

ELEKTRİK İLETGENLERİ, APARATLARI VE MAKİNALARININ ISINMASI*

Çeviren: Hüseyin Nadir
Elektrik Mühendisi

Akım geçen bir iletgende ısıya çevrilen elektriksel güç Nv (Juole ya da güç kaybı) önce onda sıcaklık yükselişine yol açar. Isınmanın başlangıcında akım iletgeninin çevresinde $t?$ sıcaklığı vardır. Isınmadan sonra çevreye hiç sıcaklık yayılmazsa, yani iletgenin çevresi ideal bir ısı geçirmez tarafından çevrilse, o zaman sıcaklık küçük akımlarda bile sürekli şekilde zamana bağlı olarak yükselecektir.

G , iletgen ağırlığı, c sıcaklık katsayısı, d sıcaklık ve $d - \bullet$ iletgenin sıcaklık yükselişi ise, iletgende biriken ısı

Bu sıcaklık birikimi, " t " zamanında bir Nv kayıp gücünde oluşur, juol kanununa göre

$$0 = 0.239.Nv.t \quad (\text{çal}) \quad (2)$$

yukarıdaki formüller eşitlenmek suretiyle

* Bu yazı, "Grundlagen der Elektrotechnik" adlı kitaptan çevrilmiştir.

$G.c (t? - t?) = 0,239.Nv.t$ bulunur.

Buradan sıcaklık yükselişi

m o

olur ki zamanla değişkendir.

Fakat söylendiği gibi, çevreye hiçbir ısı iletilmediği zaman yani doğrudan doğruya bağlandıktan sonra, sıcaklık henüz hiç yükselmediği zaman, bu böylece uzun zaman sürer (kısa süreli yük). Ancak çoğalan sıcaklıkla ortaya çıkan ısının bir kısmı çevreye yayılır. Bu sıcaklık akımı, sabit şartlarda iletgenle onun çevresi arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyükse o kadar kuvvetli olur. Elektrik akımı ve dolayısıyla de onun usule getirdiği sıcaklık değişmezse o zaman belli bir d max son sıcaklıkta, tüm ortaya çıkan sıcaklık sonunda çevreye yayılır. O zaman sıcaklık yükselişi hiçbir şekilde sürmez, sıcaklıkta belli bir kararlı durum ortaya çıkmıştır. Bu hale, *sürekli yükleme* denilir.

Sıcaklığın çevreye geçişi, ısı iletimi ve radyasyonla (strahlung) olmak üzere iki şekilde meydana gelir. Burada, ısının molekülden moleküle zincirleme yayılabildiği bir çevre kabul edilir. Böyle bir akıma "*dokunma yahut konveksiyon akımı*" denir. Bu şekil sıcaklık akımı, elektrik makina ve apartmanlarının ısınmasında rastlandığı üzere genellikle küçük sıcaklık farklarında ortaya çıkar. Çok yüksek sıcaklıklarda yaklaşık koyu kırmızı kor ateşinin başlaması ile, asla çevreye sıcaklık iletmeyi gerektirmeyen ve hatta, ısıtıcı telinde usule gelen ısıyı hemen hemen yalnız radyasyonla çevreye ileten akkor flamanlı lambada en iyi şekilde müşahade edilebildiği üzere hava boşluğu ortamından da geçebilen sıcaklık akımının ikinci şekli olan radyasyon üstün gelir.

Fakat bütün hallere göre, ısınmış teldeki ısı akımının, elektrik akımındaki ohm kanununa benzerlik gösteren belli bir kanuna göre çevresine yayıldığı tesbit edilebilir. Sıcaklık akımı, ya (çal) cinsinden bir saniyede çevreye yaydığı ısı, ya da buna uygun olan Nv güç kaybı ile adlandırılır. Isı akışının nedeni, akım geçen iletgen ile doğrudan doğruya onun çevresi arasındaki sıcaklık farkıdır. Biz burada onu $\$j$ "iç aşırı sıcaklık" olarak işaret etmek istiyoruz. O elektrik akım devresinin EMK'sına ya da kaynak gerilimine benzemektedir. Sıcaklık akımı çoğu kez bir çok yerlerden geçecektir. Zira akım iletgen i (örneğin bir cihazın ya da maki narı m bobini) mekan içinde çıplak ve boşlukta değildir. Çoğu kez bir izole maddesi ve ısıyı geçirmesi gereken diğer cisimler tarafından da çevrilmiştir. Onun önlenmez şekilde yayılabildiği ilk yer o zaman çevresindeki havadır. Dış yüzey ile onun çevresi arasındaki

sıcaklık farkını yine $t_1 - t_2$ "dış aşırı sıcaklık" olarak işaret etmek istiyoruz.

Nihayet, sıcaklık akımı bir de ısı geçirgenlik niteliğine veyahut onun tersi olan değere yani ısı direncine bağlıdır. Buna göre Ohm kanununda olduğu gibi bir formül ortaya çıkar.

Isı akımı $N_v = \frac{Q}{R_t} \quad (W)$ olur ve buradan R_t (°C) elde edilir.

iç sıcaklık $t_i = N_v \cdot R_t$

R_t ısı direnci, elektriksel dirençde olduğu gibi bizim, iletgen telin çevresini kaplayan ısı izole maddesinin "a" kalınlığı olarak işaret ettiğimiz ısı yolunun uzunluğuna bağlıdır. Biz burada bir de sipesifik bir ısı direnci " g_t " kabul edebiliriz. Bu 1 cm^2 lik yüzeyde 1 cm kalınlığındaki izole maddesinin direncidir. Buna göre *ısı direnci*,

$R_t = g_t \text{ — } (\text{°C/W})$ ifadesine göre bulunur. (4)

Burada F, ısıyı geçiren kesittir.

Sipesifik ısı direncinin ölçü birimi, yukarıdaki ifadeye göre $(\text{— } \sim)$ bulunur.

Aşağıdaki tabloda sipesifik ısı direnci için birkaç değer verilmiştir.

Tablo-3

| Gereç | Bakır Alüminyum | | |
|------------------|-----------------|------|------|
| | g_t | 0,26 | 0,5 |
| Tekstil Ürünleri | Yağ | Hava | |
| 600300 | 500-800 | 2000 | 4000 |

En küçük bir ısı direnci beklenmeyen metaUarde, izole maddesinin direnci yanında, onun direnci ihmal edilebilir.

Bobinlerin Isınması:

örnek olarak akım iletgeni, içerde ve her iki alın yüzlerinde kalın izole maddesinden oluşan, öyle ki ısı sadece bir tabakadan diğerine radyal olarak dışa doğru yayılabilen, bir bobin olduğu takdirde ısı izolasyon kalınlığı olarak, ayrık (münferit) tabakalar arasındaki izole tabakalarının toplam kalınlıkları kabul edilebilir. Ancak o zaman ısı gelişimi bütün tabakalara yayıldığından öyle ki üst tabakanın tsısı, daha az tabakadan, fakat alt tabakaların ısısı da birçok tabakadan geçmek

zorundadır. O zaman ortalama toplam kalınlığın tesbiti için tabakaların yarısı kabul edilebilir, "n" tabakaların sayısı, "a" tabakalar arasındaki izole tabakasının kalınlığı olursa, bu takdirde bobinin içten dışa doğru ısı direnci

$$R_t = g_t (\text{°C/w}) \text{ olur.} \quad (5)$$

O zaman azami iç aşırı sıcaklık

$$t_i = N_v \cdot R_t \text{ yada}$$

$$t_i = N_v \cdot g_t \text{ — } p \quad (\text{°C}) \text{ bulunur.} \quad (6)$$

F değeri, cm^2 cinsinden ortalama sargı tabakaları yüzeyleridir. Dış tabakaların sıcaklığı biraz daha düşüktür. Ortalama iç aşırı sıcaklık olarak sonuncu formüle göre hesaplanan değer "yaklaşık 2/3'ü kabul edilebilir. Fakat, ısının bir kısmı da içeriye doğru ve her iki alın tarafında yayılabileceği için bu değer de yaklaşıktır, örneğin, sıcaklık yayılımı içerde, dışardaki kadar kuvvetli ise o takdirde ısı direnci de sadece yarı büyüklükte ve oradan geçen ısı akımı da aynen yarı değerinde olur, öyle ki iç aşırı sıcaklık ancak yukarıda belirtilen formüle göre hesaplanan değer "yaklaşık 1/4'üne eşit olur.

Buradan, ısı iletim şartlarına çok bağımlı olduklarından sıcaklıkları, çok hassas bir şekilde hesaplamamız mümkün olmadığı görülmektedir. Fakat, bu hesaplamalarla, aşırı sıcaklıkların hangi sınırlar içinde kaldığı konusunda bir derece fikir sahibi olunabilir, t_2 dış yüzeydeki ve t_1 , çevredeki sıcaklık, $t_1 - t_2$ sıcaklık farkı ise, o zaman dışarıya yayılan ısı, sıcaklık farkı ve F_0 yüzeyi ile değişmektedir.

$$Q = C F_0 (t_1 - t_2) \quad (7)$$

C Faktörü, 1 cm^2 lik üst yüzey'e düşen 1°C lik sıcaklık farkında yayılan ısıdır ve soğutma şartlarına bağlıdır.

O, ısı geçirgenlik katsayısı olarak işaret edilen ampirik bir katsayıdır. Suni soğutma kullanılmıyorsa o zaman C değeri yaklaşık olarak

$$C = 0,001 \dots\dots\dots 0,0015 \text{ cal/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ arasındadır.}$$

Suni soğutmada ısının konveksiyonla da yayıldığı yüksek sıcaklıklarda da aynen C biraz daha büyük olur.

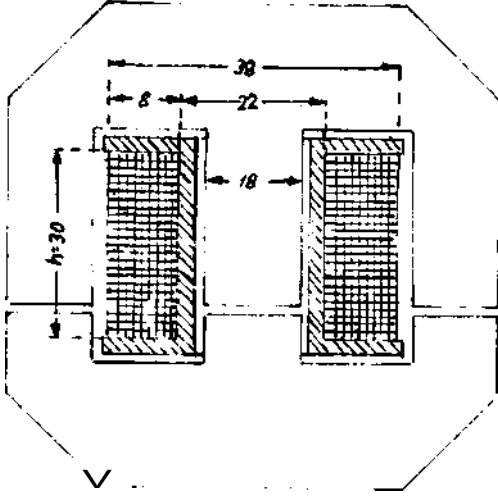
Şu halde, ısınma olayının, iki ayrı peryot halinde oluşturulabildiği ortaya çıkar.

1— Kısa Yükleme Süresi: Dışarıya henüz esaslı bir ısı yayılmadığı halde, formül (2)'ye göre ortaya çıkan ısı, burada sadece akım iletgeninin sıcaklık yükselişine yardım eder. Sıcaklık hemen hemen zamana bağlı olarak yükselir.

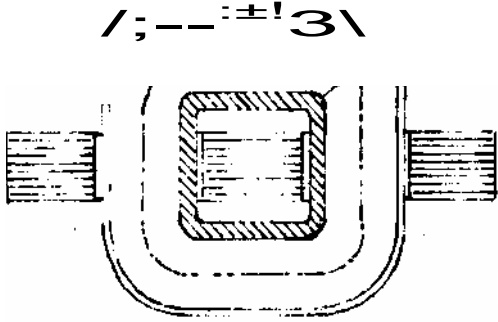
2- Sürekli Yükleme: Bunun için (1)....(7) no'lu formüller geçerlidir. Sıcaklık yükseldikçe, ortaya çıkan bütün ısı, evreye yayılır.

Her iki yükleme şeklinin kesin şekilde birbirinden ayırılması gerekir.

Kısa süreli yüklemelerde, iki bağlantı arasında akmış/ ara verme süresi öyle uzar ki akım iletgeni onun çevresindeki sıcaklığa kadar soğuyabilir. Aşağıdaki örnek bunu aydınlatacaktır.



3 bin Ctl t'fioakaSi



Resim-1: Isınmanın hesapları Örnek: bobin

Resim 1'e göre bir bobinin, 0,2 mm çapında bir bakır tel ve 110 sarım ile 30 katlı bir sargısı vardır ve 30 V.luk bir gerilime bağlanmıştır. Çıplak bakır gerecin toplam kalınlığı $30 \times 0,2 = 6$ mm.dir. Katlar arasındaki izole tabakasının kalınlığı demek oluyor ki,

$$\frac{8}{6} = 0,066 \text{ mm} = 0,0066 \text{ cm dir.}$$

Ortalama sargı

katlarının çevresi, $im = 700 \text{ mm} =$

0,1 m olacaktır. Tel uzunluğu

$$l = w \cdot im = 30 \cdot 110 \cdot 0,1 = 330 \text{ m.}$$

- 0,02 $\frac{17 \text{ mm}^2}{\text{cm}}$ konulursa, sıcak durumdaki sargı-

nm direnci,

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0,02 \cdot \frac{330}{210} = 0,03143 \text{ A}$$

Buna göre akım şiddeti

$$I = \frac{U}{R} = \frac{30}{0,03143} = 9545 \text{ A}$$

Isıya çevrilen güç,

$$P = U \cdot I = 30 \cdot 9545 = 286350 \text{ W}$$

Bu ısı yalnız radyal olarak dışa doğru yayılabilir- sc, o zaman maksimum iç sıcaklık,

$$T_{\text{max}} = T_{\text{ort}} + \frac{P}{F_{\text{ort}}} = 600 + \frac{286350}{18} = 15900 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Her iki alın yüzeylerine doğru da sıcaklık yayılabileceğinden, gerçekte biraz daha küçük olacaktır. Soğutucu üst yüzeyler, dış kılıf yüzeyleri ile her iki alın yüzülerinden oluşurlar.

Yani,

$$F_{\text{ort}} = (4 \cdot 2,2 + 3,14 \cdot 1,6) \cdot 3 = 41 \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{alt}} = 2(4 \cdot 2,2 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 3,14) = 18 \text{ cm}^2$$

$$F_0 = 59 \text{ cm}^2$$

O halde, formül (7) 'e göre dış aşırı sıcaklık

$$T_{\text{dış}} = T_{\text{ort}} + \frac{P}{F_0} = 600 + \frac{286350}{59} = 60,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ort}} = 20^{\circ}\text{C} \text{ lik bir dış sıcaklıkta } T_{\text{ort}} = 60,5 + 20 = 80,5^{\circ}\text{C}$$

En büyük iç aşırı sıcaklık o zaman,

$$T_{\text{max}} = T_{\text{ort}} + \frac{P}{F_{\text{ort}}} = 80,5 + 8,5 = 89^{\circ}\text{C}$$

Örnek: Çevreye hiçbir ısı yayılmasa, 20°C lık bir dış sıcaklıkta $d - \dot{u}^* = 60 > 5^{\circ}\text{C}$ nk sıcaklık çoğalmasına uygun olan, $i_9 = 89^{\circ}\text{C}$ lık azami sıcaklığa, son örnekteki bobinde ne kadar zaman sonra erişilecektir? öy-leki sıcaklık (2) no'lu formüle göre zamanla değişmektedir.

Çözüm: Bakırın yoğunluğu $\rho_{\text{Cu}} = 8,9 \text{ g/cm}^3$, telin uzunluğu "l" cm ve kesiti "q" cm^2 olarak konulursa bakırın ağırlığı,

$$- T_{cu} = 33000 \quad 8,9 = 92,2 \text{ g}$$

Bakırın sipesifik ısısı $c = 0,092 \text{ (cal/g C}^\circ\text{)}$

0,0066 cm kalınlıkta 30 adet izole ara tabakasının hacmi,

$$30.0,006630 = 5,94 \text{ cm}^3, \text{ ve } \gamma_{is} = 2 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Yoğunlukta ağırlık, } G_{js} = 5,94.2 = 11,88 \text{ gr.}$$

İzole maddesinin sipesifik ısısı, $C_{js} = 0,3 \text{ cal/g C}^\circ$ ise, zaman (2) formülünden bulunur.

$$t = \frac{92.2.0.092+11.88.0.3}{0,239.4,28} - 60,5 = 712s = 11 \text{ dak.}52s.$$

Bu zamana, yalnız bobin ölçülerine ve gerece bağlı olan "T" zaman sabitesi adı verilir.

Örnek: Bir dakika sonra 70°C lık azami aşırı sıcaklığa erişilir ve sonra tekrar açılırsa (kısa yükleme süresi), bobin ne kadar güçle yüklenebilir? Bu bobine bu zaman için ne kadar gerilim tatbik edilebilir, akımın büyüklüğü nedir?

$$\text{Çözüm: } (t_f - \#1) = \frac{0,239.Nv.t}{SG.c} \text{ — , buradan}$$

$$\frac{0,238.t}{0,239.60} \quad Nv = - \quad .70 = 58,7W$$

$$\frac{92,2.0,092+88.0,3}{210} =$$

$$VNvTR=V58,7.210 = 111$$

$$V. U \quad 111$$

$$R \quad 210 \quad =0.528 \text{ A.}$$

Ortalama Yükleme Süresinde Isınma:

Şimdiye kadar (2) no'lu formüle göre kısa yükleme süresi (3...7) formüllerine göre sürekli yükleme olmak üzere her iki kesin hali tanımiştık.

Bir de, yükleme süresi ne kısa ne de uzun olan üçüncü bir hal vardır. Bu hangi sıcaklığın başlangıç değerinden azami değere yükseleceği zamandır. Yani yu-

karıda belirtilen zaman sabitinden biraz daha büyük olan zamandır. Teorik olarak bu zaman için de sıcaklık yükselişi hesaplanabilir. Bunun formülü

$$i^9 = t^2 \max(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ dir.} \quad (8)$$

Formül (7)'ye göre, $\#_{\max}$ sürekli yüklemeye azami aşırı sıcaklık ve T zaman sabitesidir ki, bu çevreye hiçbir ısı yayılmazsa, $\$_{\max}$ aşırı sıcaklığa erişilen zaman anlamına gelmektedirler. (2) no'lu formüle göre hesaplanır.

Fakat gerçekte sıcaklık yükselişi, formül (8)'e göre hesaplanan değerden az ya da çok farklı olacaktır. Ve şöyleki aşağıda belirtilen sebeplerden; Formül (8)'de, T'nin belirli sabit bir değere sahip olduğu kabul ediliyor. Fakat (3) ve (7) formüllerinden görüleceği üzere T ve i^9_{\max} değerleri, Nv, G, C, c ve Fo değerlerine bağlıdır. Bu değerler hiçbir şekilde sabit olmazlar ve şöyle ki;

1- Direnç ısınma ile yükseldiği için, Nv bu yüzden sabit değildir. Bobine sabit bir gerilim tatbik edilirse, Nv gücü, yükselen sıcaklıkla düşer. Buna karşılık akım sabit olursa, yani bobine seri olarak değeri sabit bir direnç bağlanırsa, o zaman Nv çıkan sıcaklıkla çoğalır.

2- "G" ağırlığı, ısıtılan gerecin ağırlığıdır. Ancak ısı yayılması yüzünden, bakır sargısından sonra ısı yaavaş yavaş sürekli şekilde diğer kısımlara yani bobin gövdesi, demir çekirdeği, endüvi tesbit elemanları vb. ye yayılır; öyle ki yükselen sıcaklıkla "G" ağırlığı da çoğalır.

3- Sıraya göre ısıtılan gereçler, değişik sipesifik ısınma değerlerine sahip olduğundan, yükselen G ağırlığı yüzünden "c"de hiçbir şekilde sabit olmaz.

4- "C" ısı geçirgenlik katsayısı, sabit çevre şartların da da değişir, çünkü ısının yayılmasında ana paya malik olan bobinin hemen civarında bulunan hava akımları, yükselen sıcaklıkla sürekli şekilde canlı tutulurlar. Bundan başka ısı, soğutma şartları çeşitli olan, kısımlara yayılır.

5- Soğutan üst yüzeyde ısının yayılması ile çoğalır. Belirtilen faktörlerin değişikliği ile sıcaklık yükselişi, onun formül (8) ile bulunan değerinden tamamen başkadır. Sonucu resim 2'de gösterilen bir deneyle buna etkisi açıkça görülebilir.

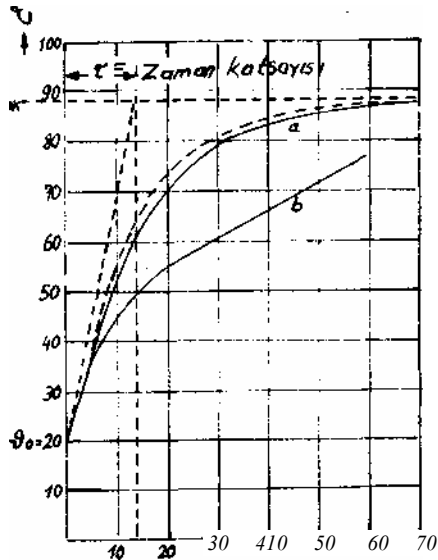
Resim 1 'e göre olan mağnetik bobin, bir salt koruyucu için tecrübe edilmiştir. Bobin önce yalnız demir çekirdeksiz, sonra demir çekirdekli olarak aparat'a yerleştirilerek deneye tabi tutulmuştur.

Doğru akımda sabit bir yüklemeye, sökülerek ve serbestçe masa üstüne konan bobinde "a" ısınma eğri-

si ölçülmüştür. O, alabildiğine kadar bir hassasiyetle kesik çizgi ile çizilmiş olanı, formül (8)'e göre hesaplanmış eğriye uymaktadır. Bobin, demirle birlikte aparata konduğu zaman, sıcaklık yükselişi tamamen başka türlü cereyan eder. Yani, ortaya çıkan ısı, demir çekirdek ve aparatın diğer elemanlarına da akın eder. 0 zaman ısınma olayı, aynı yükte, hesaplanan şekil den çok farklı olan "b" eğrisine göre cereyan eder. İlk zamanda yalnız bobinin bakır sargılarının ısıtıldığı görülür. Sıcaklık yükselişi hemen hemen bobinin çıkarılmış olduğu durumdakine benzer cereyan etmekte dir. Fakat çoğalan sıcaklık yükselişi ile demir çekirdeğe ve diğer elemanlara geçmeye başlar. Sıcaklık yükselişi çok yavaş şekilde kendiliğinden oluşur.

Elektrik makinalardaki ısınma da aynı şekilde oluşur. Isıya çevrilen güç, ancak burada birçok kısımlardan meydana gelir, meselâ endüvideki ve mağnetik sargıdaki bobinlerin ısınması, demirdeki mağnetik kayıplar ve nihayet sürtünme kayıpları, bütün bu kayıplardan "r" veriminin 1'den küçük olduğu sonucu çıkar. Verim, (%) olarak gösterilir ise, o zaman makine gücünün %(100 - 17) katı kayıp olarak ısıya çevrilir. Sıcaklık farkı, yukarıda belirtilen farklılıkları (1 ilâ 4 görüşleri) gözönüne alınarak yeniden formül (8)'e göre yapılır. Şimdi biraz da serbestçe gerilmiş ya da bollar içine döşenen hatların ısınması konusundan söz edelim.

Çıplak bir bakır tel serbestçe gerilirse ve akımla ısıtılırsa o zaman hemen ısınmanın son durumuna gelinir, yani bizim sürekli bir yükümüz vardır. Ortaya çıkan ısı üst düzeylerden çevreye yayılır. Bunun için (7) formülü geçerli olur. Telin direnci R(£2) ve akım şiddeti I olursa bu takdirde,



Sıcaklık yükselişi

$Nv = I^2 R$ gücü ısıya çevrilir. (7) no'lu formüle göre (40) $I^2 R = FoC (d - 1?_0)$ elde edilir.

"I" telin uzunluğu (m), "d" çapı (mm) olursa, onun üst yüzeyi,

$$Fo = 7rdl.10(\text{cm}^2) \text{ olur.}$$

q = formülünden iletgen çapı

d = (mm) tesbit edilir ve bu değer "Fo"

formülüne konulursa

$$Fo = 10ff \ 1$$

$$V \text{-----} (\text{cm}^2) \text{ olur.}$$

Telin direnci $R = 1$

Yukarıdaki ifadeye konulan bu değerler

$$,2 \frac{L}{q} = I^2 R / H \quad C(1? - 1?) \text{ elde edilir.}$$

$C = 0,0012 \text{ cal/cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ konulursa, o zaman birkaç iş-
 $I = 0.206$ lemden sonra;

$$\sqrt{\frac{\theta - \theta_0}{g}} \sqrt[4]{q^3} \text{ (A) bulunur.}$$

Örnek:

Bir bakır iletgenin kesiti 50 mm^2 dir. Daha yüksek bir sıcaklık göz önüne alınarak sipesifik direnç

$g = 0,02$ kabul edilirse, $d - d = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ lik

maksimum bir sıcaklık yükselişi için azami akım şiddeti hesaplanabilir.

Verilenler: # - # = $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $g = 0,02$ m

Cözüm:

$$q = 50 \text{ mm}^2 \quad I = 0.206V - \quad V 50^3 = 150 \text{ A}$$

İzolasyonun kalın olması yüzünden izoleli iletgenlerin dış çapı daha büyüktür, yani soğutma yüzeyi aynı kalınlıktaki çıplak iletgene göre daha büyüktür. Bundan başka izole maddesi Tablo 3'e göre aynı kalınlıktaki hava tabakasına göre daha küçük ısı direnci gösterir. Bundan dolayı aynı çapta ve aynı akım şiddetinde çıplak iletgen izoleliye göre daha sıcak olur.