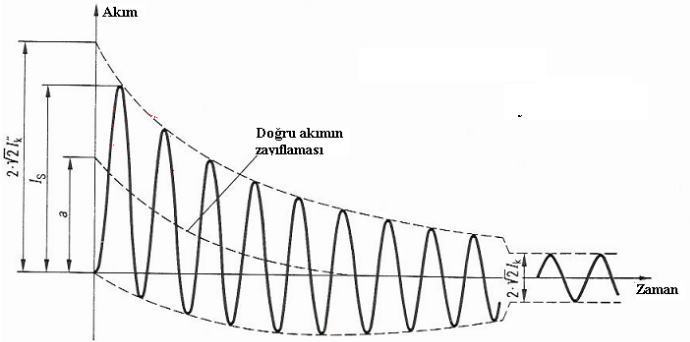
Şekil 6.40. Jeneratörden uzak kısa devrede kısa devre akımının gelişimi

Jeneratörden uzak kısa devrelerde kısa devre akımının gelişimi $n=1$ olmak üzere

$I_k = I_k''$ ve $I_{th} = I_k'' \sqrt{m+1}$ olur.

Kısa devre süresi $t_k \geq 0,1sn$ için alternatif kesme akımı I_a başlangıç simetrik kısa devre akımı I_k'' ya eşittir. I_s darbe kısa devre akımının olduğu yerde darbe katsayısı bilinemiyorsa $\chi = 1,8$ olarak alınır.

Genellikle meydana gelen kısa devre akımları generatordan uzak kısa devrelerdir. Jeneratör yakını kısa devre elektrik santrallerinde veya endüstriyel sistemleri beslemek üzere tesis edilen jeneratör gruplarının bulunduğu tesislerde meydana gelir.



Şekil 6.41. Jeneratör yakını kısa devrede kısa devre akımının gelişimi

Kısa devrenin bu şeklinde I_k sürekli kısa devre akımı I_k'' başlangıç kısa devre akımından küçüktür yani $n < 1$ dir. Sürekli kısa devre akımının bilinemediği yerde $n=1$ alınır.

Eğer sadece I_k'' başlangıç simetrik kısa devre akımı biliniyorsa darbe katsayısı $\chi = 1,8$ alınır. Temel değer olarak

I_a kullanılacaksa I_k'' başlangıç simetrik kısa devre akımı $\mu = 0,8$ faktörü ile çarpılır.

Örnek:

Şebeke işletme gerilimi 31,5 kV ve kısa devre kesme gücü 500MVA şebekede $\chi = 1,8$ ve $\mu = 1,0$ dır.

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 31,5 \cdot 10^3} = 9,2 \text{ kA}$$

$$I_k'' = \frac{I_a}{\mu} = \frac{9,2}{1} = 9,2 \text{ kA}$$

$$I_s = \chi \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,8 \times \sqrt{2} \times 9,2 = 23,4 \text{ kA}$$

$$I_k \approx I_a = 9,2 \text{ kA}$$

Kısa devre süresi $t_k = 0,5$ sn'de $I_k = I_k''$ olmak üzere Şekil

2'den $m = 0,1$ ($\chi = 1,8$ ve $t_k = 0,5$ sn) ve $n = 1$ ($\frac{I_k''}{I_k} = 1, t_k = 0,5$ sn)

olmak üzere $I_{th} = I_k'' \sqrt{m + 1} = 9,2 \cdot \sqrt{0,1 + 1} = 9,65 \text{ kA}$

6.10.3 İletkenin kısa devre taşıma kapasitesi

Kablo kısa devre akım taşıma kapasitesini bulabilmek için uygulanan metotlar aşağıdaki bölümlerde açıklanacaktır

Metot 1:

Kısa devre oluştuğunda kısa devre akımları tarafından üretilen ısı iletkenin depolanır. Bu şartlar altında iletken izin

verilen sıcaklığın ötesinde ısınmamalıdır. Bu sebeple kısa devrenin başlangıcındaki iletken sıcaklığı ile kısa devre süresi mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Kısa devrenin başlangıcındaki ϑ_a iletken sıcaklığı kısa devreden önceki yükün durumuna bağlıdır. Eğer ϑ_a nın değeri bilinemiyorsa ve tesis projelendirme safhasında iken Tablo 6.46 ve Tablo 6.47 deki değerler esas alınır.

Yapı tarzı	İzin verilen işletme sıcaklığı ϑ_{Dr} °C	İzin verilen kısa-devre sıcaklığı ϑ_e °C	Kısa devrenin başlangıcında ϑ_a iletken sıcaklığı °C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
			$t_{kr} = 1s$ için J_{thr} A/mm2 nominal kısa devre akım yoğunluğu								
Yumuşak kaynaklı birleştirmeler	—	160	100	107	115	119	122	129	136	143	153
XLPE kablolar	90	250	143	148	154	157	159	165	170	176	181
PE kablolar	70	150	—	—	109	113	117	124	131	138	145
PVC kablolar ≤ 300mm2 > 300mm2	70 70	160 140	— —	— —	115 103	119 107	122 111	129 118	136 126	143 133	153 140

t_k kısa devre süresinde I_{thz} termal kısa devre kapasitesi

$$I_{thz} = q_n \cdot J_{thr} \cdot \sqrt{\frac{t_{kr}}{t_k}} \text{ dir}$$

Tablo 6.46. İzin verilen kısa devre sıcaklığı ve J_{thr} nominal kısa zaman akım yoğunluğu Bakır iletkenli kablo için

Yapı tarzı	İzin verilen işletme sıcaklığı ϑ_{Dr} °C	İzin verilen kısa-devre sıcaklığı ϑ_e °C	Kısa devrenin başlangıcında ϑ_a iletken sıcaklığı °C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
			$t_{kr} = 1s$ için J_{thr} A/mm2 nominal kısa devre akım yoğunluğu								
XLPE kablolar	90	250	94	98	102	104	105	109	113	116	120
PE kablolar	70	150	—	—	72	75	77	82	87	91	96
PVC kablolar ≤ 300mm2 > 300mm2	70 70	160 140	— —	— —	76 68	78 71	81 73	85 78	90 83	95 88	99 93

Tablo 6.47. İzin verilen kısa devre sıcaklığı ve J_{thr} nominal kısa zaman akım yoğunluğu alüminyum iletkenli kablo için

Örnek:

Termal eşdeğer kısa devre akımı $I_{th} = 15,1 \text{ kA}$ $t_k = 0,5$ kısa devre süresine uygun bakır iletkenli XLPE kablo kesiti belirlenecektir.

$$S_n = \frac{I_{th}}{J_{thr}} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{kr}}} = \frac{15,1 \cdot 10^3}{143} \sqrt{\frac{0,5}{1}} = 74,6 \text{ mm}^2 \text{ seçilen kablo kesiti } 95 \text{ mm}^2 \text{ dir.}$$

Bu durumda kablunun kısa devre kapasitesi

$$I_{thz} = 95 \cdot 143 \sqrt{\frac{1}{0,5}} = 19,2 \text{ kA} \text{ olacaktır.}$$

Şekil 5a, 5b, 6a, 6b'deki grafikleri kullanarak izin verilen kısa devre akımlarının bulunması:

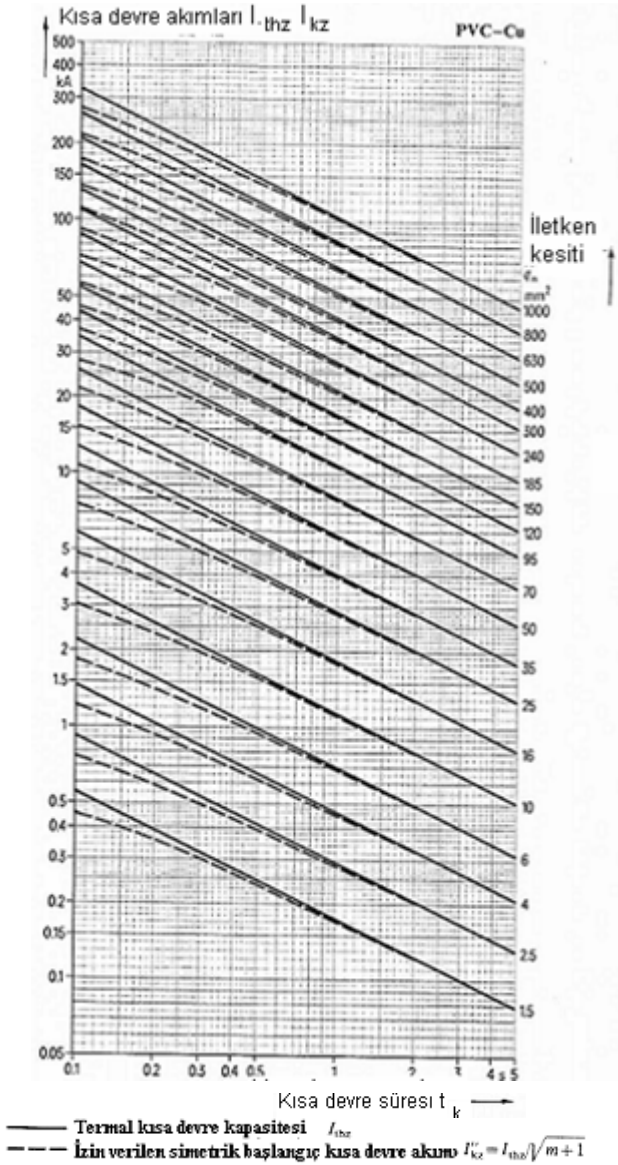
$$I_k'' = \frac{I_{thz}}{\sqrt{m+n}}$$

İzin verilen kesme süresi t_{kz} ve termal eşdeğer kısa devre akımı I_{th} değeri için DIN VDE 0100 bölüm 2'ye göre

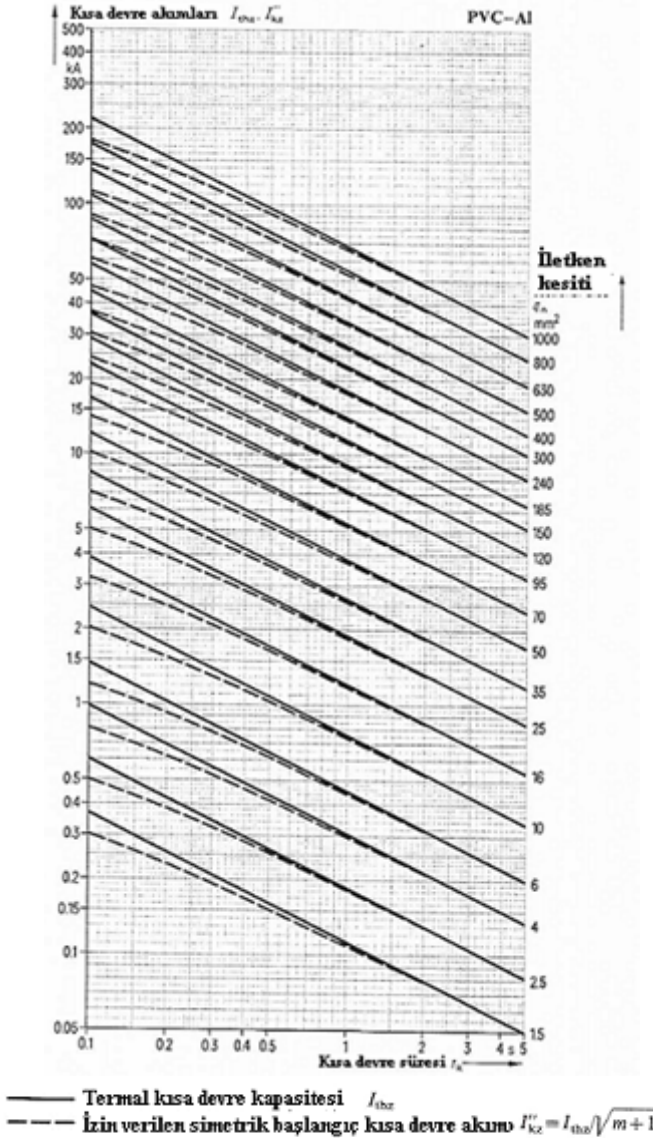
$$t_{kz} = \left(k \frac{S_n}{I_{th}} \right)^2 \quad k = J_{thr} \cdot \sqrt{t_{kr}} \quad t_{kr} = 1 \text{ sn' den hesaplanır}$$

Metot 2:

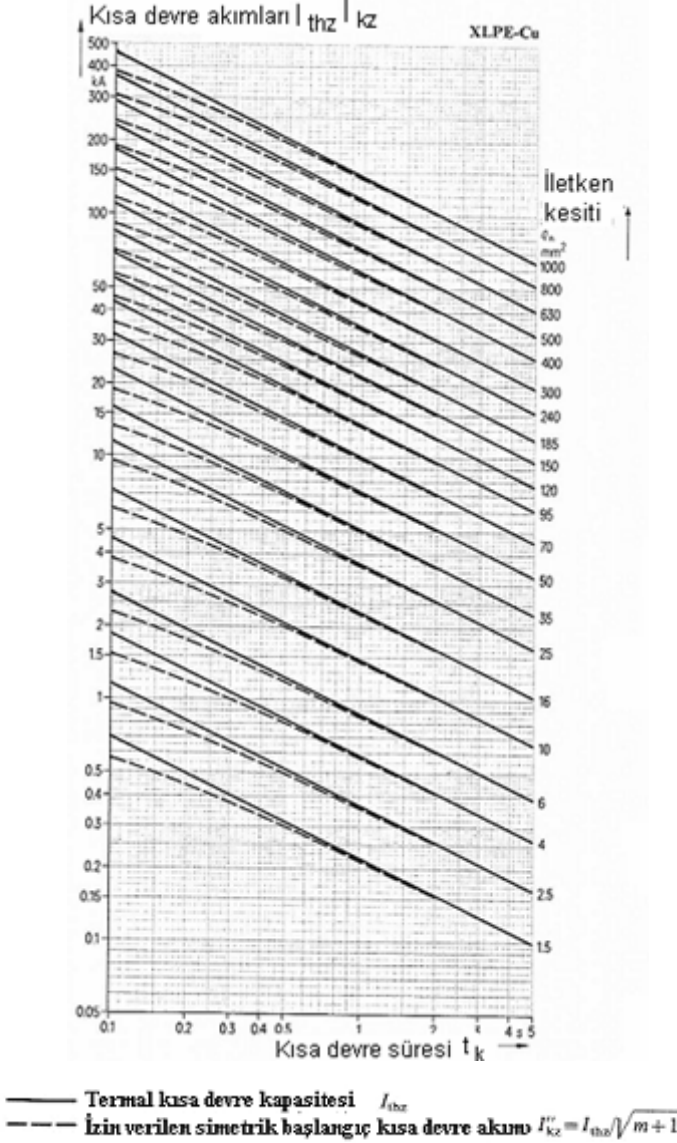
Aşağıda verilen abaklardan sisteme en uygun olanının kullanılması



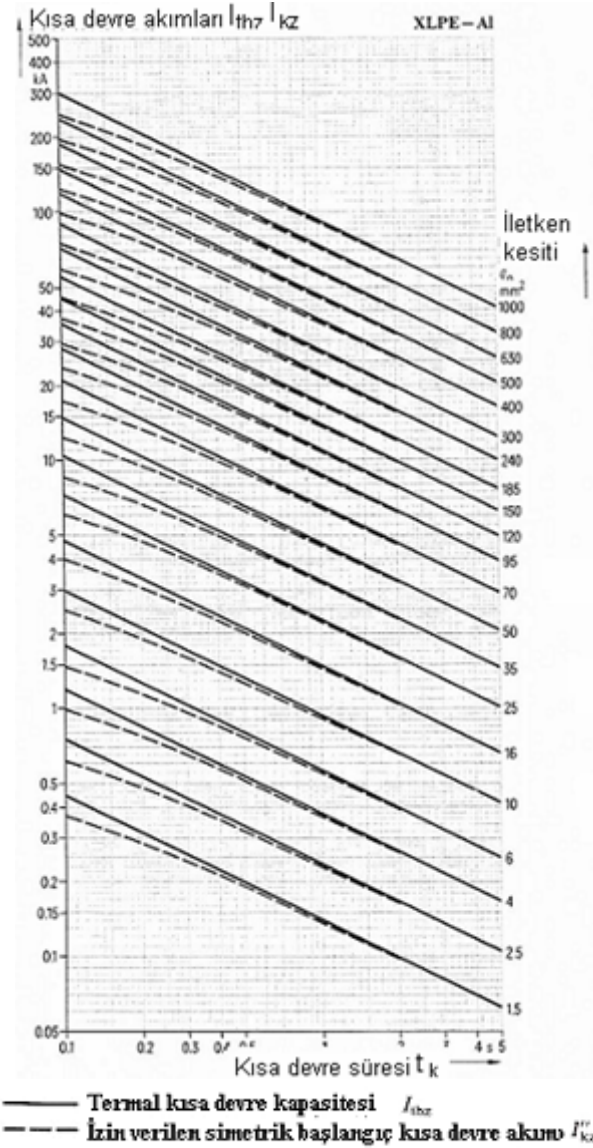
Şekil 6.42.a. Bakır iletkenli PVC kabloların $\chi = 1,8$ $\vartheta_a = 70^\circ C$ ve $\vartheta_c = 160(140)^\circ C$ deki kısa devre akımları



Şekil 6.42b. Alüminyum iletkenli PVC kabloların $\chi = 1,8$ $\vartheta_a = 70^\circ\text{C}$ ve $\vartheta_e = 160(140)^\circ\text{C}$ deki kısa devre akımları



Şekil 6.43a. Bakır iletkenli XLPE kabloların $\chi = 1,8$ $\vartheta_a = 90^\circ C$ ve $\vartheta_e = 250^\circ C$ deki kısa devre akımları



Şekil 6.43b. Alüminyum iletkenli XLPE kabloların $\chi = 1,8$ $\vartheta_a = 90^\circ C$ ve $\vartheta_e = 250^\circ C$ deki kısa devre akımları

Metot 3.

Burada etkili kısa devre akımı olarak Şekil 6.39'da verilen abaklar yardımıyla belirlenen I_{th} eşdeğer kısa devre akımı hesaplarda ele alınır. Ayrıca iletken direncinin sıcaklığa bağlılığı yanı sıcaklık değerlerine göre artması, kısa devre şartları altında iletken malzemesinin spesifik ısısı ve gravitesi göz önüne alınarak S_n iletken kesiti için aşağıda verilen ifade yazılır.

$$S_n = I_{th} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{t}{[\chi_{20} \cdot (\theta + 20) \cdot \gamma \cdot c] \ln \frac{\theta + \nu_e}{\theta + \nu_a}}} \cdot mm^2$$

veya basit olarak

Burada $S_n = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{th} \cdot \sqrt{t}$ yazılır.

$$K_1 = [\chi_{20} \cdot (\theta + 20) \cdot \gamma \cdot c]^{\frac{1}{2}} \cdot 10^3 \cdot mm^2 / kAs^{\frac{1}{2}} \text{ materyal sabiti}$$

$$K_2 = \left[\ln \frac{\theta + \nu_e}{\theta + \nu_a} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ sıcaklık katsayısı}$$

I_{th} ortalama kısa devre akımı kA

χ_{20} 20°C de iletken malzemesinin özgül iletkenliği mm/ohm.mm²

c Birim ağırlığın özgül ısısı Ws/degC.g

$\gamma \cdot c$ Birim hacmin özgül ısısı Ws/degC.cm³

ν_a Başlangıç sıcaklığı °C

ν_e Son sıcaklık

θ Sıcaklık sabitesi

Malzeme Cinsi	χ_{20} $\frac{m}{ohm.mm^2}$	c $\frac{Ws}{deg C.g}$	$\gamma.c$ $\frac{Ws}{deg C.cm^3}$	θ deg C	K_1 $\frac{mm^2}{kAs^{\frac{1}{2}}}$
Bakır Cu	58	0,389	3,47	234,5	4,41
Aluminyum Al	35,4	0,887	2,39	228	6,9
Demir Fe	7,25	0,481	3,78	202	12,8
Kurşun Pb	4,67	0,129	1,47	230	24,2

Tablo 6.48. İletken ve ekran malzemelerinin sabiteleri

Örnek :

Aşağıda 6 kV tesis için verilen yük ve kısa devre değerlerinde

Asimetrik kısa devre akımı $I_s = 60kA$ tepe değer

Başlangıç kısa devre akımı $I_K'' = 25kA$ efektif değer

Sürekli kısa devre akımı $I_K = 10kA$ efektif değer

Açtırma süresi $t = 0,5$ saniye

Kısa devre süresi boyunca izin verilen son sıcaklık 180^0C olarak göz önüne alınacaktır. Başlangıç sıcaklığı olarak 80^0C olarak kabul edilecektir .

$$\text{Darbe katsayısı } \chi = \frac{I_s}{\sqrt{2}.I_K''} = \frac{60}{\sqrt{2}.25} = 1,7$$

Şekil 4.15’de verilen abaktan $\frac{I_K''}{I_K} = \frac{25}{10} = 2,5$ ve $t = 0,5$ saniye

değerlerine göre DC bileşen için faktör $m=0,06$ ve AC bileşen için $n = 0,7$ elde edilir.

Buna göre kısa devre akımının ortalama değeri yani eşdeğer kısa devre akımı $I_{th} = I_K'' \cdot \sqrt{m+n} = 25 \cdot \sqrt{0,06+0,7} = 21.0kA$ efektif değer;

Belirlenen kısa devre şeritleri için gerekli bakır iletken kesiti $S_n = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{th} \cdot \sqrt{t} = 4,41.1,9.21,8 \cdot \sqrt{0,5} = 130mm^2$ olarak bulunur.

Metot 4

Gerilim altındaki iletkenlerin termik dayanımı mutlaka kablounun bağlandığı yerdeki maksimum kısa devre akım değeri esas alınarak kontrol edilmelidir. Kısa devre hesabı kısa devre yolu üzerinde bulunan transformatör, jeneratör, motor ve bağlantı elemanları göz önüne alınarak kısa devre hesapları bölümünde açıklanan metotlardan birisi kullanılarak yapılır. Ancak jeneratör grubunun devreye bağlı olması durumunda yaklaşık olarak kısa devreye karşı koruma elemanının kısa devreyi temizleme süresine eşit olan transiyent peryot esnasında meydana gelen kısa devre akım değeri esas alınarak termik kısa devre dayanımı kontrol edilecektir.

Genel metot

Öncelikle Şekil 6.44 den $\delta_0 (Amper / mm^2)$ 1-saniye kısa devre süresi için kullanılan kablo tipi için termik kısa devre dayanım yoğunluğu belirlenir. 1-saniyeden farklı kısa devre süreleri için

$$\delta = \frac{\delta_0}{\sqrt{t}} \text{ ifadesi kullanılarak gerçek koruma cihazının açma}$$

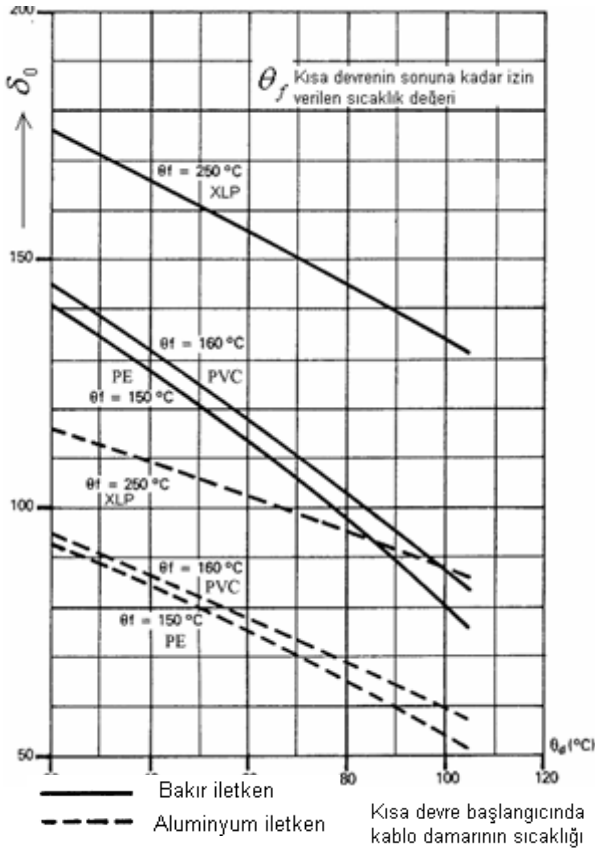
süresi ile belirlenen gerçek kısa devre süresi için termik kısa devre dayanım yoğunluğu bulunur. Bu ifadede t kısa devre süresidir.

Kısa devre halinde termik dayanıma uygun minimum kablo iletken kesiti

$$S(mm^2) = \frac{I_k'' (Amper)}{\delta (Amper / mm^2)} \text{ ifadesiyle belirlenir}$$

Burada

$$I_k'' (Amper) \text{ maksimum kısa devre akımı}$$



Şekil 6.44. Kısa devre süresinde iletkenin termik kısa devre dayanım yoğunluğu

Basitleştirilmiş metot

Kısa devreden önceki kablo sıcaklığının sürekli çalışma halindeki sıcaklığa eşit olduğu kabul edilecektir. Bu durumda iletken kesiti aşağıda verilen ifade yardımıyla bulunabilir.

$$S \geq \frac{I_K''}{k} \sqrt{t}.$$

Bu ifadede

I''_k (Amper) maksimum kısa devre akımı

t kısa devre süresi

k Tablo 35’de verilen katsayı değeridir.

Koruma iletkenlerinde I_E toprak hata akımı esas alınarak hesap yapılacaktır.

	İzolasyon Malzemesi			
	PVC PE		XLPE EPR	
Aktif İletken				
- Bakır	115		143	
- Alüminyum	74		94	
Koruma iletkenleri	a	b	a	b
- Bakırær	143	115	176	143
- Alüminyum	95	75	116	94
- Çelik	52	—	64	—
a- Kablolarla birleşik olmayan koruma iletkeni b-Kablolarla birleşik olan koruma iletkeni				

Tablo 6.49. k katsayısı değerleri

Haddelenmiş sentetik izolasyonlu kablo ekranlarında kısa süreli akım dayanımları

S_3 Kesitin belirlenmesi

Kabloda izin verilen aşırı akımın hesabı ekranın yapısına ve kablunun cinsine bağlıdır.

İzolasyon malzemesinin cinsi	İşletme esnasında, ekranın sıcaklığı (°C)	Aşırı akım geçmesi durumunda izin verilen son sıcaklık (°C)
XLPE	70	250
EPR	70	250
PE	60	150
PVC	60	160

Tablo 6.50. Hesaplarda kullanılan sıcaklık şartları

Nominal gerilim	6/10 (12) kV			8.7/15 (17.5) kV			12/20 (24) kV			18/30 (36) kV		
Kısa devre süresi	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s
İletken kesiti mm²												
16	1 100	900	650	1 350	1 000	800	1 800	1 400	1 100			
25	1 200	950	700	1 400	1 050	800	1 800	1 400	1 100			
35	1 400	1 000	800	1 650	1 250	1 000	1 850	1 400	1 100			
50	1 600	1 150	1 000	1 750	1 350	1 050	1 950	1 450	1 150	2 500	1 950	1 550
70	1 750	1 250	1 050	1 900	1 450	1 150	2 100	1 600	1 250	2 700	2 050	1 650
95	1 850	1 350	1 100	2 050	1 550	1 200	2 200	1 700	1 300	2 800	2 150	1 700
120	1 900	1 400	1 150	2 150	1 650	1 300	2 500	1 950	1 550	3 100	2 400	1 900
150	2 150	1 650	1 300	2 400	1 850	1 500	2 600	2 000	1 600	3 150	2 450	1 950
185	2 400	1 850	1 450	2 600	2 000	1 600	2 750	2 150	1 700	3 350	2 600	2 100
240	2 700	2 050	1 650	2 800	2 150	1 700	3 100	2 400	1 950	3 600	2 750	2 200
300	2 800	2 150	1 750	3 150	2 450	1 950	3 300	2 550	2 050	3 800	2 950	2 350
400	3 050	2 350	1 900	3 450	2 650	2 150	3 650	2 900	2 250	4 200	3 300	2 650
500	3 400	2 550	1 950	3 800	2 950	2 350	4 100	3 200	2 550	4 550	3 550	2 850
630	3 750	3 000	2 300	4 250	3 300	2 650	4 450	3 450	2 800	4 950	3 850	3 100
800	4 400	3 400	2 600	4 650	3 600	2 900	4 850	3 750	3 000	5 300	4 150	3 300
1 000	5 100	3 900	3 050	5 200	4 050	3 250	5 350	4 200	3 350	5 850	4 550	3 650
1 200	5 350	4 100	3 300	5 450	4 250	3 400	5 650	4 400	3 550	6 150	4 800	3 850
1 400	5 600	4 400	3 550	5 900	4 550	3 650	5 950	4 700	3 800	6 550	5 100	4 100
1 600	6 000	4 700	3 800	6 200	4 850	3 900	6 400	5 000	4 000	6 900	5 350	4 300

Tablo 6.51. 1 veya 3-damarlı herbiri ayrı ekranlı XLPE ve EPR izolasyonlu kabloların ekranında izin verilen kısa devre akım değerleri

Nominal gerilim	6/10 (12) kV			8,7/15 (17,5) kV			12/20 (24) kV			18/30 (36) kV		
SKısa devre süresi	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s	0.5 s	1 s	2 s
İletken kesiti mm ²												
16	800	650	490	1 000	740	560	1 200	870	660			
25	900	700	510	1 000	750	570	1 200	870	660			
35	1 000	750	540	1 100	800	600	1 200	880	660			
50	1 100	800	580	1 150	840	640	1 250	1 000	770	1 750	1 300	990
70	1 300	920	700	1 350	990	760	1 450	1 100	820	1 750	1 300	1 000
95	1 350	1 000	750	1 450	1 050	820	1 550	1 150	880	2 050	1 550	1 200
120	1 450	1 050	800	1 500	1 150	860	1 650	1 200	930	2 150	1 650	1 230
150	1 550	1 100	840	1 600	1 200	910	1 700	1 300	1 000	2 250	1 700	1 300
185	1 650	1 150	900	1 700	1 250	970	2 000	1 500	1 200	2 350	1 800	1 400
240	1 800	1 450	1 100	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 250	2 650	2 050	1 600
300	2 000	1 550	1 200	2 150	1 650	1 300	2 300	1 750	1 350	2 800	2 150	1 700
400	2 300	1 750	1 400	2 600	2 000	1 550	2 650	2 050	1 600	3 000	2 300	1 800
500	2 550	1 900	1 500	2 900	2 200	1 750	3 050	2 350	1 850	3 400	2 600	2 050
630	2 750	2 050	1 550	3 000	2 300	1 800	3 150	2 400	1 900	3 500	2 650	2 050
800	3 000	2 250	1 700	3 300	2 500	2 000	3 450	2 600	2 100	3 700	2 800	2 200
1 000	3 300	2 400	1 800	3 500	2 700	2 100	3 650	2 800	2 200	3 950	3 000	2 400
1 200	3 550	2 550	1 900	3 700	2 850	2 200	3 850	2 950	2 300	4 200	3 200	2 550
1 400	3 650	2 750	2 000	3 900	3 000	2 350	4 050	3 100	2 450	4 350	3 350	2 650
1 600	3 750	2 850	2 100	4 000	3 100	2 400	4 150	3 200	2 500	4 500	3 400	2 700

Tablo 6.52. 3-damarlı veya 3-damarlı herbiri ayrı ekranlı PE ve izolasyonlu kabloların ekranında izin verilen kısa devre akım değerleri

İletken kesiti mm ²	Kısa devre süresi		
	0.5 s	1 s	2 s
10	1 550	1 200	980
16	1 700	1 300	1 050
25	1 950	1 450	1 200
35	2 050	1 550	1 250
50	2 150	1 600	1 300
70	2 300	1 700	1 400
95	2 550	1 900	1 550
120	2 750	2 100	1 650
150	2 900	2 200	1 750
185	3 350	2 450	2 050
240	3 500	2 650	2 200

Tablo 6.53. 7,2 kV nominal gerilimli ortak ekranlı PVC izoleli kabloların ekranından geçmesine izin verilen kısa devre akım değerleri

Örnek:

I_E toprak hata akımı 1000 A değerinde sınırlandırılan 10 kV şebekede 1-damarlı PVC kablo göz önüne alınacaktır. PE izolasyonlu ekranların izin verilen maksimum kısa devre akım değerlerini veren tablodan kısa devre süresine bağlı olarak

$$t = 0.5 \text{ s}, \quad S_{\min} = 35 \text{ mm}^2$$

$$t = 1 \text{ s}, \quad S_{\min} = 95 \text{ mm}^2$$

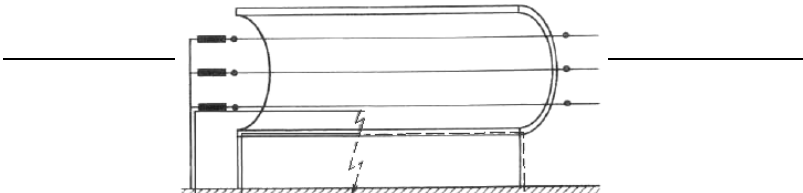
$$t = 2 \text{ s}, \quad S_{\min} = 240 \text{ mm}^2 .$$

S_3 kesiti koruma cihazının kısa devreyi temizleme süresi ile belirlenen kısa devre süresi ve I_E toprak hata akımı değeri, gözönüne alınarak seçilir.

6.10.4. Kablo ekranlarının, metal mahfazalarının ve zırhların kısa devre dayanım kapasiteleri

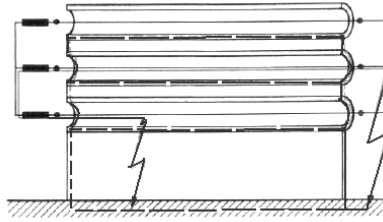
Yıldız noktası yalıtılmış veya söndürme bobini üzerinden topraklanmış şebekelerde iki faz-toprak akımının ekranlar üzerinde en yüksek hata akımını meydana getirirler. İkifaz-toprak hatası sonucu ekranlar, metal kılıflar, zırhlar bu asimetrik kısa devre akımını taşıması sonucu ısınırlar. Kablolar 3-faz kısa devre akımı esas alınıp seçildiğinden kabloların ekranlarının, metal kılıflarının veya zırhlarının asimetrik kısa devreye dayanma kapasitelerinin de araştırılması gerekir.

Nötrü doğrudan ve reaktans bobini veya düşük değerli direnç üzerinden topraklı şebekelerde de söz konusu kısa devre dayanım kapasitesi kontrolü yapılır.



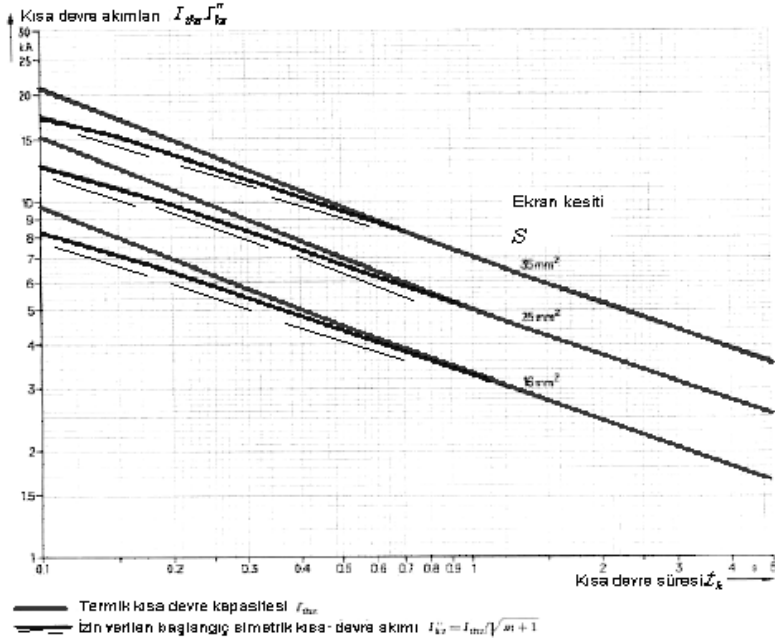
Şekil 6.54. 1-faz toprak hatası

Şekilde görüldüğü gibi ekranla faz iletkeni arasında hata halinde; hata akımı toprak üzerinden hata yolu empedanslarına ters orantılı olarak bölünürler.

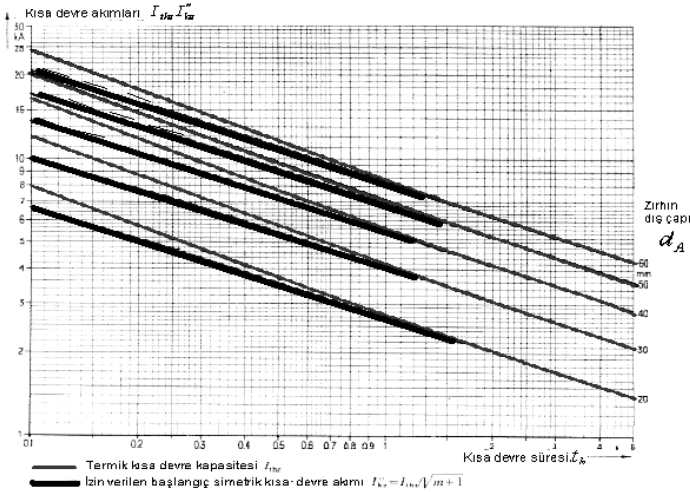
**Şekil 6.55.** 2-faz çift toprak hatası

Havada tesis edilen kablolarda hata yerinde kısa devre akımı bölünmeyip ekran veya metal mahfaza boyunca akar.

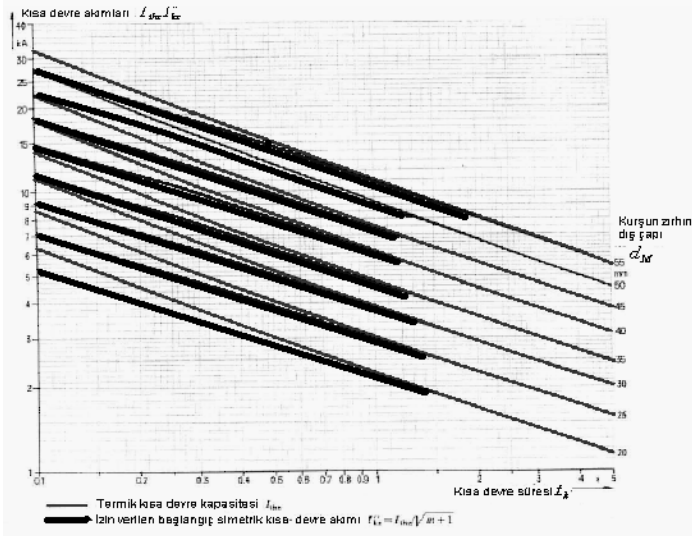
Kısa devre akımlarını (I_{thz}), kısa devre süresi (t_K) değerine göre belirlemek için aşağıdaki şekillerden yararlanılır.



Şekil 6.56. Bakır hat ekranlı $\chi = 1,8 \cdot v_a = 60^\circ C \cdot v_c = 200^\circ C \cdot b = 0,17 \times 10^{-3} m / \sqrt{s}$ ve ekran yarı çapı $d_D = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,9 mm$ kabloların bakır ekranının kısa devre kapasitesi



Şekil 6.57. $\chi = 1,8$, $v_a = 60^0 C$, $v_c = 200^0 C$, $b = 0,17 \times 10^{-3} m / \sqrt{s}$ ve çelik şerit kalınlığı $\delta_A = 0,8 mm$ olan kablunun çelik zırhının kısa devre kapasitesi



Şekil 6.58. Kurşun kılıflı kabloların kısa devre kapasitesi

6.10.5. Kablo ekranı topraklama şartları

1-Damarlı kablolar

Kablonun aktif iletkeninden geçen akım ekranda bir gerilim endükler. Tek damarlı kablolar 1-fazlı veya 3- fazlı AC sistemlerinde çalıştığında metal ekranlarında iletkeniden akm akımın değeriyle, frekansıyla ve iletken ile metal arasındaki karşılıklı endüktans katsayısı ve aynı zamanda kablo uzunluğu ile doğru orantılı gerilim endüklenir. Bu gerilim, kablonun geometrik düzenlemesine, uzunluğuna ve taşıdığı akım miktarına bağlıdır

$$E_0=0.145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times L \times I$$

a Kablo eksenleri arasındaki mesafe (mm)

d Ekranın ortalama çapı (mm)

L Bağlantı uzunluğu (km)

I Kablo iletkeninden geçen akım

Normal olarak bağlantı kutularında metal ekranlar bağlanır ve kablo sonlarında topraklanır. İki ucun topraklanmasından dolayı metal ekranlarda endüklenen akımlar akmaya başlar. Bu akımlar ilave kayıplar meydana getirir ve sonuçta kablonun akım taşıma kapasitesi düşer

İlave kayıplardan dolayı, kablonun sürekli yük akımını taşımasını sağlamak için bir üst kablo kesiti seçmek zorunda kalınabilir. Kablonun yük kapasitesinin kritik olduğu yerlerde ve ekonomik nedenlerden dolayı bu kayıplardan mutlaka sakınılmalıdır. Bu nedenle uygun olan durumlarda, kablo sonları, tek taraftan topraklanır ve kablonun diğer ucu topraktan izole edilir. Ancak diğer taraftan kablo uzunluğunun artmasıyla kablonun diğer ucundaki gerilim değeri tehlikeli boyutlara ulaşır. Kablo ekranlarında kablo uzunluğunun 500 metreyi aşması halinde topraklanmayan

ucunda tehlikeli gerilimler meydana gelir. Uzunluğu bu değerden fazla olan kabloların tesisinde izolasyon bariyeri ihtiva eden kablo ek kutuları kullanılır. Metal ekranlar, bölümlere ayrılarak sadece bir ucundan topraklanır.

Çok uzun kablolarda E_0 insan hayatı için tehlikeli değerlere ulaştığından; Standartlar sürekli işletme şartları altında 50 V sınırının aşılacağı muhtemel durumlarda kablonun her iki ucunun topraklanmasını tavsiye eder.

Ekranların tek taraftan topraklamasının yüksek maliyetler getirmesi yanında başka dezavantajları da vardır. Topraklamanın etkisi çok düşüktür ve eğer bir istasyonda topraklanırsa diğer istasyondaki topraklama ile bağlantısı olmaz. Bu nedenle ayrıntılı topraklama düzenlenmesi gerekir.

Sadece bir uçtan topraklanan ekranlarda kısa devre meydana gelince ikinci uçta endüklenen potansiyel yüksek olabilir ve bağlandığı yerde ekranın izolasyonunun bozulmasına neden olabilir ve bu durum göz önüne alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır. Ancak her iki uçtan ekran topraklaması ekran boyunca sürekli sirkülasyon akımlarının akmasına sebep olur.

Her iki uçtan topraklanmış ekranlarda sirkülasyon akımının hesabı:

Dengeli sürekli işletme şartlarında (veya 3-fazlı kısa devre durumunda) her iki uçtan topraklanmış ekranda endüklenen gerilim bir üç fazlı akım akmasına sebep olur.

Bu akım yandaki ifade yardımıyla bulunur.
$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$$

Burada $X_s = 0.145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times L$

- R_s : Ekranın direnci (Ω)
 X_s : Ekran reaktansı (Ω)
 L : Kablo veya hattın uzunluğu (km)

Örnek:

35 kV alüminyum 1-damarlı kesiti 300 mm^2 , PE izolasyonlu ve uzunluğu $L=3 \text{ km}$ ve özgül direnci $\rho=100 \Omega \cdot m$ olan toprağa gömülü hattın karakteristikleri

- $I_{\text{capacity}} = 500 \text{ A}$
- $d = 33.5 \text{ mm}$
- $a = 38.5 \text{ mm}$
- $R_s = 0.45 \Omega / \text{km}$

kablo aşağıdaki özelliklere sahip sistemin bağlantısını sağlamaktadır.

- $I_B = 400 \text{ A}$
- $I_{sc} = 8 \text{ kA}$

Sürekli işletme şartları altında endüklenen gerilim

$$E_0 = 0.145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times I_B \times L = 63 \text{ V}$$

50 Volt sınır değerini geçtiğinden mutlaka iki uçtan topraklanması gerekir.

Ekrandan akan sirkülasyon akımı

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$$

$$R_s = 1.35 \Omega$$

$$X_s = 0.145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times L = 0.157 \Omega$$

$I_0 = 46.4 \text{ A}$ olarak bulunur.

Not : Ekranla meydana gelen sirkülasyon akımı kabloluğun uzunluğundan bağımsızdır.

Kısa devre durumunda endüklenen gerilim

$$E_{0sc} = 0.145 \times \log_{10} \left(\frac{2a}{d} \right) \times I_{sc} \times L = 1260V$$

Ekrandaki sirkülasyon akımı

$$I_{0sc} = 927 \text{ A}$$

Maksimum kısa devre süresinde ekran bu akıma dayanıklı olmalıdır.

Not : Eğer kablo uzunluğu 2km ise kabloluğun bir ucundan topraklanmalıdır. Kısa devre esnasında endüklenen gerilim 840 Volta eşit olur. Bu durumda ekran izolasyonunun kontrol edilmesi gerekir.

Ekrandaki W_s ısı kayıplarının hesaplanması

$$W_s = R_s I_0^2$$

$$R_s = 0.45 \Omega / km , \quad L = 3km \quad \text{ve} \quad I_0 = 46.4 \text{ A}$$

için

$$W_s = 0.45 \times 3 \times (46.4)^2 = 2.9 \text{ kW}$$

Kablo damarındaki kayıp

$$W_c = R_c \times I_B^2$$

R_c : Damar direnci

$S = 300 \text{ mm}^2$ kesite, $R_c = 0.1 \Omega / km$ direnç değerine sahip alüminyum iletken için $W_c = 0.1 \times 3 \times (400)^2 = 48 \text{ kW}$

Aralarındaki oran: $\frac{W_s}{W_c} = 6 \%$

6.10.6. Kablo ekranındaki termik etkiler

Daha önceki örnekte görüldüğü gibi ekran iki taraftan topraklandığında ekranda endüklenen akımın sürekli sikülasyonu kabloda ilave ısınmalara ve buna bağlı olarak kablo akım taşıma kapasitesinin düşmesine neden olur. Genellikle bu düşünce sadece 240 mm^2 'den daha büyük kesitlerdeki kablolar için hesaba katılır.

Aşağıda açıklanan kurallar uygulanır.

$S > 1000 \text{ mm}^2$ de ince zırhsız ekran akım taşıma kapasitesi %5 azalır.

Zırhsız ince olmayan ekran da kablo akım taşıma kapasitesi $240 \text{ mm}^2 \leq S \leq 800 \text{ mm}^2$ için %5

$S > 800 \text{ mm}^2$ için %10 azalır.

Zırlı ekranlı kablolar, akım taşıma kapasitesi

$240 \text{ mm}^2 \leq S \leq 400 \text{ mm}^2$ için %5

$500 \text{ mm}^2 \leq S \leq 800 \text{ mm}^2$ için %10

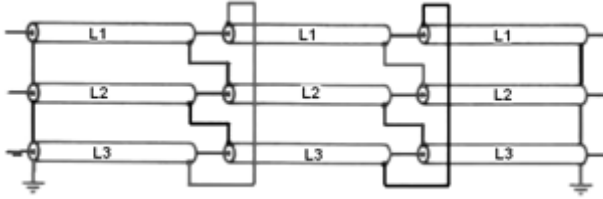
$S > 800 \text{ mm}^2$ için %15

6.10.7. Ekranların çapraz bağlanması

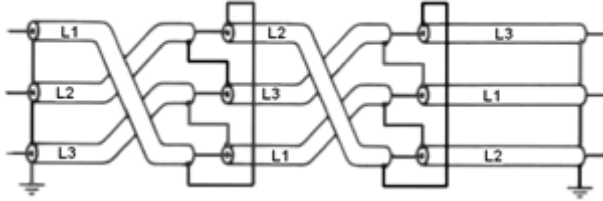
-kabloların transpozisi: Ekranlardaki rezidüel akımın ortadan kaldırılması ve endüklenen akımların bastırılması için diğer bir metot ise ekranların metalik devamlılığının sırası ile çaprazlanarak kesilmesidir. Bu bağlantı metodu ile topraklama şartları zayıflatılmaz ve topraklanmamış uç olmadığında tehlikeli gerilimlerden ve gerilim yükselmelerinden sakınılmış olunur.

Kablolar da bir uçtan topraklama ve aynı zamanda çaprazlama ekonomik nedenlerden dolayı sadece yüksek gerilim kablo tesislerinde uygulanır. Orta gerilim kablo tesislerinde endüklenen akımların oluşturduğu kayıplar kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir

a) Ekran/metal kılıf sırası ile çaprazlanması

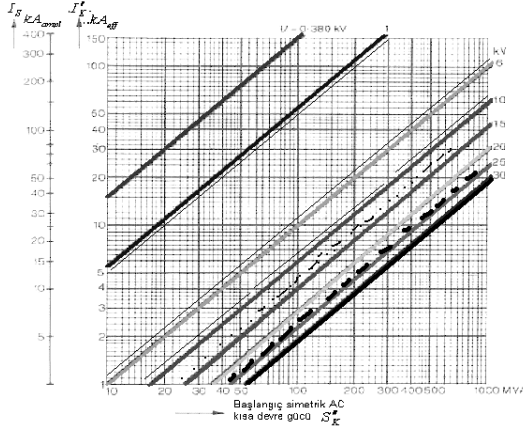


b) Kabloların sırası ile transpoze edilmesi



Şekil 6.59. Kabloların transpozese

6.10.8. Kısa devre dinamik zorlanma



Şekil 6.60. 3-fazlı sistemde başlangıç simetrik AC kısa devre gücü S_K'' , başlangıç simetrik AC kısa devre akımı I_K'' , ve $\chi = 1,8$ için darbe kısa devre akımı I_S

Darbe dinamik zorlanma darbe AC kısa devre akımının karesi ile doğru orantılıdır. Bu kısa devre zorlamaları, kablo içinde geri dönüş akımını taşıyan iletken bulunan yerlerde dış etki göstermez. Bu etkilerden dolayı kablo bağlantı elemanları esnek bağlanmalıdır. İlave ısınmalardan sakınmak için magnetik olmayan kelepçe veya kroşeler kullanılır. Eğer çelik kelepçe veya kroşe kullanılacaksa; bu maksat için açık manyetik devre kullanılmalıdır.

Kısa devre dinamik zorlaması zorlanmanın en yüksek olduğu I_S darbe kısa devre akım değerine göre yapılır. Öncelikle kabloda meydana gelebilecek maks. başlangıç kısa devre akımı Şekil 6.60 yardımıyla veya

$$I_K'' = \frac{S_K''}{\sqrt{3} \cdot U_N} \text{ ifadesiyle belirlenir ve darbe kısa devre akımı}$$

$I_s = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$ ifadesiyle belirlenir. Darbe katsayısı genellikle $\chi = 1,8$ olarak alınır.

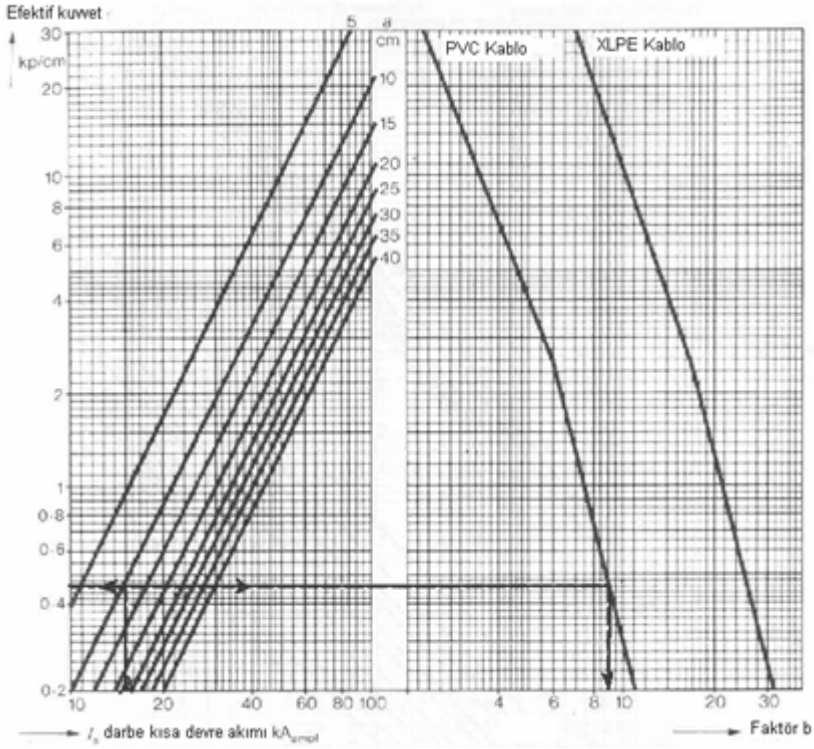
1-damarlı kablolar üzerine etki eden kısa devre kuvvetlerini bulmak için gerekli ifadeler şekil 4.27. de gösterilmiştir.

Fazlar arası kısa devre		$F_{s2} = 0,2 \frac{I_s^2}{a} \text{ N/cm}^2$
3-fazlı kısa devre		$F_{s3} = 0,808 F_{s2} \text{ N/cm}^2$
		$F_{s3} = \frac{\sqrt{3}}{2} F_{s2}$ $= 0,87 \text{ N/cm}^2$
		

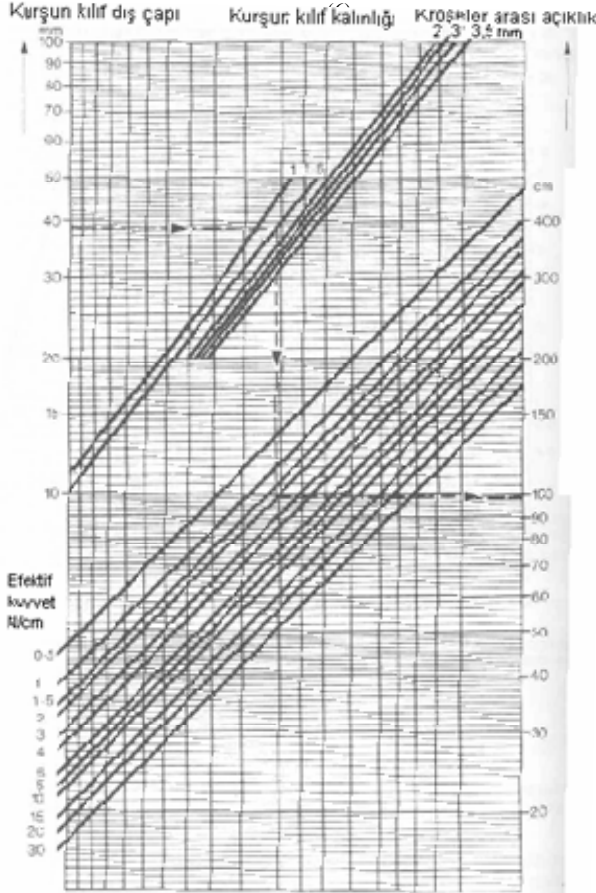
$1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$

Şekil 6.61. İki faz kısa devre halinde kablolar üzerine etki eden kuvvet

Kısa devre de etki eden kuvvetler Şekil 6.61’de verilen ifadeler yardımıyla bulunduktan sonra Şekil 6.62 ve şekil 6.63’de verilen eğriler yardımıyla kabloları tesbit amacıyla kullanılan kelepçe veya kroşeler arasındaki izin verilen maksimum açıklıklar belirlenir.



Şekil 6.62. *PVC ve XLPE kablolarda kablo kelepçeleri veya kroşeleri arasındaki maksimum izin verilen açıklık $a_s = b.D_a$, D_a kablunun dış çapı*



Şekil 6.63. Kurşun kılıflı tekdamarlı kablolar için maksimum izin verilen kroşe veya kelepçe açıklıkları a_s . Alüminyum kılıflı kablolarda bulunana değerler 1,4 faktörü ile çarpılır.

6.10.9. Nötr iletkeninin minimum kesitinin tayini

Nötr iletken aşağıda belirtilen hangi şekilde olursa olsun faz iletkeni ile aynı kesitte olacaktır.

- Tek fazlı sistemlerde kesitin değeri her ne olursa olsun iki hatlı devreler
- 3-fazlı sistemlerde iletken kesiti bakır 16mm^2 ve alüminyum 25mm^2 den aşağı olan sistemlerde

Nötr iletken kesitinin 16mm^2 bakır ve 25mm^2 alüminyumdan yüksek faz iletken kesitini haiz sistemlerde, aşağıda belirtilen şartların sağlanması durumunda faz iletkeninden düşük kesitte seçilir.

- Nötr iletken kesiti en az bakır için 16mm^2 ve alüminyum için 25mm^2 olacak
- Yük akımlarında yüksek harmonik distorsiyonları olmayacak. Eğer deşarj lambalı ekipmanlardaki gibi %10 dan daha fazla yüksek harmonik distorsiyonları varsa nötr iletkeni kesiti faz iletkeni kesitinden daha küçük olamaz.

	Faz kesiti $S [\text{mm}^2]$	Minimum nötr kesiti $S_N [\text{mm}^2]$
<i>S 1- fazlı / 2- fazlı devreler</i> BAKIR VE ALÜMİNYUM	herhangi bir kesit	S^*
<i>3- fazlı devreler</i> Cu	$S \leq 16$ $S > 16$	S^* 16
<i>3- fazlı devreler</i> Al	$S \leq 25$ $S > 25$	S^* 25

S^* TN-C sistemlerde standartlar minimum kesit olarak bakır iletken için 10mm^2 ve alüminyum 2 kesit iletken için 16mm^2 kesit belirlenmiştir.

Tablo 6.54. Nötr iletkenlerin minimum kesitleri

	Topraklama sistemleri			
	TT	TN-C	TN-S	IT
Doğrudan temasa karşı koruma	RCD ile koruma	$I_a \cdot I_m < I_{SC}$ sigorta veya kesici ile donatılmış	Seçilen koruma metoduna göre	Her bir grup için en az bir topraklama elektrodu bağlı ve sigorta veya kesici ve hatta RCD cihazı ile donatılmış
Korunan devre :				
1- fazlı F-N faz/nötr				
1- fazlı faz/faz				
3-fazlı 3-hatlı				
3-fazlı 4-hatlı 3F-N $S_n = S_{ph}$				
S_n Nötr iletken kesili S_{ph} Faz iletken kesili				
3F-N $S_n < S_{ph}$				

Şekil 6.64. Farklı topraklama sistemleri için nötr iletkenlerinin korunması

A : TT ve TN sistemlerde devrenin başlangıcına RCD cihazı tesis edilmişse; dağıtım çıkışlarında hiç bir suretle suni nötr noktası yapılmamışsa izin verilir.

B: TT ve TN sistemlerde fazlar için gerçekleştirilen koruma düzenleriyle nötr hattıda kısa devreye karşı korunabiliyorsa ve normal işletme akımı nötr hattının akım taşıma kapasitesinden yeteri kadar düşükse izin verilir. Ancak sistemde 3. harmonik akımları tarafından nötr hattının yüklenmesi mutlaka kontrol edilmelidir.

C: Çıkış devrelerinin işletme akımları birbirinin 2-katından fazla değilse ve sistemdeki en küçük kesite haiz devrenin

korunması için %15 den küçük hassasiyete sahip RCD cihazı kullanılıyorsa izin verilir.

6.10.10. Koruma (PE) iletkeni

Bağlantı ve seçim

Koruma PE iletkenleri tüm açıkta olan aktif olmayan ve hata halinde potansiyel altında olması muhtemel olan tesisin iletken bölümleri arasında bağlantıyı sağlar ve ana eş potansiyel bağlantı sistemini oluşturur. Bu iletkenler faz iletkeni ile aktif olmayan iletken bölümler arasında oluşan hatadan dolayı ortaya çıkan akımı kaynağın nötr toprağına iletir.

Ana topraklama terminalleri topraklama iletkeni vasıtasıyla topraklama elektroduna bağlanır. PE topraklama iletkenleri :

- İzole ve sarı renkte
- Mekanik ve kimyasal etkilere karşı korunmuş olmalıdır.

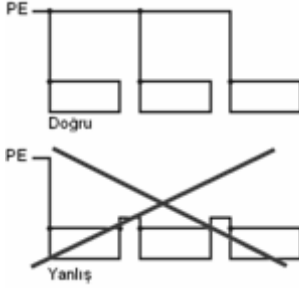
IT ve TN sistemlerde PE iletkeninin ilgili devrenin aktif iletkenlerine yakın tesis edilmesi kuvvetle tavsiye edilir. Bu düzenleme toprak hata akımı taşıyan devrelerde minimum endüktif reaktansı sağlar. Aynı düzenleme, Busbar taşıma sistemlerinde de yapılmalıdır.

Bağlantı

PE iletkenlerinde mutlaka :

- Devre sürekliliğı sağlanmalı ve devre herhangi bir anahtarla açılmamalı ve kaldırılabilir bağlantılar yapılmamalıdır.
- Tüm aktif iletkenler teker teker paralel bağlanmalı sarı bağlantıdan kaçınılmalıdır.

- Dağıtım panolarında ortak topraklama baralarına bağlantısı ayrı ayrı yapılmalıdır.



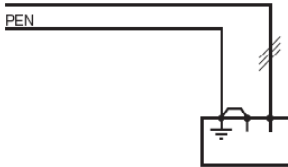
PE iletkenine ekipmanların bağlantısı

TT sistemler

TT tesislerinde koruma için kullanılan RCD nin çalışması için yüksek değerde hata akımı gerekmeyeceğinden PE iletkeni ilgili devrenin aktif iletkenine yakın tesis edilmesine gerek yoktur.

IT ve TN sistemler

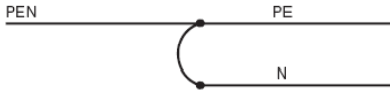
PE veya PEN iletkenler yukarıda açıklandığı gibi devrenin aktif iletkenlerine mümkün olduğunca yakın tesis edilmelidir. Aralarında ferromagnetik materyal bulunmamalıdır. PEN iletkeni daima cihazın topraklama terminalinden nötr terminaline göz yapacak şekilde topraklama terminaline doğrudan bağlanmalıdır.



PEN iletkeninin cihazın topraklama terminaline doğrudan bağlantısı

TN-C sistemlerde nötr ve koruma iletkeni aynıdır. PEN iletkeninde koruma fonksiyonu önceliklidir.

TN-C sistemden TN-S sisteme geçişte PE iletkeni PEN terminaline veya barasına bağlanır. Genellikle tesisin başlangıcında bu bağlantı gerçekleştirilir. Ayrılmanın alt tarafında hiç bir PE iletkeni nötr iletkenine bağlanamaz.



TN-C-S sistem

Minimum iletken kesitin belirlenmesi

Koruma iletkeninin minimum kesiti aşağıda verilen tablo kullanılarak belirlenir.

Hattın iletken kesiti S [mm ²]	İlgili koruma iletkeninin kesiti [mm ²]	
	Eğer koruma iletkeni hat iletkeni ile aynı malzemedense	Eğer koruma iletkeni hat iletkeninden farklı malzemedense
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \leq 25$	16*	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
$S > 25$	$\frac{S^*}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$
k_1 hat iletkenleri için k faktörü değerleridir Tablo 28 izolasyon ve iletken malzeme sine göre seçilirne materials of k_2 koruma iletkenleri için k faktörü değerleridir PEN iletkeni için kesitin azaltılmasına nötr iletkenlerin boyutlandırılması için verilen kurallara uygun olması kaydıyla izin verilir		

Tablo 6.55. Koruma iletkeninin kesiti

Daha hassas ve bilinen başlangıç sıcaklığından son sıcaklığına kadar adyabatik ısınma ya bağlı hesaplama istendiğinde (bu hesaplama metodu hata uygulama süresi 5 sn'den az olan durumlarda uygulanabilir) Koruma iletkeninin minimum kesiti S_{PE} aşağıda verilen ifade kullanılarak bulunur.

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

S_{PE} Koruma iletkeninin kesiti mm²

I Düşük empedanslı bir hata halinde koruma iletkeni boyunca akan

akımın efektif değeri

t Koruma cihazının kesme süresi

k Koruma iletkeninin malzemesine,izolasyonun tipine ve başlangıç ve

son sıcaklığa bağlı bir sabite olup değerleri ya aşağıdaki ifade

kullanılarak Tablo 39, 40 ve 41'den elde edilir.

$$k = \sqrt{\frac{Q_C \cdot (B + 20)}{\rho_{20}}} \cdot \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)$$

Q_C : 20°C de iletkenin volumetrik ısı kapasitesi (°C)

B : İletken için 0°C de özgül direncin karşılıklı sıcaklık katsayısı (°C)

ρ_{20} : 20°C de iletken malzemesinin elektrik özgül direnci (ohm.mm²)

θ_i : iletkenin başlangıç sıcaklığı (°C)

θ_f : İletkenin son sıcaklığı (°C)

Malzeme	B [°C]	Q_C [J/°Cm.m ³]	ρ_{20} [Ωmm]	$\sqrt{\frac{Q_C (B+20)}{\rho_{20}}}$
Bakır	234.5	$3.45 \cdot 10^{-3}$	$17.241 \cdot 10^{-6}$	226
Aluminium	228	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$28.264 \cdot 10^{-6}$	148
Kurşun	230	$1.45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	41
Çelik	202	$3.8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	78

Tablo 6.56. Değişik malzemelerin parametre değerleri

İletken izolasyonu	Sıcaklık °C ^b		İletken malzemesi		
			Bakır	Aluminyum	Çelik
	Başlangıç	Son	k		
70 °C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C PVC	30	143/133 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C thermosetting	30	250	176	116	64
60 °C Lastik	30	200	159	105	58
85 °C Lastik	30	220	168	110	60
silikon lastik	30	350	201	133	73

^a 300 mm² den daha büyük kesitlerdeki PVC izoleli iletkenler için daha düşük değerler uygulanır.
^b IEC 60724 de izolasyonların çeşitli tipleri için sıcaklık sınırları verilmiştir

Tablo 6.57: Diğer kablolarla birleştirilmemiş ve demetlenmemiş izole koruma iletkenleri için k değerleri

İletken izolasyonu	Sıcaklık °C ^b		İletken malzemesi		
			Bakır	Aluminyum	Çelik
	Başlangıç	Son	k		
70 °C PVC	70	160/140 ^a	115/103 ^a	76/68 ^a	42/37 ^a
90 °C PVC	90	160/140 ^a	100/86 ^a	66/57 ^a	36/31 ^a
90 °C thermosetting	90	250	143	94	52
60 °C Lastik	60	200	141	93	51
85 °C Lastik	85	220	134	89	48
silikon lastik	180	350	132	87	47

^a 300 mm² den daha büyük kesitlerdeki PVC izoleli iletkenler için daha düşük değerler uygulanır.
^b IEC 60724 de izolasyonların çeşitli tipleri için sıcaklık sınırları verilmiştir

Tablo 6.58. Diğer kablolarla birleştirilmiş ve demetlenmiş izole koruma iletkenleri için k değerleri

	İletken izolasyonu					
	PVC ≤ 300 mm ²	PVC ≤ 300 mm ²	EPR XLPE	Lastik 60 °C	Madeni	
Başlangıç sıcaklığı °C	70	70	90	60	70	105
Son sıcaklık °C	160	140	250	200	160	250
İletken malzemesi						
Bakır	115	103	143	141	115	135/115 ^a
aluminium	76	68	94	93	-	-
bakır iletkenlerde lehimli bağlantılar -	115	-	-	-	-	-

^a Bu değerler dokunmaya maruz çıplak kablolar için kullanılır

Tablo 6.59. Faz iletkenlerinin k değerleri

6.10.11. OG/AG transformatoru ve ana AG panosu arasındaki koruma iletkeni kesitleri

Transformator gücü (kVA)		İletken tipi		Çıplak iletken			PVC İzoleli iletkenler			XLPE İzoleli iletkenler		
LV voltage		Bakırler	t (s)	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-
127/220 V	230/400 V	Aluminyum		-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s	-	0.2 s	0.5 s
≤ 63	≤ 100	Koruma iletkeni kesiti S_{PE} (mm ²)		25	25	25	25	25	25	25	25	25
100	160			25	25	35	25	25	50	25	25	35
125	200			25	35	50	25	35	50	25	25	50
160	250			25	35	70	35	50	70	25	35	50
200	315			35	50	70	35	50	95	35	50	70
250	400			50	70	95	50	70	95	35	50	95
315	500			50	70	120	70	95	120	50	70	95
400	630			70	95	150	70	95	150	70	95	120
500	800			70	120	150	95	120	185	70	95	150
630	1 000			95	120	185	95	120	185	95	120	150
800	1 250			95	150	185	120	150	240	95	120	185

Tablo 6.60. Bağlantı iletkenleri seçim tablosu

Tablo 6.60 da

- OG/AG transformatorunun nominal gücü
- OG korumasının t (saniye) işletme süresi (sigorta vasıtasıyla koruma sağlandığında $t = 0$ sn)
- İletken malzemesinin tipi ve iletkenine ait izolasyon malzemesi göz önüne alınarak belirlenmiştir

AG sisteminde aktif olmayan iletken bölümlere ait PE koruma iletken kesiti

$$S_{PH} \leq 16 \text{ mm}^2 \text{ ise ,}$$

$$16 \text{ mm}^2 \leq S_{PH} \leq 35 \text{ mm}^2 \text{ ise } S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_{PH} > 35 \text{ mm}^2 \text{ ise } S_{PE} = \frac{S_{PH}}{2}$$

PE iletkeni hat sisteminin bir parçası olmadığı zaman kesitler en az

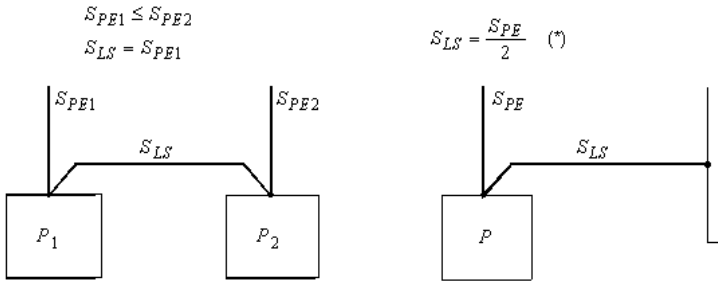
- PE iletkenler için mekanik koruma varsa en az $2,5\text{mm}^2$
- PE iletkenler için mekanik koruma yoksa en az 4mm^2

6.10.12. TT sistemlerde PE koruma iletkeni kesitleri aşağıda verilen değerlerle sınırlandırılır

Bakır iletkenli PE iletkeni 25 mm^2

- Alüminyum iletkenli PE 35 mm^2

Eşpotansiyel iletken kesitleri



Şekil 6.65. Eş potansiyel iletken kesitleri

6.10.13. PEN iletkenlerinin kesiti

TN-C topraklama sistemi kullanıldığında koruma iletkeni aynı zamanda nötr iletkeni olarak görev yapar. Bu sistemlerde PEN iletkeni kesitleri en az aşağıda öngörülen değerleri haiz olmak üzere, bu değerlerin üzerinde seçilir.

S_{PEN} enaz 10 mm^2 bakır ve 16 mm^2 alüminyum olarak seçilmelidir.

Ayrıca

- PEN iletkeni PE iletkeni ile ilgili şartlara sahip olacak
- PEN iletkeni nötr iletkeni kesiti ile ilgili gerekli şartlara haiz olacaktır.

6.10.14. Nötr iletkenlerinin kesiti

3. harmonik etkisinin ihmal edilecek kadar az olduğu veya 3. harmonik akımlarının ortadan kaldırıldığı şebekelerde nötr iletkeni aşağıdaki durumlarda faz iletkeni kesitinde olması şarttır.

- 1-fazlı devrelerde
- 3-fazlı devrelerde 16 mm^2 bakır kesitten ve 25 mm^2 alüminyum kesitten küçük faz iletken kesitine sahip devrelerde

Faz iletken kesiti 16 mm^2 bakır veya 25 mm^2 alüminyum daha büyük kesitte faz iletkenine sahip 3-fazlı devrelerde nötr iletkeni aşağıda öngörülen şartlar yerine getirilmesi halinde faz iletkeninden daha küçük seçilebilir.

- Devreden geçen muhtemel maksimum akım akım kesitin akım taşıma kapasitesinden küçük olmalıdır. 1-fazlı dengesiz yüklemeler, üç veya üçün katı harmoniğin katı akımlar, nötr iletkeninde toplandığından; faz iletkenin kesitinden daha yüksek kesitte nötr iletkeni kesiti seçilmesini gerektirir (yukarıda açıklanmıştır).
- Böyle durumlarda nötr iletkeni aşırı akım koruma cihazı tarafından korunmalıdır. TN-C nötr iletkeni koruma cihazı vasıtasıyla korunduğunda 4-kutuplu olarak devre açılmalıdır.

Gerilim düşümlerinin kontrolü

$\Delta V = b \left(\rho_1 \cdot \frac{L}{S_{PH}} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin \varphi \right) \cdot I_B$ ifadesi kullanarak gerilim

düşümü kontrolü yapılır.

ΔV gerilim düşümü

b katsayı; 3-fazlı devreler için b=1 ve 1-fazlı devreler için b=1

ρ_1 iletken özgül direnci

- Bakır iletken için $\rho_1 = 0,0225 \text{ ohm.mm}^2 / m$
- Alüminyum iletken için $\rho_1 = 0,036 \text{ ohm.mm}^2 / m$

L hat uzunluğu metre

S_{PH} iletken kesiti mm^2

$\cos \varphi$ güç faktörü. Bilinmediği durumlarda

$\cos \varphi = 0,8 \dots \sin \varphi = 0,6$

I_B maksimum dizayn akımı amper

λ birim uzunluktaki iletken reaktansı ohm/m

alçak gerilim sistemlerinde λ değerleri

0,08.10-3 ohm/m 3-damarlı kablo 

0,09.10-3 ohm/m yatay düzenleme  1-damarlı kablo veya

üçgen düzenleme  1-damarlı kablo

0i15.10-3 ohm/m d=8.r  düzenleme 1-damarlı kablolar

d iletkenler arası ortalama mesafe ve

r iletken veya kablo çapı olacaktır.

IEC 364-5-52'ye göre tüketici tesisinin enerji aldığı orijin ile ekipman veya cihazların terminalleri arasındaki gerilim düşümünün nominal gerilime göre %4 den daha fazla olmaması tavsiye edilir. Motor besleme devrelerinde ise gerilim düşümünün hesabı I_B maksimum dizayn akımı yerine

IMS motor yol alma akımı ele alınarak yapılır. Motorun yol alma esnasında diğer yüklerinde devrede olduğu göz önüne alınarak gerilim düşümünün diğer yükler ve besleme sistemi üzerinde salınımlar olmaması ve motorun düzgün yol alması için motorun besleme fideri çıkışında %10 dan daha büyük olmaması gerekir.

TN ve IT sistemlerde dolaylı temaslara karşı koruma için kablo ve hatların azami mesafeleri

Nominal AC gerilim V_n / U_n (Volts)	Kesme süresi (saniye) (*)	
	Nötründen dağıtım yapılmamış sistem	Nötründen dağıtım yapılan sistem
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

Tablo 6.61. IT sistemde ikinci hata halinde azami kesme süreleri

IEC 364 TN ve IT sistemlerde hata halinde insan hayatı açısından hatalı bölümün ayrılması için gerekli süreleri aşağıdaki tablolarda verilen değerlerle belirlemiştir.

Nominal AC gerilim V_n (Volts) (**)	Kesme süresi (: saniye.) (*)
120	0.8
230	0.4
277	0.4
400	0.2
> 400	0.1

(*) Bu değerler banyo ve duş gibi ıslak mahaller için geçerli değildir

(**) AC gerilim değerleri faz-nötr gerilim değerleridir.

Tablo 6.62. TN sistemde azami kesme süresi

6.11. Bara sistemleri

6.11.1. Giriş

Elektrik devrelerinde akım taşıyan baraların kayıpları, belirlenen sınırlar içinde tutulmazsa, sistemin performansını bozan yüksek miktarda ısıya dönüşen elektrik enerjisi kayıpları meydana gelir. İletkenin efektif direnci ve çekilen akımın karesi ile doğru orantılı olan bu kayıplar, belirli periyot içinde kayıp enerji olarak enerji maliyetlerine de yansıyacaktır. Düşük değerli direncin daha az kayıp ve daha düşük gerilim düşümü meydana getirdiği gibi akım büyüklüğünün sistemi bölmek veya iki taraflı veya gözlü besleme metotlarıyla azaltmak suretiyle, kayıpların azaltılması ve gerilim düşümünün uygun hale getirilmesi üzerine çok büyük etkisi vardır.

Modern ve büyük fabrikalara ve endüstriyel tesislere ait elektrik sistemlerindeki kapasiteleri ve buna bağlı olarak güç ihtiyacı oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gerek panolardaki, gerekse Busbar taşıma sistemlerindeki baralar ve tesiste bulan diğer ekipmanlar gibi herhangi bir zarara uğramaksızın termik ve elektromekanik zorlamalara dayanma kapasitesine sahip olmalıdır. Ancak burada önemli olan, kullanılan malzemenin, sistemin akım ihtiyacı ve kısa devre durumunda, kısa devre akımlarına dayanabilecek ve standartların ön gördüğü sıcaklık sınırlarına ve mekanik özelliklere göre seçilmesidir. İletken malzemesinin bakım, enerji tüketimi ve emniyet açısından en düşük işletme

masraflarına ve en uygun ve etkin verimi sağlayabilmesi için aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması gerekir.

- Düşük elektrik ve termik direnç
- Kesme, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım
- Yorulmaya karşı yüksek dayanım
- Skin efekt (cidar etkisi) olayında yüksek etki derinliği ve yüzey filmlerinin düşük elektrik direnci
- İmalatta kolaylık
- Korozyona ve oksidasyona karşı dayanıklılık
- Fiyatlarda düşük maliyet

Yukardaki özellikler ele alınıp incelendiğinde, en uygun özellikte olan malzemenin *bakır* olduğu görülmektedir. Alüminyum, alternatif malzeme olarak ele alınmakla birlikte, iki metalin özellikleri karşılaştırıldığında; bakırın yüksek akım taşıyan ve yüksek elektrodinamik zorlamalara sahip sistemlerde daha üstün olduğu ortaya çıkmaktadır. Alüminyum malzeme, düşük akım çeken yüksek gerilim sistemlerinde tercih edilmektedir.

6.11.2. Bara tipleri

Baraların gerek endüstriyel alanlarda, gerekse enerji üretim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan aşağıda belirtilen çeşitli tipleri vardır.

- Hava izoleli açık faz iletkenli bara sistemleri
- Farklı fazlara ait baraların bariyerlerle ayrıldığı hava izoleli bara sistemleri
- Tamamen kapalı ilk iki maddede açıklanan bara sistemleri

- Her bir fazı topraklanmış kapalı mahfazadan ve diğer fazlara ait baralardan hava izoleli bara sistemleri
- Cebri soğutmalı bara sistemleri
- SF6 gaz izoleli bara sistemleri
- Yağ izolasyonlu bara sistemleri

	Özellikler	Üretim	Endüstriyel tesisler
1	Gerilim düşümü	Normal olarak önemli değil	Önemli
2	Sıcaklık yükselmesi	Genellikle maksimum sınırdan izin verilir.	Düşük işletme ve yatırım maliyetlerinden dolayı birçok durumlarda düşük
3	Akım aralıkları	0 değerinden 40kA AC değerine kadar	0 dan 200kA e kadar AC ve DC
4	Birleştirme ve bağlantılar	Genellikle civatalı bağlantılar ancak yüksek değerlerde akım halinde tamamen kaynaklı .Yüzey işlenmesi çok önemli	Genellikle civatalı , bağlantı hazırlığı çok önemli
5	İletken kesiti	Genellikle minimum ancak optimizasyonun gerekli olduğu hallerde büyütülür.	Gerilim düşümü ve optimizasyon göz önüne alındığından dolayı genellikle büyük
6	Kelvin kanunu	Uygulanmaz	Uygulanır
7	Yapı şekli	36kV a kadar temel dizayn ve kurallar dahilinde 'tek tek' hesaplanır.	Genellikle alçak gerilim tek tek hesaplanır Düşük akım ve alçak gerilimlerde standard üretim
8	Kapalılık	Havalandırılmalı veya havalandırmasız tamamen kapalı	Genellikle açık , standard üretim kullanıldığında ekran vasıtasıyla korunur ve kapalıdır.
9	Hata kapasitesi	Genellikle büyük toplam sistem gerekliliklerine göre dizayn edilir.	Akım değeri olarak genellikle aynı ancak standard üretimler sistemin kısa devresine uygun olmalı
10	Fazların tertibi	Genellikle yatay bazı durumlarda üçgen tertip	Normal olarak yatay büyük JSE'd sistemlerde akım dağılımının düzeltilmesi için transpozisyon
11	Yüklenme faktörü	Genelde yüksek Normal 1,0	Genellikle yüksek,birçok büyük değişken yüke sahip
12	Maliyet	Aynı tip tesislerle karşılaştırıldığında düşük	Optimizasyon ve yatırım maliyetleri özellikle göz önüne alınmalıdır.
13	Hatanın etkisi	Önemli derecede yüksek Hata halinde yüksek enerji yayılımı	Bara boyutları ve alçak gerilim tarafından sınırlandırılır.
14	Bakır tipi	yüksek iletkenlik	yüksek iletkenlik

Tablo 6.63. Güç üretim ve endüstriyel işletme sistemleri için tipik dizayn gerekliliklerinin karşılaştırılması

6.11.4 . Bara malzemelerinin seçimi

Zamanımızda baralarda iletken olarak kullanılan malzeme, bakır ve alüminyumdur. Aşağıdaki Tablo 6.64’de söz konusu malzemelerin karşılaştırılması verilmektedir. Söz konusu Tablo 6.64’den bakır iletkenin alüminyum iletkene göre iletkenlik, dayanma açısından üstün olduğu görünmektedir. Bakırın alüminyuma göre dezavantajı, sadece yoğunluktur. Alüminyum, belirlenen akım ve sıcaklık yükselmesi açısından, bakıra göre daha hafif olmasına rağmen; kesit olarak bakırdan daha fazla yer kaplar. Kapalı sistemlerde yer ağırlıktan daha önemlidir.

	Bakır (CW004A)	Alüminyum(1350)	Birim
Elektriksel iletkenlik (tavli)	101	61	% IACS
Elektriksel direnç (tavli)	1.72	2.83	$\mu\Omega$ cm
Direnç sıcaklık katsayısı (tavli)	0.0039	0.004	/° C
20 C de termik:özümlü iletkenlik	397	230	W /mK
Genişleme katsayısı	17×10^{-6}	23×10^{-6}	/° C
Çekme dayanımı (tavli)	200 – 250	50 – 80	N/mm ²
Çekme dayanımı (yarı tavli)	260 – 300	85 – 100	N/mm ²
%2 deney dayanımı (tavli)	50 – 55	20 – 30	N/mm ²
%2 deney dayanımı (yarı tavli)	170 – 200	60 – 65	N/mm ²
Elastik modülü	116 – 130	70	kN/mm ²
Spesifik ısı	385	900	J/kg K
Yoğunluk	8.91	2.70	g/cm ³
Erime noktası	1083	660	°C

Tablo 6.64. Bakır ve alüminyumun tipik özelliklerinin karşılaştırılması

Baralarda meydana gelen elektrodinamik zorlanma ağırlığın meydana getirdiği zorlanmadan daha önemlidir. Özellikle yüksek akım taşıyan elemanlar daha büyük boyutlar gerektirir ve kullanılan alan önemli olabilir.

Aşırı yüklenme ve yüksek akımların ortaya çıkardığı termik ve elektrodinamik zorlanmalar göz önüne alındığından bakırın alüminyuma olan üstünlükleri, emniyet açısından bara sistemlerinde bakırın tercih nedeni olmasındaki faktörlerin başında gelmektedir. Diğer taraftan bakırda olan aynı akım taşıma kapasitesi ve dayanım kabiliyetini elde etmek için, alüminyum kesitinin artması ve baralarda daha fazla tesis edilen mesnet izolatörlerinin fazlalığı, ayrı bir maliyet artışı meydana getirir.

Tablo 65. da yüksek iletkenli bakır (HC bakır) ile alüminyumun deney ve yorulma özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

a. Deney özellikleri

	Test sıcaklığı °C	Herbir 1000 saat için min. deney değeri %	Zorlanma N/mm ²
Al (1060) (tavli) ed	20	0.022	26 *
HC Cu (tavli) ed	160	0.022	26 *
C u-0.086% Ag 50% c.w.	130	0.004	138
C u-0.086% Ag 50% c.w.	225	0.029	96.

b. Yorulma özellikleri

Malzeme		Yorulma dayanımı σ_{m2}	Çevrim sayısı x 10 ⁶
HC Alüminyum	(tavli)	20	50
	(yanı tavli) (H8)	45	50
HC Bakır	(tavli)	62	300
	(yanı tavli)	115	300

Tablo 6.65. Yüksek iletkenli bakır ile alüminyumun deney ve yorulma özelliklerinin karşılaştırılması

6.11.5. Baraların akım taşıma kapasiteleri

6.11.5.1. Dizayn şartları

Baraların akım taşıma kapasiteleri genellikle ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilen izin verilen maksimum işletme sıcaklığına göre belirlenir. BS 159, 24 saatlik ortam sıcaklığı 35°C ye kadar olan ve en yüksek ortam sıcaklık derecesi 40°C olan durumlarda, maksimum sıcaklık artışı olarak 35°C yi şart koşmaktadır.

Dikdörtgen ve silindirik baralarda yaklaşık DC akım değerleri

Dikdörtgen yassı bara

$$I = 1,02 \cdot \frac{A^{0,5} \cdot p^{0,39} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} (\text{Amper})$$

I Baranın akım taşıma kapasitesi (Amper)

p Baranın çevresi (mm)

A Baranın kesiti mm²

θ Baranın bulunduğu ortam ile bara arasındaki sıcaklık farkı

α Ortam sıcaklığında bakırın direnç sıcaklık katsayısı °C

ρ Ortam sıcaklığında bakırın özgül direnci ($\mu\Omega / cm$)

İçi boş yuvarlak baralar

$$I = 1,13 \cdot \frac{A^{0,5} \cdot p^{0,36} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} (\text{Amper})$$

İçi dolu yuvarlak baralar

$$I = 1,78 \cdot \frac{A^{0,68} \cdot \theta^{0,61}}{[(1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \rho]^{0,5}} (\text{Amper})$$

İletkenin bulunduğu ortam sıcaklığı 40°C üzerinde ve sıcaklık yükselmesi 50°C ve bakırın özgül direnci 20°C de 1,724 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ise yukarıdaki formüller

Dikdörtgen yassı bara için

$$I = 7,73 \cdot A^{0,5} \cdot p^{0,39}$$

İçi boş yuvarlak bara için

$$I = 8,63 \cdot A^{0,5} \cdot p^{0,36}$$

İçi dolu silindirik bara için

$$I = 13,6 \cdot A^{0,68}$$

Yüksek iletkenli bakır tübler için

$$I = 137 \cdot m^{0,5} \cdot d^{0,36}$$

m tübün birim metre uzunluktaki kütlesi kg.m

d tübün dış çapı mm

Farklı akım ve sıcaklık şartlarındaki yeni değerlerin bulunması

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{\theta_1}{\theta_2} \right)^{0,61} \cdot \left[\frac{1 + \alpha_{20} \cdot (T_1 - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (T_2 - 20)} \right]^{0,5}$$

I_1 1 şartlarındaki akım (Amper)

I_2 2 şartlarındaki akım (Amper)

θ_1 1 şartlarındaki sıcaklık $^{\circ}\text{C}$

θ_2 2 şartlarındaki sıcaklık $^{\circ}\text{C}$

T_1 1 şartlarındaki akım için çalışma sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$

T_2 2 şartlarındaki akım için çalışma sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$

α_{20} 200C deki direncin sıcaklık katsayısı (0,00393)

Bara sisteminin çalışma sıcaklığı farklı ortam sıcaklıklarında aynı ise yukarıda verilen ifade

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{\theta_1}{\theta_2} \right)^{0,61}$$

Laminantlı baralar (bir fazda birden fazla paralel baranın bulunması)

Aynı fazda birden fazla 6,3 mm kalınlığında 150mm genişliğine kadar ve şeritler arası açıklık 6,3 mm olduğu bara şeritlerinin bağlandığı bir bara sistemidir. Akım taşıma kapasitesi bir şeriti akım taşıma kapasitesi laminant sayısına göre aşağıda verilen Tablo 6.66'daki çarpım faktörleri ile çarpılarak bulunur.

<u>Laminant sayısı</u>	<u>Çarpım faktörü</u>
2	1,8
3	2,5
4	3,2
5	3,9
6	4,4
8	5,5
10	6,5

Tablo 6.66. *Laminant sayısına göre çarpım faktörü*

6.11.5.2. Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri

Bara sistemlerindeki alternatif akım etkileri aşağıda verilen başlıklar altında incelenecektir

- Cidar etkisi [: Skin effect]
- Yaklaşma etkisi [:Proximity effect]
- Minimum kayıplar için gereklilikler
- Etki (Nüfuz) derinliği

Cidar etkisi

İletkenin görünen direnci, daima alternatif akımda doğru akıma göre daha yüksektir. Alternatif manyetik akı iletken üzerinde zıt elektromotor kuvvet oluşturarak iletken üzerinden geçen akımı azaltır. Cidar etkisi denilen bu etkiden dolayı iletkenin direnci artar

Skin efekt oranı

$S = \frac{R_f}{R_0}$ ifadesiyle belirlenir. Bu ifadede

R_f İletkenin alternatif akım direncini

R_0 İletkenin doğru akım direncini ifade eder

İçi dolu bakır çubuklar için skin efekt oranı

$$S = \frac{\sqrt{\left(1 + \frac{X^4}{48}\right)} + 1}{2} \quad X < 3 \text{ ise}$$

$$S = \frac{X}{2\sqrt{2}} + 0,26 \quad X > 3 \text{ ise}$$

$$X = \pi.d.\sqrt{\frac{2.f.\mu.10^{-5}}{\rho}}$$

d çubuğun çapı (mm)

f Frekans (Hz)

ρ İletkenin özgül direnci ($\mu\Omega.cm$)

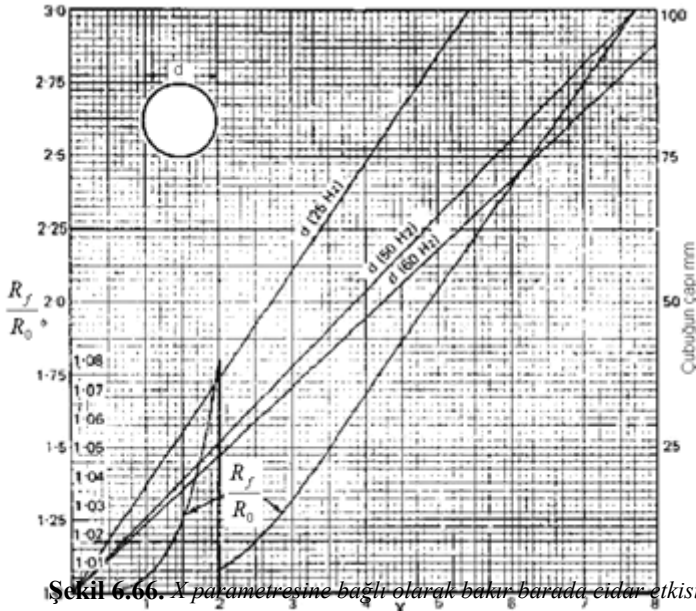
Yüksek iletkenli bakır için 200C de $\rho = 1,724\mu\Omega.cm$ olduğundan

$$X = 1,069.10^{-2}.d.\sqrt{f} \text{ veya}$$

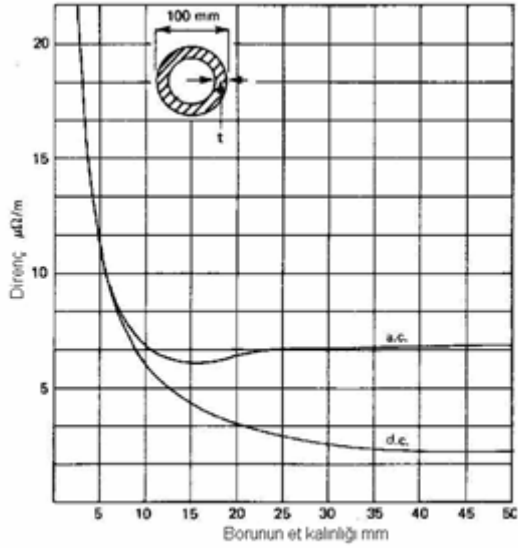
$$X = 1,207.10^{-2}.\sqrt{A.f} \text{ yazılır}$$

A iletken kesiti (mm^2)

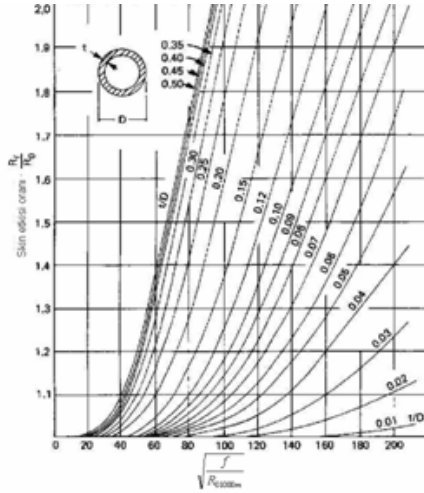
Şekil 6.66'da yüksek iletkenli bakır (HC bakır) çubuktaki cıdar etkisi, X parametresine bağlı olarak bulunabilir.



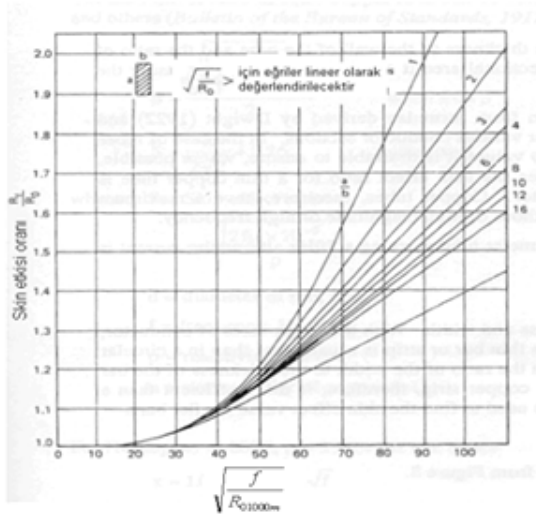
Şekil 6.66. X parametresine bağlı olarak bakır barada cıdar etkisi



Şekil 6.67. 100mm dış çapında HC bakır boru baraların boru et kalınlığına göre Doğru Akım ve 50Hz Alternatif Akım dirençleri

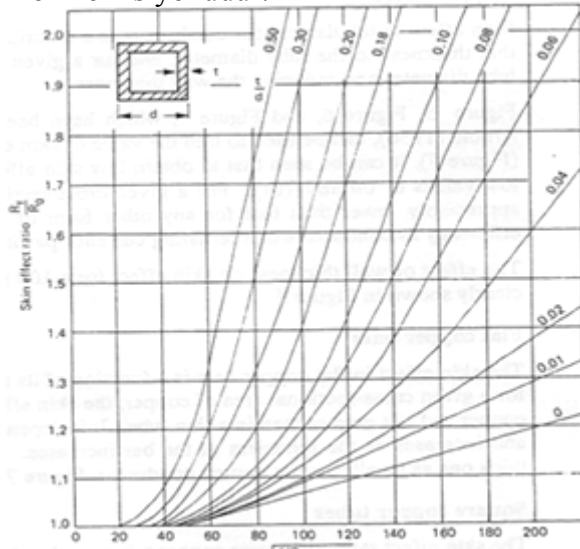


Şekil 6.68. Çubuk ve boru baralarda cidar etkisi



Şekil 6.69. Dikdörtgen yassı baralarda cıdar etkisi

Dikdörtgen yassı baralarda cıdar etkisi bara kalınlığının ve genişliğinin bir fonksiyonudur.



Şekil 6.70. İçi boş karesel baralarda skin efekt oranı

6.11.6. Kısa devre etkileri

11.6.1.2 Baraların kısa devre akımları etkisiyle ısınması

Baralar, normal olarak jeneratör ve transformatör gibi büyük enerji üretim ve taşıma sistemlerinin bir parçasıdır. Bu nedenle normal şartlar altında akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi gibi kısa devre şartları altındaki dayanımında kontrol edilmesi gerekir. Kısa devre akımları sürekli akım taşıma nominal değerinin 10-20 katı akımlar olduğundan, bu akımların ısınma etkileri, mutlaka kontrol edilmelidir. Bu etki özellikle küçük kesitlerdeki baralarda tehlikeli ısınmalara yol açar.

Kısa devre akımlarının ısınma karakteristiklerini tam bir doğrulukla hesaplamak kolay değildir. Ancak birçok amaçla (yeterli doğrulukta) aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$t = 0,051 \cdot \left(\frac{A}{I} \right)^2 \cdot \left(\sqrt{1 - 0,0076 \cdot \theta} - 1 \right)$$

t Maksimum kısa devre süresi (saniye)

A İletken kesiti (mm^2)

I İletken üzerinden geçen kısa devre akımı (kA)

θ İletkende izin verilen maksimum sıcaklık yükselmesi ($^{\circ}\text{C}$)

$\theta = 300^{\circ}\text{C}$ alınırsa

$$t = 4,14 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{A}{I} \right)^2 \text{ uygulanır.}$$

Sıcaklık yükselmesi birim saniye için aşağıdaki formülden bulunabilir.

$$\theta = 5,2 \left(\frac{I}{A} \right)^2 \cdot 10^3$$

Kabul edilebilir doğruluk için $\left(\frac{I}{A} \right)^2$ oranı 0,25' den küçük olmalıdır.

Topraklama bara sistemleri için maksimum kısa devre sıcaklığı çoğunlukla 300°C seçilir. Ancak faz iletkenleri için üst sıcaklık sınırları daha düşüktür.

6.11.6.2. Kısa devrede elektrodinamik zorlanma

Maksimum zorlanma

Bara sistemleri normal çalışma şartları altında baraların statik ağırlıklarından dolayı çok düşük zorlamalar altındadır. Kısa devre şartları altında fazlardan geçen kısa devre akımının tepe değeri, normal akım değerinin 30 katı gibi bir değere ulaştığından, yüksek elektrodinamik zorlamalar altında kalır. Elektrodinamik zorlamalar hesaplarında esas olan tam asimetrik kısa devre akımı, diğer bir deyimle darbe kısa devre akımı, güç kısa devresinin meydana geliş anındaki kısa devre akımına bağlıdır.

Kısa devrenin meydana geliş anındaki güç faktörü bilinmiyorsa; darbe kısa devre akımı, simetrik subtransiyent kısa devre akımı ve 2,55 darbe katsayısı ile çarpılarak belirlenir.

1- fazlı kısa devrede elektrodinamik zorlanma

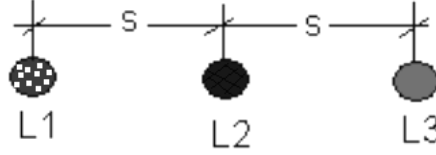
$$F_{\max} = 2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

$F_{\max}$ İletken üzerinde meydana gelen kuvvet N/m

I Her iki faz üzerinden geçen akım Amper

s Fazlar arasındaki açıklık mm

Dengeli 3-faz kısa devre zorlaması



Şekil 6.71.

Herhangi bir iletken üzerindeki zorlanma

$$F_{\max} = (0,75)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

L_1 ve L_3 dış iletkenler artasındaki zorlanma

$$F_{\max} = (0,808)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

Ortadaki L_2 iletkeninde zorlanma

$$F_{\max} = (0,866)2 \cdot \frac{I^2}{s} \cdot 10^{-4}$$

I kısa devre darbe akımı, simetrik subtransiyent kısa devre akımıyla k darbe katsayısı ile çarpımından elde edilir. “ k ” darbe katsayısı, aşağıda verilen Tablo’dan güç faktörüne göre bulunur.

Güç faktörü	Darbe katsayısı k
0	2.828
0.07	2.55
0.2	2.2
0.25	2.1
0.3	2
0.5	1.7
0.7	1.5
1.0	1.414

Tablo 6.67. Darbe katsayıları

6.11.7. Baraların bağlanması

6.11.7.1. Bara bağlantı metotları

Bara bağlantıları, hata halinde elektrodinamik zorlamalara karşı mekanik açıdan sağlam ve kontak geçiş direncinde olan kayıpları azaltmak açısından elektriksel açıdanda düşük dirençli olmalıdır. Zira yüksek akımlı bağlantılarda kontak geçiş direnci düşük olmadığı durumlarda yüksek kayıplar meydana gelir ve bu elektrik faturalarına yansımakla beraber elektrik panosunda yüksek sıcaklık artışlarına neden olur. Bu nedenle yüksek akımlı bağlantılarda bir fazdaki bara sayısını arttırarak akımın bölünmesi ve düşük kontak direnci sağlanması zorunludur.

Baralar arasındaki etkili bağlantı civata, köşebent, perçinleme, lehimleme ve kaynakla sağlanır. Kaynaklı bağlantıların avantajı, akım taşıma kapasitesinde distorsiyon ve azalma olmaksızın bağlantı noktasında sıfır dirençle sürekli iletkenlik sağlanmasıdır. Civatalı bağlantılar kompakt, mekanik ve elektriksel zorlamalarda güvenilir ve sıklıkla kullanılan bağlantı şeklidir. Dezavantajı ise, bara üzerinde civata bağlantı deliklerinin açılması ile akım akış hatlarında bazı distorsiyonlar ve sıkışmaların meydana gelmesidir. Bu nedenle civatalı birleştirmelerde köşebent bağlantılarında uygulanan bağlantı basıncından daha yüksek bağlantı basıncı gerekir. Köşebent bağlantılar, bara kesitinde azalma olmaksızın yapımı çok kolay ve güvenilir bir bağlantı şeklidir. Dezavantajı ise, köşebentlerin ve bunlara ait bağlantı elemanlarının neden olduğu ek maliyetlerdir. Perçinli bağlantılar, iyi ve tekniğine uygun yapıldığında etkili ve verimli bir bağlantı şeklidir. Ancak yapımının özel dikkat ve özen gösterilmesini gerektirdiğinden yapımı zor ve zaman

alıcı ve aynı zamanda yüksek maliyetli bir bağlantı şekli olmasından dolayı tercih edilmez. Kaynaklı bağlantılar, kısa devre şartları altında gerekli mekanik ve elektriksel şartlara uygun olmadığından yüksek akım çeken ve yüksek kısa devre akımları altında kalabilecek yerlerde kullanılmazlar.

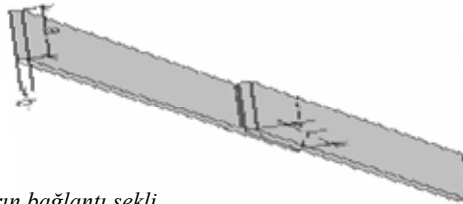
6.11.7.2. Bağlantı direnci

Baraların bağlantı direncini etkileyen 2-faktör vardır

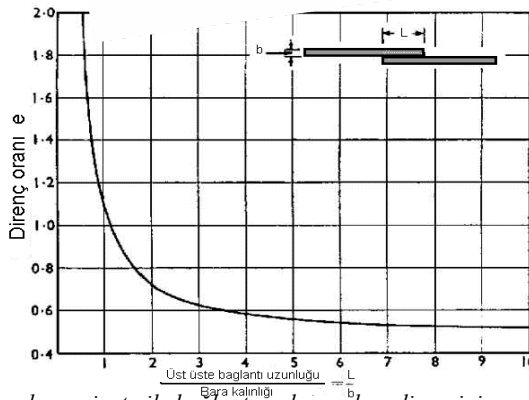
- Akış etkisi ve yayılma direnci R_s
- Kontak direnci veya geçiş direnci R_j

Toplam bağlantı direnci $R_{TOT} = R_s + R_j$

Akış etkisi veya yayılma direnci



Şekil 6.72. Baraların bağlantı şekli



Şekil 6.73. Baraların civata ile bağlantısında yayılma direncinin oranı

Şekil 6.73’de görünen civata ile bağlantı şeklinde iki bara arasında bağlantı yerinde akım akış yerinde neydena gelen akım akışındaki distorsiyon bağlantı direncine etki eder. Bu etki, akımın tepeden tepeye ve yüzeyden yüzeye akmasıyla ortaya çıkar.

İki yassı dikdörtgen kesitli bara arasındaki civatalı üst üste bağlantı durumunda yayılma direnci etkisi, baraların kalınlığı ile üst üste bağlantının uzunluğunun şekil 6.73’de görüldüğü gibi oranına bağlıdır.

Akım dağılımı, kontak yüzeyi boyunca düzgün olmayıp direnç oranları şekil 6.73’deki eğri kullanılarak belirlenebilir.

Direnç oranı $e = \frac{R_S}{R_B} = \frac{a.b}{\rho.L} . R_S$ ifadesiyle de bulunabilir. Söz

konusu ifadede

R_S Akış etkisi veya yayılma direnci

R_B Bir iletkenin eşdeğer uzunluktaki direnci mm

a Baranın genişliği mm

b Baranın kalınlığı mm

L Bağlantı yerinde baranın üst üste gelen kısmının uzunluğu mm

ρ İletkenin özgül direnci $\mu\Omega.mm$

Şekil 6.73’den de görüleceği üzere direnç oranı 7’den sonra pek fazla değişmediğinden; üst üste gelen bara bağlantı uzunluğunun bara kalınlığının 5 katından az olmaması ile birlikte, 7 katından da fazla olmasına gerek yoktur. Örneğin 10 mm kalınlığındaki baraların birleştirilmesinde üst üste gelen bağlantı uzunluğu 50 mm ile 70 mm arasında olmalıdır.

6.11.7.3. Kontak geçiş direnci

Kontak geçiş direnci iki ana faktöre bağlıdır.

- Kontak yüzey şartları
- Toplam bağlantı basıncı

Kontak yüzey şartları

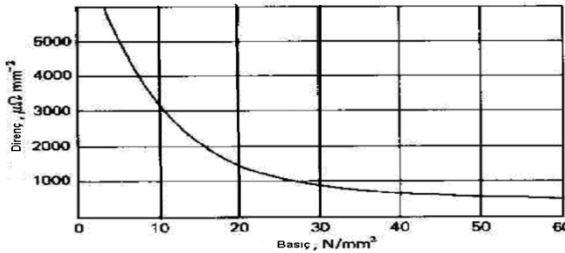
Baraların yüzeyleri düz ve temiz olmalıdır. Herhangi bir fırçalama işlemi yapmaya gerek yoktur. Yüzeyin düzgün, bükümsüz ve temiz olmasını sağlayarak bir çok durumlarda iyi sonuçlar elde edilir.

Bağlantı kontak yüzeylerinin hazırlanması

Öncelikle kontak yüzeylerinin eğriliği giderilerek düzleştirilir ve gerekiyorsa bağlantı yüzeyleri temizlenir. Bağlantı işlemi sırasında tekrar oksitlenmeyi önlemek amacıyla temizlemeden hemen sonra bağlantı yapılacak bölgenin petrol jeli ile ince film şeklinde kaplanması tavsiye edilir. Bağlantı yeri, petrol jeli ile temizlenmesiyle birlikte civatalanır. Petrol jeli sıkıştırma esnasında bağlantı yerinin dışına taşarak bağlantıyı dış etkilerden korur.

6.11.7.4. Kontak basıncının etkisi

Kontak basıncının etkisiyle bağlantı direncinin birim yüzey için alacağı değer, Şekil 6.74'de görülmektedir.



Şekil 6.74. Kontak direncinin birim mm² yüzey için bağlantı basıncıyla değişimi

Bağlantı direnci basıncın artmasıyla hızla düşmekle beraber; bu düşüş, 15 N/mm² ye kadar etkili bir şekilde gerçekleşir. Bu değer üstündeki basınçlar da dirençlerdeki düşüş, etkili bir şekilde olmayıp; 15 N/mm² değerinin üstündeki sıkıştırmalara gerek yoktur.

Yük altındaki baraların aşırı ısınmasında bakır ile çeliğin farklı uzama katsayılarına sahip olmasından dolayı bağlantı yerinde gevşemeler meydana gelebilir. Bağlantılarda esas olan kontak basıncının yaklaşık aynı kalmasıdır. Bu nedenle sıcak ve soğuk şartlar altında kontak basıncını sabit tutmak için bağlantılar pul ve yaylı rondelalar ile sağlanmalıdır.

Bağlantı verimi

$$R_S = \frac{\rho.e.L}{a.b} \text{ yayılma direnci}$$

$$R_J = \frac{Y}{a.b} \text{ kontak geçiş direnci}$$

Toplam bağlantı direnci

$$R_{TOT} = R_S + R_J = \frac{\rho.e.L}{a.b} + \frac{Y}{a.L}$$

Baranın eşdeğer uzunluktaki direnci

$$R_B = \frac{\rho.L}{a.b}$$

Bağlantı verimi ise

$$\frac{R_{TOT}}{R_B} = e + \frac{Y.b}{L^2.\rho}$$

İfadelerde

Y birim yüzey için kontak geçiş direnci. Şekil 11 den alınır.

a bara genişliği mm

b bara kalınlığı mm

L bara bağlantı uzunluğu mm
 e direnç oranı Şekil 6.74'den alınır.

Kontak basıncı, 7 N/mm^2 'den aşağı değerde olmamalıdır. 10 N/mm^2 olması tavsiye edilir. Simetri sağlanması açısından bağlantı uzunluğu baranın genişliğine eşdeğer yapılır.

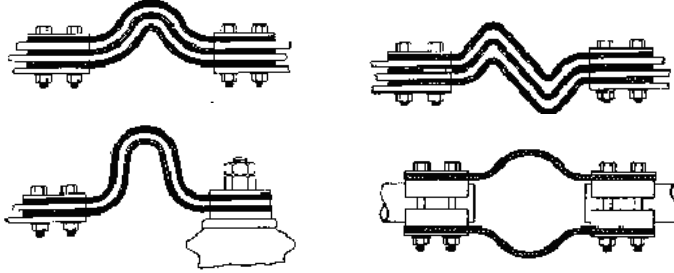
6.11.7.5. Civata bağlantılarının düzenlenmesi

İstenen bağlantı verimini ve gerekli kontak basıncını sağlamak için civata bağlantı şekline, boyut ve sayısına karar vermede elektriksel ve mekanik faktörlerin her ikisinin birden göz önüne alınması gerekir. Civata boyutları bara bağlantılarında genellikle M6 ile M20 arasındadır. Her bağlantı için 4 ile 6 arası civata kullanılmaktayken 4 civatalı bağlantılar tercih sebebidir. Tablo 6.68'de çeşitli bağlantı boyutları için tipik civata bağlantı şekilleri gösterilmektedir.

Bara genişliği mm	Bağlantı uzunluğu mm	Bağlantı yüzeyi mm ²	Civata sayısı	Metrik civata boyutu	Civata sıkma momenti Nm	Delik çapı mm	Yaylı rondela çapı mm	Yaylı rondela : kalınlığı mm
16	32	512	2	M6	7.2	7	14	1.8
20	40	800	2	M6	7.2	7	14	1.8
25	60	1500	2	M8	17	10	21	2.0
30	60	1800	2	M8	17	10	21	2.0
40	70	2800	2	M10	28	11.5	24	2.2
50	70	3500	2	M12	45	14	28	2.7
60	60	3600	4	M10	28	11.5	24	2.2
80	80	6400	4	M12	45	14	28	2.7
100	100	10000	5	M12	45	15	28	2.7
120	120	14400	5	M12	45	15	28	2.7
160	160	25600	6	M16	91	20	28	2.7
200	200	40000	8	M16	91	20	28	2.7

Tablo 6.68. Tipik civata bağlantı şekilleri

Çoğunlukla galvaniz civatalar kullanılmaktadır. Ancak pirinç ve bronz civatalar, bakır iletkenle yaklaşık aynı sıcaklık uzama katsayısına sahip olduğundan, çalışma sıcaklığında kontak basıncı önemli derecede değişmediğinden, tercih edilmelidir. Ayrıca bakır alaşımlı civatalar olduklarından farklı metal korozyonundan sakınılmış olunur. Bununla birlikte çelik civatalar, ferro-magnetik malzemeler olduğundan; ilave histerizis kayıplarına neden olmakta ve ısınmaktadır.



Şekil 6.75. Baraların genişleme bağlantıları

6.11.8. Bara empedansları

6.11.8.1. Direnç

$$R_F = R_0 \cdot S \cdot K$$

R_F verilen frekanstaki direnç

R_0 doğru akım direnci

S (cidar etkisi) skin efekt oranı

K (yakınlaşma etkisi) proximity efekt oranı Şekil 6.76'dan alınır.

Endüktans (indüktans)

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{ endüktif reaktans ohm}$$

f frekans

L endüktans Henry

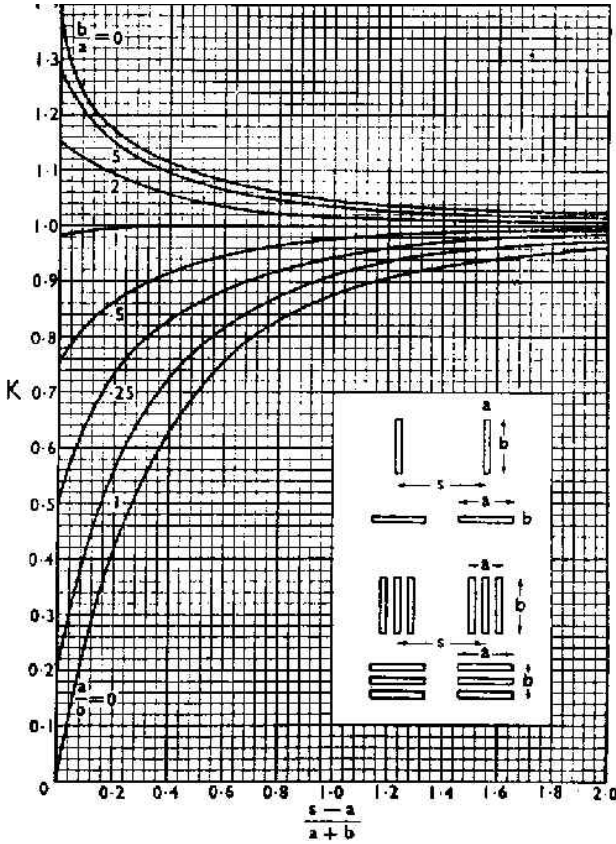
Kapasitans

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \text{ kapasitif reaktans ohm}$$

C , kapasitans Farad

Empedans

$$Z = \sqrt{R_f^2 + X^2} \text{ ohm}$$

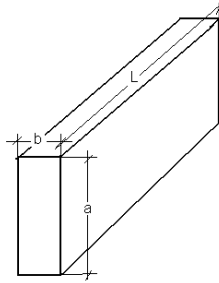


Şekil 6.76. Baraların proximity efekt oranı

6.11.8.2. Endüktans ifadeleri

Dikdörtgen bara

Tek iletken



Şekil 6.77. Tek iletken bara boyutları

Bara endüktansı

$$L_S = 0,002.L \left(Ln \frac{2.L}{D_S} - 1 + \frac{D_S}{L} \right) \mu H$$

$L_S(\mu H)$ self endüktans

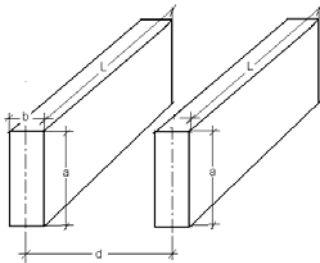
$D_S(cm)$ = 0,2235.(a + b) geometrik ortalama mesafe

$L(cm)$ bara uzunluğu

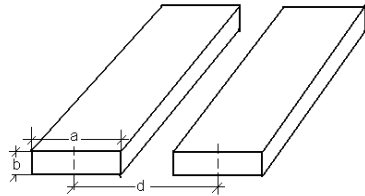
İki paralel bara iletkeni

Karşılıklı endüktans

$$M = 0,002.L \left(Ln \frac{2.L}{D_M} - 1 + \frac{D_M}{L} \right)$$



Şekil 6.78.a. Dikey tertip



Şekil 6.78.b. Yatay tertip

Şekil 6.78. İki bara iletken teripleri

Yukardaki ifadede

$M(\mu H)$ karşılıklı endüktans

$D_M(m)$ geometrik ortalama mesafe (ilerde verilecek)

$L(cm)$ bara uzunluğu

Gidiş dönüş barası

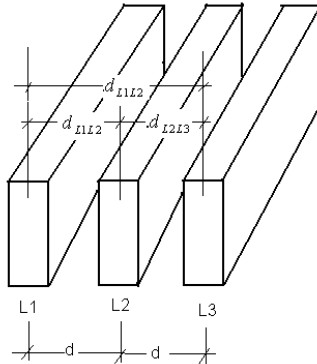
$$L_{GD} = L_S - M$$

$$L_{GD}(\mu H) = 0,002.L.Ln \frac{D_M}{D_S} \quad \text{veya} \quad L_{GD}(\mu H) = 0,002.L.Ln \frac{d}{b}$$

Geometrik ortalama mesafe ifadesi

$$Ln D_M = \frac{1}{a^2.b^2} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{4} \left[(d+a)^2 \left(b^2 - \frac{(d+a)^2}{6} \right) - \frac{b^4}{6} \right] .Ln[(d+a)^2 + b^2] \\ & + \frac{1}{4} \left[(d-a)^2 \left(b^2 - \frac{(d-a)^2}{6} \right) - \frac{b^4}{6} \right] .Ln[(d-a)^2 + b^2] \\ & - \frac{1}{2} \left[d^2 \left(b^2 - \frac{d^2}{6} \right) - \frac{b^4}{6} \right] .Ln(d^2 + b^2) + \frac{1}{12} (d+a)^4 .Ln(d+a) + \frac{1}{12} (d-a)^4 .Ln(d-a) \\ & - \frac{1}{6} .d^4 .Lnd + \frac{1}{3} [b(d+a)^3 - b^3.(d+a)] \tan^{-1} \left(\frac{b}{d+a} \right) + \frac{1}{3} [b(d-a)^3 - b^3.(d-a)] \tan^{-1} \left(\frac{b}{d-a} \right) \\ & - \frac{2}{3} (b.s^3 - b^3.s) \tan^{-1} \frac{b}{s} - \frac{25}{12} .a^2.b^2 \end{aligned} \right\}$$

3-fazlı bara iletkenleri



Şekil 6.79. 3-fazlı bara iletkenleri dikey tertip

$$\begin{aligned} L_{L3}(\mu H) &= 2 \cdot 10^{-3} \left[L_n \frac{1}{D_S} + (-0,5 + j0,866) L_n \frac{1}{D_{ML1L2}} + (-0,5 - 0,866) L_n \frac{1}{D_{ML1L3}} \right] \\ L_{L2}(\mu H) &= 2 \cdot 10^{-3} \left[L_n \frac{1}{D_{ML1L2}} + (-0,5 + j0,866) L_n \frac{1}{D_S} + (-0,5 - 0,866) L_n \frac{1}{D_{ML2L3}} \right] \\ L_{L1}(\mu H) &= 2 \cdot 10^{-3} \left[L_n \frac{1}{D_{ML1L3}} + (-0,5 + j0,866) L_n \frac{1}{D_{L3L3}} + (-0,5 - 0,866) L_n \frac{1}{D_S} \right] \end{aligned}$$

6.11.9. Baraların boyutlandırılması

6.11.9.1. Baraların boyutlandırılmasında işlem sırası

Baraların boyutlandırılmasında öncelikle normal işletme şartları, göz önüne alınır. Tesisin çalışacağı gerilim seviyesine göre faz, iletkenlerinin birbirine ve panonun veya tesisin topraklanmış aktif olmayan metal bölümlerine olan uzaklığı belirlenir. Bara boyunca akan nominal akımla bara iletkeninin kesiti ve baranın bakır veya alüminyum olarak malzemesi belirlenir. Baraların yerleştirildiği mesnet izolatörlerinin mekanik dayanımları ve baraların mekanik ve termik etkilerine dayanımı kısa devre akımları ele alınarak kontrol edilir. Bununla beraber baraların kısa devre durumunda rezonans durumu da kontrol edilir. Bara hesaplarını gerçekleştirmek için bara ile ilgili elektriksel ve fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesi gerekir.

6.11.9.2. Baraların elektriksel karakteristikleri

S_K'' , Şebeke kısa devre gücü (MVA)

U_N , Nominal gerilim (kV)

U , İşletme gerilimi (kV)

I_N , Nominal akım (A)

6.11.9.3. Baraların fiziksel karakteristikleri

S Baranın kesiti (cm^2)

d Faz iletkenleri arasındaki açıklık (cm)

l Aynı faz iletkenleri üzerinde mesnet izolatörleri arasında açıklık (cm)

θ_N Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

$\theta - \theta_N$ İzin verilen sıcaklık yükselmesi

6.11.9.4. Termik dayanım

Nominal akım

İletken için sürekli çalışma şartlarında izin verilen akım

$$I = K \cdot \frac{24,9 \cdot (\theta - \theta_n)^{0,61} \cdot S^{0,5} \cdot p^{0,39}}{\sqrt{\rho_{20} \cdot [1 + \alpha(\theta - 20)]}} \text{ ifadesi ile hesaplanır}$$

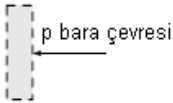
I bara iletkenlerinden geçmesine izin verilen maksimum akım

θ_n ortam sıcaklığı ($\theta_n \leq 40^{\circ}\text{C}$)

$(\theta - \theta_n)$ izin verilen sıcaklık yükselmesi

S bara kesiti

p baranın çevresi (cm)

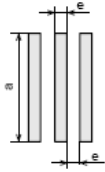


ρ_{20} 20°C'de iletken özgül direnci ,bakır için 0,183 $\mu\Omega.cm$,
alüminyum için 0,290 $\mu\Omega.cm$

α özgül direnç sıcaklık sabiti 0,004

K işletme şartları toplam sabiti $K=k_1.k_2.k_3.k_4.k_5.k_6$

k_1 sabiti, herbir fazdaki bara çubuklarının sayısına bağlı olup
1- bara için 1 olmakla beraber 2 veya 3 bara için aşağıdaki
değerlere göre belirlenir.



	e/a								
	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
Her bir fazdaki bara sayısı	k1								
2	1.63	1.73	1.76	1.80	1.83	1.85	1.87	1.89	1.91
3	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.63	2.65	2.68	2.70

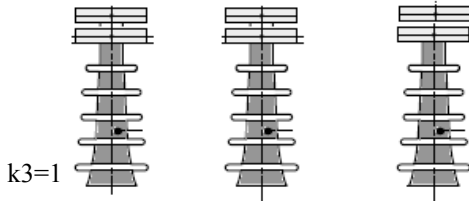
Tablo 6.69 k_1 sabitinin bara boyutlarına göre değerleri

k_2 sabiti, bara yüzeyinin işlemlerine bağlı olup

- Çıplak bara için $k_2=1$
- Boyalı bara yüzeyi için $k_2=1,15$

k_3 sabiti, baraların yerleşim pozisyonuna bağlı sabite olup

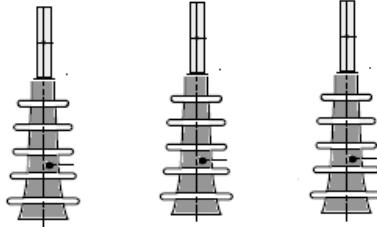
- Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kenar kenara montaj durumunda



Şekil 6.80. Baraların yatay kenar kenara montajı

- 1-baralı yüzey yüzeye montaj durumunda

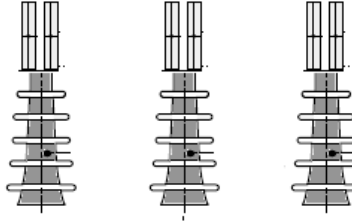
$k_3=0,95$



Şekil 6.81. Baraların 1-fazlı yüzey yüzeye montajı

- Birden fazla baralı yüzey-yüzeye montaj durumunda

$k_3=0,75$



Şekil 6.82. Birden fazla yüzey yüzeye montaj

k_4 , baraların tesis edildiği ortama bağlı olup

- Serin iç ortamlarda $k_4=1$
- Serin dış ortamlarda $k_4=1,2$
- Havalandırmasız kanallar içinde $k_4=0.80$

k_5 , suni yani cebri havalandırma ile ilgili bir sabit olup suni havalandırma yapılmayan yerlerde $k_5=1$ alınır. Suni havalandırma ortamına göre yapılan testler sonucu, suni havalandırma miktarı kadar sabitin değeri belirlenir.

k_6 , alternatif akım frekansı $\leq 60Hz$ olan sistemlerde n bara sayısına ve baralar arasındaki açıklığa göre belirlenen bir sabit olup; bara arası açıklık bara kalınlığına eşit ise

n	1	2	3
k6	1	1	0.98

Tablo 6.70. *k6 faktörleri*

değerlerini alacaktır.

Kısa süre dayanım akımı

İzin verilen sıcaklık değerini 1 veya 3 saniye süre ile geçmeyecek maksimum kısa devre akımı değeridir. Aşağıdaki eşitlikten kısa devre halinde sıcaklık yükselmesi bulunabilir.

$$\Delta\theta_{CC} = \frac{0,24 \cdot \rho_{20} \cdot I_{th}^2 \cdot t_k}{(n \cdot S)^2 \cdot c \cdot \delta}$$

$\Delta\theta_{CC}$ Kısa devre sıcaklık yükselmesi

c Metalin özgül ısısı Bakır için $0,091 kcal / daN^0C$, alüminyum için $0,23 kcal / daN^0C$

S Baranın kesiti cm^2

n Her bir fazdaki bara sayısı

I_{th} Kısa süre akım dayanımı (Maksimum kısa devre akımının RMS

değeri) (Amper)

$\theta - \theta_n$ İzin verilen sıcaklık yükselmesi

θ İletken içi, n izin verilen maksimum sıcaklık

θ_n Ortam sıcaklığı

δ Metalin yoğunluğu bakır için $8,9 g/cm^3$ ve alüminyum için $2,7 g/cm^3$

t_k Kısa süre akım dayanımı süresi, 1 veya 3 saniye olarak ele alınır.

ρ_{20} İletkenin 20^0C deki özgül direnci

Yukardaki ifade, kısa devre akımı uygulaması 5 saniyeye kadar olan durumlar için geçerli olup $\Delta\theta_{CC} \leq \theta - \theta_n$ olarak

hesaplarda göz önüne alınacaktır. Söz konusu ifade $I_{th}^2 \cdot t_k$ için düzenlenirse

$$I_{th}^2 \cdot t_k = \frac{(n.S)^2 \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta \theta_{CC}}{0,24 \cdot \rho_{20}} \text{ olup belirli malzeme, kesit ve izin}$$

verilen sıcaklık yükselmeleri için sabittir.

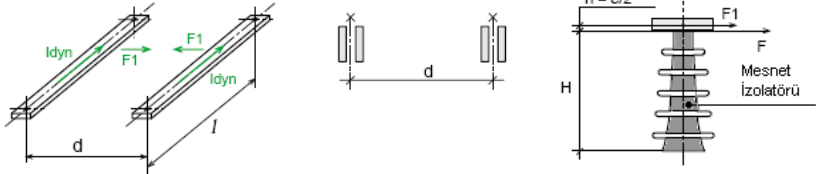
6.11.9.5. Elektro dinamik dayanım

Paralel iki iletken arasında kısa devre akımı geçtiğinde meydana gelecek elektrodinamik kuvvetler

$$F_1 = 2 \cdot \frac{l}{d} \cdot I_{dyn}^2 \cdot 10^{-8} (daN) \text{ ifadesiyle belirlenir.}$$

I_{dyn} darbe kısa devre akımı olup

$$I_{dyn} = k \cdot \frac{S_K''}{U \cdot \sqrt{3}} = k \cdot I_{th} \text{ ifadesiyle hesaplanır.}$$



Şekil 6.83. Baraya uygulanan elektro dinamik kuvvetler.

Bu ifadelerde

$S_K'' (kVA)$ kısa devre gücü

$I_{th} (Amper.rms)$ kısa süre dayanım akımı

$l (cm)$ aynı fazdaki iki izolatör arasındaki açıklık

$d (cm)$ fazlar arasındaki açıklık

k IEC standartlarına göre 50Hz için 2,5; 60Hz için 2,6 ve ANSI

standartlarına göre 2,7

Mesnet izolatörleri üzerine etki eden kuvvet

$$F = F_1 \cdot \frac{H + h}{H}$$

Burada

F İzolatörlere uygulanan kuvvet

H Mesnet izolatörünün yüksekliği

6.12 . Busbar taşıma sistemleri (BTS)

6.12.1. *Dağıtım busbarları*

Busbar sistemleri önceden yükleri belirlenen alanda ortak güç dağıtımı sağlayan sistemlerdir. Kullanım alanları, aydınlatma, fabrika ve ofislerde çepeçevre güç dağıtımı, yüksek yapılarda katlar boyunca her bir kata ait güç panolarına enerji temini için kullanılırlar. Busbar sistemleri yatay, düşey veya her iki tertibin kombinasyonu olarak tesis edilirler. Güç, busbar boyunca belirlenen yerlerde baralara bağlanan ve içerisinde uygun koruma cihazları bulunan güç temini kutuları vasıtasıyla alınır.

Busbar sisteminin kabloları göre avantajları

- Her bir tüketici için kablo tavalarından ayrı bir kablo çekilir. Busbar sisteminde tüketicilere doğru denk bir busbar tesis edilir. Böylece malzemedan, işçilikten, kablo sabitleme elemanlarından ve bunlara ait işçilikten ve montaj süresinden tasarruf edilir.

- Bir çok bağlantı noktası olması nedeniyle enerji sisteminde herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan cihazların yerleri ve konumları değiştirilebilir.
- Sistem kolaylıkla genişletilebilir. Herhangi bir ilave panoya ve güç sisteminin tesisine gerek kalmadan tesise ilave makina bağlanabilir.

6.12.2. Besleme veya bağlantı busbarları

Güç panolarını veya transformatörle panoları birleştirmek için kullanılırlar. Bu tip busbarları kullanmak yüksek akım çeken sistemlerde kablo bağlantılarına göre çok ekonomiktir ve bu sistemlerde gerilim düşümü, çok düşüktür.

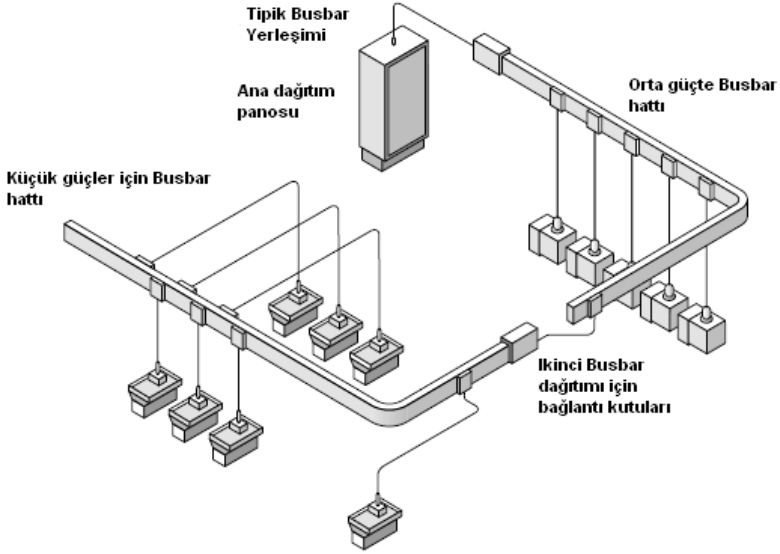
Kabloya göre avantajları

- Uzun hatlarda minimum sabitleme elemanı ve dolayısıyla minimum tesis süresi,
- Kablo taşıyıcıların ortadan kalkması,
- Çok damarlı büyük kablolarla göre daha kolay montaj,
- Panolarda az bağlantı, yer ihtiyacı, kablo birleştirici ek garnitürü gibi ilave gereçlerin olmayışı.

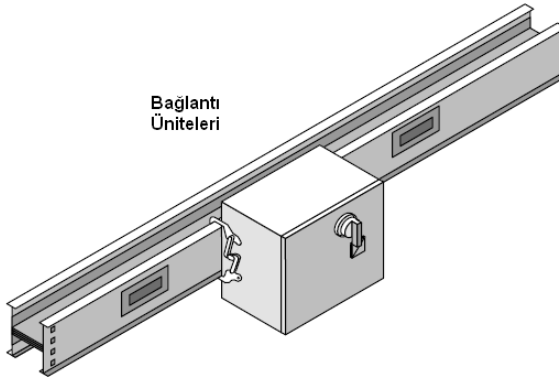
Her iki Busbar sisteminin genel avantajları

- Busbar sistemleri sökülerek herhangi bir modifikasyona gidilmeden diğer yerlerde tekrar monte edilerek kullanılabilir.
- Busbar sistemleri yangına karşı daha dirençlidir.
- Eşdeğer kablo kesitine göre daha düşük değerde gerilim düşümü ve gerilim çökmesi olur.
-

Bağlantı üniteleri ya geçmeli tip ve sabitlemeli tip'tir. Bağlantı kutuları aşırı yük ve kısa devre akımlarına karşı koruma elemanları ile donatılmışlardır.



Şekil 6.84. *BTS sisteminin genel görünüşü*



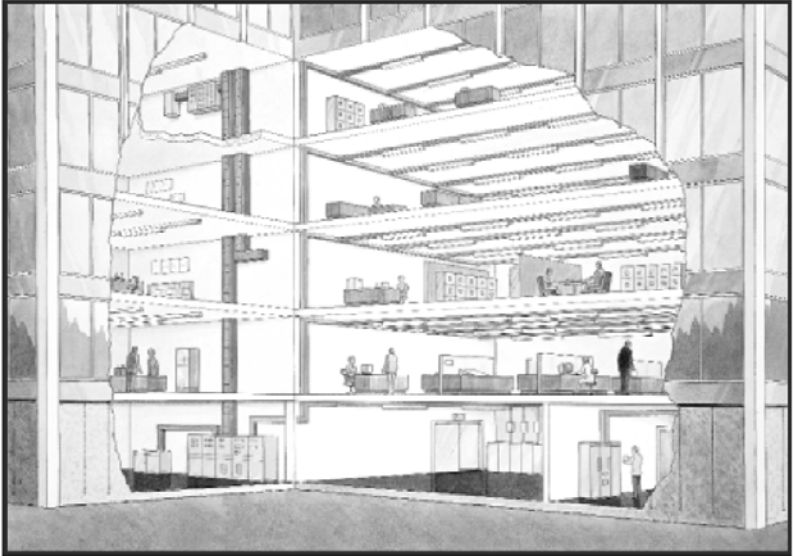
Şekil 6.85. *Enerji alma bağlantı ünitesi*

6.12.3. Koruma elemanları

- NH sigortalar
- Anahtarlı sigortalar ve
- Termik-manyetik kesicilerdir.

Busbar sistemlerinin kullanım alanları

- Ofisler
- Apartmanlar
- Okullar
- Oteller
- Hastahaneler
- Alışveriş merkezleri
- Fabrikalar
- Enerji üretim merkezleri
- Petro-kimya endüstrileri
- Petrol ve gaz platformları



Şekil 6.86. BTS sisteminin yüksek yapıda düzenlenme şekli

6.12.4. Teknik özellikler

6.12.4.1 Kısa devre şartları altındaki performans

Busbarın enerji aldığı uçtan diğer ucuna kadar yükün çekildiği herhangi bir noktasında meydana gelebilecek kısa devre akımlarının etkilerine dayanıklı olması gerekir.

Kısa devre çalışma şartları altında değerler

Kısa devre dayanım kapasitesi aşağıda açıklanan yollarla ifade edilir

- Kısa-süre dayanım değeri (akım ve süre)
- Darbe akım dayanım değeri
- Kısa devre koruma cihazları ile korunduğunda kısa devre değerleri

Kısa süre dayanım değeri

İlerdeki çalışmayı önleyecek şekilde ters ve tahrip edici olmaksızın belirli periyot içinde dayandığı akımın RMS efektif değeridir. Tipik olarak bu periyot süresi kısa devre akımının 1-3 saniye olarak geçtiği değer alınır. Sistem emniyeti ve maliyet açısından kısa devre akımı 50 kA aşmamalıdır.

Darbe akımı değeri

Darbe akımı, ani olarak meydana gelir, belirli bir zaman süresinde etkili olur ve bu süre zarfında baralar maksimum zorlama altında kalır. Darbe akımının değeri hata şartları altındaki güç faktörüne bağlı olup sürekli hata akımı değerinin 2,2 katını aşamaz.

Kısa devreye karşı koruma cihazları ile korunduğunda kısa devre değerleri

Kısa devreye karşı koruma cihazları, genellikle akım sınırlandırıcı cihazlardır. Bu cihazlar sayesinde kısa devre akımı tepe değerine ulaşmadan yarım periyodun pek az bir bölümünde kesilirler. Akım sınırlama NH veya HRC sigortalar ile ani açtırma tarzındaki kesicilerle sağlanır.

6.12.5. Besleme sistemi

- Yükleri beslemenin genel tipleri
 1. 1-fazlı
 2. 3-fazlı
- BTS besleme şekli
 1. Tek taraftan besleme
 2. İki uçtan besleme
 3. Merkezi besleme
- Nominal gerilim
- Besleme noktasındaki kısa devre akımı

Yükler: Aynı BTS üzerinden beslenen yüklerin tipi, gücü, güç faktörü, dağılımı ve miktarı

6.12.6. BTS geometrisi

Tesis tipi

- Katlı
- Yanyana
- Düşey

Uzunluk

3-fazlı BTS sisteminde Yük akımları hesabı

$$\sum I_B = \frac{P_T \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi_m} (A)$$

P_T (Watt) tesis edilen yüklerin tamamının aktif güçlerinin toplamı

b besleme faktörü olup BTS tek tarafından besleniyorsa 1, iki taraftan veya merkezden besleniyorsa 2 alınır.

U_N İşletme gerilimi (Volt)

$\cos \varphi_m$ BTS ye bağlana yüklerin ortalama güç faktörleri

6.12.7. BTS akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi

Bara taşıma sistemlerinin belirlenmesinde en kolay yolu imalatçılar tarafından sağlanan verileri kullanmaktır. Tesis metotları, izolasyon malzemesi, gruplandırma düzeltme faktörleri, bu teknoloji için ilgili parametreler değildir. Verilen herhangi bir modelin imalatçı tarafından belirlenmesi aşağıdaki faktörler esas alınarak yapılır.

- Nominal akım,
- 35 °C, ye eşit bir ortam sıcaklığı
- Yüklü 3-iletken

Nominal akım

Nominal akım aşağıdaki durumlar göz önüne alınarak hesaplanır.

- Yerleşim
- Taşıma sistemi boyunca farklı yükler tarafından çekilen akımlar

Ortam sıcaklığı

Düzeltilme faktörü 35°C'den daha fazla sıcaklıklar için uygulanır. Düzeltme faktörü orta ve yüksek güç aralıklarında (4000 A değerine kadar) uygulanır. Tablo 6.71

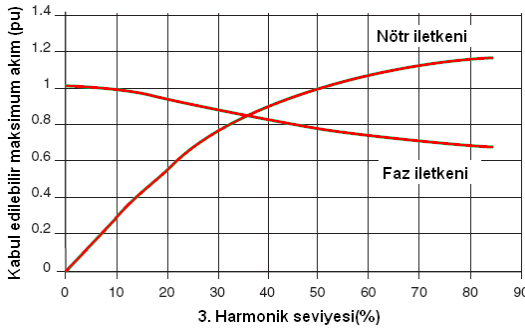
°C	35	40	45	50	55
Düzeltilme faktörü	1	0.97	0.93	0.90	0.86

Tablo 6.71. 35°C den yüksek sıcaklıklarda BTS için düzeltme faktörleri

Nötr hattı akımı

3. harmonik akımlarının aktığı yerlerde, nötr iletkeni önemli seviyede akım taşıyabilir ve ilave kayıplar mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Şekil 6.87, 3. harmonik seviyesine ve fonksiyonlar olarak yüksek güçte BTS sisteminde nötr akımlarını kabul edilebilir maksimum faz akımlarını göstermektedir.



Şekil 6.87. 3.harmoniğin fonksiyonu olarak maks. kabul edilebilir BTS akımlar

BTS sisteminin yerleşimi akım tüketimlerinin pozisyonlarına, güç kaynağının yerine ve sistemin bağlantı imkanlarına bağlıdır.

- Bir tek dağıtım 4-6 metre alana hizmet verir.
- Akım tüketicileri için koruma cihazları BTS çıkış kutularına yerleştirilir ve buradan doğrudan kullanma noktalarına bağlanır.

- Farklı güçlerdeki tüm akım tüketicileri bir tekli fider tarafından beslenebilir.

Öncelikle BTS yerleşimi kurulur, besleme hattı üzerine bağlanacak tüketicilerin çektiği akı esas alınarak hesaplamalar yapılır. $I_z = \sum I_B$ BTS sistemine bağlanacak akım tüketicilerin çekeceği toplam akım bulunur. Akım tüketicileri aynı sürede devrede olamayacağından yukardaki ifade ile belirlenen akımlar sürekli çekilen akımlar olmayacağından k_s kullama faktörünü uygulamak gerekir. Buna göre BTS sisteminin tasarım akımı $I_z = k_s \sum I_B$ ifadesi ile belirlenir.

Uygulama	Akım tüketicilerinin sayısı	k_s katsayısı
Aydınlatma ,ısıtma		1
Dağıtım (Atölye)	2...3	0.9
	4...5	0.8
	6...9	0.7
	10...40	0.6
	40 ve daha fazla	0.5

Tablo 6.72. Akım tüketicilerinin sayılarına göre k_s kullanma faktörü

Not: Endüstriyel tesisler için , sistemde ilave makinaların gelecekte tesis edileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle tasarım akımı belirlenirken %20 gelecekteki güç artışı için yedek güç ihtiyacı hesaba katılır ve tasarım akımı $I_z = k_s \times 1.2 \times \sum I_B$ ifadesi ile belirlenir.

6.12.8. BTS koruması

6.12.8.1. BTS Aşırı yüke karşı koruma

Aşırı yüke karşı koruma cihazının nominal akımı veya aşırı akım koruma ayar değeri aşağıda verilen formüle göre belirlenir.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

I_B dizayn hesaplarına esas olan BTS sisteminden çekilen maksimum

yük akımı

I_N koruma cihazının nominal akımı veya koruma değerleri ayarlanabilen

koruma cihazlarında cihazın aşırı yük açtırma akım eşik değeri

I_Z BTS nin sürekli akım taşıma kapasitesi

6.12.8.2. BTS kısa devreye karşı koruma

Kısa devre akımlarından dolayı meydana gelen termik ve elektrodinamik etkilere ve zorlanmalara karşı BTS mutlaka korunmalıdır. Termik etkilere karşı korumanın belirlenmesinde aşağıdaki ifadeye göre gerçekleştirilir.

$$I^2 \cdot t_{CB} \leq I^2 \cdot t_{BTS}$$

$I^2 \cdot t_{CB}$ Tesisin bir noktasında meydana gelen kısa devre akımında kesicinin taşıyabileceği özgül enerjidir. Bu değer, kesici imalatçıları tarafından kesiciler için verilen eğriler yardımıyla bulunur.

$I^2 \cdot t_{BTS}$ BTS'nin dayanım enerjisidir. BTS imalatçıları tarafından hazırlanan kataloglardan bulunur.

Elektrodinamik etkilere ve zorlamalara karşı koruma aşağıda verilen ifade gerçekleştirilecektir.

$$I_{kpCB} \leq I_{kpBTS}$$

I_{kpCB} Maksimum kısa devre akımının kesici tarafından sınırlandırılan tepe değeridir. Kesici kataloglarından alınır.

I_{kpCB} BTS'nin dayanabileceği darbe kısa devre akımının değeridir. BTS kataloglarından bulunur.

6.12.9. BTS'lerde gerilim düşümü

BTS özellikle uzun ve yüksek değerde yükler bağlı ise, mutlaka gerilim düşümünün kontrol edilmesi gerekir. 3-fazlı sistemde güç faktörü $\cos \varphi_m$ olmak üzere aşağıda verilen basitleştirilmiş formülden hesaplanabilir.

$$\Delta U = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_B \cdot L_B \cdot (r_B \cdot \cos \varphi_m + x_B \cdot \sin \varphi_m)}{1000} (\text{Volt})$$

1-fazlı sistemlerde

$$\Delta U = \frac{a \cdot 2 \cdot I_B \cdot L_B \cdot (r_B \cdot \cos \varphi_m + x_B \cdot \sin \varphi_m)}{1000} (\text{Volt})$$

a akım dağılım faktörü olup BTS boyunca akım dağılımına ve sistemin beslenme şekline bağlı olarak Tablo 6.73. de verilmektedir.

Besleme tipi	Yüklerin düzenlenmesi	a Akım dağılım faktörü
Sadece 1-taraftan besleme	Yük yoğunluğu sonda	1
	Düzgün yayılı yük	0.5
İki taraftan,	Düzgün yayılı yük	0.25
Merkezden	Yük yoğunluğu sonda	0.25
	Düzgün yayılı yük	0.125

Tablo 6.73. Akım dağılım faktörü

I_B Yük akımı Amper

L_B BTS uzunluğu

r_B Termik sürekli işletme şartları altında ölçülen BTS nini metre başına birim uzunluktaki direnci ($m\Omega/m$)

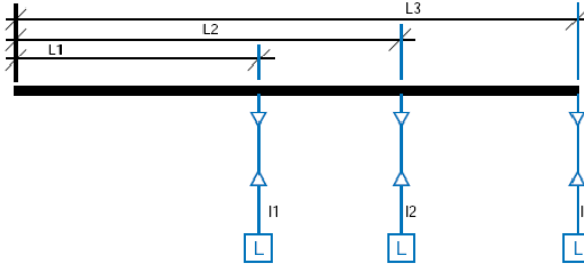
x_B BTS nin metre başına birim uzunluktaki reaktansı ($m\Omega/m$)

$\cos\varphi_m$ BTS den çekilen yüklerin ortalama güç faktörü genellikle 0,8 den yukarı değer almaktadır.

Yüzde olarak gerilim düşümü $\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$

Çok uzun BTS lerde gerilim düşümünü azaltmak amacıyla ara beslemeye yapılır.

Yüklerin BTS üzerinde düzgün yayılmadığı durumlarda gerilim düşümü hesap edilir .

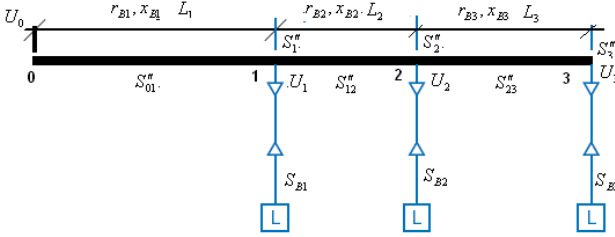


Şekil 6.88. Yüklerin BTS üzerinde düzgün dağılmadığı durum

Gerilim düşümü BTS sistemi boyunca malzeme cinsi ve kesitinin sabit olması durumunda aşağıda verilen ifade kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot [r_B (I_1 \cdot L_1 \cdot \cos \varphi_1 + I_2 \cdot L_2 \cdot \cos \varphi_2 + I_3 \cdot L_3 \cdot \cos \varphi_3) + x_B (I_1 \cdot L_1 \cdot \sin \varphi_1 + I_2 \cdot L_2 \cdot \sin \varphi_2 + I_3 \cdot L_3 \cdot \sin \varphi_3)]$$

Gerilim düşümleri, BTS'den çekilen yüklerin MVA değerleri ve BTS bölümlerinin kısa devre güçleri ele alınarak aşağıda verilen metotla bulunabilir.



Şekil 6.89. BTS den çekilen güçler esas alınarak gerilim düşümünün bulunması

BTS bölümlerinin dirençleri

$$0-1 \text{ bölümü} \quad Z_{01} = L_1 \cdot \sqrt{r_{B1}^2 + x_{B1}^2}$$

$$1-2 \text{ bölümü} \quad Z_{12} = L_2 \cdot \sqrt{r_{B2}^2 + x_{B2}^2}$$

$$1-3 \text{ bölümü} \quad Z_{23} = L_3 \cdot \sqrt{r_{B3}^2 + x_{B3}^2}$$

BTS bölümlerinin kısa devre güçleri

$$0-1 \text{ bölümü} \quad S''_{01} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{01} (ohm)} (MVA)$$

$$0-2 \text{ bölümü} \quad S''_{12} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{12} (ohm)} (MVA)$$

$$0-3 \text{ bölümü} \quad S''_{23} = \frac{U_N^2 (kV)^2}{Z_{23} (ohm)} (MVA)$$

Yüklerin çekildiği noktalardaki kısa devre güçleri

$$1 \text{ noktası} \quad S''_1 = \frac{1}{\frac{1}{S''_{01}}} = S''_{01}$$

$$2 \text{ noktası} \quad S''_2 = \frac{1}{\frac{1}{S''_1} + \frac{1}{S''_{12}}} = \frac{1}{\frac{1}{S''_{01}} + \frac{1}{S''_{12}}}$$

$$3 \text{ noktası } S_3'' = \frac{1}{\frac{1}{S_3''} + \frac{1}{S_{23}''}} = \frac{1}{\frac{1}{S_{01}''} + \frac{1}{S_{12}''} + \frac{1}{S_{23}''}}$$

Yüklerin çekildiği noktadaki gerilimler

$U_0 \approx U_N$ kabul edilerek

$$1 \text{ noktasındaki gerilim } U_1 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1 + S_2 + S_3)} U_N (\text{Volt})$$

$$1 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_1 = U_N - U_1 (\text{Volt})$$

$$1 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_1(\%) = \frac{U_N - U_1}{U_N} \cdot 100$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim } U_2 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1)} \cdot \frac{S_2''}{S_2'' + (S_2 + S_3)} U_N (\text{Volt})$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_2 = U_N - U_2 (\text{Volt})$$

$$2 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_2(\%) = \frac{U_N - U_2}{U_N} \cdot 100$$

3 noktasındaki gerilim

$$U_3 = \frac{S_1''}{S_1'' + (S_1)} \cdot \frac{S_2''}{S_2'' + (S_2)} \cdot \frac{S_3''}{S_3'' + (S_3)} U_N (\text{Volt})$$

$$2 \text{ noktasındaki gerilim düşümü } \Delta U_3 = U_N - U_3 (\text{Volt})$$

$$2 \text{ noktasındaki \% gerilim düşümü } \Delta u_3(\%) = \frac{U_N - U_3}{U_N} \cdot 100$$

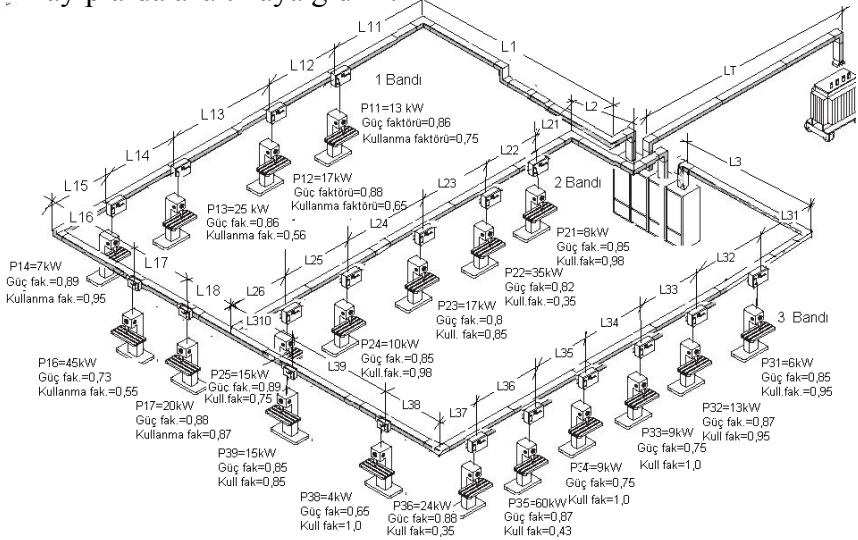
olarak bulunur. Bu metot, BTS sisteminin tamamında bara kesitlerinin aynı kalmayıp yükün miktarına ve besleme noktasına uzaklığına göre bar kesitlerinin azaldığı sistemlerde de kolaylıkla uygulanır.

6.12.10. Büyük endüstriyel tesislerde BTS uygulamaları

Büyük güç sarf eden endüstriyel tesislerde gerek bağlanan cihazların miktarındaki artış, gerekse bu cihazların güçlerinin büyük olması nedeniyle; tek taraflı busbarların, gerek toplam akım miktarlarını karşılamadaki boyutlarının artması ve gerekse bu akım miktarlarındaki güç kayıplarının yüksek derecelere ulaşmasından dolayı; işletme güvenliği ve enerji verimliliği açısından, busbar sistemlerinde çeşitli konfigürasyonlar uygulanır.

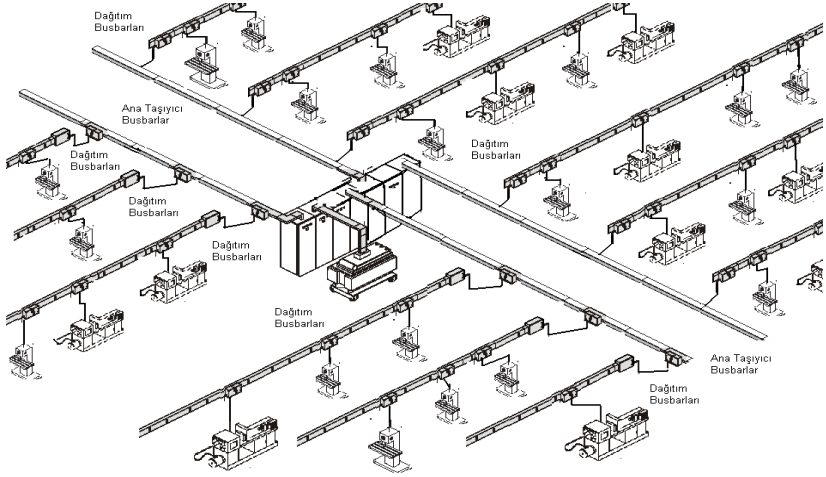
6.12.10.1. Üç taraftan beslenen sistemler

Bu sistemle toplam akım 3' e bölünerek busbar kesitinde ve kayıplarda azaltmaya gidilir.



Şekil 6.90. 3-taraflı besleme sistemi

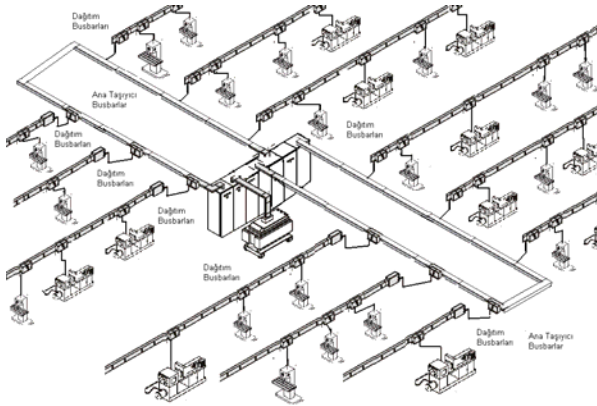
6.12.10.2 Tek taraflı beslenen ana taşıyıcı busbar sistemleri



Şekil 6.91. Tek taraflı beslenen ana taşıyıcı busbar sistemleri

Bu sistemler güç ihtiyacının sadece dağıtım busbarlarının kullanılmasının ihtiyacı karşılayamaması halinde kullanılan sistemlerdir.

6.12.10.3. İki taraftan beslenen ana dağıtım busbarlı sistemler



Şekil 6.92. İki taraflı beslenen ana taşıyıcı busbar sistemi

Bu sistemler gerek güç dağıtımı ve gerilim stabilitesi gerekse güç kayıplarını azaltma açısından çok uygun sistemlerdir.

6.13. Kabloların tesis tasarımı

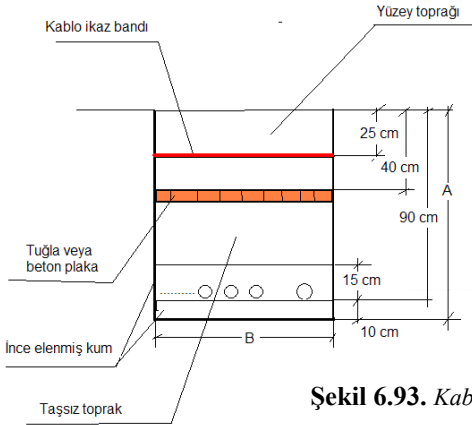
Kablolar yapı ve sistem içinde değişik tiplerde tesis edilirler. Bu tesis edilme şekillerini:

- Toprakta,
 - o Doğrudan kablo kanallarında toprak içine
 - o Toprağa gömülü boruların içine
- Havada ,
 - o Kablo taşıyıcıları ve kablo borularında,
 - o Doğrudan yükseltilmiş taban içine,
 - o Kelepçelerle ve kablo boruları içine

biçiminde sıralayabiliriz.

Güç, enstrümantasyon, kontrol ve haberleşme kablolarının düzenlenmesi ve güzergahlarının hazırlanması diğer tesisatların geçtiği yerler ve araç giriş yolları göz önüne alınarak düzenlenmelidir. Güç kabloları kontrol ve enstrüman kabloları üzerinde olabilecek enterferanslardan sakınmak ve ortadan kaldırmak için ayrı kanallarda döşenmelidir. Dış alanlarda doğrudan toprak içine tesis edilecek kablolar da kablo güzergahları mümkün olduğunca az dönüş yapacak şekilde tesbit edilecektir. Kablo kanalının tabanı taşsız yumuşak zemin olacak ve bu zemin boyunca başka bir

tesisata ait boru veya malzeme bulunmayacaktır. Kablo kanalı 1-kablo için 90 cm derinliğinde açılacak ve kanalın tabanına 10 cm kalınlığında tassız kum serilecektir. Birden fazla tek sıralı kablo serilecekse, diğer güç kabloları ile açıklığı en büyük kablo açıklığı kadar olacaktır. Kablo kanalının yüksekliği en az $A=90$ cm, genişliği ise en az $B=50$ cm olacaktır. Kablo kanalının tertibi, şekilde görüldüğü gibi tek sıralı kablo serilmeden önce kanal tabanına 10 cm kalınlığında elenmiş kum serilecek üzerine, aralarındaki açıklık en yüksek kablo çapı olmak üzere kablolar sıralanacak ve kabloların üzerine 25 cm kalınlığında ince elenmiş kum serilecektir. Kablo kanalının üzerinden itibaren 45 cm kalınlığında taşsız toprak serilecek ve bunun üzerine tuğla veya beton plakaları örülecektir. Sonra kablo kanalı üzerinden 25 cm kalınlığında toprak örtülecek bunun üzerine kablo kanalı ikaz bantları serilecektir. Kalan kısım yüzey toprağı ile kapatılacaktır.



Şekil 6.93. Kablo kanalının tipik boyutları

Meyilli arazilerde, yağmurda toprak erezyon ve kaymasını önlemek için üst katmana yastıklama veya kaymayı önleyici bariyerler (kanal genişliği boyunca tahta veya içine toprak doldurulmuş yastıklarla) konulmalıdır.

Tek sıralı kablo tesisinde, kablo kanalı yüksekliği $A=90$ cm olmakla beraber, B kanal genişliği kablo sayısına göre aşağıda verilen ifade yardımıyla belirlenir:

$$B=(n+1).D +(d_1+d_2+d_3+.....+d_n)$$

Burada

D en büyük kesitli kablonun dış çapı

D_1, d_2, d_3,d_n kanal içindeki kabloların çapları

Genellikle kablo kanalı içinde ikiden fazla katlı kablo tesisi, gerek bakım ve gerekse kontrollerde büyük sıkıntılar ortaya çıkaracağından tesis edilmezler. Güç kabloları ile entrümantasyon kablolarının ayrı kanallarda tesis edilmesi, elektromanyetik uyumluluk ve diğer etkenlerden dolayı (özellikle kablo patlamasında diğer kabloların zarar görmesi ve onarım esnasında diğer kabloları zarar verilmesi riski gibi...) gerekliliktir. Buna rağmen aynı kanal içinde güç kablolarıyla birlikte başka kabloların tesis edilmesi zorunluluğu ortaya çıkarsa

1. Öncelikle yüksek gerilim ve alçak gerilim kabloları farklı katlara tesis edilmeli
2. Aralarındaki açıklıkların belirlenmesinde aşağıda tabloda verilen değerlere uyulmalıdır.

Kabloların tabloda verilen açıklıklara göre boyu aşağıda verilen ifade yardımı ile belirlenir.

$$A= L+90 \text{ cm}$$

Burada L aşağıdaki tabloda verilen emniyet açıklıklarıdır. Bakım ve onarım çalışmaları göz önüne alındığında kanal boyu hiç bir zaman 150 cm'i aşmamalıdır.

Kablo tipi	Açıklık
Yanyana enstrüman kablosu (Exi)	gerekmez
Yanyaya Ex özelliğe sahip olayan enstrüman veya kontrol kablosu	gerekmez
Yanyana veya üst üste Exi enstrüman kablosu ve Ex olmayan enstrüman ve kontrol kablosu	10 cm
Yan yana veya üst üste enstrüman veya kontrol kablosu ve alçak gerilim kablosu	30 cm
Yanyana veya üst üste alçak gerilim kabloları	en yüksek kablo çapı (5 cm'den daha fazla olamaz)
Yanyana veya üst üste orta gerilim kablosu ve kontrol kablosu	80 cm
Yanyana alçak gerilim kablosu veya orta gerilim kablosu e	20 cm
Yanyana veya üst üste orta gerilim kabloları (3-faz tek damarlı kablolar ve farklı devreli 3-damarlı ve tek damarlı kablolar)	7 cm

Tablo 6.74. *Değişik tip kabloların tesis edilmesinde birbirlerine olan minimum açıklıkları*

6.13.1. Kablolarda izin verilen bükülme yarıçapları

Kablolar tesis edilirken dönüş noktalarında belirlenen yarıçaplardan daha az miktarda bükülmelerine izin verilmez. İzin verilen bükülme yarıçapları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

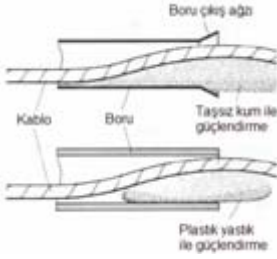
	Kağıt izolasyonlu kablolar		Plastik izolasyonlu kablo	
	Kurşun kılıflı	Yumuşak alüminyum kılıflı	$U_0/U \leq 0,6/1 \text{ kV}$	$U_0/U > 0,6/1 \text{ kV}$
Çok damarlı kablo	$15 \cdot d$	$25 \cdot d$	$12 \cdot d$	$15 \cdot d$
Tek damarlı kablo	$25 \cdot d$	$30 \cdot d$	$15 \cdot d$	$15 \cdot d$

d Kabilonun dış çapı (imalatçı kataloglarından belirlenecek).

Tablo 6.75. *Kablolarda izin verilen bükülme yarıçapları*

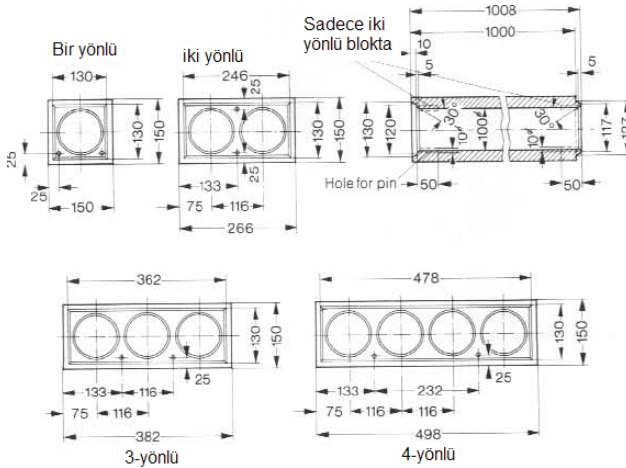
6.13.2. Kabloların beton boru içinde toprakta tesis edilmesi

Kabloların yol geçişlerinin ve diğer geçişlerin altına döşenmesi durumunda veya bina girişlerinde sert plastik, beton veya çelik boru içinden geçirilmesi gerekliliği ortaya çıkabilir. Bina girişleri içinde beton temellere gömülecek sert plastik boruların çapı 160 mm ve kalınlığı 6 mm'den aşağı olmamalıdır. Bu tesisat borularının uzunluğu 6 metreyi aşmamalıdır. Eğer uzun mesafeli tesisat borularının yerleştirilmesi ve dönüşlerin gerektirdiği durumlarda kablo çekimini sağlamak amacıyla 6m aralıklarla ve dönüş yerlerinde rögarlar (manhole, handhole) tesis edilmelidir. Boruların içinden tek güç devresine ait kablolar yerleştirilmeli, diğer devreler için farklı borular kullanılmalıdır. İlerdeki gelişmeler ve genişlemeler göz önüne alınarak yeterli sayıda tesisat boruları yerleştirilmelidir. Bina girişlerinde boru ağızları, bina içine su girmesini önlemek amacıyla poliüretan veya diğer suya dayanıklı sentetik maddelerle kapatılmalıdır. Plastik ve çelik borular arasındaki açıklık 5 cm'den az olmalıdır. Kabloların boru içinde tesis edilmesi durumunda boruların çıkışlarındaki keskin yüzeyler giderilmeli kablo güvenliği için gerekli tedbirler alınmalıdır.

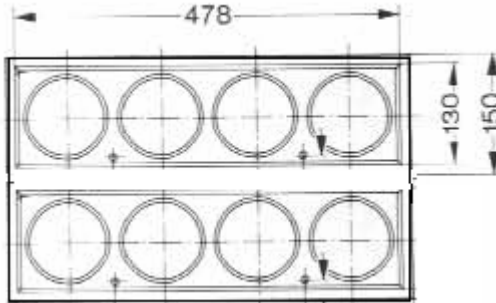


Şekil 6.94. Kabloların boru uçlarından çıkışlarının düzenlenmesi

6.13.3. Kablo beton boru blokları



Şekil 6.95. Kablo tek sıralı boru blokları



Şekil 6.96. Kablo çift sıralı boru blokları

6.14. Kablo taşıyıcıları

6.14.1. Payanda ve tutucu bağlantıları

Ana yükleniciden onay alınmaksızın binanın herhangi bir yeri veya bir bölümü kesilmeyecek ve delinmeyecektir. Aynı şekilde kablo taşıyıcıların projeleri hazırlanırken, bu taşıyıcılara ait güzergah belirlenmesinde ve bağlantı ve payanda yerlerinin belirlenmesinde ana yüklenici ve diğer proje disiplinleri ile koordinasyon sağlanacaktır. Kablo taşıyıcılarının bağlantılarını tesis etmek için, öncelikle kablo taşıyıcılar için gerekli yüksekliğin belirlenmesi gerekir. Montaj sırasında gerekli hızı sağlamak açısından askı ve bunlara ait bağlantı somunlarının boyutlarının ve payanda şekillerinin önceden ve dikkatlice tesbit edilmesi gerekir.

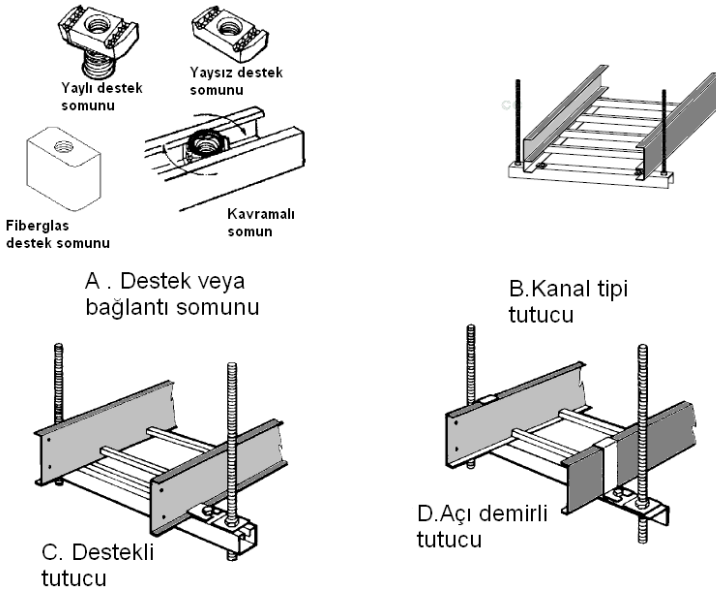
6.14.2. Kablo taşıyıcıları ve tutucuları

Kablo tutucularına ait tutucu ve payandaların kablo taşıyıcının içinde bulunan kabloların yük gerekliliklerini karşılayacak dayanıklılıkta olması gereklidir. Bu nedenle kablo taşıyıcılarının tasarımı yapılırken taşıyacağı ve ilerde ilave olarak tesis edilme ihtimali olan diğer kabloların ağırlıkları göz önüne alınarak tutucu ve bağlantı sayıları, bunların arasındaki mesafe ve bağlantı yerleri belirlenir. Bu yapılırken imalatçı kataloglarından taşıyıcı elemanların karakteristik değerleri dikkate alınır.

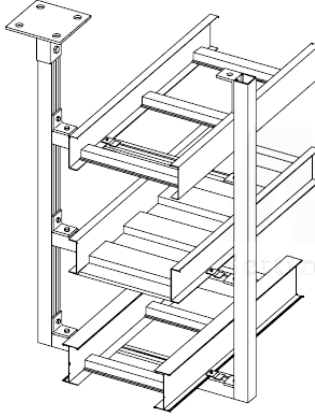
6.14.2.1. Trapez tip tutucu

Tesis edilmesi:

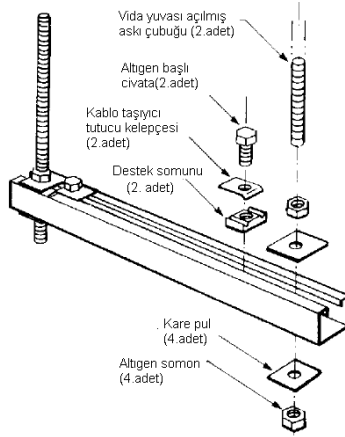
- Kablo taşıyıcısının tabanından itibaren yukarı doğru askı çubuğu üzerinde 50 mm kadar bağlanacak somunun boyutuna göre diş açılacak
- Bağlantı elemanının ayarlanmasını sağlayan kaydırıcı ve kare pulun ikinci ayarı,
- Diş açılmış çubuk üzerinden somun vasıtasıyla ikinci ayar,
- Çapraz kablo taşıyıcısının altındaki yüzey üzerinde hareket ettirerek taşıyıcının düzenlenmesinin sağlanması,
- Civatanın çapraz elemana kadar çevrilerek taşıyıcı elemanın sabitlenmesi,
- Çapraz taşıyıcı elemanın seviyesinde olduğundan emin olunması sağlanır.



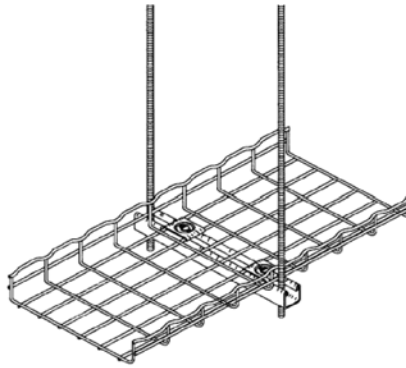
Şekil 6.97. Kablo taşıyıcılarına ait trapez tutucu ve bağlantı tipleri



Şekil 6.98. Grup olarak kablo taşıyıcılarının payandalı tutucular vasıtasıyla askılı düzenlenmesi

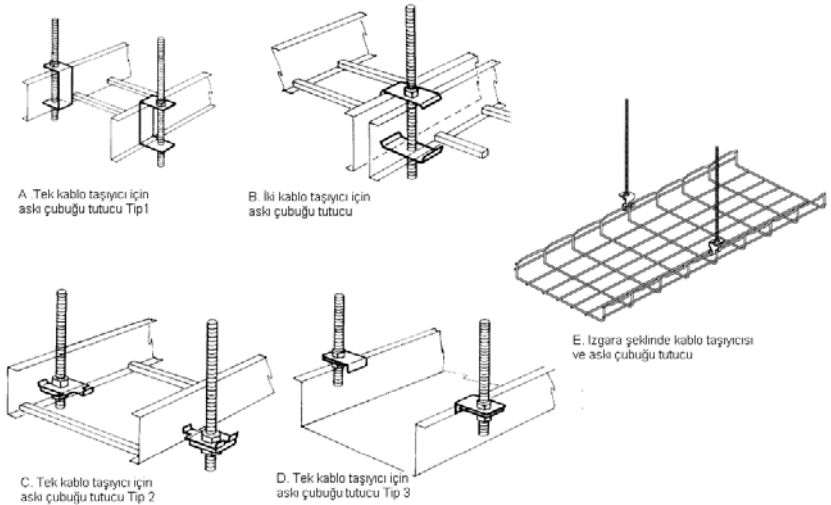


Şekil 6.99. Trapez askı tutucu takımının parçaları



Şekil 6.100. *Izgara şeklinde kablo taşıyıcısı ve trapez askı tutucu takımı*

6.14.2.3. Askı çubuğu tutucu

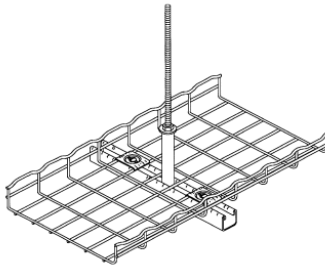


Şekil 6.101. Askı çubu tutucu montaj şekilleri

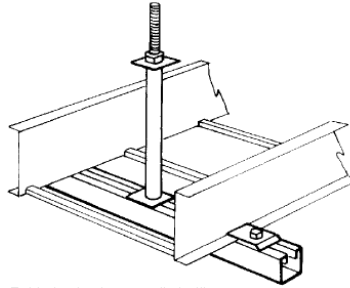
Tesis edilmesi

- a. Kablo tavaşı altından yukarı doğru askı çubuğu boyunca takılacak somunun boyutuna göre 225 mm yüksekliğe kadar dış açılır.
- b. Kablonun ray tarafına kelepçe yerleştirilir.
- c. Kablo taşıyıcısı belirlenen yüksekliğe kadar kaldırılır.
- d. Son seviye düzenlemeleri yapıldıktan sonra somunlar vasıtasıyla sıkılır ve üst somunla sabitlenir.

6.14.2.4. Merkezi askı tutucu



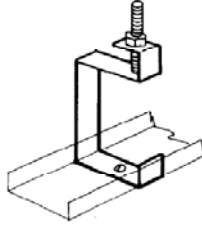
A. Merkezi askı tutucu ile bağlı
izgara şeklinde kablo taşıyıcı



B. Merkezi askı tutucu ile bağlı
kablo taşıyıcısı

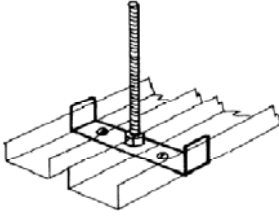
Şekil 6.102. Merkezi askı tutucu montaj şekilleri

6.14.2.5. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu



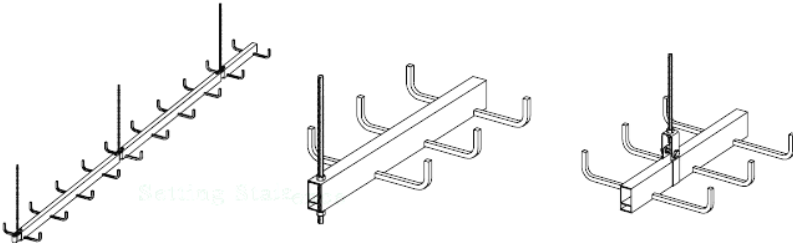
Şekil 6.103. Tek kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu

6.14.2.6. İki kanallı kablo taşıyıcı askı tutucusu



Şekil 6.104. İki kanallı kablo taşıyıcısı askı tutucusu

6.14.2.7. Tek raylı kablo askı tutucuları



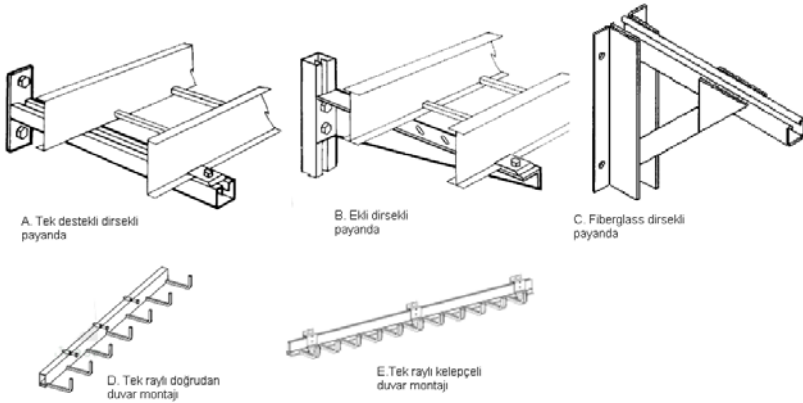
A. Çoklu eklemeli
askı tutucuları

B. Omurgalı
askı tutucuları

C. Çatal
askı tutucuları

Şekil 6.105. Tek raylı askı tutucuları

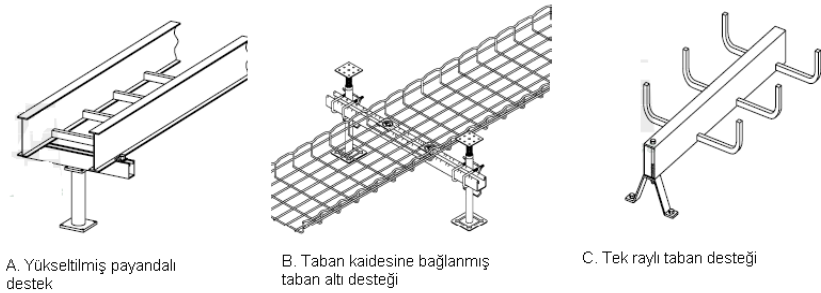
6.14.3. Kablo taşıyıcı payandaları



Şekil 6.106. Payandalı kablo taşıyıcı montajları

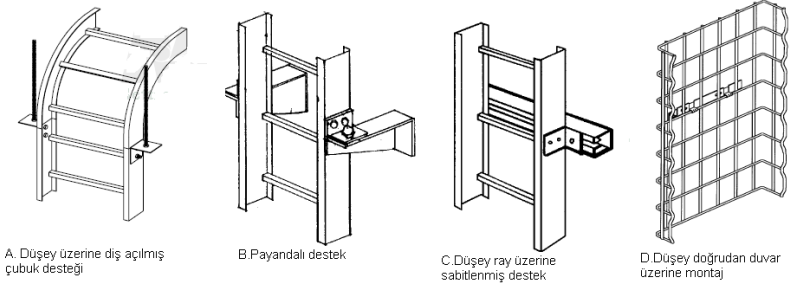
6.14.4. Taban ve çatı tesisleri

Kablo taşıyıcılar, doğrudan taban ve çatı zeminleri üzerine yerleştirilmeyip zeminden yeterli yüksekliklerde destekler üzerine yerleştirilirler.



Şekil 6.107. Çatı ve taban payanda ve destekli kablo taşıyıcı montajları

6.14.5. Düşey uygulamalar



Şekil 5.108. Kablo taşıyıcılarının düşey olarak tesisi

6.14.5. Kablo taşıyıcılarının doğrusal tesisi

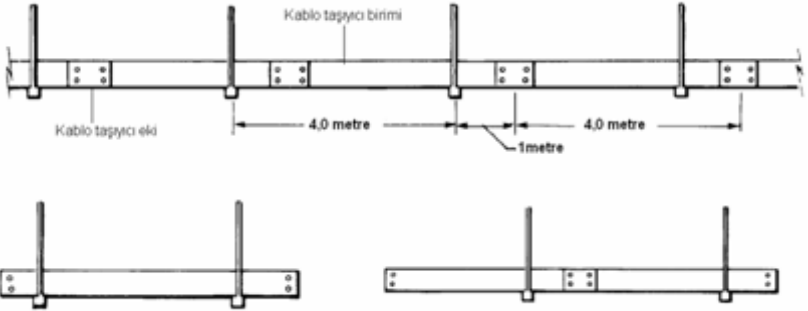
Kablo taşıyıcılarının doğrusal olarak montajında taşıyıcılar birbirleri ile aşağıda verilen tork değerlerinde civatalarla sıkılarak birleştirilirler. Civatalar çinko kaplı veya kadmiyum kaplı veya paslanmaz çelikten olacaktır

Metrik .Sınıf 5.8	
Boyut	N-m
M8 x 1.25	14-16
M10 x 1.5	26-33
M12 x 1.78	45-58

Tablo 6.76. Birleştirme civatalarının sıkma tork değerleri

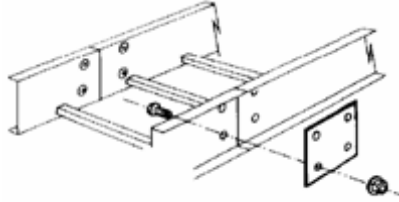
6.14.5.1. Doğrusal bölümde pozisyonlama

Kablo askı veya payandalı tutucular yerleştirildikten sonra kablo taşıyıcılarının tesisine başlanabilir.



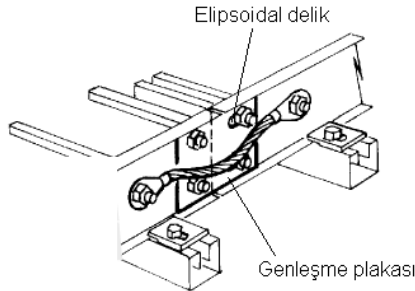
Şekil 6.109. Kablo taşıyıcısı bağlantıları (doğrusal pozisyonlama)

Kablo taşıyıcılarının doğrusal pozisyonlaması yapılırken mutlaka imalatçı firma kataloglarında verilen ölçülendirmelere ve tavsiyelere kesinlikle uyulmalıdır.



Şekil 6.110. kablo taşıyıcısı ekinin yapılması

6.14.5.2. Genleşme ek plakaları



Kablo taşıyıcıları tesis edilirken sıcaklık

Şekil 6.111 . Genleşme plakasının montajı

değişmelerinin yol açtığı metallerin uzamaları ve kısaltmaları mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle kablo taşıyıcıları belirli mesafelerde birleştirilmeleri genleşme plakaları vasıtasıyla yapılmalıdır. Genleşme noktaları arasındaki açıklık tesis ortamındaki yıllık sıcaklık farkına göre aşağıdaki Tablo 6.77 ye göre belirlenir.

Sıcaklık farkı	Çelik	Aluminyum	Fiberglas
(°C)	(m)	(m)	(m)
(14)	(156)	(79)	(203)
(28)	(78)	(40)	(102)
(42)	(52)	(27)	(68)
(56)	(39)	(20)	(51)
(70)	(31)	(16)	(41)
(83)	(26)	(13)	(34)
(97)	(22)	(11)	(29)

Tablo 6.77. Ortam sıcaklık farkına göre farklı materyallerden yapılan kablo taşıyıcılarının düzenlenmesinde genleşme bağlantıları arasındaki açıklık.

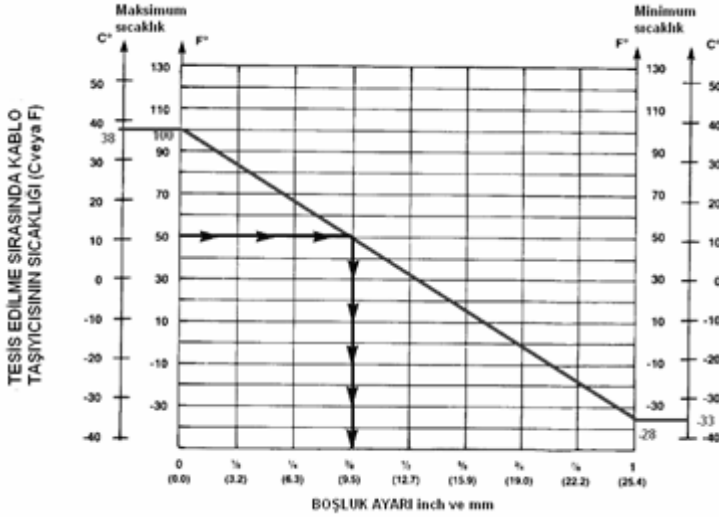
Sıcaklık farkı belirlenirken tesisin bulunduğu ortamın yıllık en yüksek sıcaklığı ve en düşük sıcaklığı arasındaki fark göz önüne alınır. Kablo taşıyıcısı genleşme bağlantısının arasındaki orta noktasına yakın yerde tutucular tarafından sabitlenir. Diğer bağlantı yerleri genleşme kılavuzları (genleşmeye uygun serbest bağlantılı tutucu) tarafından emniyet altına alınır.



Şekil 6.112. Sabit bağlantılı tutucu ve genleşmeye uygun serbest bağlantılı tutucu

Kablo taşıyıcılarının sabitlenen noktadan her iki yöne genleşmeden dolayı oluşacak hareketinin sağlanması gerekir. Genleşme bağlantılarının uygun bir şekilde çalışması için bağlantının yapılacağı yerde kablo taşıyıcısının iki parçası arasında uygun doğrulukta boşluk bırakılması gerekir. Şekil

6.113'den faydalanarak aşağıda açıklanan örneğe göre montaj sırasında boşluk bırakılır.



Şekil 6.113. Genleşme ek plakasının boşluk ayarı

Genleşme boşluğunun tayini için aşağıda açıklanan işlem sırası uygulanır.

a. Tesis ortamında ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık derecesi işaretlenir.

Örneğin, 100°F (38°C)

b. Tesis ortamında ulaşılabilecek en düşük sıcaklık derecesi işaretlenir.

Örneğin, -28°F (-33°C)

c. Maksimum ve minimum noktalar arasında bir doğru çizilir

d. Tesis sırasındaki sıcaklık derecesi işaretlenerek ya da eksene paralel bir doğru çizilir; doğrunun maksimum ve minimum arasında çizilen doğruyu kestiği noktadan, düşey doğruya paralel bir doğru daha çizilir; bu doğrunun yatay eksenini kestiği noktada okunan değer montaj sırasında

bırakılacak genleşme boşluğu değeridir. Örnekte bu değer 9,5 mm dir.

Genleşme ek yerleri yapılırken:

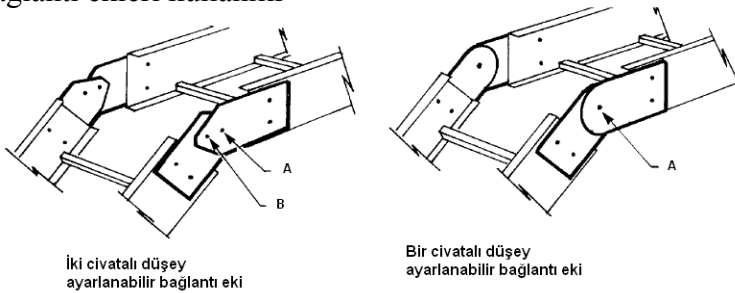
1. Maksimum ve minimum sıcaklıklar olarak yılın en yüksek ve endüşük sıcaklıkları esas alınır.
2. Tasarım sırasında bu genleşme boşlukları 16 mm olarak göz önüne alınacaktır.

Metal kablo taşıyıcıların genleşme bağlantısında elektriksel süreklilik için Şekil 6.113’de verilen bağlantının yapılması gerekmektedir.

Genleşme bağlantısının herbirinin her iki tarafına 600 mm mesafede tutucu yerleştirmek gerekmektedir. Genleşme aralığı 25 mm’yi aşmamalıdır.

6.14.5.3. Düşey ayarlanabilen bağlantı ek plakaları

Düşey yöndeki değişimlerde dönüş elemanına gerek olmayıp, bağlantı ekleri kullanılır



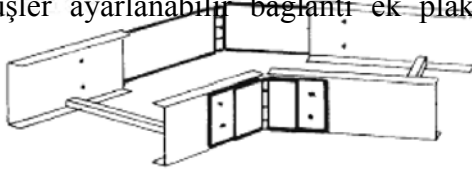
Şekil 6.114. Düşey ayarlanabilir ek plakaları

Tutucular düşey ayarlanabilir bağlantı eklerinin her iki tarafına bunlardan 600mm mesafede yerleştirilmelidir. Metal

kablo taşıyıcıları için gerekli elektriksel sürekliliğini sağlamak için atlama bağlantıları yapılmasına gerek duyulmaktadır.

6.14.5.4. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakaları

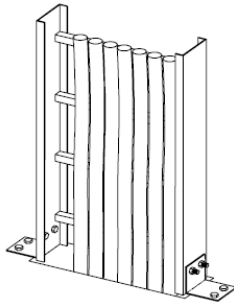
Yatay yöndeki değişimler için dönüş ek bağlantılarına gerek yoktur. Bu dönüşler ayarlanabilir bağlantı ek plakalarıyla gerçekleştirilir.



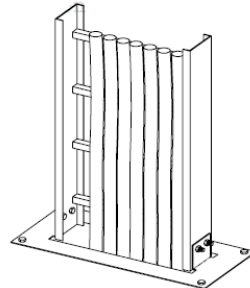
Şekil 6.115. Yatay ayarlanabilir bağlantı ek plakası

Metal kablo taşıyıcıları için gerekli elektriksel sürekliliğini sağlamak için atlama bağlantıları yapılmasına gerek duyulmaktadır.

6.14.6. Kablo taşıyıcılarının panoya veya döşemeye giriş bağlantı plakaları



Kablo kanalının panoya /döşemeye giriş bağlantısı

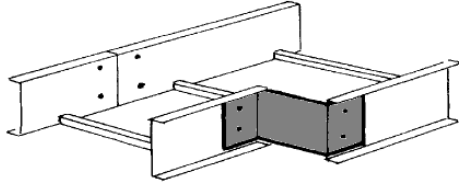


Kablo taşıyıcısının panoya giriş birleştirme plakası

Şekil 6.116. Kablo taşıyıcılarının panoya ve döşemeye bağlantı şekilleri

6.14.7. Kablo taşıyıcısı redüksiyon (kesit azaltma) bağlantısı

Kablo taşıyıcısı genişliğinin değiştirilmesinde bu bağlantı kullanılır.

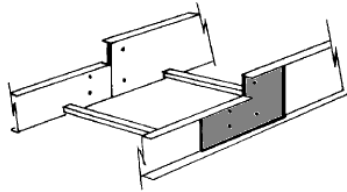


Şekil 6.117. Kablo taşıyıcısı redüksiyon bağlantı ek plakası

Tutucular redüksiyon bağlantı eklerinin her iki tarafına bunlardan 600 mm mesafede yerleştirilmelidir

6.14.8. Kablo taşıyıcısı yüksekliğini azaltma bağlantı ek plakaları

Değişik yüksekliğe sahip kablo taşıyıcılarının birbirleriyle bağlantısında kullanılır.



Şekil 6.118 . Değişik yükseklikteki taşıyıcıların birbirleri ile bağlantısı

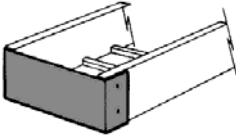
Düşey tutucu plakaları

Düşey genişleme bağlantıları kuvvetlendirmek için kullanılır.



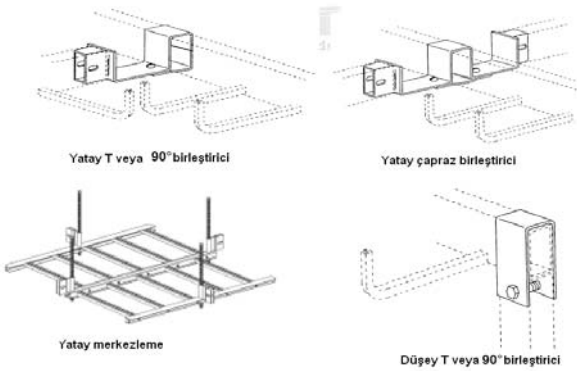
Şekil 6.119. Düşey tutucu plakaları

6.14.10. Sonlandırma plakaları



Şekil 6.120. Sonlandırma plakası

6.14.11. Tek raylı kablo taşıyıcısında montaj birleştiricileri



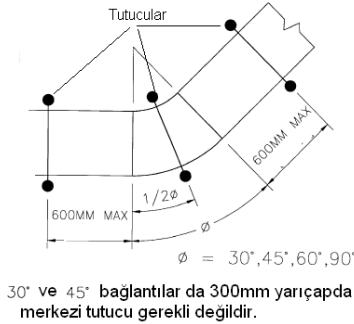
Şekil 6.121. Tek raylı kablo taşıyıcıların birleştirme şekilleri

6.14.12. Bağlantı tesisleri

6.14.12.1. Bağlantılar için tavsiye edilen tutucu yerleri

Kesinlikle üretici firmanın tavsiyeleri göz önünde bulundurulacaktır.

6.14.12.2. Yatay dirsek tutucuları

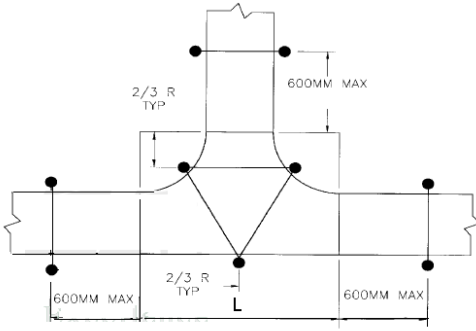


Şekil 6.122. Yatay dirsek için tutucu yerleri

Yatay kablo taşıyıcı bağlantılarında tutucular her bir bağlantının çıkışlarında 600m açıklık içerisinde aşağıda açıklanan şekilde yerleştirilmelidirler.

- Yayın 45° noktasında 90° açıda tutucu .
- Yayın 30° noktasında 60° açıda tutucu.
- Yayın 22-1/2° noktasında 45° açıda tutucu (300 mm yarıçap hariç).
- Yayın 15° noktasında 30° açıda tutucu

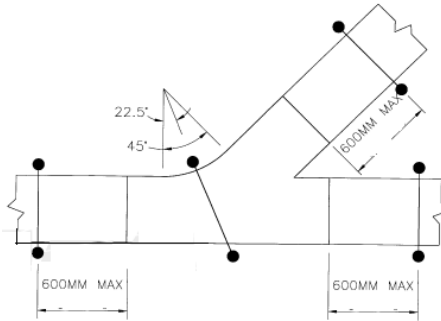
6.14.12.3. Yatay T bağlantısı tutucuları



bağlantılar da 300mm yarıçapda
merkezi tutucu gerekli değildir.

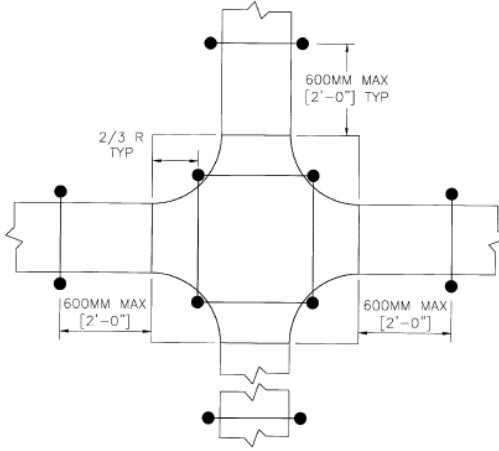
Şekil 6.123. T bağlantısı ve tutucuları

6.14.12.4. Yatay Y bağlantısı tutucuları



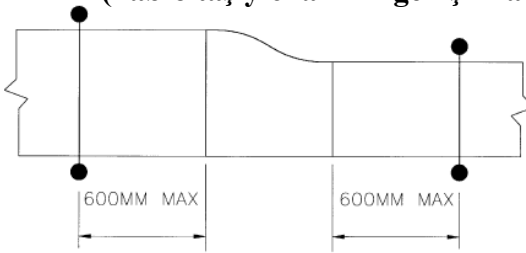
Şekil 6.124. Yatay Y bağlantısı

6.14.12.5. Yatay 4lü geçiş bağlantıları tutucuları



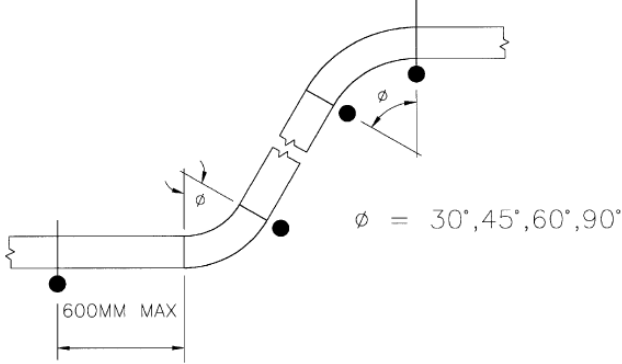
Şekil 6.125. Yatay 4 lü geçiş

6.14.12.6. Redüksiyon bağlantıları (kablo taşıyıcılarının genişlik azaltma)



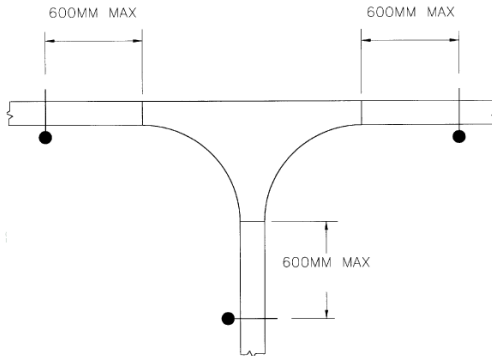
Şekil 6.126. Kablo taşıyıcıları redüksiyon bağlantısı ve tutucuları

6.14.12.7. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri



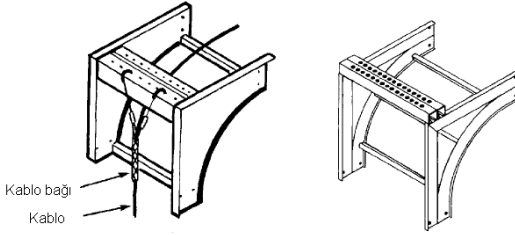
Şekil 6.127. Düşey kablo taşıyıcı dirsekleri ve tutucuları

6.14.12.8. Düşey kablo taşıyıcıları T bağlantıları



Şekil 6.128. Kablo taşıyıcıları düşey

6.14.12.9. Kablo destek bağlantıları

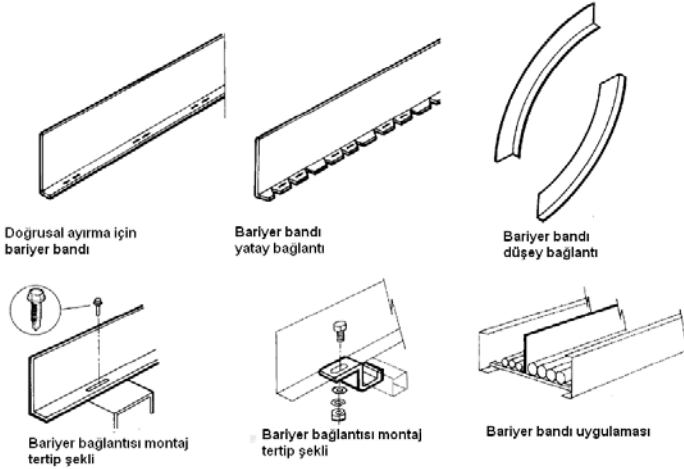


Şekil 6.129. Düşey kablo destek bağlantıları

6.14.13. Aksesuarlar

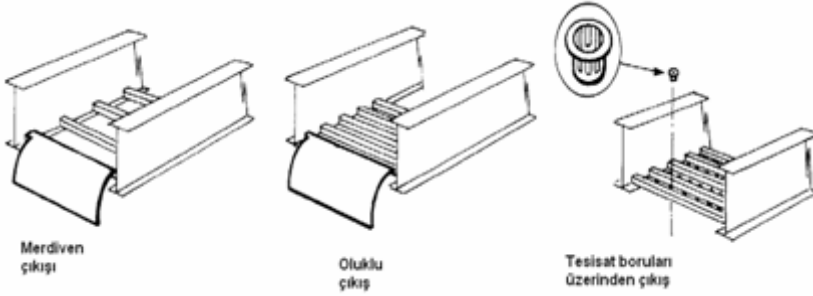
6.14.13.1. Bariyer bantları

İki farklı kablo tipinin birbirine olan etkisini hafifletmek veya ortadan kaldırmak için ayrı tipte kabloların kablo taşıyıcıları içinde ayırmada kullanılır.



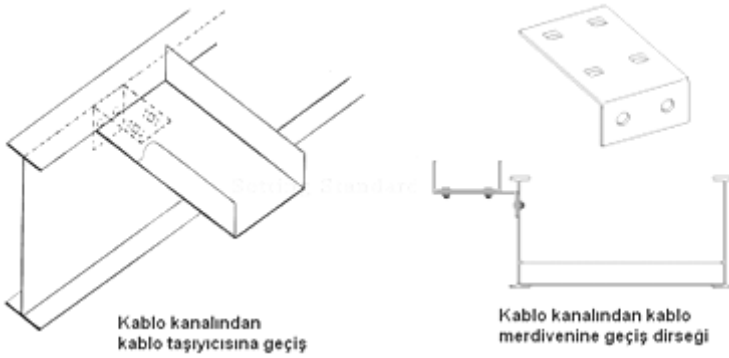
Şekil 6.130. Kablo taşıyıcılarında bariyer bantlarının kullanımı

6.14.13.2. Kablo taşıyıcılarından çıkışlar



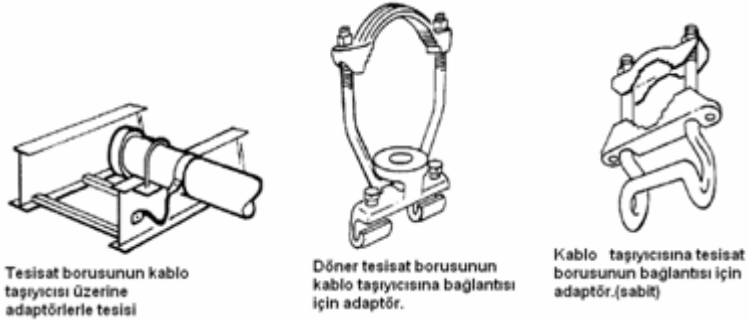
Şekil 6.131. Kablo taşıyıcı üzerinden çıkışlar.

6.14.13.3. Kablo kanalından kablo taşıyıcısına geçiş



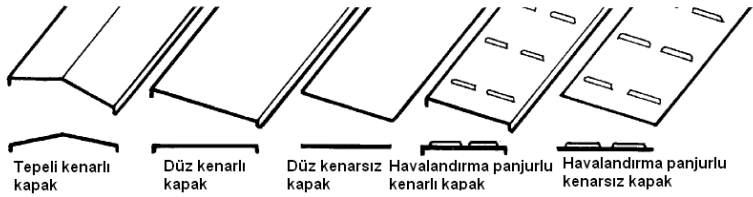
Şekil 6.132. Kablo kanalı kablo taşıyıcıları geçişleri

6.14.13.4. Kablo tesisat boruları ile kablo taşıyıcıları arasındaki adaptörler

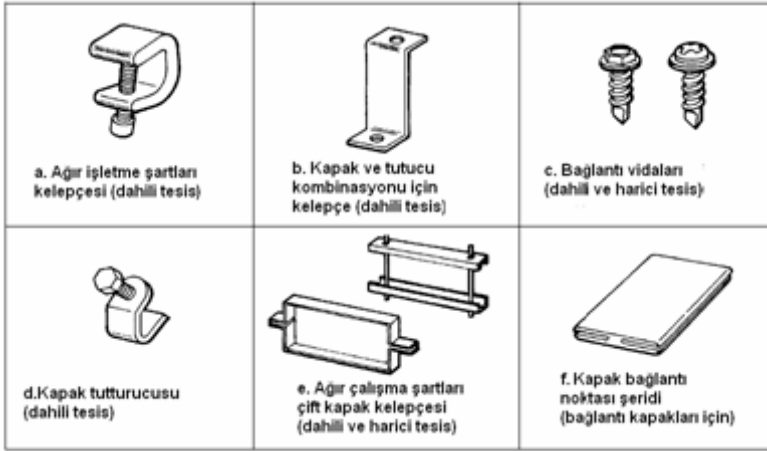


Şekil 6.133. Kablo taşıyıcılar üzerine kablo tesisat borularının bağlantısı ve adaptörler.

Kablo taşıyıcı kapakları ve bağlantı kelepçeleri



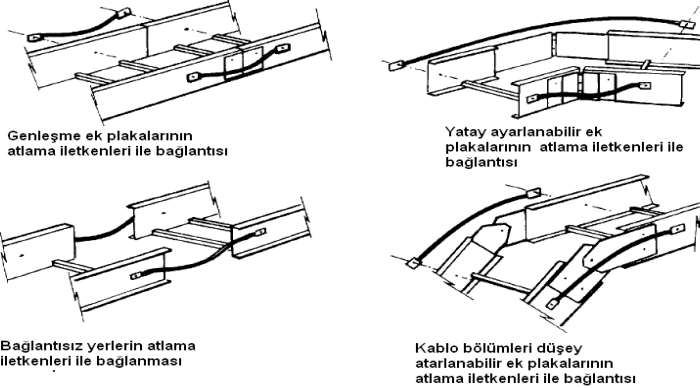
Şekil 6.133. Kablo taşıyıcıları kapakları



Şekil 6.135. Kablo kapak kelepçeleri

6.14.14. Topraklama ve bağlantılar

Kablo taşıyıcıları topraklanırlar ve özel alanlarda kablo taşıyıcı elemanlarının birleştiği yerlerde ilave atlama iletkenler vasıtasıyla birbirlerine bağlanırlar. Metalik olmayan kablo taşıyıcılarının kendileri iletken olarak işlev göremezler. Örgülü kablo taşıyıcıları ekipman topraklamasında kullanılmazlar.



Şekil 6.136. Kablo taşıyıcılar ek yerlerinin elektriksel sürekliliği sağlamak amacıyla atlama iletkenleri ile bağlantısı.

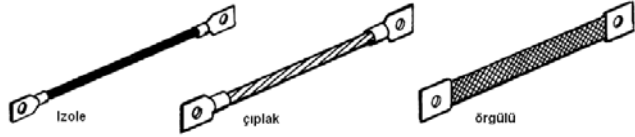
6.14.14. Ayrı topraklama bağlantı hatlı tesis edilen kablo taşıyıcıları

Bu durumda ayrı bir topraklama hattı kablo taşıyıcıları üzerine topraklama iletkeni bağlama kelepçeleri vasıtasıyla tesis edilir.



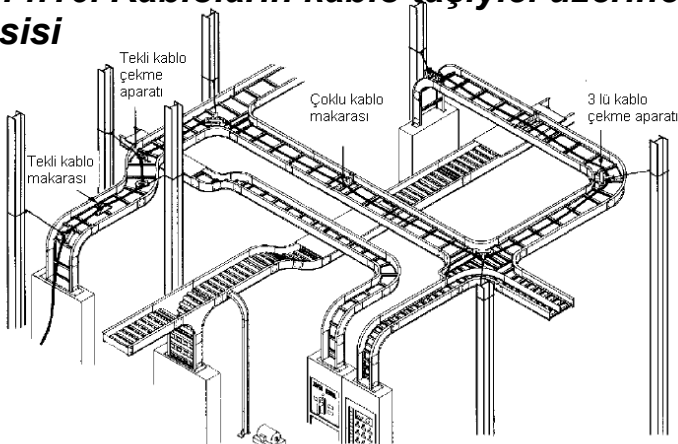
Şekil 6.137. Topraklama kelepçeleri

6.14.15. Atlama bağlantıları



Şekil 6.138. Atlama bağlantı tipleri

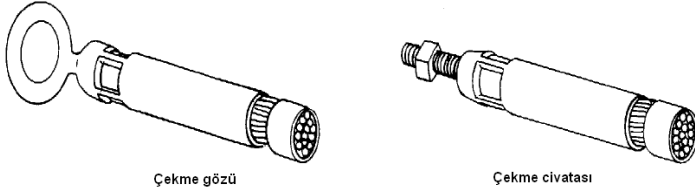
6.14.16. Kabloların kablo taşıyıcı üzerine tesisi



Şekil 6.139. Kabloların kablo taşıyıcıları üzerine tesisi

Kablolar taşıyıcılar üzerinde kablo çekme aparatları ve kablo makaraları kullanılarak yerleştirilirler.

6.14.17. Kablo çekme aparatları



Şekil 6.140. Kablo çekme aparatları

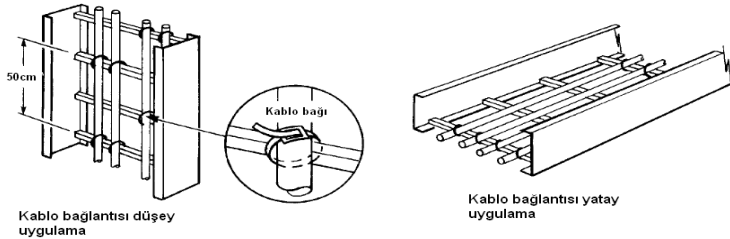
6.14.18. Kablo çekme makaraları



Şekil 6.141. Kablo çekme makaraları

6.14.19. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması

Kablolar kablo taşıyıcılarına kablo bağları ile sabitlenir. Her bir 50 cm'de kabloların kablo taşıyıcılarına bağlanması gerekir.



Şekil 6.142. Kabloların kablo taşıyıcılarına bağlantısı

FAYDALANILAN KAYNAKLAR

1. Electrical Installation Design GuideGroup Schneider
2. Electerical Installation HandbookSiemens
3. Industrial electrical Network Design GuideGroup Schneider
4. Electrical Installation HandbookABB
5. Elektrik Santralleri ve ŞebekeleriProf.Dr. Mustafa BAYRAM
6. Orta Gerilim ŞebekeleriProf. Dr. Mehmet İNAN
7. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri El Kitabı.....T.Odabaşı
8. ETMD Dergisi 2005-2006 dönemi sayıları

SON SÖZ

Bu notların hazırlanmasında 2009'da yitirdiğimiz Sayın M.Turgut Odabaşı'nın değerli katkılarını anmadan geçemeyiz. Botaş'ta Elektrik Mühendisliği yapmakta olan Turgut Odabaşı, çeşitli kaynaklardan hazırladığı notları önce Elektrik Tesisat Mühendisleri Dergisinin çeşitli sayılarında meslektaşlarına yararlı olmak üzere yayınladı. Nur içinde yatsın.

Kendisinin hazırladığı notlardan yararlanarak, notlarının bir kısmını Bileşim Yayınevi aracılığı ile yayınlamıştık. Onun notlarından ve diğer kaynaklardan yapacağımız diğer derlemeleri ise EMO kanalıyla yayınlanması kendi isteği idi. Ancak bu isteğini hemen gerçekleştirmek mümkün olmadı.

Elektrik Tesisat Notları olarak, Sayın Odabaşı'nın değerli çalışmasından da yararlanarak hazırladığımız bu derlemenin EMO kanalı ile yayınlanması için başından beri desteğini esirgemeyen Orhan (Örücü) Ağabeyimize, derlemenin hazırlanmasında katkılarından dolayı Emre (Metin) ve Hakkı (Ünlü) kardeşlerime teşekkürü borç bilirim.

Bu tür mesleki yayınların e-kitap olarak çok düşük bedeller ile meslektaşlarına kazandırmak için bu yayın portalını oluşturma kararı alan 42. Dönem EMO Yönetimine öncü rolünden dolayı teşekkür ederim.

E-Kitabı Derleyen ve Yayına Hazırlayan
İbrahim Aydın Bodur, Hakkı ÜNLÜ

ELEKTRİK KUVVETLİ AKIM (6)

İLETKENLERİN BOYUTLANDIRILMASI

TURGUT ODABAŞI



e-kitap

EMO Yönetim Kurulu 42. Dönem'de(Kasım 2010) bir yayın portalı oluşturdu. Bu yayın portalı üzerinde,daha önce de sürdürmekte olduğumuz, basılı dergilerimizin İnternet sürümleri, basılı kitaplarımızın tanıtımları ve çevrim içi satın alma olanakları ile doğrudan İnternet üzerinden bilgisayarınıza indirebileceğiniz e-kitapları çok düşük bedellerle edinebilme olanağına sahip olacaksınız.

İnternet sitemiz üzerinden e-kitap dağıtım hizmetini, yakında hizmete girecek olan EMO Yayın Portalı'nın öncülü olan, sitemizin yayın bölümünde yer alan e-kitaplarla uzunca bir süredir veriyorduk. Yayınlarımızı izleyenler hatırlayacaktır, ilk e-kitabımız, EMO üyesi Arif Künar'ın "Neden Nükleer Santrallere Hayır" kitabının PDF baskısıydı. Hükümetin Akkuyu'da nükleer santral kurma inadı maalesef hala kırlamadı. Dört yıl önce baştığımız bu kitap hala güncel!....

EMO'nun İnternet sitesi üzerinden hizmete giren bu yeni sitemizde yeni e-kitaplarla hizmete açıldı. Sizlerde varsa yayınlamak istediğiniz kitaplarınızı, notlarınızı bize iletebilirsiniz. Bu yayınlar yayın komisiyonumuzun değerlendirmesinden sonra uygun bulunursa yayınlanacak ve eser sahibine EMO ücret tarifesine göre ücret ödenecektir. E-Kitaplar tarafımızdan yayımlandıkça üyelerimize ayrıca eposta ile iletilecektir.

Saygılarımızla

Elektrik Mühendisleri Odası
42. Dönem Yönetim Kurulu

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası

İhlamur Sokak No:10 Kat:2 Kızılay/Ankara

Tel: (312) 425 32 72 Faks: (312) 417 38 18

<http://www.emo.org.tr> E-Posta: emo@emo.org.tr

EMO YAYIN NO:EK/2011/10