

# PINGE JA ELEKTROMOTOORJÕUD

Pinge on elektriliste potentsiaalide vahe.

Pinge omab tähendust ainult mõõdetuna kahe punkti vahelt.

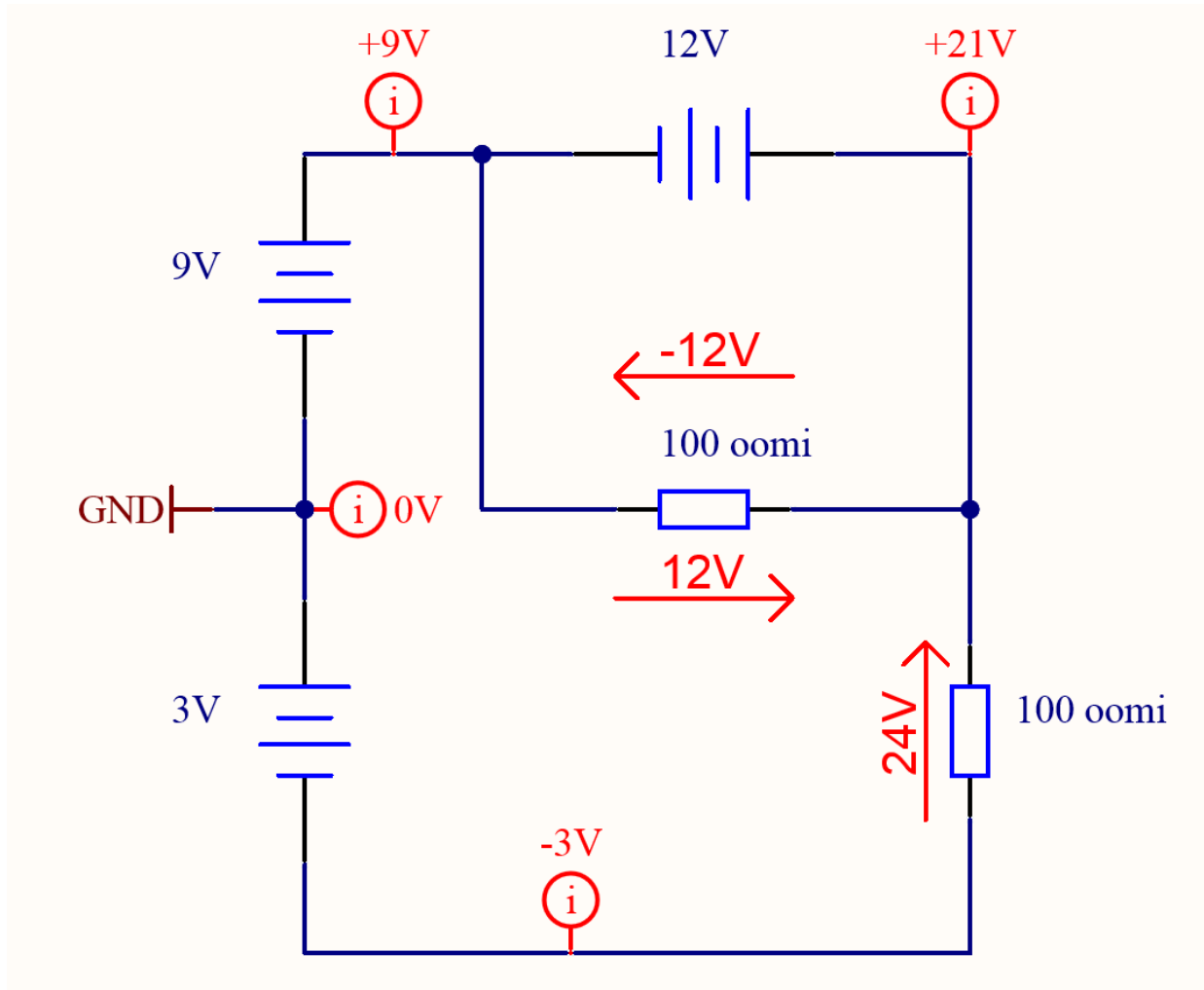
Elektromotoorjõud - pinge kitsamas tähenduses, ehk mingi keha võime tekitada (ja hoida) vooluringis pinget.

Igapäevakasutuses seda terminit eriti ei kasutata.

Enamasti mõõdetakse pinget „nullpunkti“ suhtes, mis on seadmes vabalt valitud punkt, tihtipeale toiteallika „miinusklemm“.

Pinge mõõtühik on Volt - V

# PINGE JA ELEKTROMOTOORJÕUD



# PINGETE NÄITED

Aju elektrilised signaalid  $\sim 100mV$

AA patarei  $1.5V$

Autoaku  $\sim 13V$

Võrgupinge tarbija juures  $\sim 230V$

Kass + kilekott  $> 10kV$

Kõrgepingeliinid elektriyaamast  $330kV$

Laboris genereeritud kõrgeim pinge  $> 25MV$

Õhu läbilöök tekib kui pinge  $\sim 3kV/mm$

# ELEKTRITOOOL

- Innovatsioon 19. sajandi lõpust
- 2500 volti
- Kahtlase efektiivsusega
- Kipub põlema minema
- Etioopia kuningas tellis 3tk, unustades seejuures, et riigis pole elektriga just head lood. Kasutas hiljem ühte neist oma trooniks ja kahte aiatoolidena.
- Üks leiutajatest jõudis hiljem järeltulele, et kirvega hakkimine oleks viisakam ja tsiviliseeritum.
- Kasutatakse vahelduvvoolu, mistõttu Edison hirmutas omal ajal sellega inimesi, lootes saada turgu alalisvooluvõrkudele – „Kas sina tahad oma lastetoa seina sisse voolu millega tapetakse inimesi ?!“

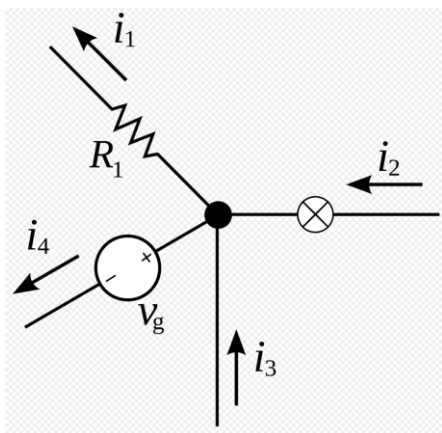


# VOOL

Vool on elektrilaengute suunatud liikumine elektriahelas.

Voolutugevust mõõdetakse Amprites – A.

Kirchhoffi seadus



$$\sum_{k=1}^n i_k = 0$$

Igas elektrilise ahela punktis on sisenevate ja väljuvate voolude summa null – vool „ei kao“ kuhugi !

# VOOLUSUURUSTE NÄITED

Käekell  $< 5\mu A$

Punane signaal-LED  $\sim 2mA$

Taskulamp  $\sim 500mA$

Telekas  $\sim 1A$

Veekeetja  $\sim 10A$

Elektroodkeevitus  $\sim 200A$

Pikselöök  $\sim 30kA$

Kaarahendusahi terasesulatuseks  $\sim 180kA$

Z-masin termotuumakatseteks  $\sim 26MA$

Suured voolud ei tähenda alati suurt võimsust – oleneb pingest.

Samas, suured voolud tähendavad alati jämedaid juhtmeid.

# ELEKTRIVÕIMSUS

Elektrivõimsus kirjeldab seadme võimet muundada elektrienergiat mingiks teiseks energialiigiks või vastupidi:

Elektrijaam muudab soojusenergiat elektriks,  
elektriradiaator muudab elektrit soojusenergiaks.

Võimsus on pinge ja voolu korrutis

$$P = U * I$$

**Ühikuks Vatt – W**

Võimsus aja jooksul (  $P * t$  ) on energia –  $J = W * s$

# ELEKTRIVÕIMSUS

Kõrge vool ega kõrge pinge ei tähenda ilmtingimata veel kõrget võimsust.

Galvaanikavann **200A**, 5V – 1kW

Veekeetja 10A, 230V – **2,3kW**

Õhuionisaator 0,1mA, **10kV** – 1W



# VOOL, PINGE, VÕIMSUS - MÕÕTMINE

Vähestes ahelates liigub puhas alalisvool. Seetõttu on mõõtmisel oluline aru saada, mis väärtust me mõõdame.

**Hetkväärtus ( $I$ ,  $U$ ,  $P$ )** – pinge, vool konkreetsel ajahetkel

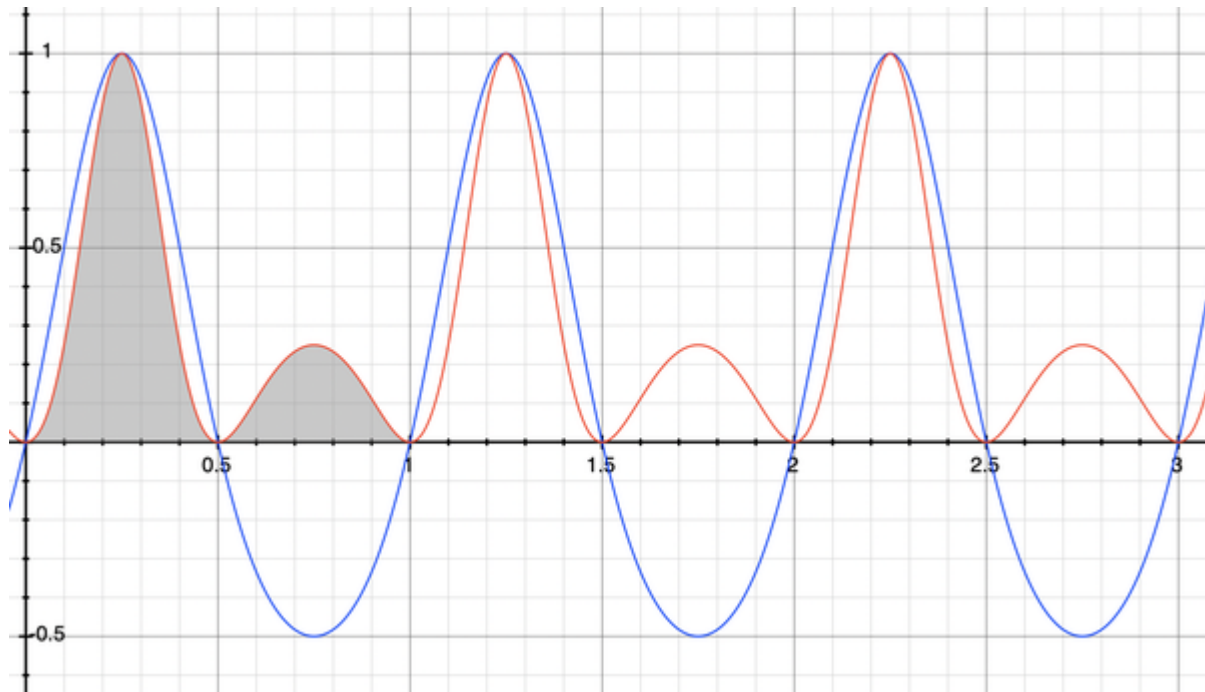
**Keskvärtus ( $I_{avg}$ ,  $U_{avg}$ ,  $P_{avg}$ )** – keskmistatud väärtus teatud aja jooksul.  
Vahelduvvoolul võrdsed nulliga

**Efektiivvärtus ( $I_{rms}$ ,  $U_{rms}$ )** – ruutkeskmise teatud aja jooksul.  
Vahelduvvoolu korral võrdsed ekvivalentsete alalisvoolu väärtustega, mille termiline efekt (nt kaod juhtmetes) on sama.

Vahelduvvooluloengus tuleb sellest veel juttu.

# VOOL JA PINGE - MÕÕTMINE

Alalisvoolu puhul  $I = I_{avg} = I_{rms}$ . Vahelduvvoolu korral, kui arvutame kaableid, kaitsmeid ja soojuslikku võimsust, kasutame alati efektiivväärtust  $I_{rms}$ ,  $U_{rms}$



# PINGE – STAATILINE ELEKTER

Staatiline elekter tekib laengute kogunemisel triboelektrilise nähtuse tõttu. Iseloomustab väga kõrge pinget kuid madal energiahulk. Teeb palju kurja, sellest tuleb hilisemates loengutes veel juttu.



# TAKISTUS

Materjali omadus, iseloomustab milline vool tekib elemendis teatava pinge korral – või vastupidi. Takistust mõõdetakse Oomides -  $\Omega$

Materjali takistus ei ole reeglina konstantne ja võib sõltuda temperatuurist, pingest jne. Metallide takistus pinge tõustes kasvab, aga näiteks grafiidil teatud piirini väheneb.

# ERITAKISTUS

Materjali eritakistus

$$\rho = \Omega * m \text{ (oom korda meeter)}$$

Kui on teada keha ristlõige  $A$  ja pikkus  $l$  siis takistus

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

Ristlõike kahekordistamine vähendab takistust kaks korda ning juhtme pikkuse kahekordistamine suurendab takistust kaks korda.

# ERITAKISTUS

Temperatuuril 20' C

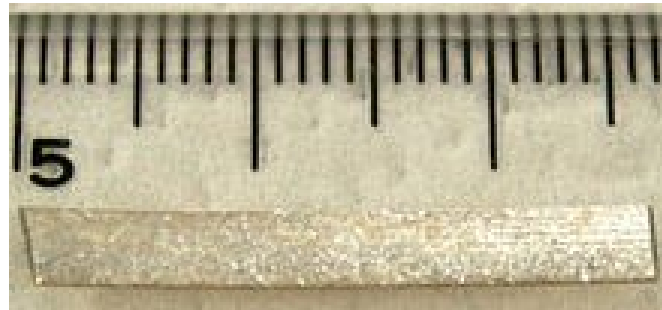
| Materjal   | Eritakistus (* 10 <sup>-8</sup> ) | Võrreldes vasega |
|------------|-----------------------------------|------------------|
| Ülijuht    | 0                                 | 0%               |
| Hõbe       | 1,59                              | 95%              |
| Vask       | 1,68                              | 100%             |
| Kuld       | 2,44                              | 145%             |
| Alumiinium | 2,65                              | 158%             |
| Naatrium   | 4,77                              | 284%             |
| Raud       | 9,70                              | 577%             |
| Teras      | 14,3                              | 851%             |

# ÜLIJUHTIVUS

Ülijuhil takistus puudub. See tähendab, et takistust ei ole ehk vool mis ringleb ülijuhis, ringleb seal praktiliselt igavesti. Teatav efekt piirab ülijuhi maksimaalse voolutugevuse, mille ületamisel ülijuhtivus kaob. Seda nähtust kasutatakse eksperimentaalsetes jaotusvõrkudes „automaatkaitsmena“.

Toatemperatuuril ja normaalrõhul ülijuhte (veel) ei tunta, kuid on olemas „kõrgtemperatuurilisi“ ülijuhte, mille jahutuseks sobib vedel lämmastik (-196 kraadi), mis on tohutult odavam vedelast heeliumist.

Näiteks BSCCO – Vismut-strontsium-kaltsium-vaskoksiid. Pildiloleva lindi mõõdud on 4 \* 0,2mm, sellest ka suurem osa „alusmaterjal“. Lubatud voolutugevus sellel lindil 200A. Kasutatakse võimsate elektromagnetite tegemiseks, kuid on tehtud ka katselisi elektriülekanaliine. Nendes liinides puuduvad elektrikaod, kuid jahutamine on energeetiliselt kulukas.



# TAKISTUSE TEMPERATUURISÕLTUVUS

Vase takistuse muutus normaaltemperatuuridel

$0.393\%$  *per K*

Kui vaskjuhtme temperatuur kasvab 100 kraadi, siis juhtme takistus kasvab ca 40%.

**Mida kuumem juhe seda suuremad on kaod !**



# OOMI SEADUS JA JÄRELDUSED

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

$$U = I * R$$

$$P = U * I$$

$$P = (I * R) * R = I^2 * R$$

$$P = U * U/R = \frac{U^2}{R}$$

# MIKS TEKIVAD JUHTMETES KAOD

Kadu juhtmes – soojuseks muutuv elektrienergia.

$$P = I^2 * R$$

Juhtme ristlõige ja tüübi valiku alused

- Isolatsiooni temperatuur
- Mõistlik pingelang juhtmes
- Mõistlik hind
- Paigaldatavus
- Koormuse iseloom – kas pidev või impulsskoormus. Nt lennukites kasutatakse peenemaid juhtmeid kõrgemal temperatuuril – et saavutada kaalusäästu

# KUIDAS FÜÜSIKA MEID KIUSAB ?

D – juhtme diameeter, S – juhtme ristlõige

A – juhtme välimine pindala, T – juhtme temperatuur

$$S \sim D^2$$

$$A \sim D$$

$$I \sim S$$

$$T \sim I^2$$

$$T \sim \frac{1}{A}$$

| S[mm <sup>2</sup> ] | d[mm] | A[mm] | I <sub>max</sub> [A] | A/mm <sup>2</sup> | A/mm |
|---------------------|-------|-------|----------------------|-------------------|------|
| 1.50                | 1.38  | 4.34  | 14.00                | 9.33              | 3.22 |
| 2.50                | 1.78  | 5.60  | 19.00                | 7.60              | 3.39 |
| 4.00                | 2.26  | 7.09  | 24.00                | 6.00              | 3.39 |
| 6.00                | 2.76  | 8.68  | 31.00                | 5.17              | 3.57 |
| 10.00               | 3.57  | 11.21 | 41.00                | 4.10              | 3.66 |
| 16.00               | 4.51  | 14.18 | 55.00                | 3.44              | 3.88 |
| 25.00               | 5.64  | 17.72 | 72.00                | 2.88              | 4.06 |

Järeldus – kui suurendame juhtme diameetrit 2\*, siis selle pindala kasvab 2\*, ristlõige aga 4\*, mille alusel võiks ka voolu kasvatada 4\*, kuid seejuures on pindala (mille kaudu toimub jahutus) suhe voolu halvenenud 2\*. Seega on jämedamad juhtmed vähem ökonoomsed. Ja seetõttu näeme jaotuskilpides topeltlatte ning topeltjuhtmeid. Topeltjuhtmete kasutamisel on väga oluline, et pikkused oluliselt ei erineks, vastasel juhul vool ei jagune ühtlaselt.

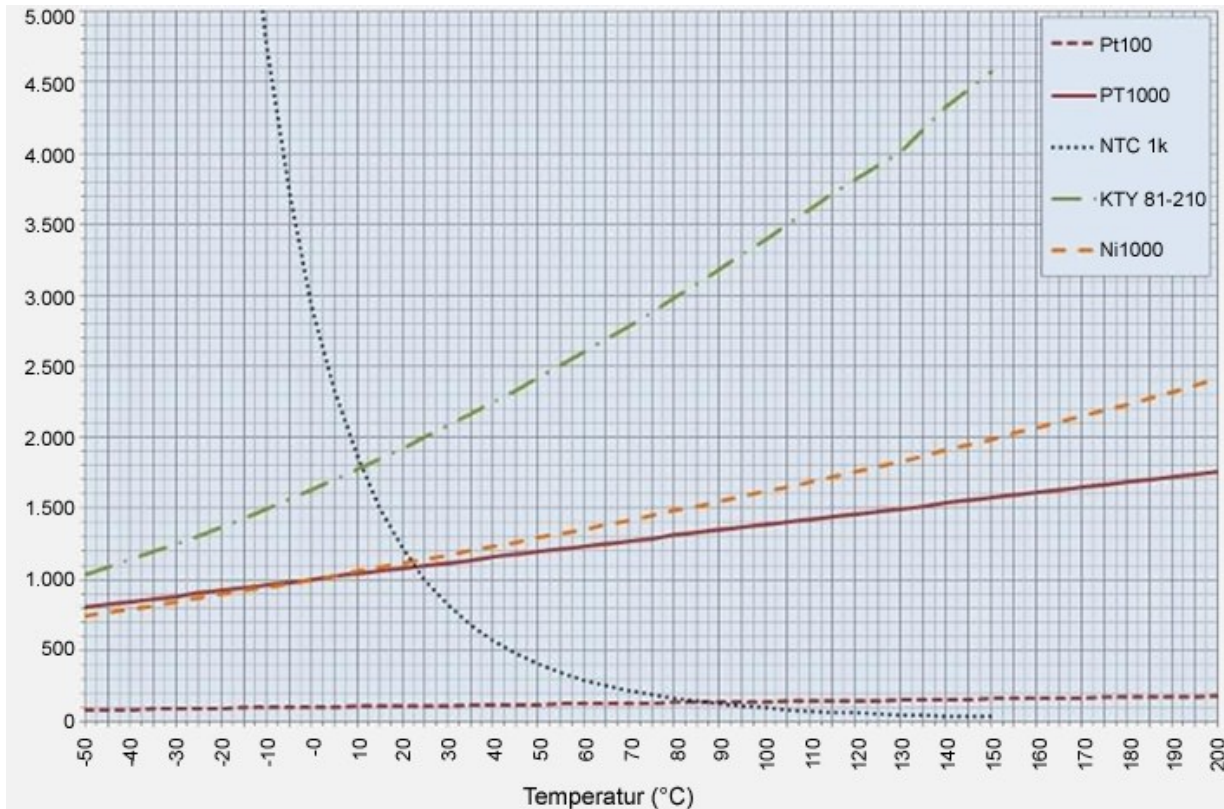
# TEMPERATUURISÕLTUVUSE KASUTAMINE

Takistuse temperatuurisõltuvus on väga levinud fenomen ja esineb praktiliselt igal materjalil. Tehnikas laialt kasutusel

- Temperatuuriandurid – Pt100, Pt1000, NTC, PTC
- Isetagastuvad kaitsmed – PTC (*positive temperature coefficient*)
- Käivitusvoolu piirajad – NTC (*negative temperature coefficient*)

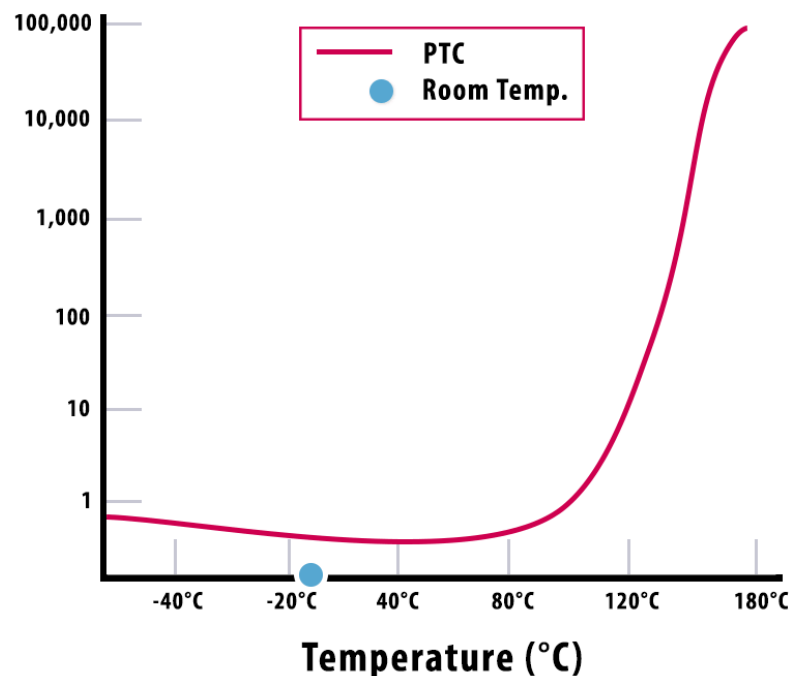
# TEMPERATUURIANDURID

NTC, PTC andurid koosnevad polümeeridest ja keraamikast. Pt ja Ni on metallilised, vastavalt plaatina ja nikkel. Nende täpsus on kõrgem kui vastavalt ka hind.



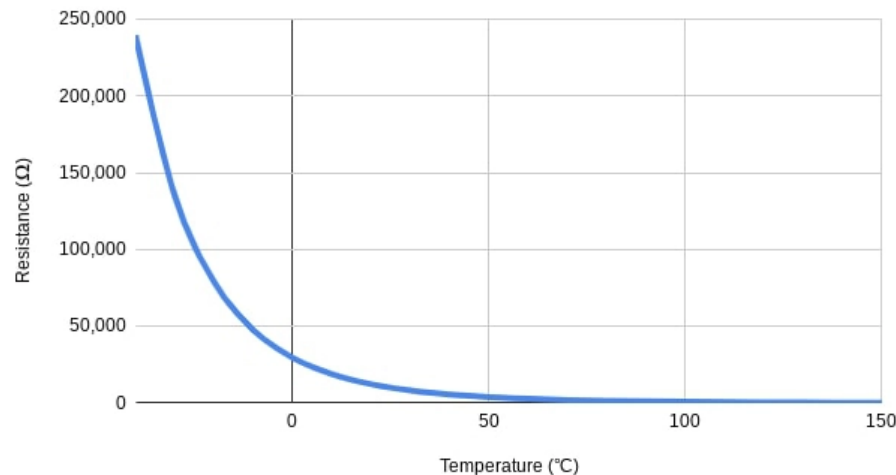
# PTC – tagastuv kaitse

Kuna PTC ehk positiivne temperatuurikoefitsent tähendab takistuse kasvamist temperatuuri mõjul, siis on võimalik selle abil luua „isetagastuvaid sulavkaitsmeid“. Puuduseks on teatav kaovõimsus normaaltöös. Kasutatakse ülimalt laialt – autoelektronika, arvutid, jõuelektronika.



# NTC – käivitusvoolu piiramine

NTC elemendi takistus temperatuuri tõustes väheneb. See võimaldab piirata seadme vooluimpulsse käivitamisel – näiteks mootori laadimine, sisendkondensaatorid jne jne. Eelised – väga odav meetod. Puudused – võimsuskadu ning kui toites tekib katkestus, mis on piisavalt lühike, et NTC element ei jahtuks - siis on ka piirav efekt puudulik.



# PINGEST SÕLTUV TAKISTUS

## Metalloksiidvaristor MOV

- Kasutatakse ülepingete kaitseks
- Teatud pinge ületamisel takistus väheneb järsult, tekib suurem juhtivus ning energia muutub varistoris soojuseks
- Sõltuvalt suurusest on energiamahutavus (J) erinev ja selle ületamisel varistor rikneb
- Kasutatakse väga laialt elektroonikas, nt USB pesad, mootoridraivid
- Puuduseks on teatav ebatäpsus rakendumispinge osas ning parameetrite muutumine aja jooksul (eriti korduvate ülepingete mõjul)



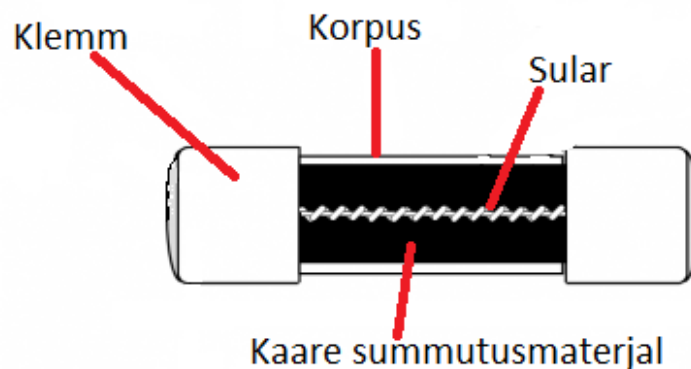


# SULAVKAITSMED



# SULAVKAITSMETE SISEELU

- Põhielemendid samad erinevatel kaitsmetüüpidel
- Korpus on enamasti klaasist või keraamiline
- Sulari materjaliks vask, harvemini ka hõbe (aurustub kiiremini). Sular võib olla varustatud vedruga, sulari kuju sirge, spiraalne, lindikujuline või paralleellindid (pooljuhtide kaitsmed)
- Kaare summutamiseks väiksel kaitsmel õhk, suurematel kvartslüiv, talk vms
- Klemmide kuju võib olla vägagi erinev – pesasse, otse lattidele krüvimiseks jne jne



# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## Nominaalvool

See on kaitsmele kirjutatud vool, mida kaitse garanteeritult talub toatemperatuuril (25°C). Normaalarakenduses oleks mõistlik kui töövool ei ületaks 75% nominaalvoolust. Nominaalvoolu ületamisel võib kaitse avaneda, mida rohkem voolu ületame, seda kiiremini.

Sulavkaitsmete iseloomulik omadus on selektiivsus – kui ahelas on kaks samatüübilist kuid eri nominaalvooluga sulavkaitset, siis ülekoormuse korral rakendub alati esimesena madalama nominaalvooluga kaitse. Seetõttu kasutatakse sulavkaitsmeid siiani suurtes tehastes – peaaegu välistatud on olukord kus näiteks puurpingi lühise tõttu rakendub tsehhi peakaitse. Eestis, mingil arusaamatul põhjusel, eelistatakse alati kaitseautomaate, mis sellist selektiivsust enamasti ei garanteeri.

# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## $I^2t$ ehk sulamispunkt

See on sulavkaitset iseloomustav parameeter, mis näitab rakendumise kiirust. Oletame, et meil on sulavkaitse nimivooluga 1A ning tema parameeter  $I^2t = 100A^2s$ . Kui suurt ülekoormust talub sular 1 sekundi jooksul ?

$$I_{1s} = \sqrt{\frac{100A^2s}{1s}} = 10A$$

Kui  $I^2t$  on madal, siis on kaitse kiire. Teatud piiridest muutub  $I^2t$  vähendamine kulukaks – kaitsme konstruktsioon läheb keeruliseks (topeltkaitsmed), tuleb kasutada kalleid metalle – hõbedast sularid, millistel on parem massi-juhtivuse suhe.

# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## $I^2t$ ehk sulamispunkt - Kiired vs aeglased kaitsmed

Vaatame tavalist pisisularit 5x20mm

Klaaskest, 1A, tüüp F  $I^2t= 0,6$

Klaaskest, 1A, tüüp T  $I^2t= 6,45$

### Ülekoormus 5A

Tüüp F rakendub ajaga 24ms

Tüüp T rakendub ajaga 0,25s

Kui meil esineb käivitusvoolu impulss – näiteks koormuseks on hõõglamp – siis peame valima aeglasema kaitsme. Elektrilised kaod (pingelang) on kiirel kaitsmel suuremad kui aeglasel.



# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## Lubatav pinge

Normaalolekus, kui kaitse on terve, ei lange sellele praktiliselt mingit pinget. Seetõttu tundub, et pingetaluvus ei oma tähtsust. Aga kaitse riknemise korral langeb ahelale kogu toitepinge ning kui see on lubatust kõrgem, tekib kaitse elektrootodide vahel ülelööök, mida sulamine ei katkesta. Tulemus – kaitse ei avane, vaid läheb põlema. NB ! Kaitse pingetaluvus on erinev alalisvoolu ja vahelduvvoolu korral. Kui pingetaluvus on märgitud nt 250VAC – siis see kehtib ainult vahelduvvoolu korral ning ei tohi eeldada, et see talub ka 250V alalisvoolu ! Kaare katkemine on alalisvoolu korral oluliselt raskem, mistõttu alalispinge piir on madalamal. Näide – 5x20mm keraamiline kaitse, 500VAC/400VDC tähendab, et alalisvooluahela maksimumpinge on 400V ja üle selle ei ole kaitse töö garanteeritud.

# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## Maksimaalne lühisvool $I_{max}$

Igal ahelal on maksimaalne lühisvool, mis on piiratud juhtmete ristlõikega, aku võimsusega, jaotustrafo võimsusega jne jne. Sulavkaitsme maksimaalne lühisvool peab seda ületama, vastasel juhul ei ole garanteeritud ahela katkemine ning ohutus ei ole tagatud !

### 5x20 mm miniatuursed kaitsmed

Klaaskestaga **35A**

Keraamilised (liivatäidisega) **1500A**

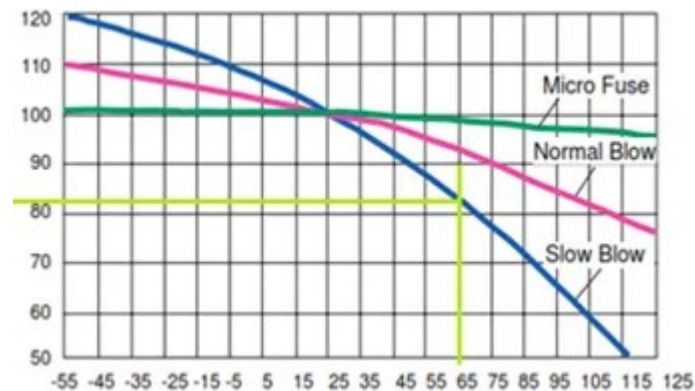


Suurem katkestusvõimsus suurendab kaitsme kaovõimsust !

# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## Töötemperatuur

Kuna sulari takistus temperatuuri tõustes kasvab, siis väheneb ka voolutaluvus. Mida „aeglasem“ on kaitse, seda suurem on see sõltuvus. Kõrgemal temperatuuril tuleb vähendada kaitsme töövoolu (valida suurem kaitse sama voolu korral)





# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## „VÄHEMTÄHTSAD“ PARAMEETRID

- Erinevad sertifikaadid – EN, UL markeering jne
- Kinnitusmeetod
- Poltidega kinnitatavad suured kaitsmed – väga oluline on jälgida õiget „seibimajandust“ ning kinnikeeramisel momenti. Vastasel juhul jäävad klemmid mehhaanilise pinge alla ning kaitse võib aja jooksul rikneda
- Õhuniiskus, saasteainete sisaldus
- Õhurõhk – kõrgemates piirkondades (Mongoolias, Tiibetis, Antarktikas) on õhurõhk madalam ja seetõttu ka jahutustingimused halvemad, mistõttu kaitsme parameetrid muutuvad
- Lubatud vibratsioon – eriti oluline liikuvates seadmetes ja mootorite läheduses
- Paigalduskaugus ja ümbritsev vaba ruum – et oleks tagatud eelduslik õhu liikumine kaitsme ümber
- Välised elektromagnetväljad – ainult väga võimsates paigaldistes
- Signalisatsiooniseadmed – indikaatorid kaitsmel, mis näitavad läbipõlemist

**IMPROVISEERIMINE EI OLE LUBATAV**

# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## PARALLEELKAITSMED

Kasutatakse juhul kui on vaja eriti kiiret toimet. Kuna 2\* väiksema kaitsme I2t on ca 8\* väiksem, siis teoreetiliselt annab kaitsmete paralleelsus 4\* väiksema I2t. Praktikas on see efekt väiksem ning konstruktsioon on keerulisem ja kallim, seetõttu piiratud kasutusega. Sularid võivad olla ka ühes korpuses. Igaljuhul ei ole pildiolev kaitse „topelttöökindlusega“ element.



# SULAVKAITSMETE PARAMEETRID

## HARULDASEMAD RIKKEMEHHANISMID

- Vibratsioon – sular laguneb metalli väsimuse tõttu või katkeb ühenduskoht sulari ja klemmide vahel
- Korrosioon – sular korrodeerub ja ristlõige väheneb. Klemmid korrodeeruvad
- Mikroülekoormus – lühikesed ülekoormusimpulsid kuumutavad sularit lokaalselt ning metalli struktuur muutub. Esineb pigem jõuelektroonikarakendustes

# SULAVKAITSMED JA TERVE MÕISTUS

- Praktiliselt alati rakendub kaitse lühise tõttu. Seetõttu tuleb enne vahetamist veenduda, et lühise allikas on kõrvaldatud.
- Kui jõuelektroonikaseadme kaitse on sulanud, siis on reeglina ka seade ise hävinenud. Sular ei kaitse üldiselt pooljuhte, vaid hoiab ära tulekahju. Reeglina sureb koos jõutransistoridega ka nende juhtplokk.
- Kunagi ei tohi asendada alalisvooluseadmetes kaitsmeid, millede pingetaluvus erineb. Kui kaitsmele ei ole märgitud alalisPINGE taluvust, siis ei tohi seda pimesi kasutada. Eriti kehtib see akupankade korral, kuna tulemuseks võib olla suurejooneline tulekahju !
- Sulavkaitse ei ole „alaväärtuslik kaitseautomaat“ vaid konkreetsesse rakendusse projekteeritud elektriaparaat
- Sulavkaitset ei tohi parandada traadiga ega asendada naelaga

# TERMOKAITSE

- Termokaitse ei ole klassikaline sulavkaitse
- Termokaitse sisaldab sulavat materjali (parafiin), mis sulades katkestab vedru abil elektriühenduse.
- Termokaitse on mõeldud katkestamiseks „väljastpoolt“ tuleva soojusega
- Liigvool võib selle ka sisemise soojuse abil katkestada
- Mõeldud nt trafomähiste ja mootorite mähiste kaitseks ülekuumenemise eest. Võib asendada, kui on teada ülekuumenemise põhjus
- Joodetav termokaitse on kapriisne, kuna jootekolvi soojus võib selle rakendada. Tuleb jälgida tootja juhiseid ning joota kiirelt ning väljaviike mitte lühikeseks lõigata
- Lahutusvõime (vool ja pinge) on madalavõitu



# BIMETALLKAITSE

- Taastuv termokaitse
- Kasutatakse siis kui ülekuumenemine ei tähenda veel riket – nt küttekehad
- Lahutamisevõime on madal ja üldiselt ei kasutata jõuahelates vaid ühendatakse juhtahelatesse (releemähis vms)
- Väljaviigud ei tohi olla mehhaanilise pinge all
- Jootmisel tuleb olla ettevaatlik, parem kasutada klemme
- Levinud rike on klemmide oksüdeerumine kuuma tõttu

