Definicje: Klasy naprężenia (obciążenia)

dla kabli elastycznych oraz przewodów izolowanych

Zastosowanie kabli giętkich w pewnych miejscach, w materiałach eksploatacyjnych, jak również przy pewnych kombinacjach wpływu czynników zewnętrznych, które mogą w takich miejscach występować, określane jest łącznie mianem „naprężenia" lub „obciążenia". Odpowiednie kable giętkie oraz przewody izolowane określane są w standardach urządzeń, dla urządzeń, o których mowa. W zależności od typu oddziaływania mechanicznego, jak również ogólnie używanych pojęć, terminy „naprężenie" oraz „obciążenie" dzielą się na następujące kategorie.

Normalne naprężenie/Zwykłe obciążenie

- Normalne naprężenie jest obecne w przypadku, kiedy kable ulegają niskim naprężeniom mechanicznym w miejscu ich zastosowania, a ryzyko ich mechanicznego uszkodzenia jest niskie, jak ma to miejsce w przypadkach normalnego użytkowania małej i średniej wielkości urządzeń w zastosowaniu domowym i komercyjnym, jak również w zakładach przemysłu lekkiego. Takie wyposażenie obejmuje, między innymi, odkurzacze, tostery, pralki, lodówki.

Niskie naprężenie/Lekkie obciążenie

- Niskie naprężenie jest obecne, kiedy ryzyko uszkodzenia mechanicznego oraz naprężenie mechaniczne jest na niskim poziomie w miejscu zastosowania, jak ma to miejsce w przypadkach użytkowania lekkich urządzeń ręcznych oraz lekkich materiałów eksploatacyjnych w gospodarstwach domowych. Urządzenia te obejmują, między innymi: radio, lampy podłogowe, suszarki do włosów, niewielkie urządzenia biurowe.

Bardzo niskie naprężenie/Bardzo lekkie obciążenie

- Bardzo niskie naprężenie jest obecne w przypadku, kiedy ryzyko uszkodzenia mechanicznego lub naprężenia mechanicznego jest bardzo niskie i może być uważane za nieznaczne, tzn. kabel ulega takiemu oddziaływaniu, jakiego można oczekiwać od lekkich urządzeń domowych i biurowych. Zastosowanie kabli lepiej zabezpieczonych mechanicznie ograniczałoby swobodę ruchu urządzenia. Urządzenia tego typu obejmują, między innymi, zegary elektryczne czy golarki elektryczne.

Wysokie naprężenie/Duże obciążenie

- Wysokie naprężenie obecne jest wtedy, kiedy ryzyko uszkodzenia mechanicznego lub naprężenia jest na poziomie średnim, np. przy normalnym wykorzystaniu urządzeń w średnio ciężkich branżach przemysłu lub w gospodarstwach rolniczych lub czasowym użytkowaniu na budowach. Urządzenia te obejmują, między innymi, średnio ciężkie przenośne maszyny oraz silniki na budowie lub w gospodarstwach rolnych, duże kotły wytwarzające gorącą wodę, lampy ręczne, podnośniki oraz instalacje trwałe w prowizorycznych budynkach.

Wysokie naprężenie (duże obciążenia) w wielożyłowych kablach

- Zastosowanie takie samo jak przy wysokich naprężeniach, chociaż przede wszystkim kable takie wykorzystywane są w zakładach stosujących obrabiarki lub do urządzeń obsługiwanych mechanicznie. Kable mogą być instalowane wewnątrz oraz na zewnątrz budynków w temperaturze otoczenia od -25°C do +50°C, przy czym temperatura żyły stabilizującej nie przekracza +60°C. Przykładem może być podłączenie jednostki kontrolnej do maszyny produkcyjnej, połączenia pomiędzy jednostką kontrolną a maszyną, np. podnośnikiem lub dźwigiem, w przypadku których długość kabla zwykle nie przekracza 10 m. Dłuższe kable są dopuszczalne dla połączeń trwałych.

Zastosowanie: wewnątrz i na zewnątrz

Pojęcia wiążą się z ograniczającymi warunkami, takimi jak minimalna i maksymalna temperatura pracy lub wpływ temperatury otoczenia, rozumiany jako ograniczenie zaprojektowanym oraz zamierzonym typem użytkowania. Kontekst ten jest określony mianem „zamierzonego środowiska".

Zastosowanie wewnątrz

- Kable są instalowane oraz podłączone do danego urządzenia i mogą być stale eksploatowane w pomieszczeniach w każdym czasie, czyli w zamierzonym środowisku. Budynek taki może być użytkowany do celów komercyjnych, przemysłowych lub domowych.

Zastosowanie na zewnątrz w ograniczonym czasie

- Kable mogą być użytkowane na zewnątrz w zamierzonym środowisku w krótkich okresach, np. podłączone są do elektrycznych kosiarek lub wiertarek.

Stałe zastosowanie na zewnątrz

- Kable są zaprojektowane tak, aby były odporne na różne naprężenia, które mogą wystąpić na zewnątrz w zamierzonym otoczeniu (w tym warunki atmosferyczne).

Formuły elektryczne i elektroniczne

Przekrój żyły **jednodrutowej okrągłej**

$q = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$ lub $D^2 \cdot 0{,}7854$

Przekrój **wiązki drutów**

$q = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot n$ lub $d^2 \cdot 0{,}7854 \cdot n$

Średnica
przekroju pojedynczego drutu

$D = \sqrt{\frac{q \cdot 4}{\pi}}$ lub $\sqrt{q \cdot 1{,}2732}$

Średnica **wiązki drutów**

$D = \sqrt{1{,}34 \cdot n \cdot d}$

q = przekrój (mm²)
D = średnica żyły (mm)
d = średnica pojedynczego drutu (mm)
n = liczba drutów

Opór żyły

$R = \frac{l}{\kappa \cdot q}$ lub $\frac{\rho \cdot l}{q}$

$R_{Pętla} = \frac{2 \cdot l}{\kappa \cdot q}$ lub $\frac{2 \cdot l \cdot \rho}{q}$

R = opór prądu stałego (om)
$R_{Pętla}$ = opór pełnego obwodu
q = przekrój (mm² lub q mm)
κ (kappa) = przewodność właściwa
ρ (ro) = szczególny opór ($\rho = \frac{1}{\kappa}$)
l = długość żyły (m)

Materiały	Przewodność $\frac{m}{om \cdot mm^2}$	Szczególny opór $\frac{om \cdot mm^2}{m}$
Miedź	58,00	0,01724
Aluminium	33,00	0,0303
Srebro	62,00	0,1613
Żelazo	7,70	0,1299
Konstantan	2,00	0,50

Połączenie szeregowe

Opór: $R = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$

Pojemność pracy: $\frac{1}{C} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$

Indukcyjność: $L = L_1 + L_2 + L_3 + ... + L_n$

Połączenie równoległe

Opór: $R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... \frac{1}{R_n}$

Pojemność pracy: $C = C_1 + C_2 + C_3 + ...C_n$

Indukcyjność: $L = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + ... \frac{1}{L_n}$

Opór ekwiwalentny dwóch równolegle połączonych oporów

$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Wspólna pojemność (C)

• kabel koncentryczny $C = \frac{\xi r \cdot 10^3}{18 \cdot \ln \frac{Da}{d}}$ (nF/km)

• żyła równoległa $C = \frac{\xi r \cdot 10^3}{36 \cdot \ln \frac{Da}{d}}$ (nF/km)

• skręcona para ekranowana

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{36 \ln \frac{2a}{d} \cdot \frac{(Da^2 - a^2)}{(Da^2 + a^2)}}$ (nF/km)

Da = zewnętrzna średnica nad izolacją
Ds = średnica nad ekranem
d = średnica żyły
a = odległość od środka do środka żyły
ξ = przenikalność elektryczna względna

Prawo Ohma

Natężenie prądu (I) jest proporcjonalne do napięcia (U) a odwrotnie proporcjonalne do oporu (R).

$I = \frac{U}{R}$ $R = \frac{U}{I}$ $U = I \cdot R$

I = natężenie prądu (ampery – A)
R = opór elektryczny (om)
U = napięcie elektryczne (V)

Przewodnictwo

$G = \frac{1}{R}$ $1S = \frac{1}{1 om}$ lub $1\ \mu S = \frac{1}{1\ Mom}$

S (Siemens) = odwrotna wartość oporu jest stosowana do określenia **przewodnictwa**

1 Siemens = 1/om

G = przewodnictwo elektryczne

Pojemność pracy

• Pojedyncza żyła uziemiona:

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{18 \ \ln \frac{Di}{d}}$ (nF/km lub pF/m)

• Nieekranowana symetrycznie skręcona para

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{36 \ \ln \frac{2a}{d}}$ (nF/km lub pF/m)

• Para koncentryczna

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{18 \ \ln \frac{Di}{d}}$ (nF/km lub pF/m)

• Ekranowana symetrycznie skręcona para

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{36 \ln \frac{2a}{d} \cdot \frac{(Da^2 - a^2)}{(Da^2 + a^2)}}$ (nF/km lub pF/m)

Di = zewnętrzna średnica nad pojedynczą żyłą (mm)
Da = zewnętrzna średnica wielożyłowego przewodu (mm)
d = średnica żyły (mm)
a = odległość pomiędzy dwiema żyłami – mierzona od środka do środka żyły

Indukcyjność żył równoległych

na niskich częstotliwościach

$L = 0{,}4 \ (\ln \frac{Da}{r} + 0{,}25)$ mH/km

na wysokich częstotliwościach

$L = 0{,}4 \ (\ln \frac{Da}{r} + 0)$ mH/km

Indukcyjność kabla koncentrycznego

na niskich częstotliwościach

$L = 0{,}2 \ (\ln \frac{Da}{r} + 0)$ mH/km

Da = odległość pomiędzy dwiema żyłami – mierzona od środka do środka żyły
r = promień żyły
ξr = przenikalność elektryczna względna

Impedancja (Z)

dla kabla koncentrycznego $Z = \frac{60}{\sqrt{\xi r}} \cdot \ln \frac{D}{d}$ (om)

D = średnica nad izolacją
d = średnica żyły

dla kabla teletechnicznego

na niskich częstotliwościach $Z = \sqrt{\frac{R}{\omega C}}$ (om) $\cdot \tan \varphi = 1, \quad \varphi = 45°$

na wysokich częstotliwościach $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ (om)

R = opór (om/km)
L = indukcyjność (mH/km)
C = pojemność pracy (nF/km)
ω = 2 π f

Długość fali $\lambda = \frac{v}{f}$

λ = długość fali
v = prędkość rozchodzenia się fali (prędkość światła: 300 000 km/s)
f = częstotliwość

jednostki tłumienia – neper (Np), decybel (dB) oraz bel (B)

1 Np = 8,686 dB
1 dB = 0,1151 Np = $\frac{1}{10}$ B
1 B = 10 dB = 1,1513 Np

Formuły w energetyce

Przekrój

- dla prądu stałego i jednofazowego prądu zmiennego, prądu **znanego** $q = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\kappa \cdot u}$ (mm²)
  dla prądu trójfazowego $q = \frac{1{,}732 \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot l}{\kappa \cdot u}$ (mm²)
- dla prądu stałego i jednofazowego prądu zmiennego, znanej **mocy** $q = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot u \cdot U}$ (mm²)
  dla prądu trójfazowego $q = \frac{I \cdot P}{\kappa \cdot u \cdot U}$ (mm²)

Spadek napięcia

Dla sieci kabli niskonapięciowych przy eksploatacji normalnej, zaleca się spadek napięcia 3-5%.
W wyjątkowych sytuacjach, dopuszczalne są wyższe wartości (do 7%) w przypadku przedłużenia sieci lub krótkich obwodów.

- dla prądu stałego znanego **prądu** $u = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\kappa \cdot q}$ (V)
  dla jednofazowego prądu zmiennego $u = \frac{2 \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot l}{\kappa \cdot q}$ (V)
  dla prądu trójfazowego $u = \frac{1{,}732 \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot l}{\kappa \cdot q}$ (V)
- dla prądu stałego znanej **mocy** $u = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U}$ (V)
  dla jednofazowego prądu zmiennego $u = \frac{2 \cdot I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U}$ (V)
  dla prądu trójfazowego $u = \frac{I \cdot P}{\kappa \cdot q \cdot U}$ (V)

u = spadek napięcia (V)
U = napięcie eksploatacyjne (V)
P = moc (W)
R_w = opór efektywny (om/km)
L = indukcyjność (mH/km)
ωL = opór indukcyjny (om/km) ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ przy 50 Hz = 314)
q = przekrój (mm²)
I = prąd (A)
l = długość linii (m)
κ (kappa) = konduktywność elektryczna przewodów
κ-miedź : 58
κ-aluminium : 33

Napięcie nominalne

Napięcie nominalne wyraża się dwiema wartościami prądu zmiennego U_0/U w V (volt).

U_0/U = napięcie faza-ziemia
U_0 : napięcie faza-ziemia lub powłoka metalowa (osłony, pancerz, przewód koncentryczny)
U : napięcie pomiędzy dwoma zewnętrznymi przewodami
U_0 : $U/\sqrt{3}$ dla systemów prądu trójfazowego
U_0 : U/2 dla systemów jednofazowych prądu stałego
U_0/U_0 : zewnętrzny przewód jest uziemiony dla systemów prądu stałego i zmiennego

Prąd nominalny

I w (A)

Prąd czynny

$I_w = I \cdot \cos\varphi$

Prąd bierny

$I_0 = I \cdot \sin\varphi$

Moc pozorna (VA)

$S = U \cdot I$ dla prądu jednofazowego (zmiennego)
$S = 1{,}732 \cdot U \cdot I$ dla prądu trójfazowego

Moc czynna (W)

$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ dla prądu jednofazowego (zmiennego)
$P = 1{,}732 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ dla prądu trójfazowego
$P = U \cdot I$ dla prądu stałego

Moc bierna (var)

$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ dla prądu jednofazowego (zmiennego)
$Q = 1{,}732 \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$ dla prądu trójfazowego
(bierny voltamper) $Q = P \cdot \tan\varphi$

Kąt fazowy

φ jest kątem fazowym pomiędzy napięciem a prądem

cos φ =	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
sin φ =	0	0,44	0,6	0,71	0,8	0,87

Opór izolacji

$R_{iso} = \frac{S_{iso}}{l} \cdot \ln \frac{Da}{d} \cdot 10^{-8}$ (Mom · km)

Szczególny opór izolacji

$R_s = \frac{R \cdot 2\pi \cdot l \cdot 10^8}{\ln \frac{Da}{di}}$

D_a = zewnętrzna średnica nad izolacją (mm)
d = średnica przewodu (mm)
di = wewnętrzna średnica izolacji (mm)
l = długość linki (m)
S_{iso} = szczególny opór materiału izolacyjnego (om · cm)

Pojemność wzajemna (C_B) dla jednożyłowych, trójżyłowych i kabli H

$C_B = \frac{\xi r \cdot 10^3}{18 \ \ln \frac{Da}{d}}$ (nF/km)

Indukcyjność

Jednofazowy $0{,}4 \cdot (\ln \frac{Da}{r} + 0{,}25)$ mH/km
Trójfazowy $0{,}2 \cdot (\ln \frac{Da}{r} + 0{,}25)$ mH/km

D_a = odległość od środka do środka obu przewodów
r = promień przewodu (mm)
ξr = stała dielektryczna
0,25 = czynnik niskiej częstotliwości

Uziemiona reaktancja pojemnościowa

$E_C = 0{,}6 \cdot C_B$

Prąd ładowania (jedynie dla prądu trójfazowego)

$I_{Lad} = U \cdot 2\pi f \cdot C_B \cdot 10^{-6}$ A/km na żyłę przy 50 Hz

Moc ładowania

$P_{Lad} = I_{Lad} \cdot U$

Współczynnik upływu prądu i strat dielektrycznych

$G = \tan\delta \cdot \omega C$ (S)
$\tan\delta = \frac{G}{\omega C}$

ω = 2 π f
C = pojemność
tanδ = współczynnik upływu prądu
S = Siemens = $\frac{1}{1om}$

Strata dielektryczna

$D_v = U^2 \cdot 2\pi f \cdot C_B \cdot \tan \cdot 10^{-6}$ (W/km)
f przy 50 Hz
tanδ PE/VPE (XLPE) ~0,0005
EPR ~0,005
Przewód jednożyłowy papierowy, trójżyłowy, kabel H ~0,003
Kabel ciśnieniowy i wypełniony olejem ~0,003
Kabel PVC ~0,05

Należy zwrócić uwagę, iż dla obciążenia prądu kabli izolowanych i przewodów o niektórych przekrojach, należy uwzględnić tabelę znamionowych wartości mocy.

Aby ocenić spadek napięcia w przewodach i kablach izolowanych dla ciężkich (dużych) przekrojów, jedno- i trójfazowej linii napowietrznej, należy uwzględnić opór czynny jak również opór indukcyjny.
Formuła dla jednofazowych (AC):

$U = 2 \cdot l \cdot I \cdot (R_w \cdot \cos\varphi + \omega L \cdot \sin\varphi) \cdot 10^{-3}$ (V)

Dla trójfazowych:

$U = 1{,}732 \cdot l \cdot I \cdot (R_w \cdot \cos\varphi + \omega L \cdot \sin\varphi) \cdot 10^{-3}$ (V)