

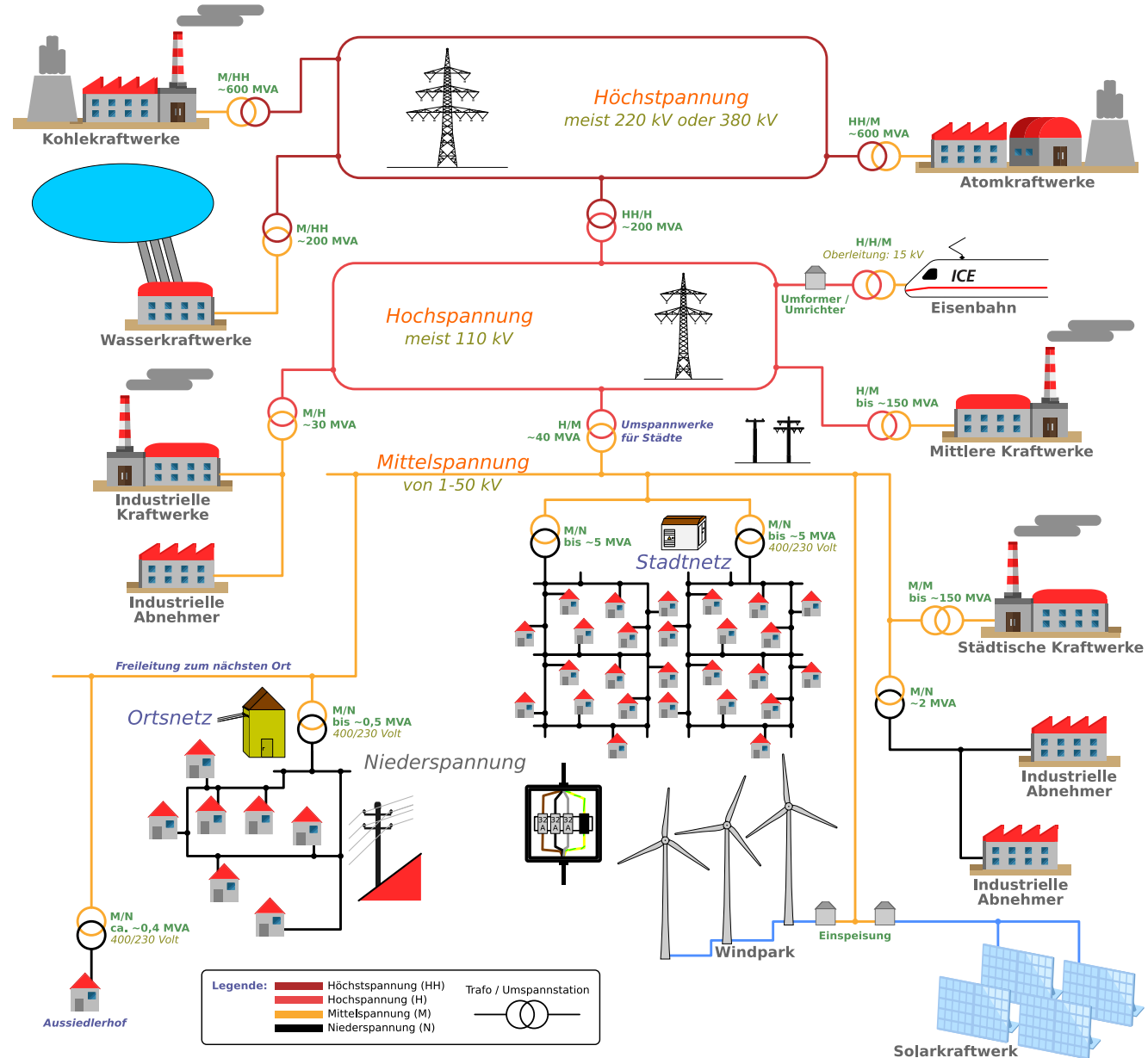
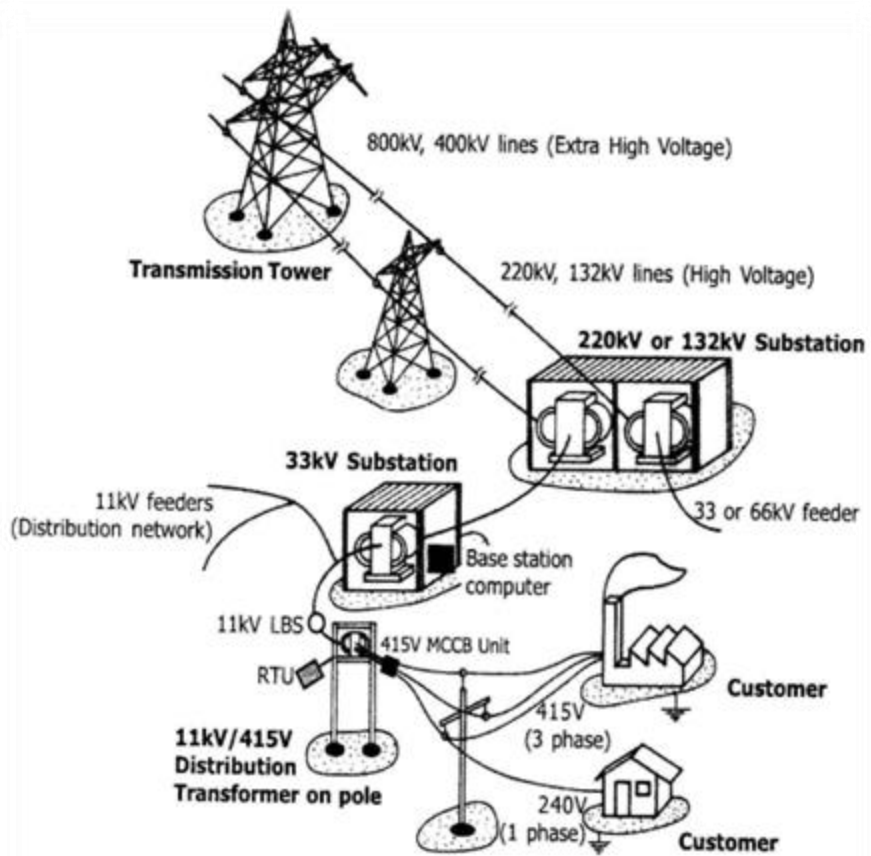


TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKool
TTK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

ELEKTRIAPARAADI

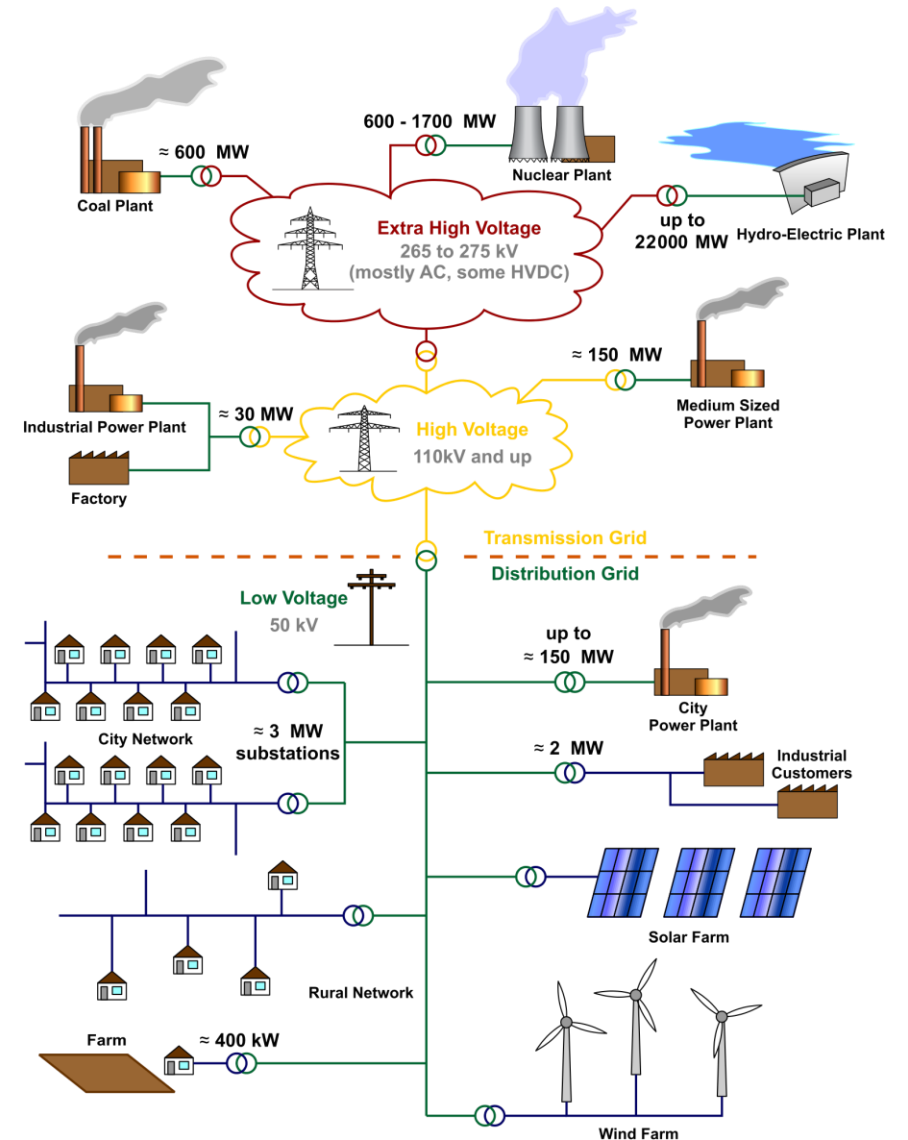
Eduard Brindfeldt, PhD

Energia tootmine ja ülekanne

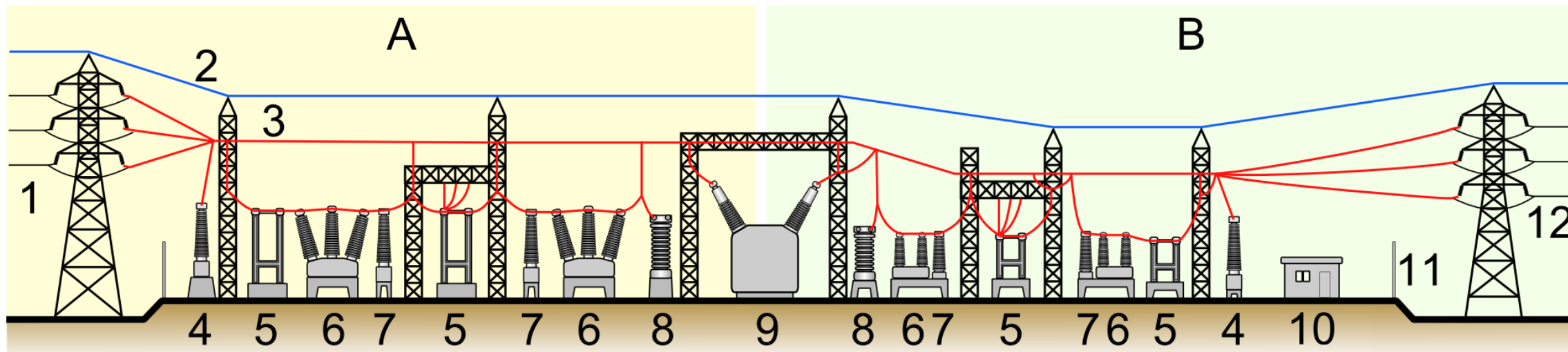


Energia tootmine ja ülekanne

SEJ



Olkiluoto tuumaelektrijaam

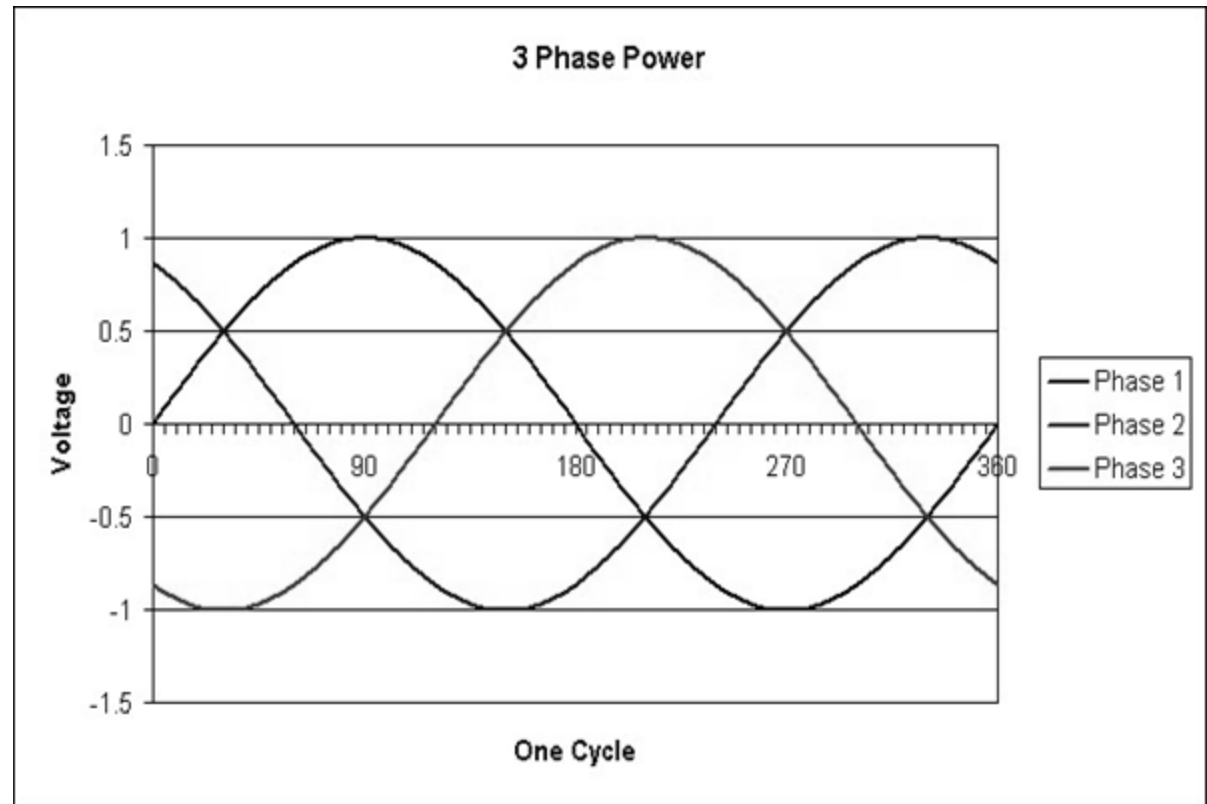


Välisalajaama osad ja elemendid: A – ülempingeosa; B – alampingeosa

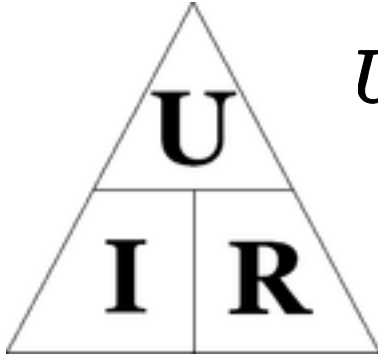
1 – sisenev kõrgepingeliin; 2 – maandusjuht; 3 – ülempingejaotla; 4 – [pingemõõdetrafo](#);
5 – [lahklüüti](#) (lülitamiseks voluvabas olekus); 6 – [võimsuslüüti](#) (koormusvoolu lülitamiseks);
7 – [voolumõõdetrafo](#); 8 – piksekaitse; 9 – [jõutrafo](#); 10 – juhtimiskeskus; 11 – turvatara;
12 – väljuvad alampingeliinid (alampingejaotla)

Põhilised elektrilised suurused

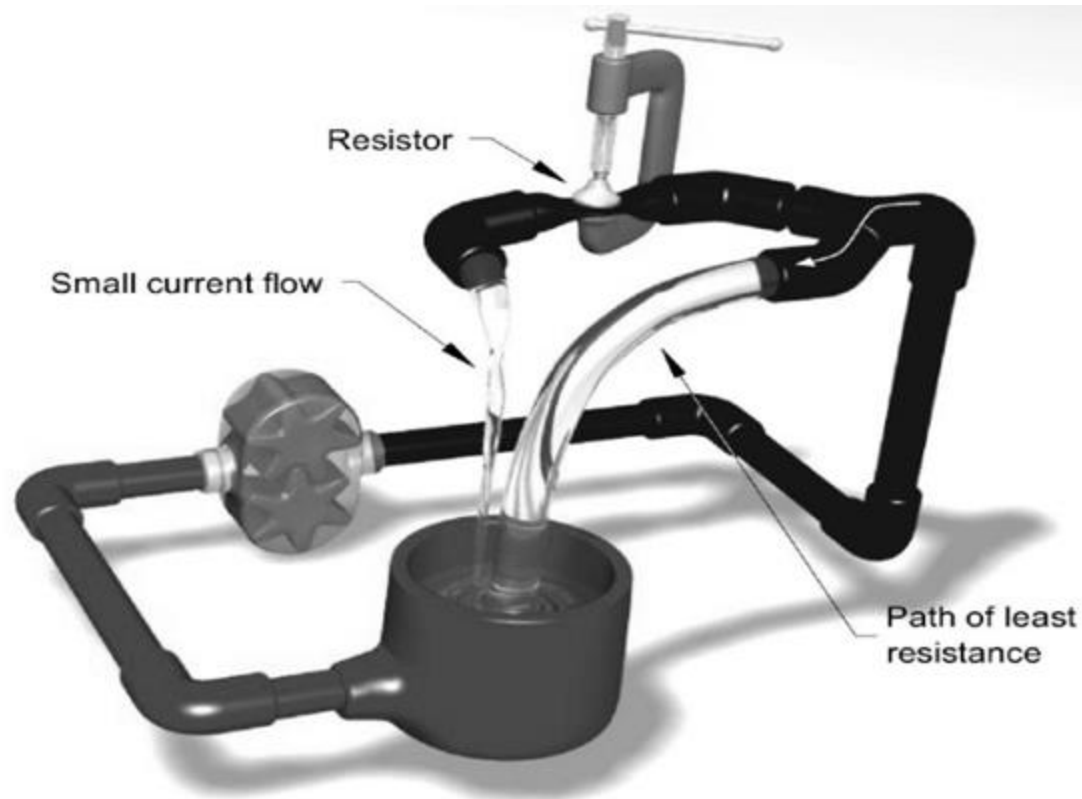
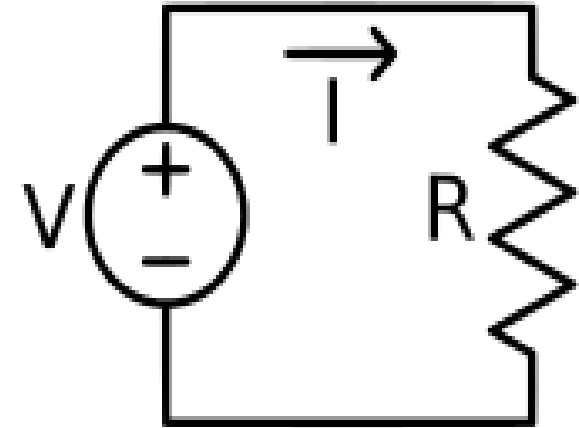
I, U, R, P ...



Ohmi seadus vooluahela osa kohta

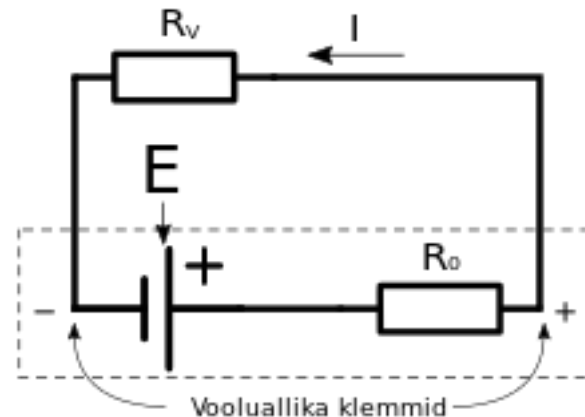


$$U = IR \quad \text{või} \quad I = \frac{U}{R} \quad \text{või} \quad R = \frac{U}{I}$$



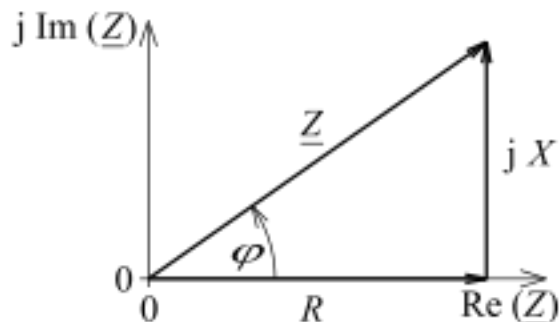
Ohmi seadus elektromotoorjõu allikaga vooluringi kohta

Vooluringis, s.o suletud mittehargnevas vooluahelas, on vool I võrdeline elektromotoorjõuga E ja pöördvõrdeline ahela takistusega R :



Elektromotoorjõu allikal on alati teatav sisetakistus R_0 , mis jääb järjestikku välise takistusega R_v , siis saab Ohmi seaduse valem kuju

Ohmi seadus vahelduvvoolu korral

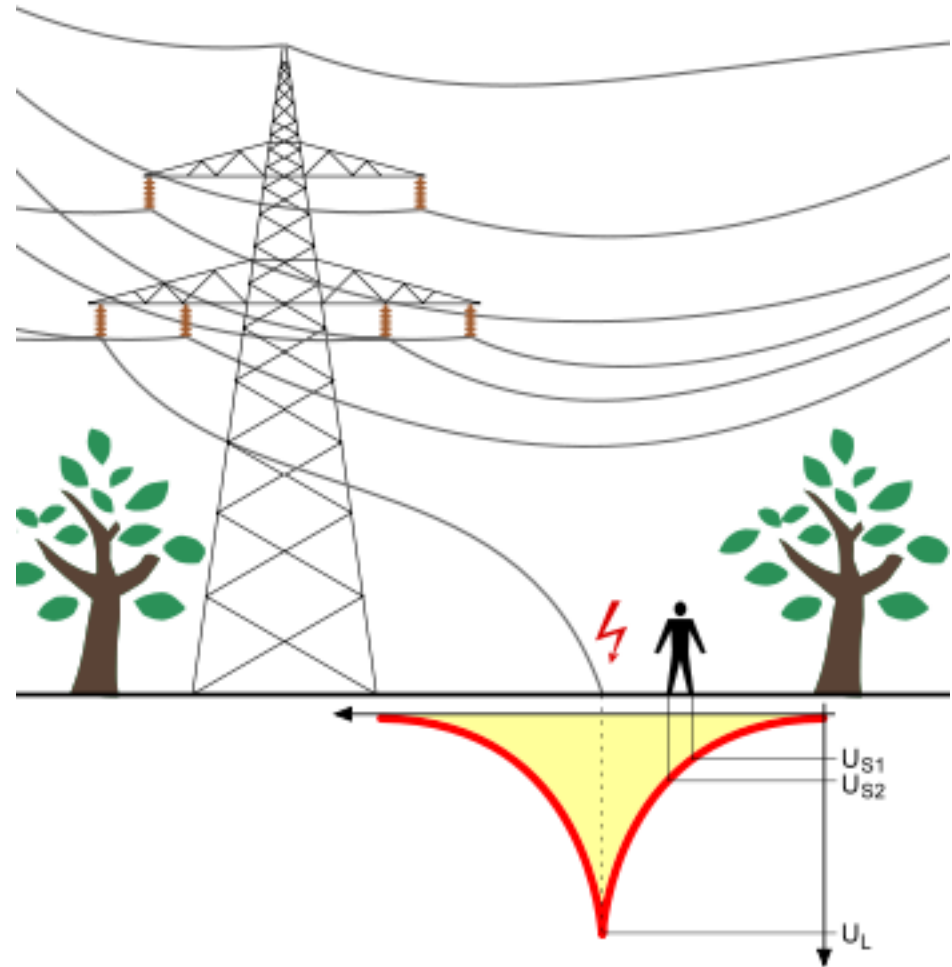


Z on vahelduvvooluahela näivtakistus.

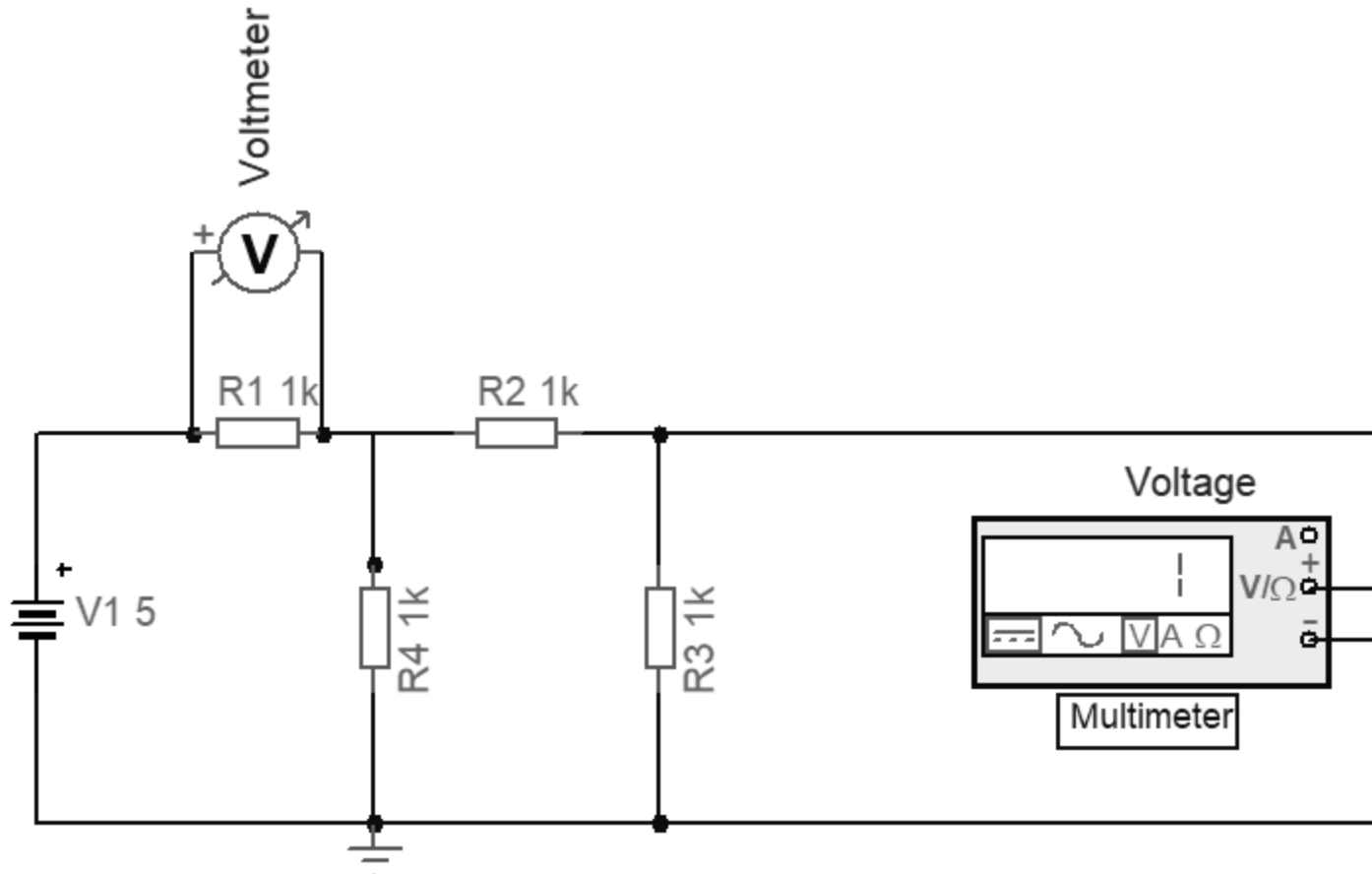
Näivtakistus ehk impedants Z on elektrialahela kahe punkti vahel perioodilisele siinuselisele vahelduvasuunalisele elektrivoolule ehk vahelduvvoolule avalduv takistus, mis koosneb kahest põhikomponendist:

- Aktiivtakistus R – iseloomustab elektrienergia muundumist teist liiki energiaks, näiteks soojuseks;
- Reaktiivtakistus X – iseloomustab elektrienergia perioodilist kadudeta toimuvat muutumist magnetvälja või elektrivälja energiaks.

Pinge (elekter)



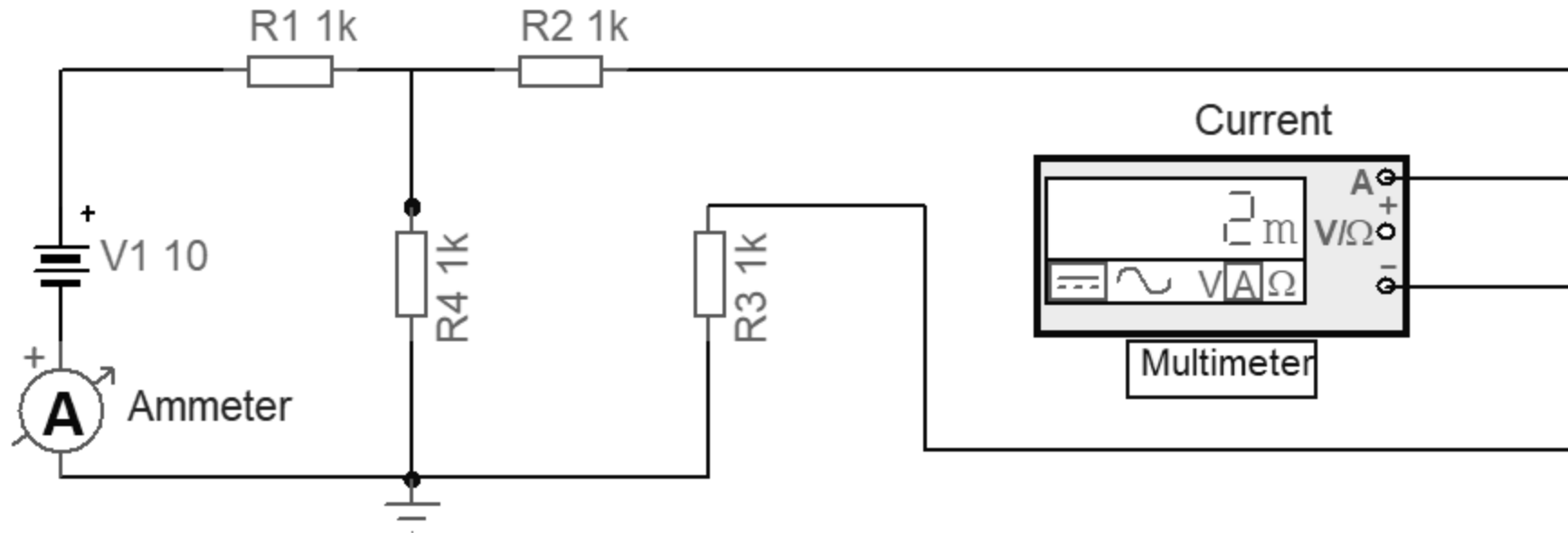
Pinge mõõtmine



Elektrivoolu tugevus

Elektrivoolu tugevus ehk voolutugevus on füüsikaline suurus, mis võrdub ajaühikus elektrijuhi ristlõike pinda läbinud elektrilaenguga

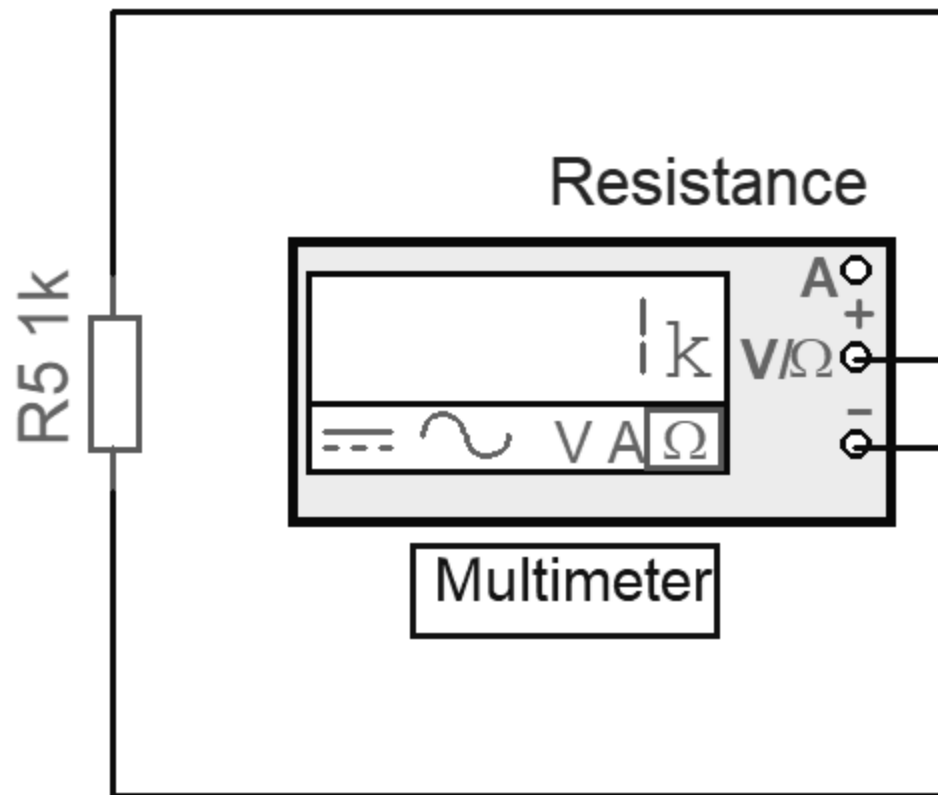
Voolutugevuse mõõtmine



Takistus on elektrotehnikas füüsikaline suurus, mis iseloomustab juhi omadust avaldada elektrilaengute liikumisele takistavat mõju.

kus l on juhi pikkus meetrites, A – juhi ristlõike pindala ruutmeetrites ja ρ – materjali eritakistus oommeetrites ($\Omega \cdot m$).

Takistuse mõõtmine



Elektri- ja magnetahelate arvutuse põhiseosed

Elektriahel	Magnetahel
elektrivool I , A	magnetvoog Φ , Wb
allikasisepinge U_A , V	magnetomotoorjõud I_w , A e amperkeerd
elektriline potentsiaalilang $U = IR$, V	magnetiline pinge $U_{mk} = H_k l_k$, A
erijuhtivus, γ (S/m)	magnetiline läbitavus, μ_a , H/m
elektriline takistus $R = \frac{l}{\gamma S}$, Ω	magnetiline takistus $R_M = \frac{l}{\mu S}$, 1/H
Ohmi seadus $I = \frac{U_A}{R_\Sigma} = \frac{U}{R}$; R_Σ – ahela tarbijate takistuste summa	Ohmi seadus $\Phi = \frac{I_w}{R_{M_\Sigma}} = \frac{Hl}{R_M}$, Wb R_{M_Σ} – magnetahela osade takistuste summa

Elektri- ja magnetahelate arvutuse põhiseosed

Ohmi seadus $I = \frac{U_A}{R_\Sigma} = \frac{U}{R}$;

R_Σ – ahela tarbijate takistuste summa

Ohmi seadus $\Phi = \frac{Iw}{R_{M_\Sigma}} = \frac{Hl}{R_M}$, Wb

R_{M_Σ} – magnetahela osade takistuste summa

Kirchhoffi seadused

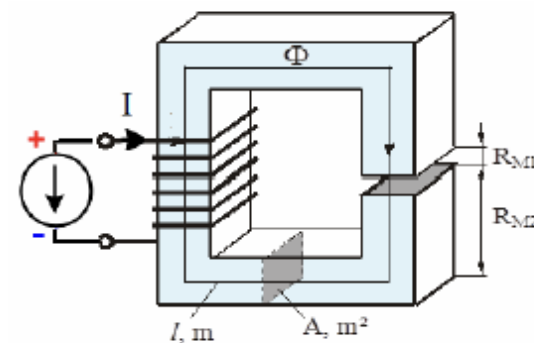
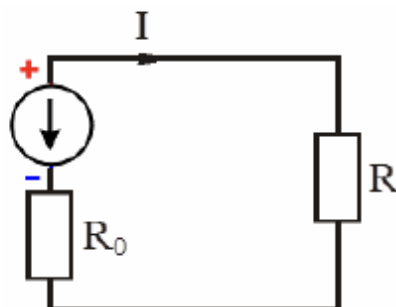
$$\sum I_{suubuv} = \sum I_{väljuv}; \sum U_A = \sum U$$

Kirchhoffi seadused

$$\sum \Phi_{suubuv} = \sum \Phi_{väljuv}; \sum Iw = \sum Hl$$

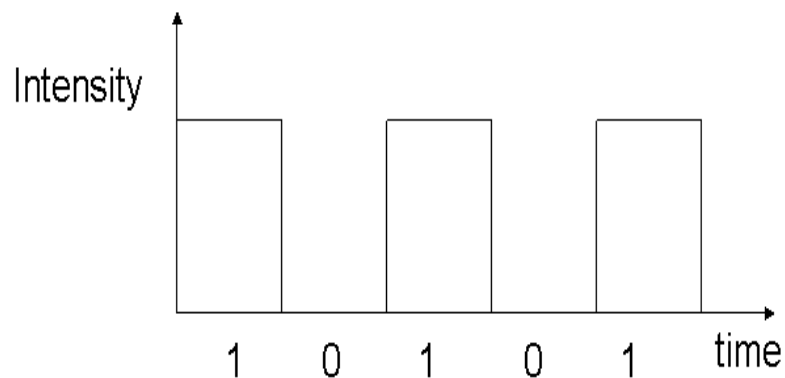
Voolutihedus $\Delta = I/A$, A/m²

Vootihedus $B = \Phi/A$, Wb/m² = T

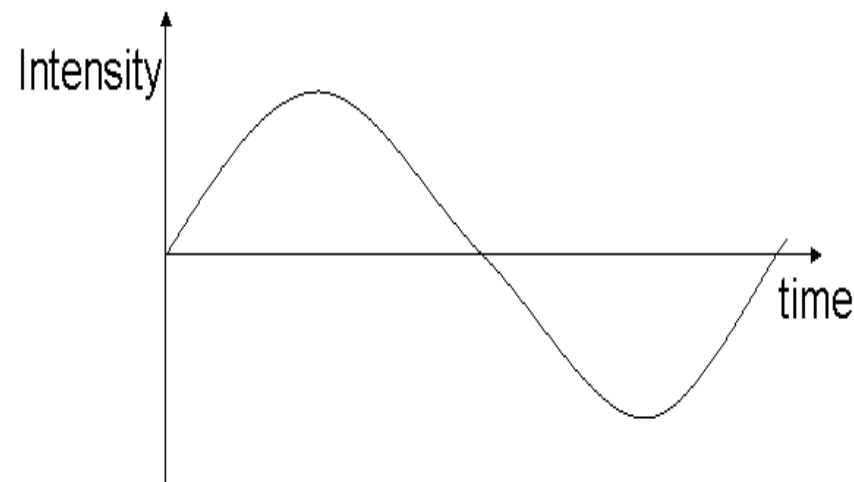


Digitaal- ja analoogsignaalid

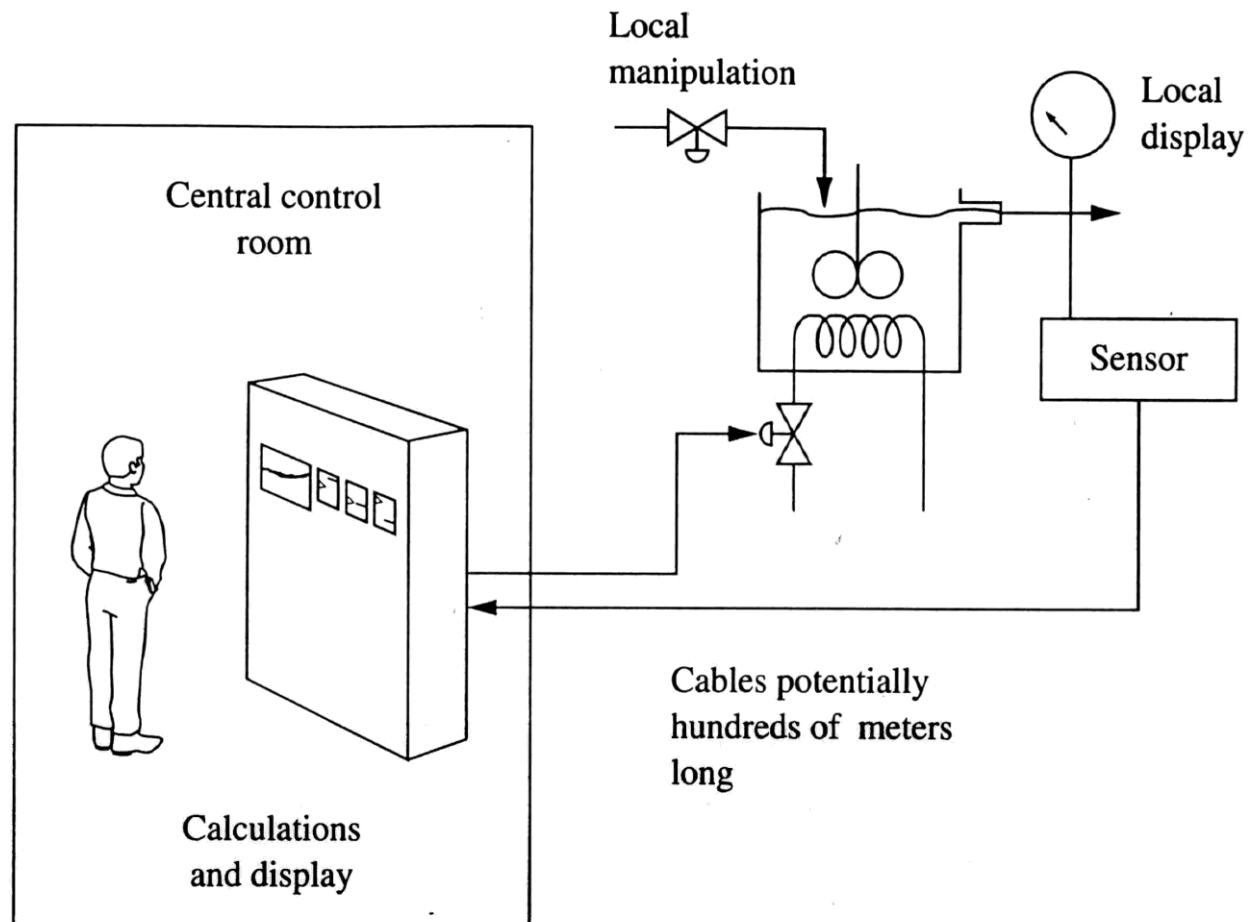
- Digitaalsignaalidel on kaks amplituudi nivood, mida nimetatakse sõlmedeks. Milliste väärtust määratletakse ühena kahest võimalusest, nagu näiteks 1 või 0, KÕRGE või MADAL, TÕENE või VÄÄR ja nii edasi



Abrupt amplitude variations



Analoogsignaali edastamine



Analoogsignaali edastamine

Töötlevas tööstuses kasutatakse alljärgnevaid analoogsignaale.

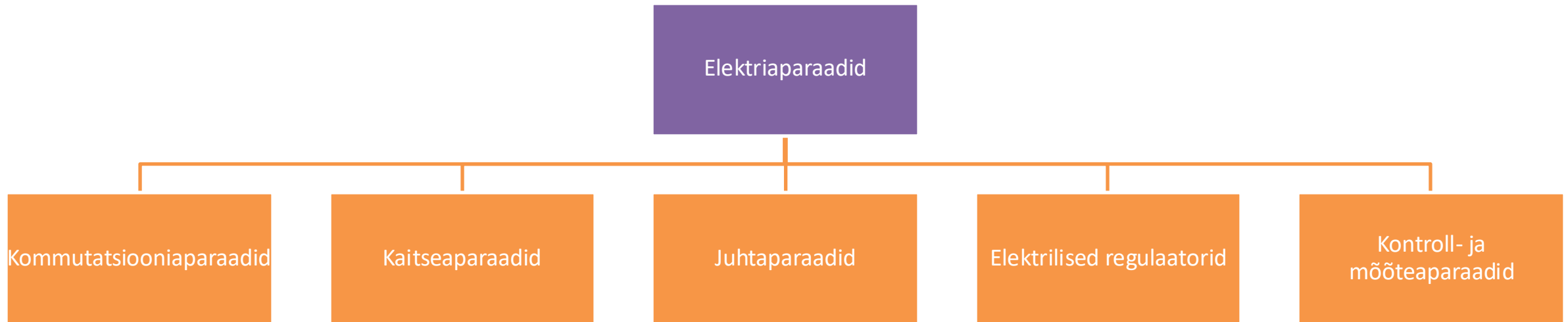
- Füüsiline asend (keps, ühendusvarras)
- Hüdrauliline rõhk
- Pneumaatiline (õhu) rõhk (3-15 psig)
- Elektrooniline (4-20 mA DC)

Digitaalsignaali edastamine

- Termin välisiin viitab digitaalse edastuse ja hajusa andmetöötluse kasutamist reaalaaja tehnoloogilise protsessi juhtimiseks. Välisiin jaoks on olemas mitmeid konstruktsioone ning käesolevas tutvustatakse vaid mõningaid enamikele konstruktsioonidele ühiseid tunnuseid.
- Tööstuslik Ethernet
- Modbus
- Profibus
- AS liides

ELEKTRIAPARAADI MÕISTE JA KLASSIFIKATSIOON

- Elektriaparaat (EA) on elektrotehniline seade elektriahelate kommutatsiooniks, kaitseks, kontrolliks, juhtimiseks või reguleerimiseks.
- Kaasaegne EA on sageli keeruline tehniline seade, mis võib täita mitmeid eeltoodud funktsioone.
- Seetõttu on EA klassifitseerimine raske ülesanne. Levinum on EA klassifitseerimine otstarbe e. põhifunktsiooni järgi.



ELEKTRIAPARAADI MÕISTE JA KLASSIFIKATSIOON

- Kommutatsiooniparaadid on mõeldud elektriahelate kommutatsiooniks, s.o. sisse-, välja- ja ümberlülitamiseks. Sellesse gruppi kuuluvad mitmesugused lülitid, ümberlülitid, kontaktorid jms.
- Kaitseaparaadid on mõeldud elektriahelate kaitseks liigvoolude, liig- ja alapingete eest, aga ka elusolendite kaitseks elektrilöögi eest. Sellesse gruppi kuuluvad sulavkaitsmed, kaitselülitid, kaitserелеed, liigpingepiirikud jt.
- Juhtaparaadid on ette nähtud mitmesuguste objektide talituse juhtimiseks (juhtnupud, releed, juhtkellad, taimerid, kontrollid jms.).
- Kontroll- ja mõõteaparaadid on mõeldud elektriliste või mitteelektriliste suuruste kontrolliks või mõõtmiseks. Siia kuuluvad mitmesugused releed (pinge-, voolu, sageduse jt. releed), muundurid (voolu- ja pingetrafo) ja andurid (temperatuuri, rõhu, liikumise jt. andurid).
- Elektrilised regulaatorid on mõeldud elektriahelate mitmesuguste parameetrite (pinge, vool, sagedus jt.) reguleerimiseks.

Elektriaparaatide jaotus kõrvalnäitajate järgi

Elektriaparaadi liigitamise aluseks olev tunnus

Pinge	Voolu liik	Kaitstuse aste	Tööpõhimõte	Muu näitaja
madalpinge $< 1000 \text{ V}$ kõrgepinge $\geq 1000 \text{ V}$	alalisvool, vahelduv, vool: a) $f = 50 \text{ Hz}$ b) $f \neq 50 \text{ Hz}$	lahtised, kaitstud, pritsmekindlad, veekindlad, hermeetilised, plahvatusohutu d,	elektromagnetil ised, magnetelektrilis ed, induktsioon-, induktiiv-, mahtuvuslikud, termilised, Pooljuhtkontakt pooljuht	kontakt-, kontaktivabad, kiiretoimelised, automaatsed, mitteautomaats ed

1. Elektriaparaadi vooluahel peab normaaltalitluses laskma läbi nimivoolu kui tahes pika aja jooksul. Seejuures ei tohi ta kuumeneda üle piirtemperatuuri, mis on lubatud aparaadile tervikuna või tema üksikdetailidele.
2. Elektriaparaadi tundlikkus peab olema nii kõrge, et ta reageeriks ka jälgitava parameetri väikestele hälvetele.
3. Elektriaparaat peab taluma rikke- või avariitalitluses (liigkoormus, lühis) tekkivate suurte termiliste ja elektrodünaamiliste koormuste mõju ilma jääkdeformatsioonideta, mis takistaksid ta edasist normaalset tööd
4. Elektriaparaadi kontaktid peavad tagama piirlühisvoolude lahutamise. Pärast piirlühisvoolude lahutamist peab elektriaparaat olema uuesti töökõlblik normaaltalitluseks.
5. Elektriaparaadid peavad olema piisavalt kiiretoimelised, et vältida rikke- või avariitalitlusest tingitud kahjustusi, õnnetusjuhtumeid ja purustusi.
6. Elektriaparaadist kaarekustutusprotsessi ajal välja paiskuvate kuumade ioniseeritud gaaside ala peab olema minimaalne, mis vähendab jaotusseadmete mõõtmeid ning tõstab teeninduse ohutust.

7. Elektriaparaadi peavad olema selektiivsed, s.t. nad peavad lülitama elektrivõrgust välja ainult kahjustatud vooluahela osa (liini, seadme või seadmerühma).
8. Elektriaparaatide põhilised tunnussuurused (nimivool, rakendumisstunnujoon jt.) peavad olema tabiilsed kogu kasutusaja jooksul. See tagab nende õige töö.
9. Elektriaparaadil peab olema teatav nõutav töökindlus, s.o. tõrketa töö kestus, ning tööiga, s.o. ajavahemik aparaadi kasutamise algusest kuni aparaadi kasutuskõlbmatuks muutumiseni.
10. Igal elektriaparaadil peavad olema võimalikult väiksed mõõtmed, mass ja maksumus, samuti lihtne ehitus; teda peab olema mugav käsitleda ja tehnoloogiline toota.
11. Elektriaparaat peab olema ohutu, s.t. vastama teatavatele elektriohutuse nõuetele.
12. Elektriaparaadi ehitusviis peab vastama kasutuskeskkonnale. See nõue on oluline elektriaparaadi kaitseastme valikul.

Mainitust järeldeb, et elektriaparaatide talitus on seotud mitmete füüsikaliste nähtustega, millest olulisemad on

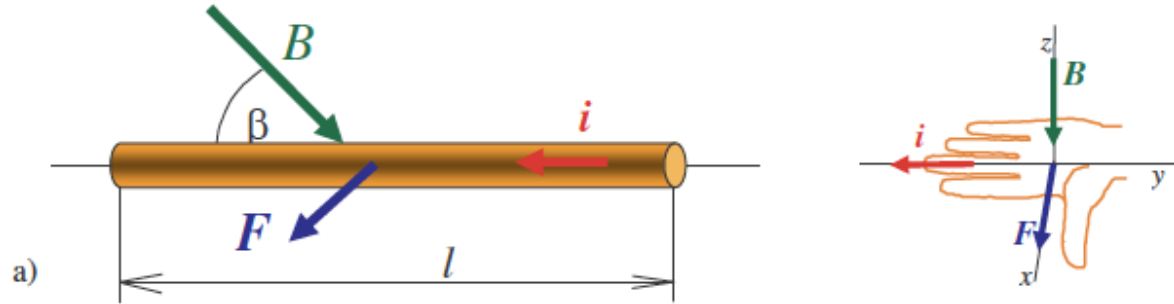
- elektrodünaamilised jõud,
- kuumenemine,
- elektrikaar,
- liigpinged,
- kontaktide kulumine.

Kõigi mainitud nähtustega arvestatakse nii elektriaparaatide projekteerimisel kui ka käitamisel.

Järgnevates peatükkides käsitlemegi lähemalt neid protsesse, sest siis on edaspidi kergem mõista elektriaparaatide tööpõhimõtet, ehitust, paigaldamist ja kasutamist.

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD ELEKTRIAPARAATIDES

Magnetvälja paiknevale vooluga juhile mõjub elektrodünaamiline jõud (EDJ).



Vooluga juht magnetväljas

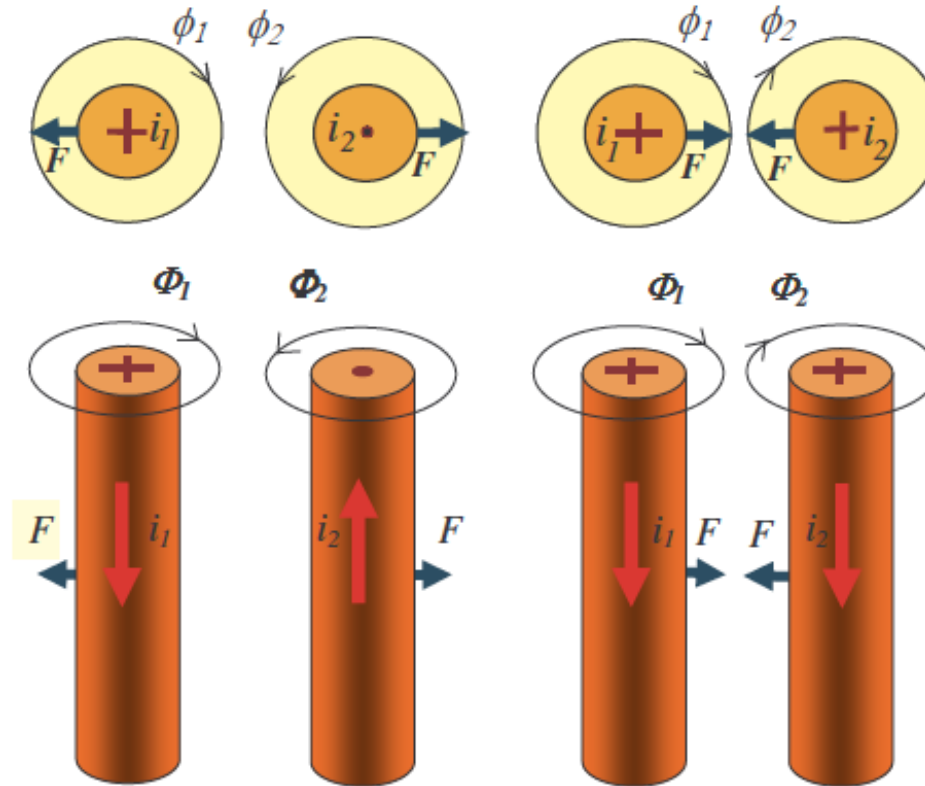
a) – EDJ tekke selgitamiseks, b) – vasaku käe reegel

$$F = ilB \sin \beta$$

Tekkiva jõu suuna saab määrata nn “vasaku käe reegli” abil

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD ELEKTRIAPARAATIDES

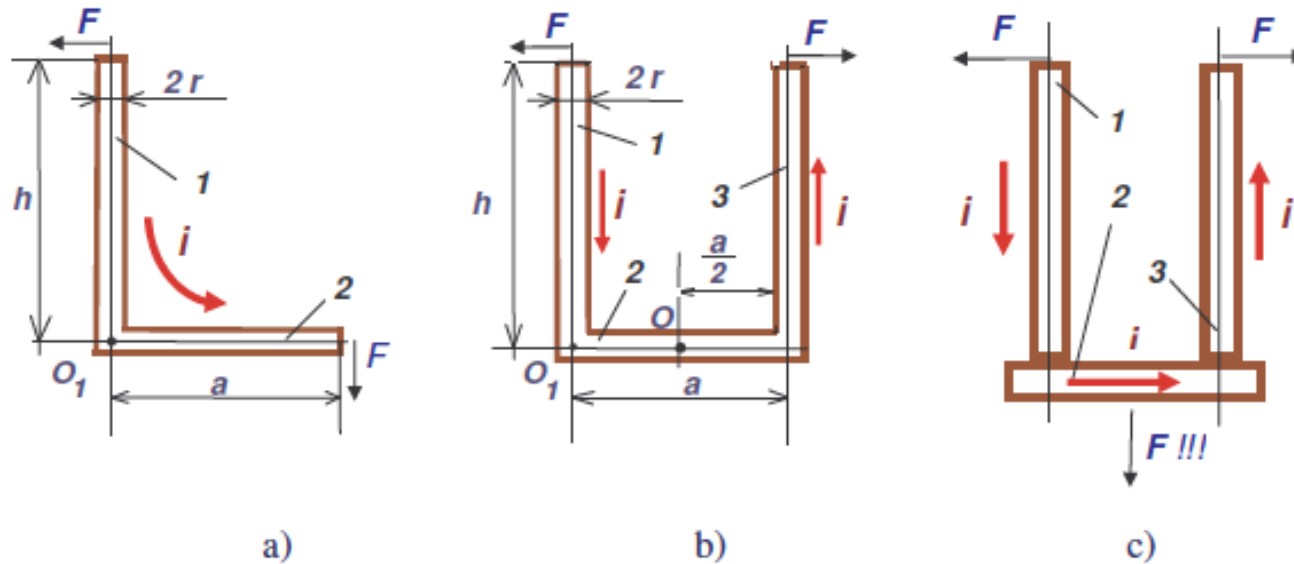
Voolujuhtide vahel tekkiv elektrodünaamiline jõud kulgeb magnetvälja nõrgenemise suunas



Elektrodünaamiliste jõudude suund voolujuhtide vahel erinevate voolusuundade puhul

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD RISTI PAIKNEVATE VOOLUJUHTIDE VAHEL

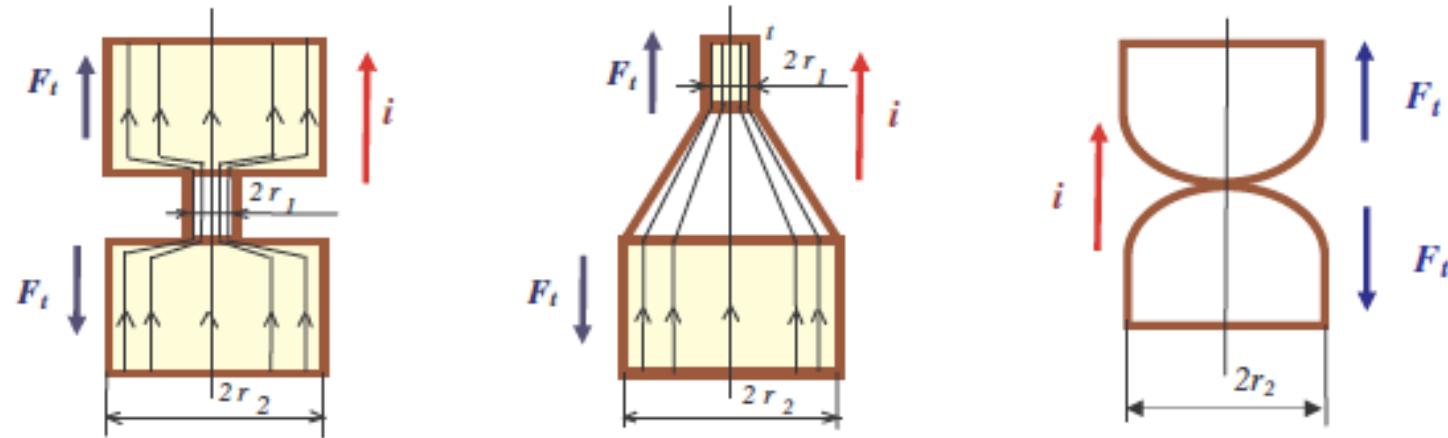
See on elektriaparaatides sageli esinev voolujuhtide paigutus.



Elektrodünaamilised jõud risti paiknevate voolujuhtide vahel

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD MUUTUVA RISTLÕIKEGA VOOLUJUHHIS

Kui voolujuhi ristlõige muutub, siis vooluniitide teekond kõverdub, mille tagajärjel tekivad teljesuunalised jõukomponendid. Nagu nähtub jooniselt on teljesuunaline jõud suunatud suurema ristlõike poole.

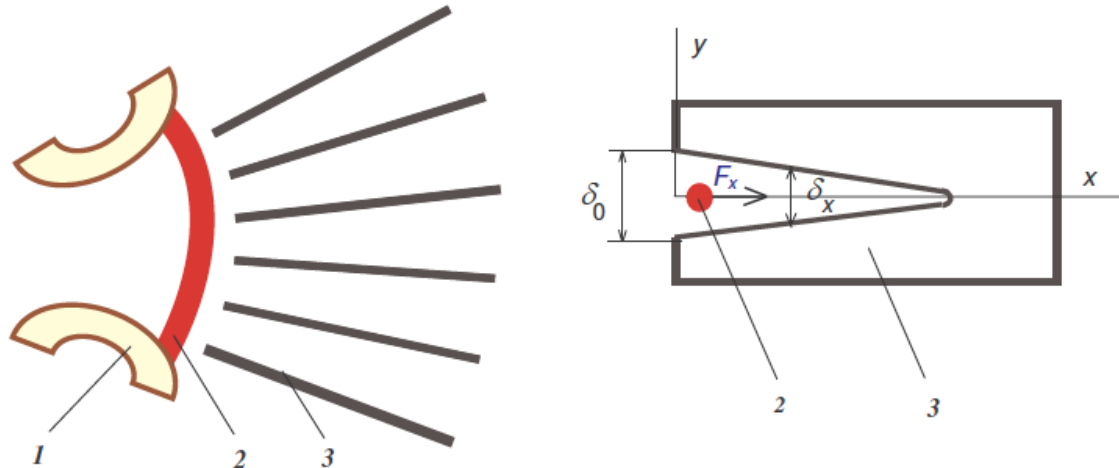


Samasugune nähtus leiab aset elektriaparaatide kommutatsioonikontaktide vahel. Normaaltalitluses on kontakte lahutada püüdvad jõud tühised. Lühiste korral ulatuvad jõud sadade njuutoniteni. Dünaamiliselt püsiva kontakti tagamiseks peab kontaktvedrude surve olema suurem, kui tekkida võivad elektrodünaamilised jõud.

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD VOOLUJUHI JA FERROMAGNETILISE KESKKONNA VAHEL

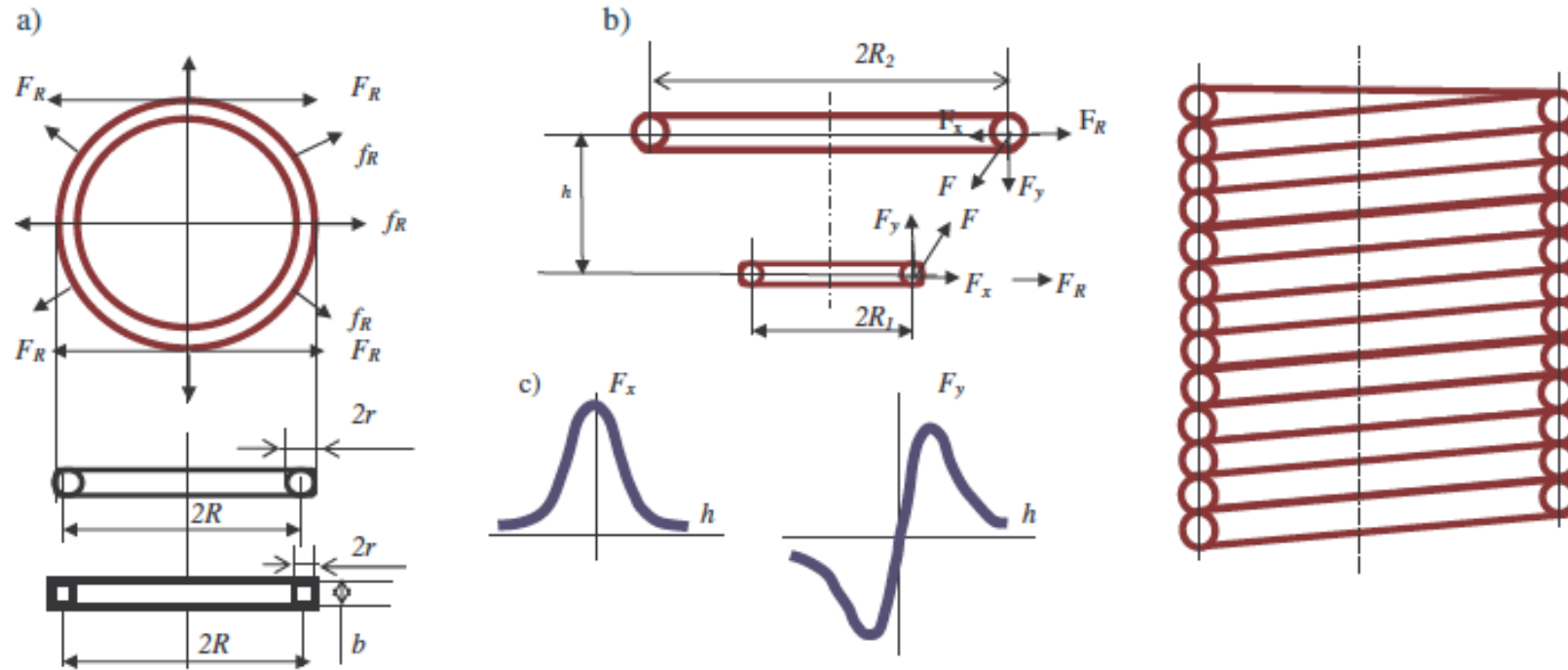
Kaitseaparaatide kaarekustutuskambris kasutatakse sageli ferromagnetiliste plaatidega kaarekustutusvõret.

Elektrikaare suunamiseks kaarekustutusvõreni kasutatakse enamasti magnetilist puhumist, s.o elektrikaare mõjutamist kustutava voolu enda poolt tekitava magnetväljaga. Sellise nähtuse füüsikaline alus on analoogne magnetvälja ja vooluga juhi vastastikuse mõju puhul punktis



Kaarekustutusvõres elektrikaarele mõjuv elektrodünaamiline jõud
1- aparadi liikuv kontakt, 2 – elektrikaar, 3 - kaarekustutusvõre

ELEKTRODÜNAAMILISED JÕUD KEERUS JA KEERDUDE VAHEL



Elektrodünaamilised jõud keerus ja keerdude vahel

Keerus, mida läbib vool i , tekib radiaaljõud F_R , mis püüab keerdu katki rebida

ELEKTRIAPARAATIDE KUUMENEMINE

Elektriaparaatides tekivad nende töötamise ajal aktiivenergia kaod, missoojuseks ja eralduvad soojusena voolu juhtivates osades (juhtmed, mähised, latid), nende üleminekutes (kontaktid) ja ferromagnetilistes materjalides (magnetahelad).

Osa soojusest akumuleerub detailides, tõstes nende temperatuuri, osa hajub ümbritsevasse keskkonda. Üleliigne temperatuuri tõus vanandab kiiresti isolatsiooni ja vähendab juhtmete mehaanilist tugevust .

Näiteks, kui temperatuur tõuseb üle lubatu ainult 8 kraadi, lüheneb isolatsiooni tööiga kaks korda; kui temperatuur tõuseb 100...200 C, väheneb vase mehaaniline tugevus juba 40 %.

ELEKTRIAPARAATIDE KUUMENEMINE

Nendel protsessidel on eriline tähendus lühise puhul, mil temperatuur tõuseb 300 C ja enamgi. Samal ajal mõjuvad voolujuhtidele tugevad elektrodünaamilised jõud. Temperatuur avaldab olulist mõju ka kontaktühenduste töö stabiilsusele. Mainitust järeldeb, et elektriaparaatide töökindlus sõltub suuresti nende osade temperatuurist.

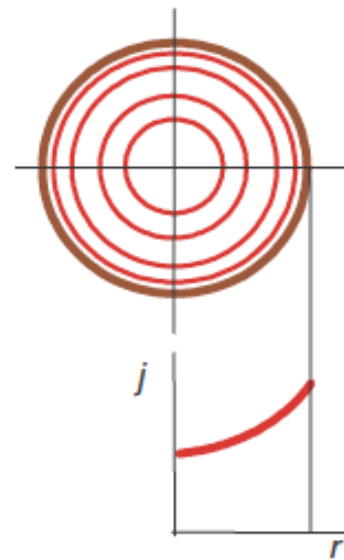
Kaovõimsus voolujuhis

$$P = I^2 R$$

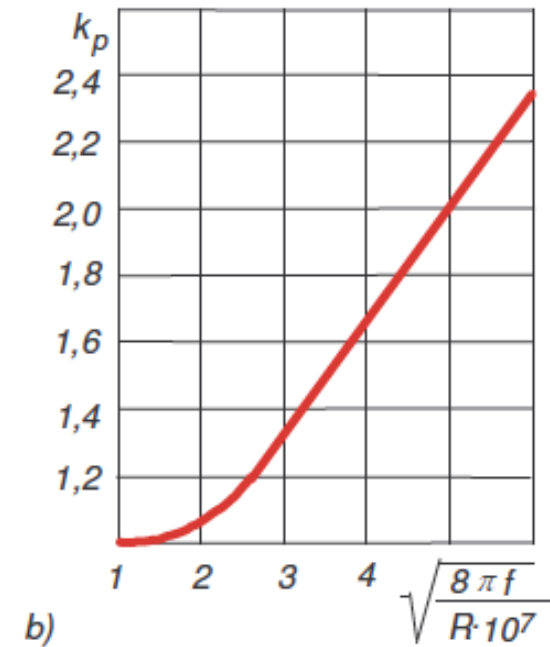
kus I - vool elektriahas,
 R - voolujuhi aktiivtakistus.

Pinnaefekt seisneb voolutiheduse ebaühtlases jaotumises voolujuhi ristlõikepindala ulatuses. Vahelduvvool indutseerib magnetväljaga voolujuhis pöörisvoolud, mis põhivooluga summeerudes vähendavad voolutihedust juhtme keskosas.

Ebaühtlane voolutihedus tõstab voolujuhi aktiivtakistust vahelduvvoolu puhul.



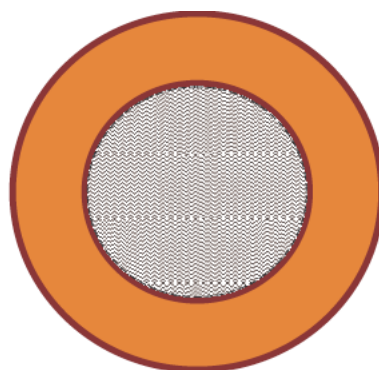
a)



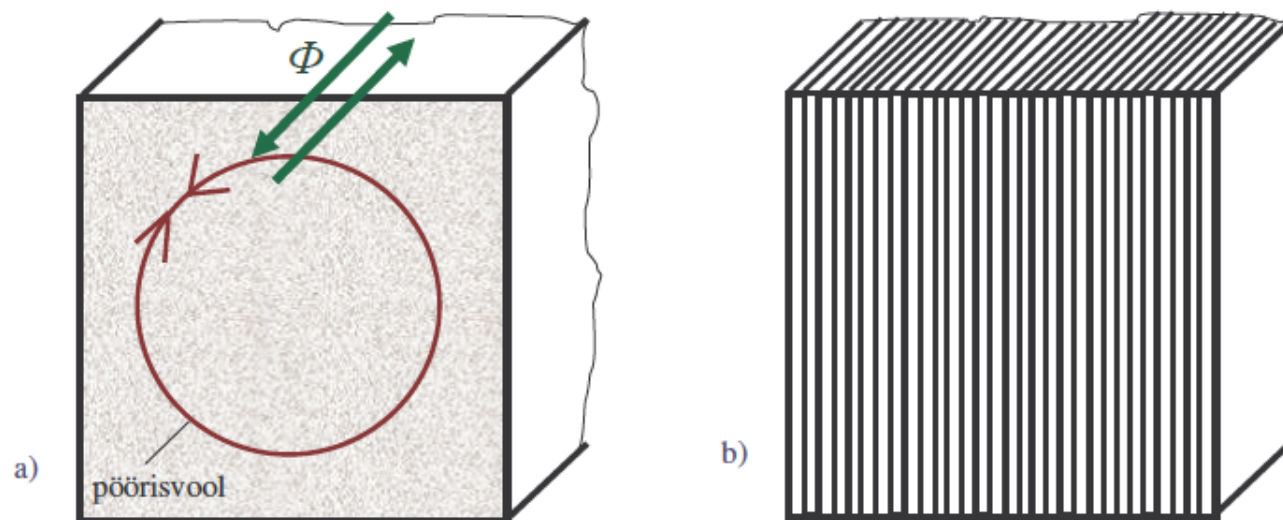
b)

Mida suurem on voolu sagedus ja väiksem voolujuhi takistus, seda suurem on pinnaefekt.

Pinnaefekti esinemise tõttu kasutatakse suurte voolude puhul torujuhtmeid, mis annavad olulist materjali kokkuhoidu ja võimaldavad sisepinna aktiivset jahutamist



Rauaskadude vähendamiseks valmistatakse vahelduvvoolu elektriaparaatide magnetahelad üksteisest elektriliselt isoleeritud teraslehtedest, mille paksus on 0,2...0,5 mm. Kui kasutatakse massiivmaterjale, püütakse need paigutada väljapoole magnetväljade mõjupiirkonda või tehakse detailidesse õhupilud, suurendamaks takistust magnetvoole.

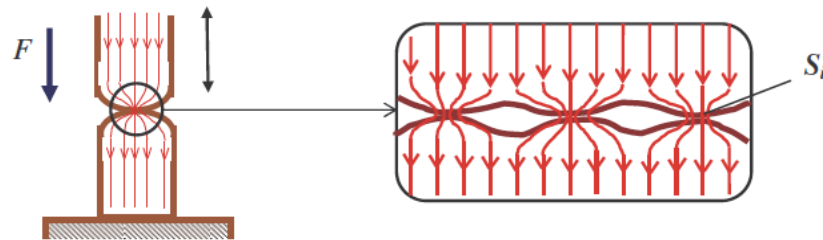


Vahelduvmagnetvoo tekitatud pöörisvoolude teke lausmaterjalist magnetahelas (a) ja nende vältimine teraslehtedest valmistatud magnetahelas

ELEKTRILISE KONTAKTI MÕISTE JA KLASSIFIKATSIOON

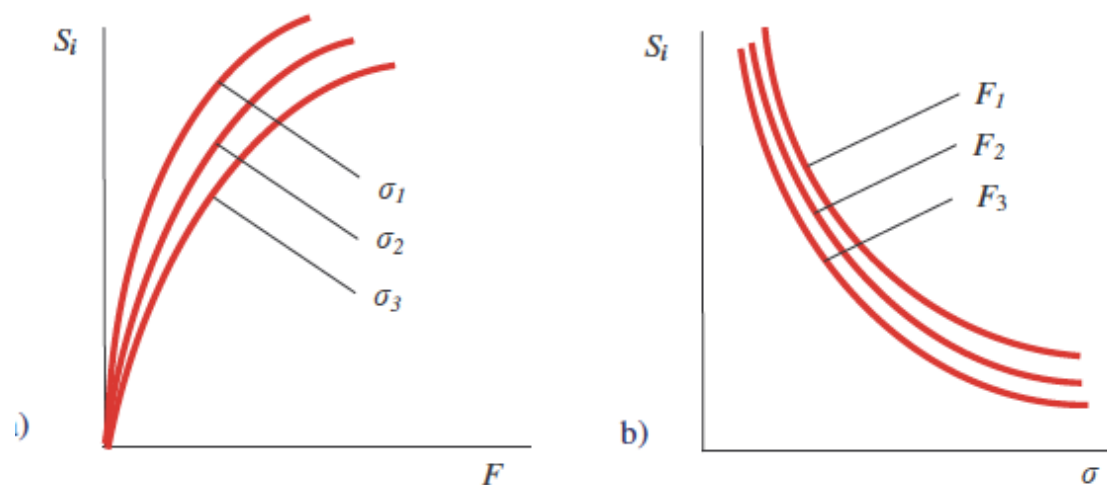
Elektriaparaadid koosnevad mitmetest voolujuhtidest, mis on omavahel elektriliselt ühendatud. Elektriliseks kontaktiks nimetataksegi kahe voolujuhi ühendust, mis võimaldab nendevahelist voolu üleminekut. Detaile, mille kaudu toimub elektriline kontakt, nimetatakse kontakt-detailideks või lihtsalt kontaktideks. Ideaalse kontakti saamiseks peaksid kontaktpinnad olema absoluutselt siledad. Tegelikult on sellise sileduse saavutamine võimatu ja seetõttu kujutab kontaktüleminek endast tervet hulka elementaarkontakte

Kontaktüleminekupind



Elementaarkontaktpinna suurus S_i on võrdeline kontaktide survejõuga F ja pöördvõrdeline kontaktmaterjali survetugevusega

$$S_i = \frac{F}{\sigma}.$$

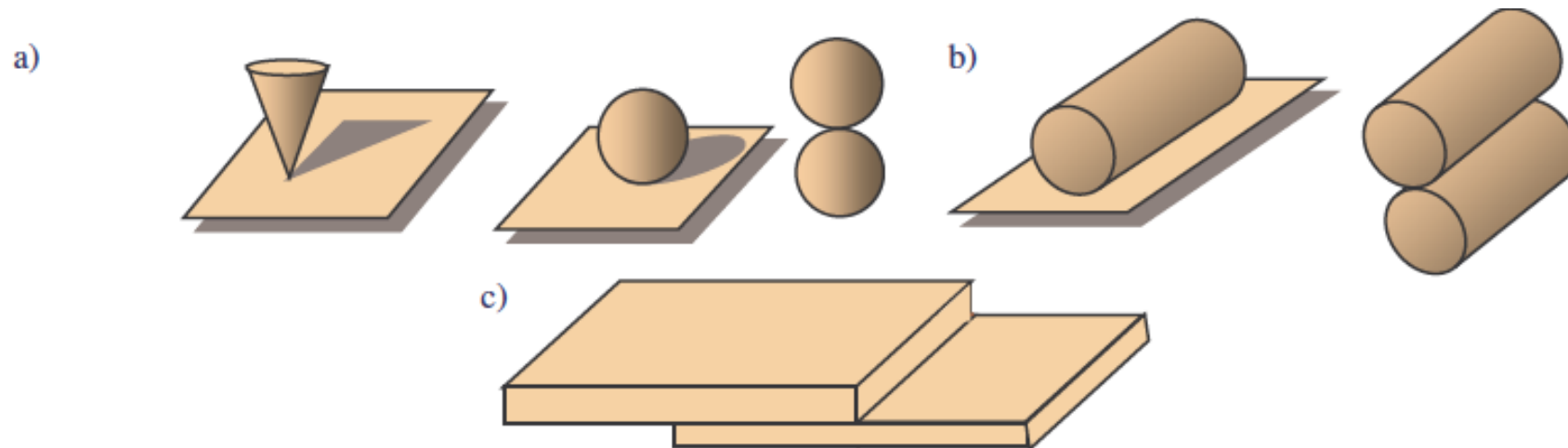


Elementaarkontaktpinna suuruse sõltuvus survejõust (a) ja survetugevusest (b)

Kogu kontaktpind S_k kujuneb elementaarkontaktpindade summana

$$S_k = \sum_{i=1}^m S_i$$

Kontakt koosneb vähemalt kahest osast (osapooldest). Kontaktpindade kuju järgi jagunevad kontaktid punkt-, joon- ja pindkontaktideks



Kontaktpindade kujud

a) punktkontakt, b) joonkontakt, c) pindkontakt

Sõltuvalt kontaktosade omavahelisest liikumisest jagunevad elektrilised kontaktid kolme suurde gruppi.

1. Lahtivõetavad kontaktid, mis töö käigus omavahel ei nihku, vaid jäävad kindlalt fikseerituiks (näiteks polt- ja klemmühendused).
2. Kommutatsioonikontaktid, millega toimub vooluahelate kommuteerimine (näiteks kontaktorite, lülitite, releede jms. kontaktid).
3. Liugkontaktid, milledes üks kontaktdetail libiseb teise suhtes, kusjuures elektriline kontakt säilib (näiteks reostaatide kontaktid, elektrimasinate kommutaatorite harikontaktid).

Voolu üleminekul ühest kontaktdetailist teise leiab aset suhteliselt suur elektriline takistus, mida nimetatakse kontakti üleminekutakistuseks. Selle põhjuseks on eespool toodud kontaktülemineku tegeliku pinna erinevus ideaalüleminekupinnast, mille tõttu voolu läbilaskev pind on oluliselt väikem geomeetrilisest pinnast.

Kontaktüleminekutakistuse võib arvutada valemiga

kus ε - kontakti materjali, kuju, töötlemisviisi ja seisukorda iseloomustav suurus, $R_{kl} = \frac{\varepsilon}{F^n}$,
F - kontaktide survejõud,

n - astmetegur, mis iseloomustab kontaktpunktide arvu.

Suuruse väärus sõltub suurel määral kontaktpindade seisukorrast, eriti oksüdeerumise astmest. Astmeteguri n mõningad väärtused: ühepunktiline kontakt $n = 0,5$, joonkontakt $n = 0,7 - 0,8$, pindkontakt $n = 1$.

ELEKTRILISED KONTAKTID

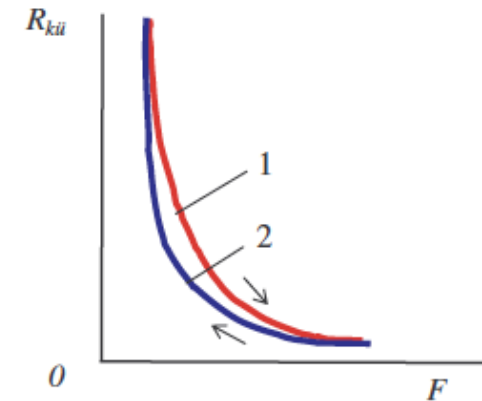
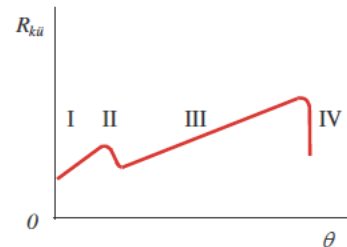
Kontaktüleminekutakistust mõjutavad tegurid.

Kontaktsurvejõud mõjutab kontaktüleminekutakistust vastavalt valemile, mida illustreerib joonis

Kontaktüleminekutakistuse sõltuvus kontaktsurvejõust

1- kontaktsurve kasvab, 2 – kontaktsurve väheneb

$$R_{k\dot{u}} = R_{k\dot{u}.alg} (1 + \alpha \Theta).$$



Tegelikud kontaktüleminekutakistused $R_{k\dot{u}}$ erinevad ühe ja sama kontaktpaari ning võrdse kontaktsurve F puhul iga sulgumise korral omavahel oluliselt, kusjuures väiksemate F puhul on erinevus suurem ja suuremate F puhul väiksem. See on tingitud kontakteerumisel tekkivate kontaktpinnakeste erinevast arvust ja pindalast.

KONTAKTPINNA SEISUKORD

Kontaktpinna seisukord mõjutab olulisel määral kontaktüleminekutakistuse väärtust. Kontaktpindade mehaaniline töötlemine peenlihvimisega vähendab R_k väärtust vähem võrreldes jämetöötlemisega.

Kontaktpindade oksüdeerumine võib mõnede kontaktmaterjalide puhul oluliselt tõsta kontaktüleminekutakistust. Näiteks lahtiste vaskkontaktide oksüdeerumise tagajärjel võib nende üleminekutakistus aja jooksul kasvada tuhandeid kordi. Ka suletud kontaktidel tekivad pikaajalise vooluläbimise tagajärjel halva elektrijuhtivusega kiled, mis võivad kontaktid rivist välja viia. Kontaktsurve tõstmine aga takistab oksüüdkiilede teket kontaktpindadele ja pikendab seetõttu oluliselt nende eluiga.

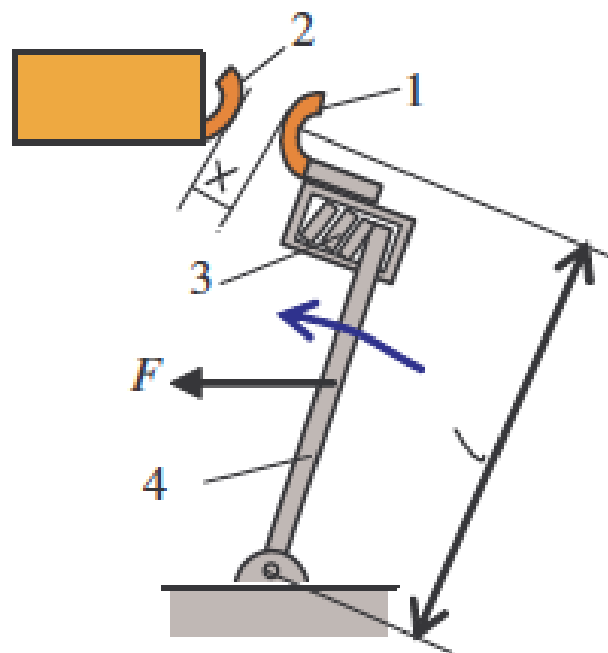
Hõbeoksüüdide elektrijuhtivus on väga lähedane puhta hõbeda elektrijuhtivusele. Temperatuuri tõustes hõbeoksüüdid lagunevad. Eeltoodu tõttu hõbekontaktide üleminekutakistus aja jooksul praktiliselt ei muutu.

Lahtivõetavate kontaktühenduste tööpinnad kaetakse korrosioonivastaste katetega – hõbeda, kaadmiumi, nikli või tsingiga. Kasutatakse ka pindade katmist neutraalsete määretega. Pärast kontaktühenduse montaaži kõik üleminekud hermetiseeritakse.

Pideva voolu all töötavad kommutatsioonikontaktid valmistatakse hõbedast või hõbeda baasil valmistatud metallokeramikast. Samasuguses talituses töötavaid vaskkontakte soovitatakse pärast 8 – 12 tunnist tööd voolu all 2 – 3 korda välja ja sisse lülitada. Kontaktide lahutamisel tekkiv elektrikaar põletab vaskoksüüdi kontaktpindadelt maha ja R_k väheneb oluliselt. Mõnedes tugevvooluparaatides (kaitselülitid, kontaktorid) kasutatakse vajaduse korral sellist kinemaatilist skeemi, mis tagab kontaktide sulgumisel nende omavahelise libisemise. Seejuures tekkiv hõõrdumine kõrvaldab tekkinud oksüüdikile.

Kontaktide sulgumine.

Elektriaparaadi sisselülitamisel võivad ta kontaktisüsteemides aset leida kontaktide vibratsioon ja erosioon elektrilahengu tekkest kontaktide vahel.



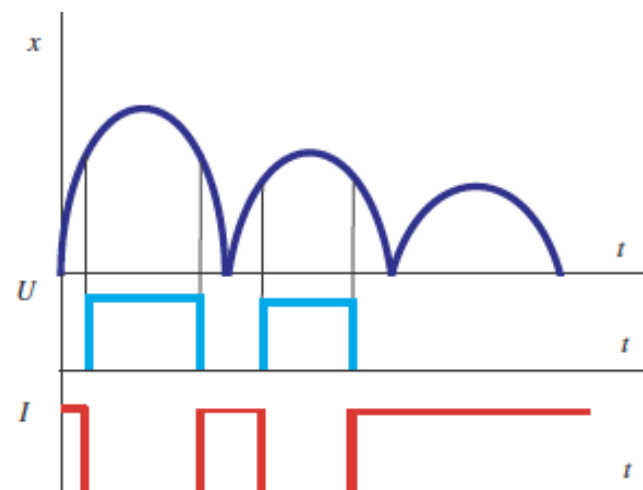
Kontaktori kontaktisüsteem

1 – liikuv kontakt, 2 – liikumatu kontakt, 3 – kontakti survevedru, 4 – hoob, F – elektromagneti tõmbejõud, x -kontaktivahemik

KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Vaatleme kontaktori kontaktsüsteemi. Liikuv kontakt 1 on kontaktvedru 3 kaudu seotud kangüsteemiga 4. Liikumatu kontakt 2 on kinnitatud jäigalt aluse külge. Kontaktori sisselülitamisel rakendub kangile jõud F , põhjustades konktide vahekauguse x kiire vähenemise. Kontaktide kokkupuutehetkel toimub tugev mehaaniline löök. Selle tulemusena hüppab kontakt 1 elastse deformatsiooni tõttu kontaktist 2 eemale. Nende vahele tekib vahemik, milles süttib elektrikaar. Kontaktvedru deformeerub ja temas salvestub potentsiaalne energia. Vahemik suureneb seni, kuni kontaktsüsteemi 1 kineetiline energia muutub võrdseks kontaktvedrus 3 salvestunud potentsiaalse energiaga. Kontaktide vahekaugus saavutab oma suurima väärtuse, mis võib ulatuda 1 millimeetrini, ja hakkab jälle vähenema. Järgneb uus löök ja uus kontaktide lahutumine jne. Protsess kordub mitu korda sumbuva amplituudiga. See ongi kontaktide vibratsioon.

Sulguvate kontaktide vibratsioon

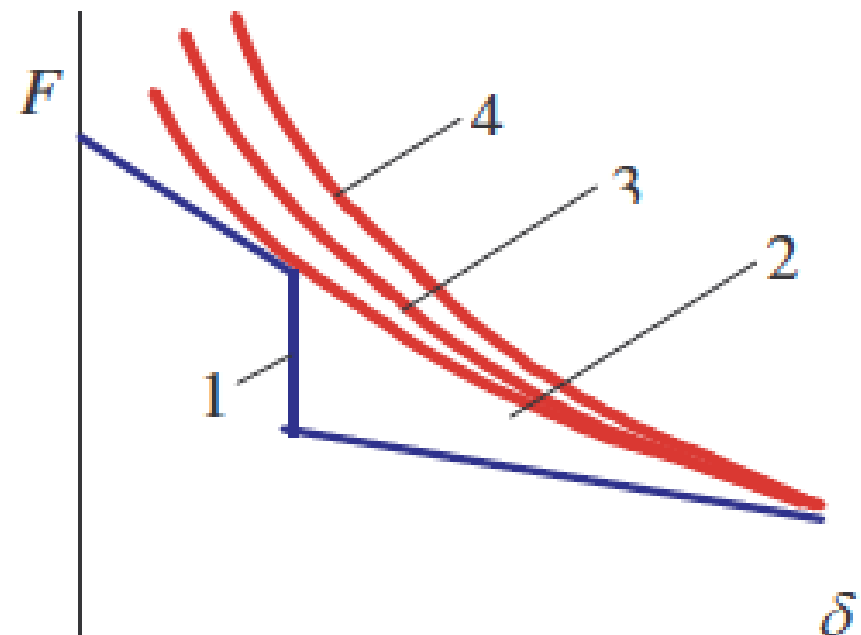


KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Joonis illustreerib sulguvate kontaktide vibratsiooni. Kontaktide lahutumisest on kontakte läbiv vool katkendlik. Igakordse kontaktide lahutumisega tekib nende vahel elektrikaar, mis põhjustab kontaktide kiiret kulumist. Kontaktide kulumisega väheneb nende omavaheline surve suletud asendis, see omakorda põhjustab kontaktüleminekutakistuse kasvu ja kontaktide liigset kuumenemist. Kontaktide vibratsiooni vähendamiseks ei tohi kontaktori elektromagneti tõmbetunnusjoon paikneda liialt palju kõrgemal liikuvate osade mehaanilisest tunnusjoonest ega ka sellele liiga lähedal

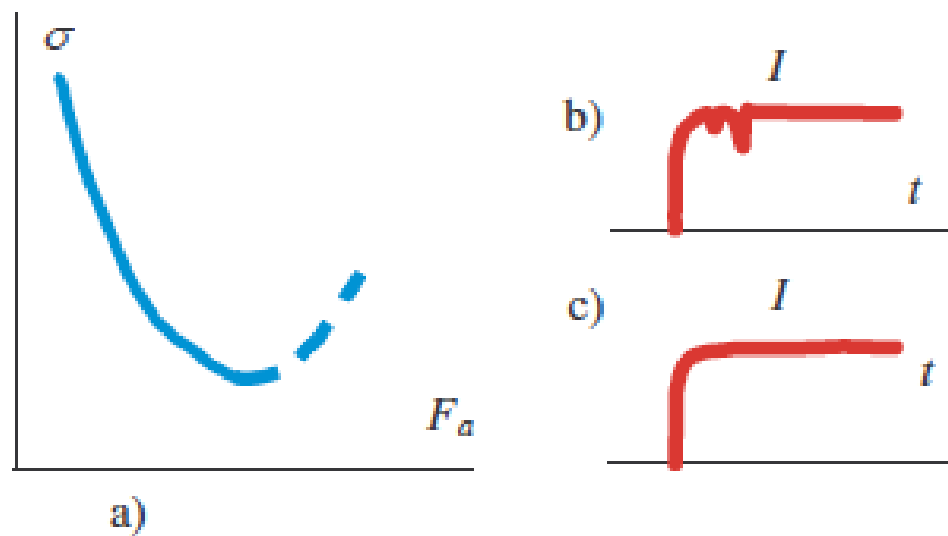
Kontaktori tõmbe- ja mehaanilised tunnusjooned
1 – mehaaniline tunnusjoon, 2, 3, 4 - tõmbetunnusjooned

Kontaktide vibratsiooni ja kulumist aitab vähendada ka kontaktvedru algsurvejõu F_a suurendamine ehk eelpingestamine



KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Aparaadi lülitamisel lühisele suurendab kontaktide vibratsiooni vooluahela sulgumisel tekkiv kontakte üksteisest eemale tõukav elektrodünaamiline jõud. Selle vältimiseks peab kontaktvedru eelpinge olema piisavalt suur, et vältida kontaktüleminekutakistuse liigset suurenemist. Väga suurte voolude ja elektrodünaamiliste jõudude korral on soovitatav kasutada elektrodünaamilise jõudude kompensatsiooni põhimõtet.



Kontaktide kulumise sõltuvus kontaktvedru algsurve

KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Töö suletud kontaktidega.

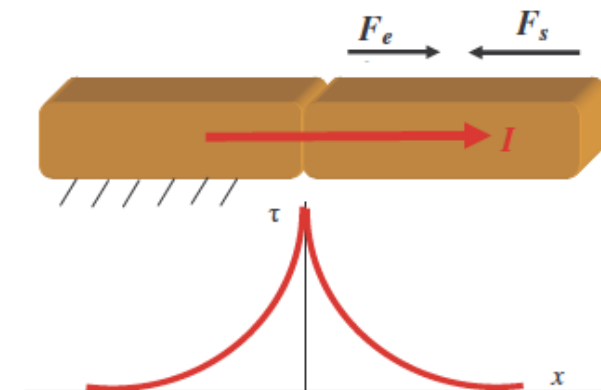
Sel puhul on vaja vahet teha kahe juhtumi vahel:

A. normaaltalitus, mil kontakte läbib nimivool,

B. avariitalitus, halvemal juhul lühis, mil kontakte läbib lühisvool.

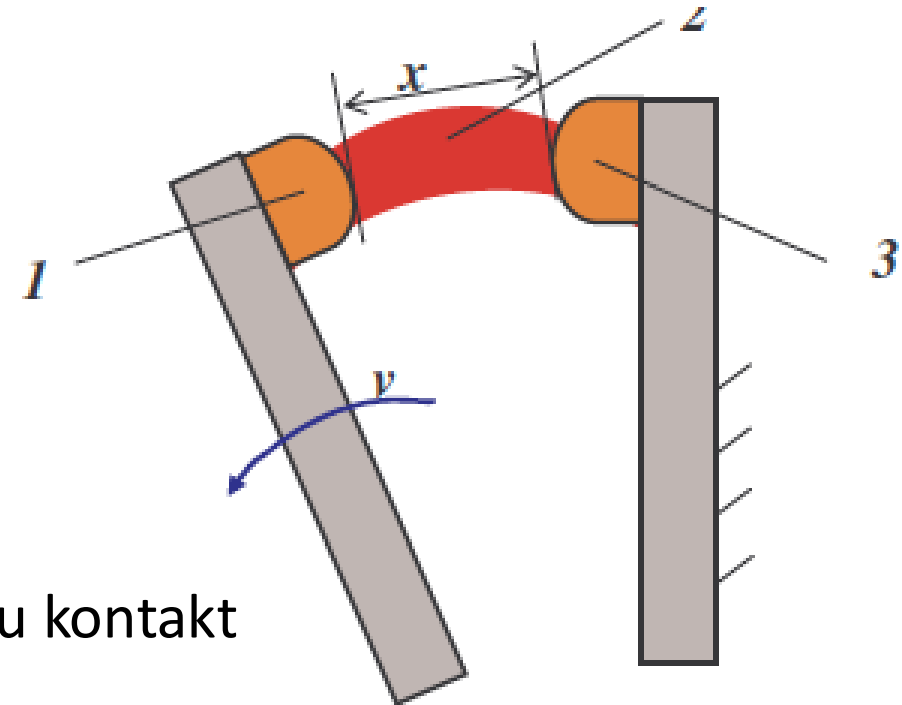
Normaaltalituse korral soojenevad kontaktid neid läbiva nimivoolu mõjul. Puhaste kontaktide ja töökorras sisselülitusmehhanismi puhul ei ületa temperatuuri tõus lubatud väärtust. Rikke- või avariitalitlusest tingitud liigvooluga kaasneb kontaktide kiire kuumenemine. Kui vabastid ei lahuta kontakte õigeaegselt, keevituvad kontaktid kokku, aurustuvad ja aparaat muutub töökõlbmatuks. Protsessi kiirendavad sel juhul liigvooludest tingitud suured elektrodünaamilised jõud, mis võivad saada saatuslikuks aparaadi konstruktsioonile.

Suletud kontaktide kuumenemine



KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Kontaktide lahutumine on kommutatsiooniprotsessi raskeim faas, seda eriti rikke- või avariitalitluse korral. Suurtest vooludest tingitud kontaktide kuumenemisele ja tugevatele elektrodünaamilistele jõududele lisanduvad elektrikaar ja liigpinged. Elektrikaar kulutab kiiresti kontakte, seepärast varustatakse kaitselülitid elektrikaare kiireks katkestamiseks kaarekustutusseadmetega.



Elektrikaar lahutuvate kontaktide vahel

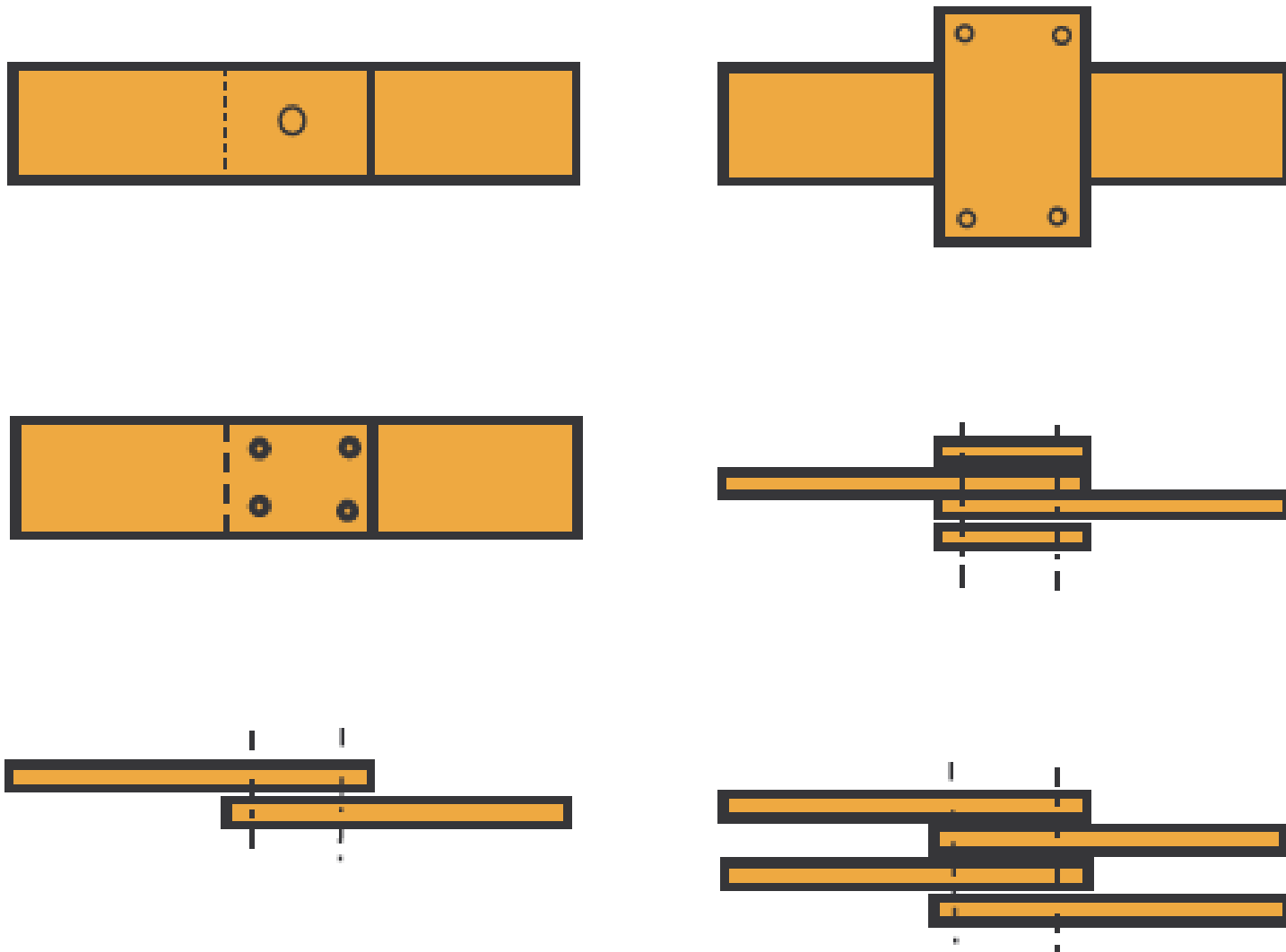
1 – liikuv kontakt, 2 – elektrikaar, 3 – liikumatu kontakt

KONTAKTIDE TALITLUSOLUD

Liigpinged kontaktide vahel tekivad, kui vool katkestatakse induktiivses ahelas. See omakorda takistab elektrikaare kustutamist ja võib ohustada elektriaparaadi isolatsiooni.

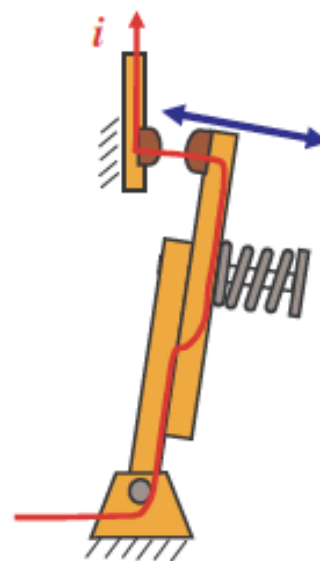
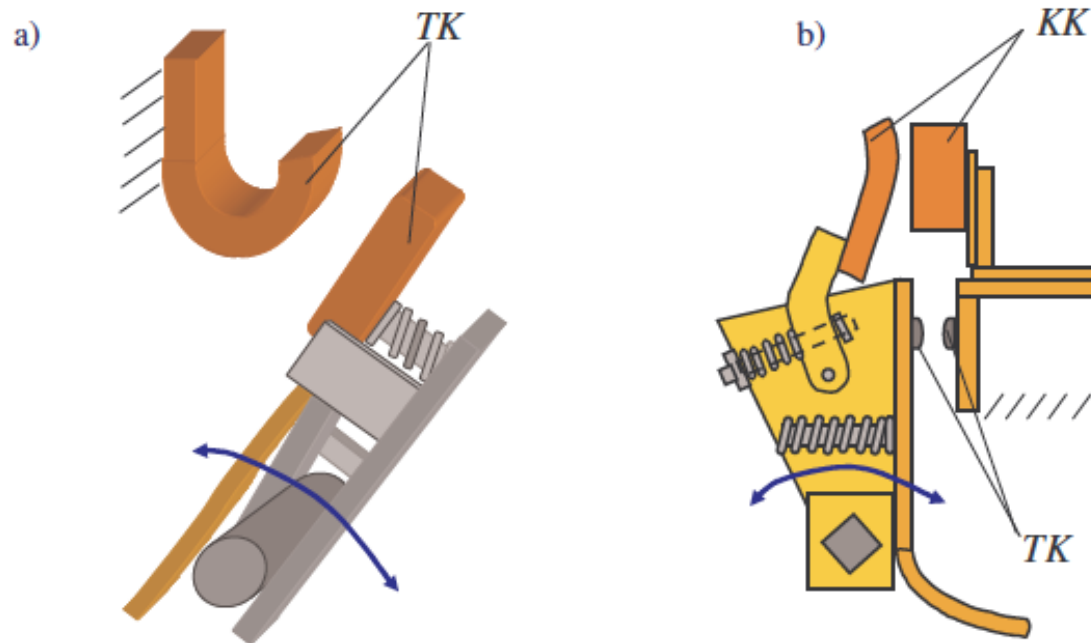
Kommutatsiooniprotsess loetakse lõppenuks, kui vool elektriahelas on täielikult katkenud, pinge siirdeprotsess lõppenud ja lüliti kontaktide vahe saavutanud suurima püsipiirväärtuse.

KONTAKTÜHENDUSTE PÕHIKONSTRUKTSIOONID

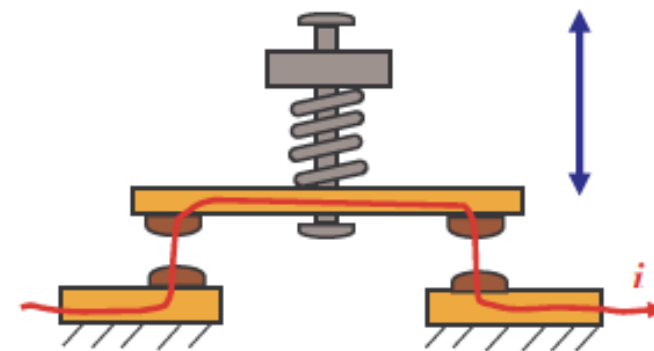


Lahtivõetavad kontaktid

KONTAKTÜHENDUSTE PÕHIKONSTRUKTSIOONID



Kangmehhanism



Sildmehhanism

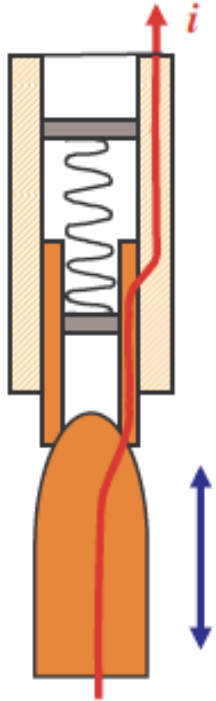
Kommutatsioonikontaktid

a – üheastmelised, b – kaheastmelised

KK – kaarekustutuskontaktid, TK - töökontaktid

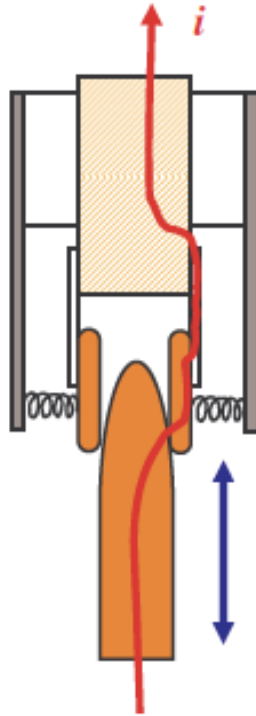
Kommutatsioonimehhanismide lahendusi

KONTAKTÜHENDUSTE PÕHIKONSTRUKTSIOONID

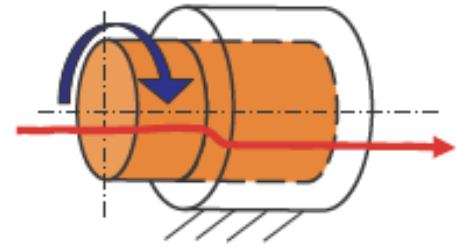


Laupmehhanism

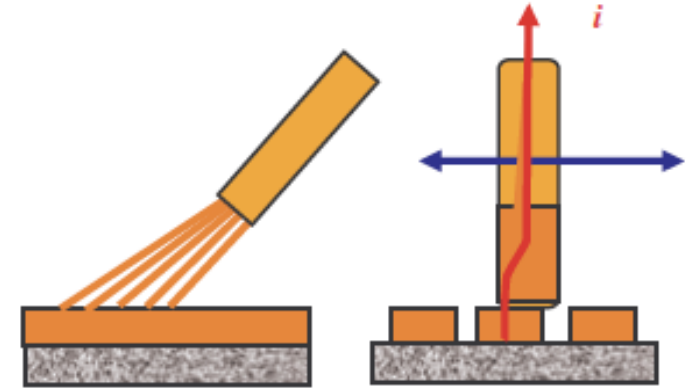
Kommutatsioonimehhanismide lahendusi



Rosettmehhanism



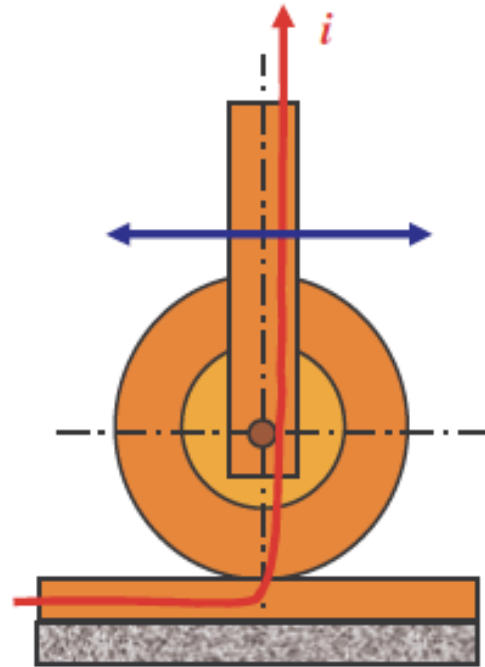
Rõngasmehhanism



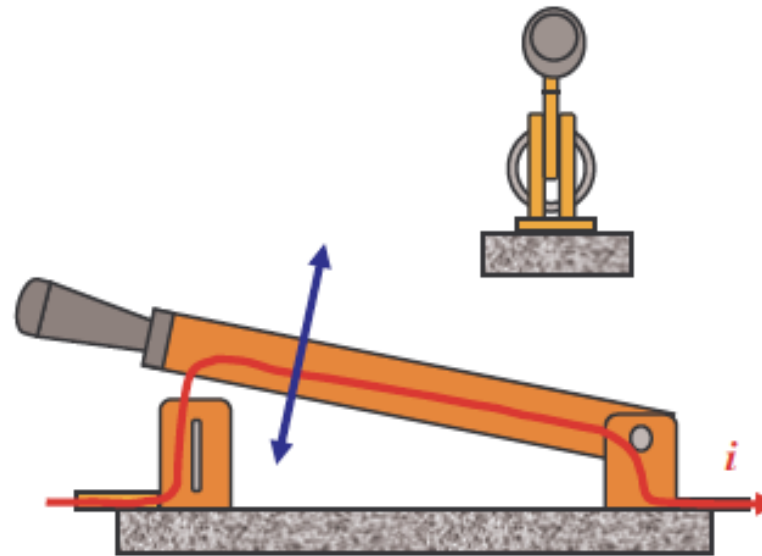
Liugmehhanism

Kommutatsioonimehhanismide lahendusi

KONTAKTÜHENDUSTE PÕHIKONSTRUKTSIOONID



Rullmehhanism



Vinnakmehhanism

Kommutatsioonimehhanismide lahendusi

Põhinõuded kontaktmaterjalidele

- ☐ hea elektri- ja soojusjuhtivus,
- ☐ oküdeerimiskindlus,
- ☐ kuumuskindlus,
- ☐ mehaaniline tugevus,
- ☐ hea mehaaniline töödeldavus,
- ☐ mõõdukas hind.

Vask

Kõige levinum kontaktmaterjal. Puudus: oküdeerumine, mille tagajärjel tekib materjali pinnale madala elektrijuhtivusega kile. Kasutatakse nii lahtivõetavates kui ka kommutatsioonikontaktides. Ei soovitata kasutada kommutatsioonikontaktides püsitalituse puhul!

Hõbe

Samuti väga hea kontaktmaterjal. Puudus: väike kuumuskindlus suurte voolude puhul. Oksüüd omab sama head elektrijuhtivust nagu hõbe ise. Kasutatakse nii suurte kui ka väikeste voolude korral. Kuna hõbe on kallis, siis kasutatakse tihti kontaktide pindkatmist hõbedaga.

Alumiinium

Eelmistest halvemate omadustega: suhteliselt madal elektrijuhtivus ja mehaaniline tugevus. Sarnaselt vasega oküdeerub kergesti. Kasutatakse eelkõige lahtivõetavates kontaktides. Hea kontaktülemineku saamiseks on soovitatav pinda kaitsta oküdeerumise eest. Kommutatsioonikontaktideks alumiinium ei kõlba!

Plaatina, kuld, molübdeen.

Kallid materjalid. Kasutatakse väikeste voolude ja madalate kontaktsurve puhul.

Volfram ja volframi sulamid

Hea kuumus- ja kulumiskindlus. Kasutatakse kaarekustutuskontaktide ja suure lülitussagedusega kommutatsioonikontaktide valmistamiseks.

Metallokeraamika (pulbermetallurgia) - mehaaniline segu hea elektrijuhtivusega ning kõrge mehaanilisetugevuse ja kuumuskidlusega materjalist. Kasutatakse kaarekustutuskontaktide valmistamisel.

ÜLDNÕUED ELEKTRIPAIGALDISE OHUTUSELE

Elektriohutuseseaduse § 5 järgi tuleb elektripaigaldist

- projekteerida,
- ehitada,
- katsetada,
- remontida,
- hooldada ja
- kontrollida

nii, **et see ettenähtud otstarbel kasutamise korral ei ohustaks inimest, vara ega keskkonda.**

Elektripaigaldistes on tegemist kahe põhiohuga:

elektrilöök,

liigtemperatuur.

Elektrilöök - kahjulik (patofüsioloogiline) toime, mida põhjustab inimese või looma keha läbiv elektrivool.

Liigtemperatuur võib tekkida nt elektritarviti liigkoormusest või rikkest (lühis, maaühendus) tingitud voolujuhtivaid osasid läbiva liigvoolu tagajärjel ja põhjustada nt põletusi või tulekahju.

Kaitseks elektrilöögi eest tuleb kasutada vastavalt kohaldusvõimalustele järgmisi kaitseviise:

- puutekaitset,
- puutepingekaitset,
- ühildatud puute- ja puutepingekaitset.

Puutekaitse (kaitse otsepuute eest) võidakse saavutada 2 viisil:

- inimese või looma keha läbida võiva voolu tekke takistamisega,
- inimese või looma keha läbiva voolu piiramisega allapoole elektrilööki põhjustavat väärtust.

Puutepingekaitse (kaitse kaudpuute puhul)

- rikkevoolu tekke takistamisega,
- rikkevoolu piiramisega allapoole elektrilööki põhjustavat väärtust,
- toitepinge automaatse v.ljalülitamisega,
- potentsiaaliühtlustuse kasutamisega.

Ühildatud puute- ja puutepingekaitse

- võidakse tagada kaitse- või talitlusväikepinge kasutamisega.

Automaatkaitseüliti

Automaatkaitseüliti ehk kaitseüliti on lüliti, mis voolutugevuse liigsel suurenemisel, näiteks lühise või ülekoormuse korral vooluahela automaatselt katkestab.

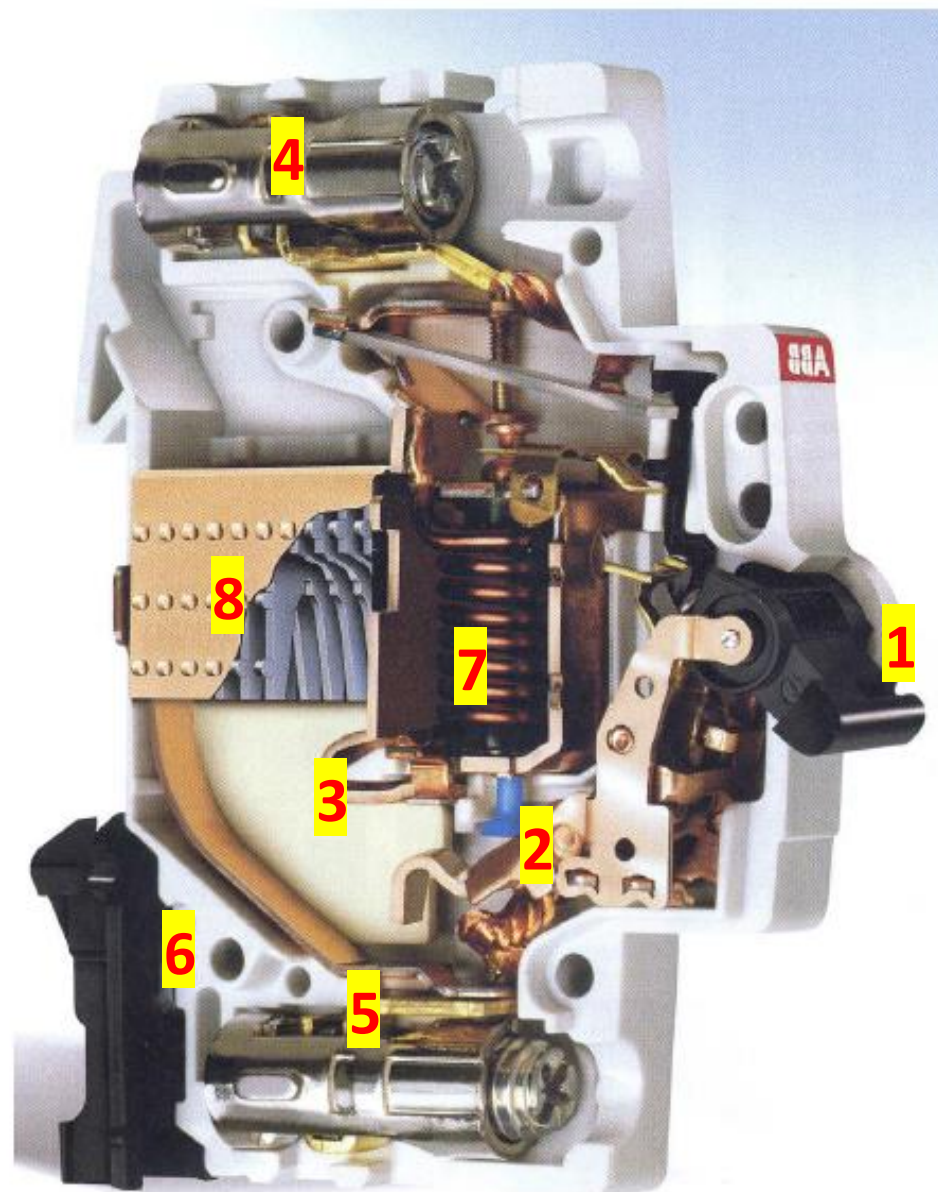
Kaitseüliti oluline osa on relee (kas termorelee või elektromagnetreele). Releed koos tema juurde kuuluva väljalülitusmehhanismiga nimetatakse vabastiks. Enamlevinud kaitseülitid on kas elektromagnetvabastiga, termovabastiga või kombineeritud vabastitega. Tänapäeval on suuremate nimivooludega kaitseülitite puhul üha enam levinud elektroonilised mikroprotsessorvabastid. Eraldi tooterühma moodustavad hüdromagnetiliste vabastitega kaitseülitid.

Kaitseüliti lahutab koormusahela kontaktid siis, kui vabastit läbib lubatust suurem vool ja see rakendub.



Automaatkaitseüliiti

- 1 – lülitushoob
- 2 – lülitusmehhanism
- 3 – jõukontaktid
- 4 – ühendusklemmid
- 5 – termovabasti
- 6 – reguleerkruvi
- 7 – elektromagnetvabasti
- 8 – kaarekustutuskamber



Madalpingekaitselülitite liigitus

- **Minikaitselüliti** (ingl. lüh. MCB – *Miniature Circuit Breaker*)
- **Kompaktkaitselüliti** (ingl. lüh. MCCB – *Moulded Case Circuit Breaker*)
- **Õhksaitseüliti** (ingl. lüh. ACB – *Air Circuit Breaker*)

250 A nimivooluga õhk-kaitselüliti (ACB) Emax (tootja ABB) esipaneel. Hooldustööde hõlbustamiseks on kaitselüliti jaotusseadme lahtrist väljatõmmatav. Rakendumistunnusjoon seadistatakse esipaneeli ülaosas paiknevate lülitite abil



Madalpinge kaitseülilitite olulisemad tunnussuurused

- Nimivool I_n
- Nimilahutusvõime lühisel I_{cn}
- Maksimaalne lahutusvõime lühisel I_{cu}
- Korduv lahutusvõime lühisel I_{cs}
- Nimi-lühiajataluvusvool I_{cw}
- Nimipinge U_n
- Kasutuskategooria
- Nimi-impulsstaluvuspinge U_{imp}

Madalpinge kaitselülite rakendumistunnusjooned

Tunnusjoon	Elektromagnetvabasti rakendusvool $\times I_n$	Kasutusala
A, R, Z	2–3	juhtahelad, elektroonika
B	3 – 5	aktiivkoormus
C	5–10	induktiivkoormus
K	12–14	mootorikoormus
D	10–20	väga suure käivitusvoolutõukega koormus
E	5–6,25	selektiivne peakaitseüliti

B- ja C-rakendustunnusjoonega kaitselülite termovabastite rakendusvool jääb sõltuvalt ülekoormuse kestusest vahemikku $(1,13–1,45)I_n$

Kaitseülitite selektiivsuse all mõeldakse järjestikku ühendatud kaitseülitite karakteristikute sellist valikut, et rikke korral lülituks välja ainult rikkekohale lähim kaitseüliti ja ülejäänud elektripaigaldise osad jääksid endiselt pingestatuks.

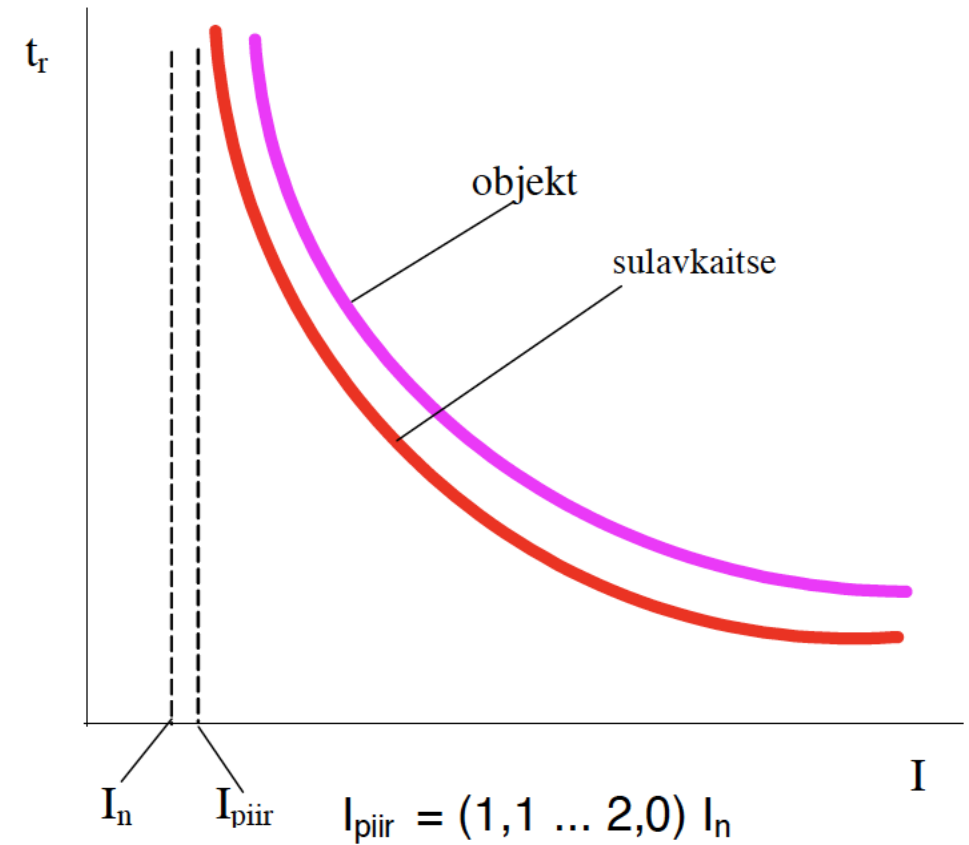
- Täieliku selektiivsuse korral on tagatud järjestikku ühendatud kaitseülitite selektiivne rakendumine kõigi selles elektripaigaldise osas esineda võivate lühisvoolude korral,
- osalise selektiivsuse korral on selektiivsus tagatud ainult lühisvoolu teatava maksimaalväärtuseni.

KaitSELÜliti nimivool tuleb valida kaabli ristlõike pindala, paigaldusviisi ja materjali järgi (näiteks 0,75 mm² ristlõikega vaskkaablile tohib rakendada voolutugevust kuni 6 A).

Nimivoolu valimisel tuleb samas arvestada ka pistikupesade, valgustilülitite ja klemmide maksimaalset lubatud voolu. Kui kaabli maksimaalne lubatud koormus on 25 A, aga pistikupesal ainult 16 A, siis ei tohi seda ahelat kaitsva kaitSELÜliti nimivool ületada 16 A. Kui pistikupesa maksimaalne lubatud koormusvool on 16 A, aga kaablil ainult 10 A, siis ei tohi kaitSELÜliti nimivool olla suurem kui 10 A.

NÕUDED SULAVKAITSMETELE

Sulavkaitsme rakendustunnusjoon peab kogu kaitstavas diapasoonis paiknema allpool kaitstava objekti vastavat tunnusjoont

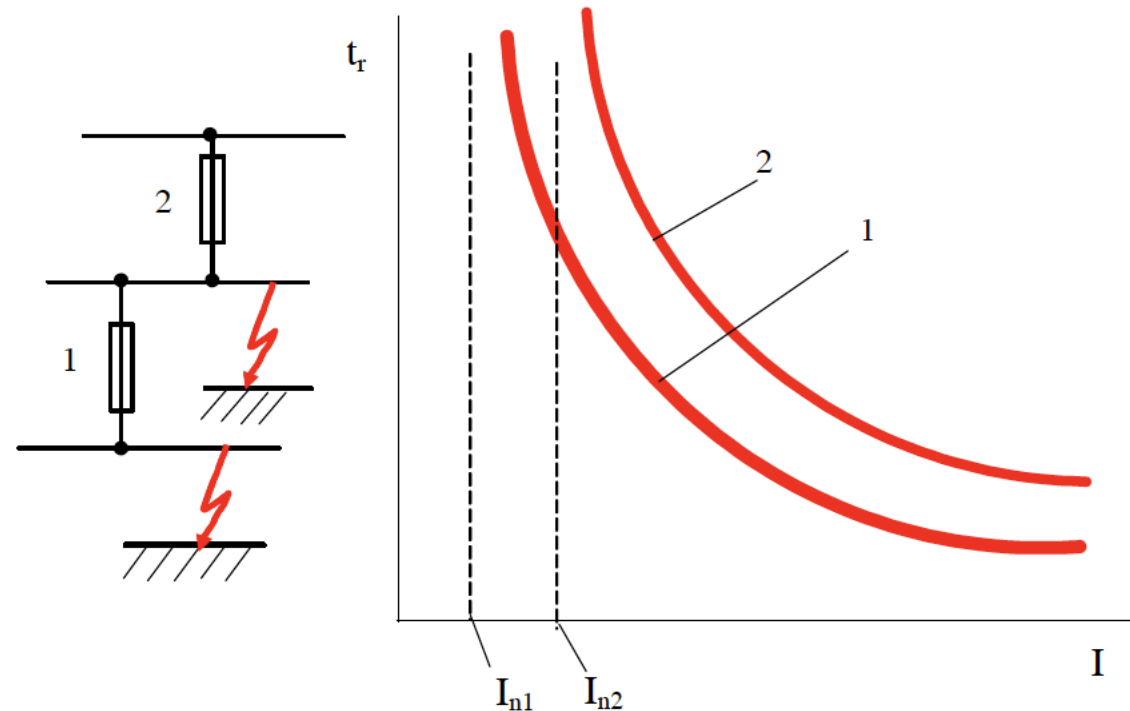


1. Kiiretoimeliste sulavkaitsmete rakendusaeg peab olema alla 10 ms.
2. Sulavkaitsme rakendustunnusjoon ja muud parameetrid peavad olema stabiilsed.
3. Sulavkaitsme piirlahutusvool I_{lah} peab olema suurem tekkida võivast lühisvoolust.
4. Sulavkaitsme või tema sulari vahetus peab olema lihtne.
5. Energiakadu sulavkaitsmes peab nimitalitluses olema minimaalne.

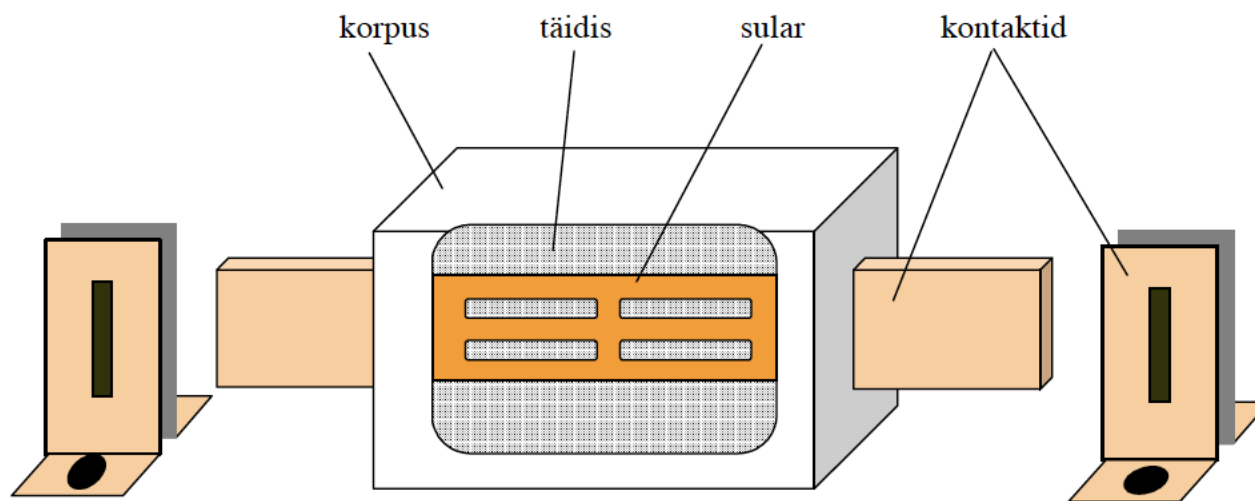
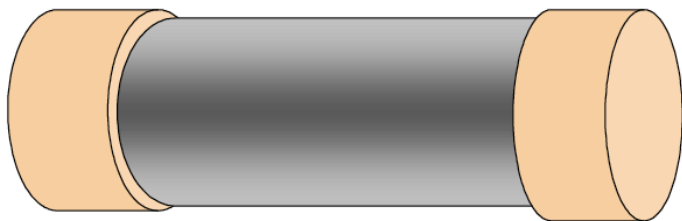
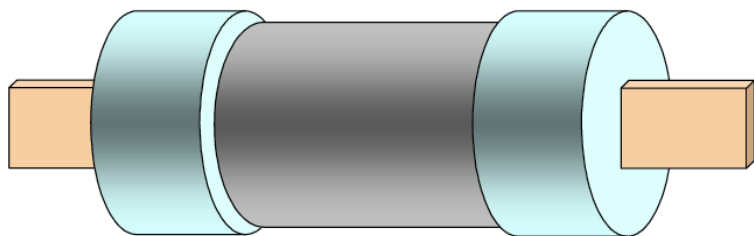
Sulavkaitsmete selektiivsus

Sulavkaitme põhilised tehnilised näitajad:

- nimipinge,
- nimivool,
- piirvool,
- rakendustunnusjoon,
- piirlahutusvool,
- lahutuse koguenergia.



Sulavkaitsme ehitus

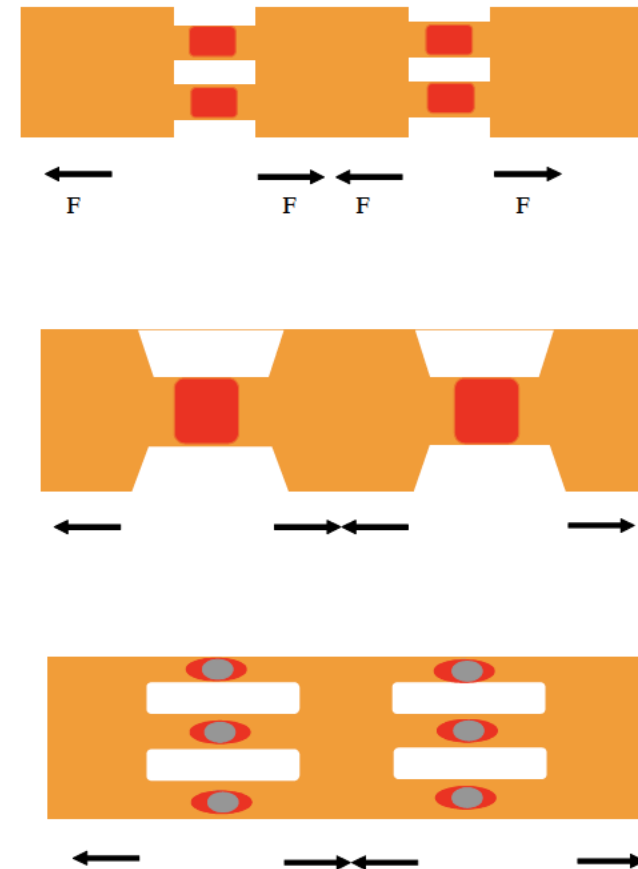


1) tehakse erilise kujuga sular, 2) kasutatakse metallurgilist efekti.

Sulari ehitus

Kohaliku kitsenemise kohas on voolutihedus suurem ning seal eraldub rohkem soojust. Nimivoolu puhul jaotub soojus metalli soojusjuhtivuse tõttu ümber ning kogu sular on ühesuguse temperatuuriga.

Suurema voolu puhul soojenevad kitsad kohad kiiremini ning ainult osa soojust jõuab laiemasse ossa. Sular põleb läbi ühe kitsa koha lähedal. Lühise puhul kuumenevad kitsad kohad nii kiiresti, et soojusülekanne ei saa arvestada ning sular põleb läbi korraga kõigis või mitmes kitsas kohas.



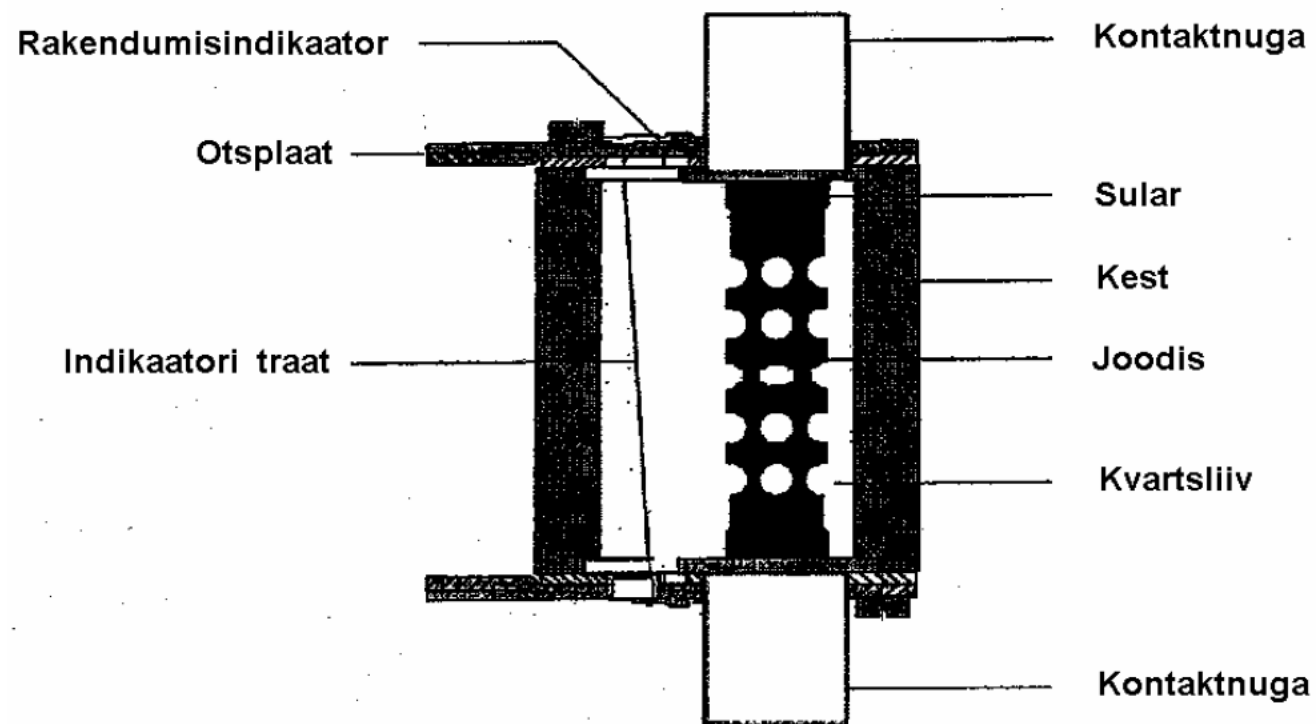
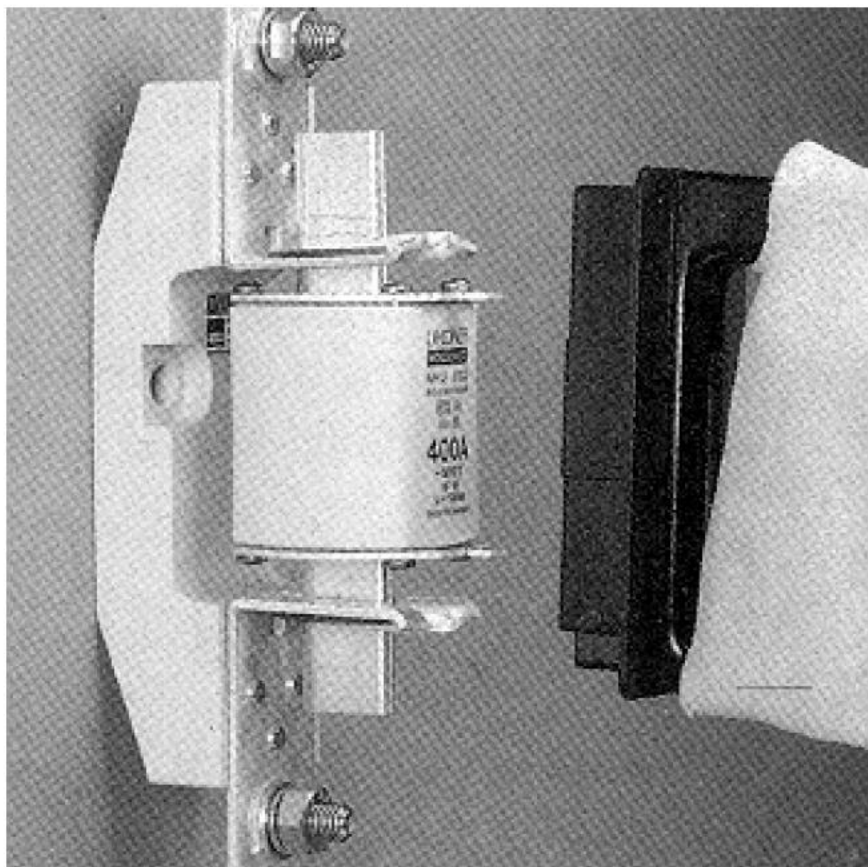
Sulavkaitsme tüübid

Sulavkaitsmeid vaadeldakse tavaliselt kolmes rühmas:

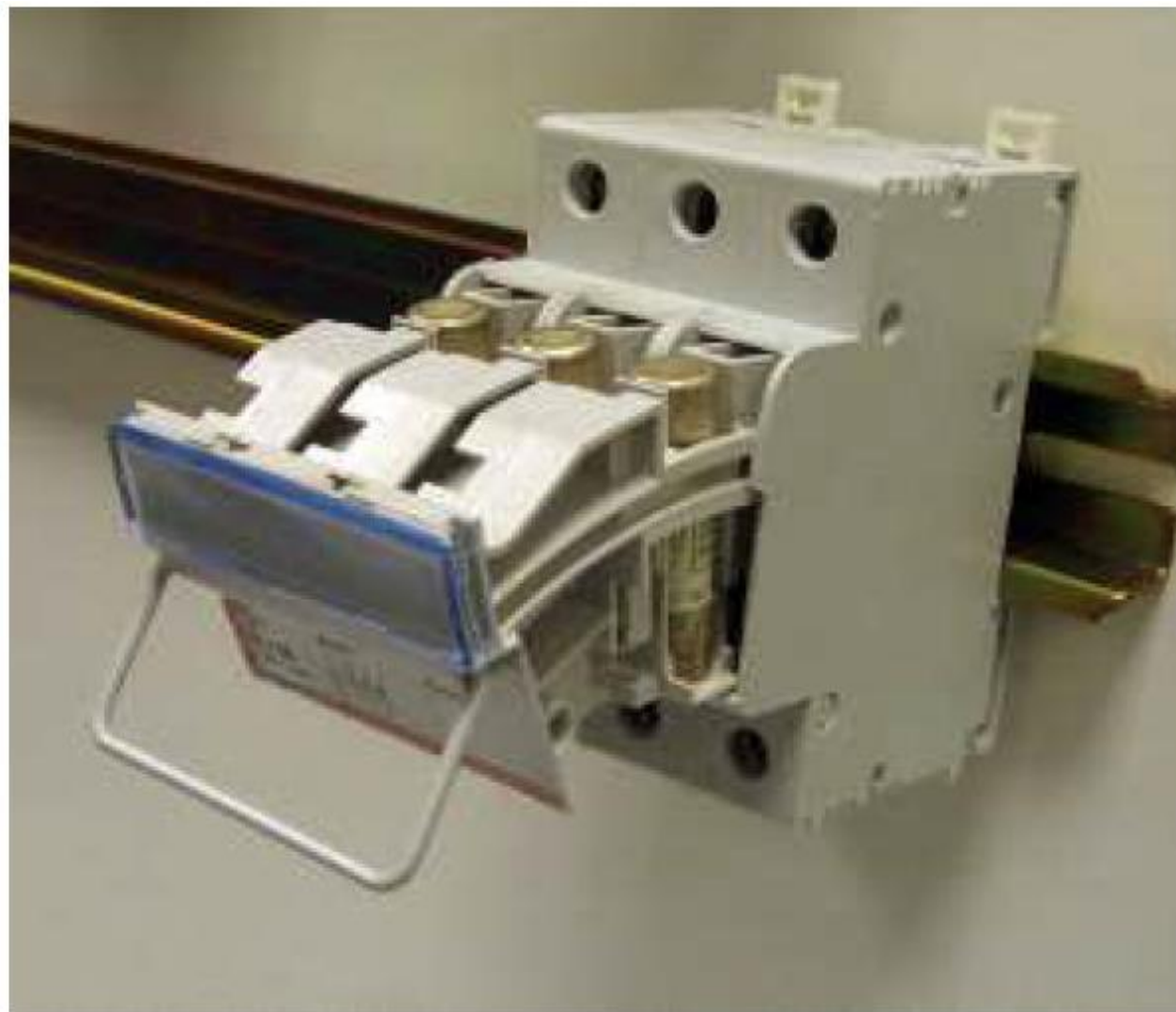
- 1) madalpingekaitsmed,
- 2) kõrgepingekaitsmed,
- 3) väikekaitsmed.

Vaatleme tööstus- ja kodutarbijatele mõeldud madalpingelisi sulavkaitsmeid.

Torukaitse



Sulavkaitse-lüliti

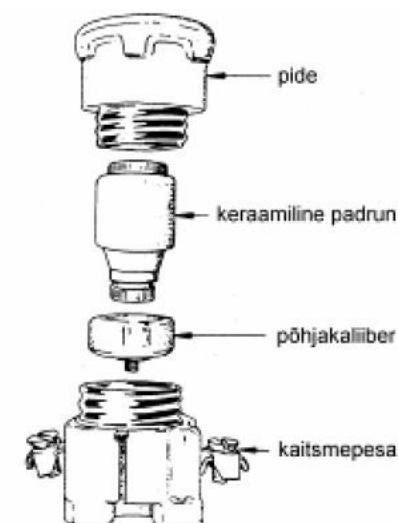
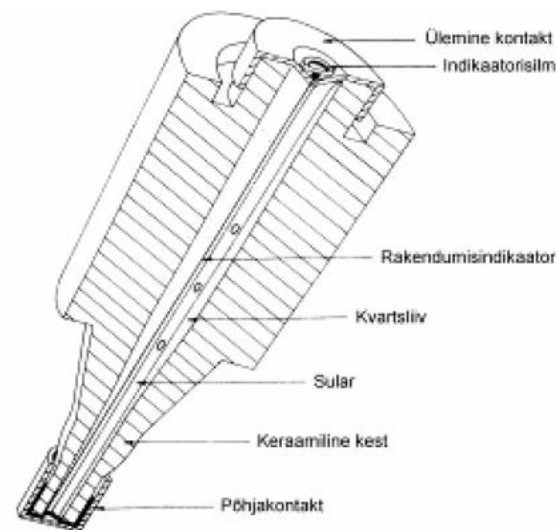


Padrunkaitse

Padrunkaitse

Käsitsemise hõlbustamiseks võib kaitse asetseda pidemes, mille abil ta kinnitatakse kaitsmepesasse. Eriti mugavad on keerepidemega kaitsmed.

Padrunkaitse (korkkaitse, keerekaitse) on väga vana. Seda tuntakse ka Diazed nime all ning tüübit. hiseks on sellest tulenevalt enamasti D. Niisuguse kaitsme sulavosa nimetatakse eesti keeles (kaitsme)korgiks, ka padruniks. Selle ohutuks paigaldamiseks keermetatud kaitsmepesasse on keermega pide. Joonisel 1.13 on tüüpilise kaitsmekorgi lõige, joonisel 1.14 kogu komplekt.



Juhistikusüsteemide tähised põhinevad prantsuse keelel:

I – *isole* isoleeritud;

T – *terre* maa;

N – *neutre* neutraal;

C – *combine* ühitatud;

S – *separe* eraldatud.

Juhtide rahvusvahelised tähised tulenevad inglise keelest:

L – *live* pingestatud;

N – *neutral* neutraal;

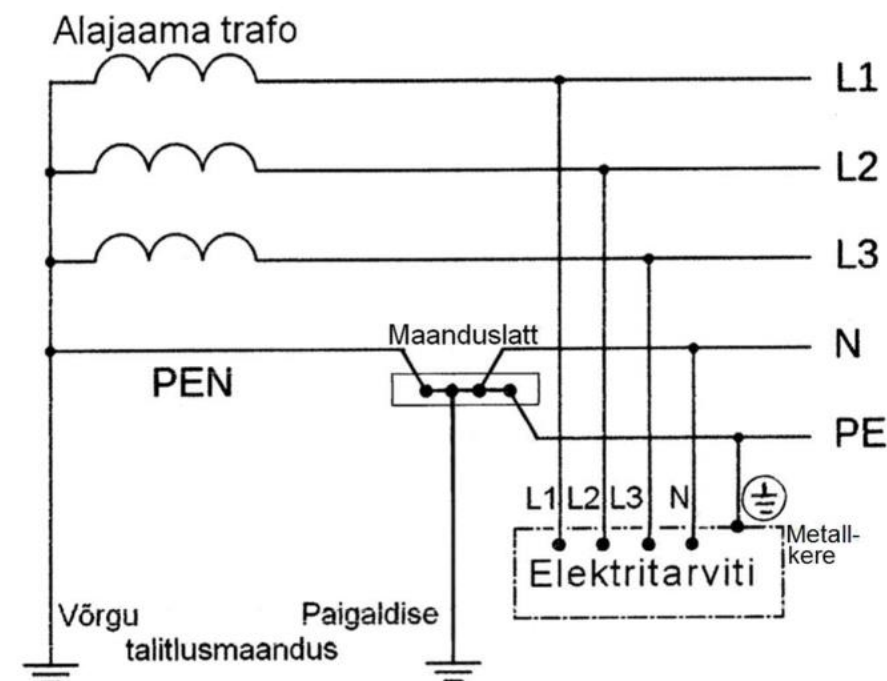
P – *protection* kaitse;

E – *earth* maa;

neist moodustatud lühend PE tähistab

kaitsemaandusjuhti ja PEN neutraaljuhiga ühitatud kaitsejuhti.

Juhistiküsteemid

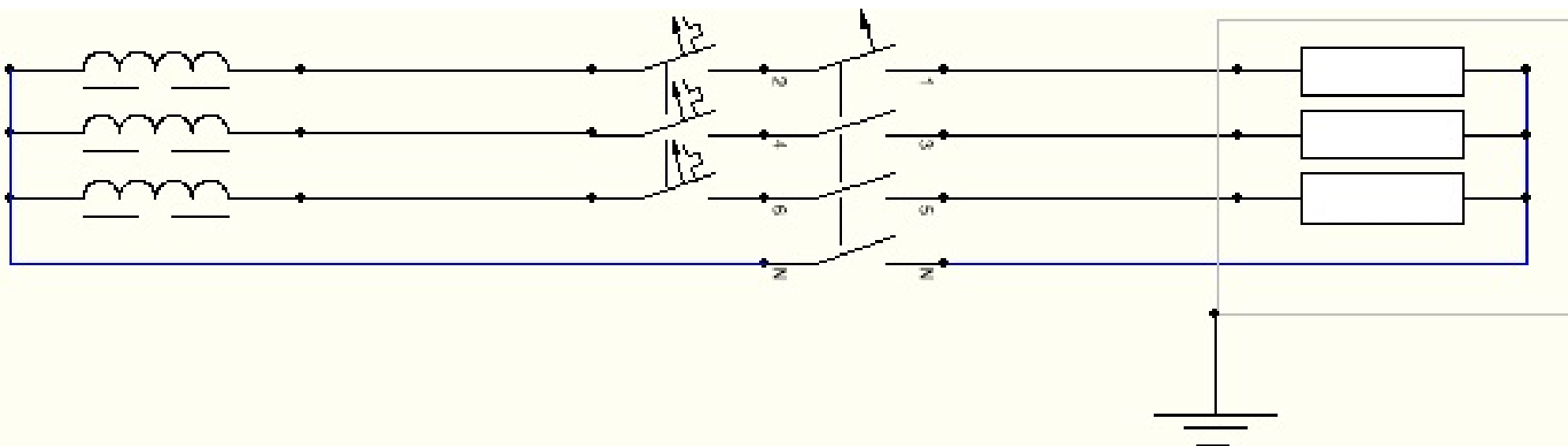


Juhistikusüsteemi TN-C-S skeem

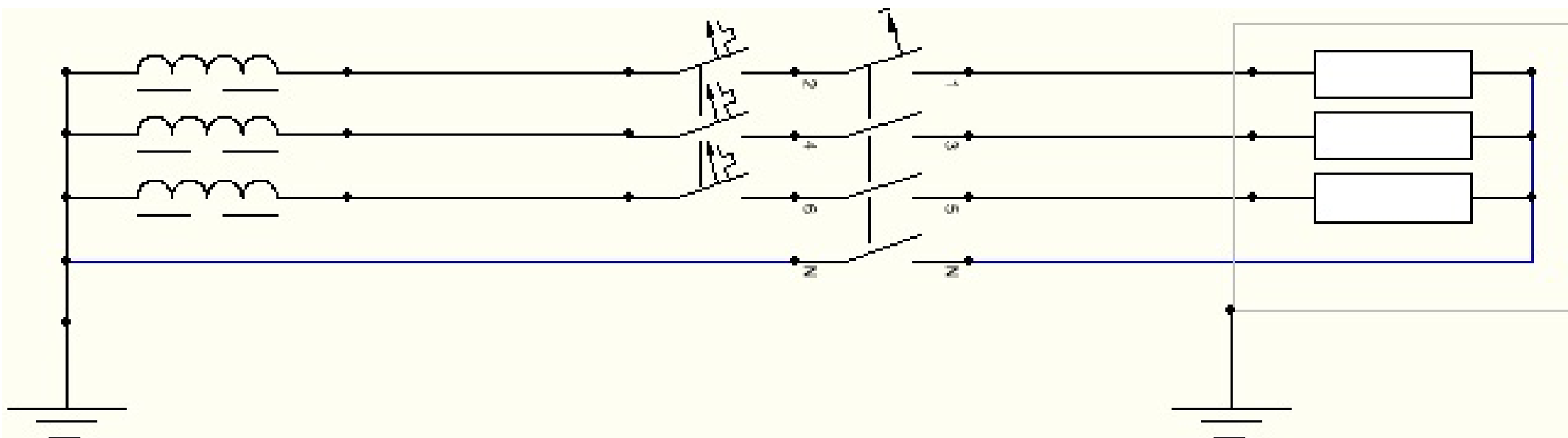
L1, L2, L3 – faasijuhid; N – neutraaljuht; PE – kaitsejuht; PEN – neutraaljuhiga ühitatud kaitsejuht

Juhistikusüsteemide liigid

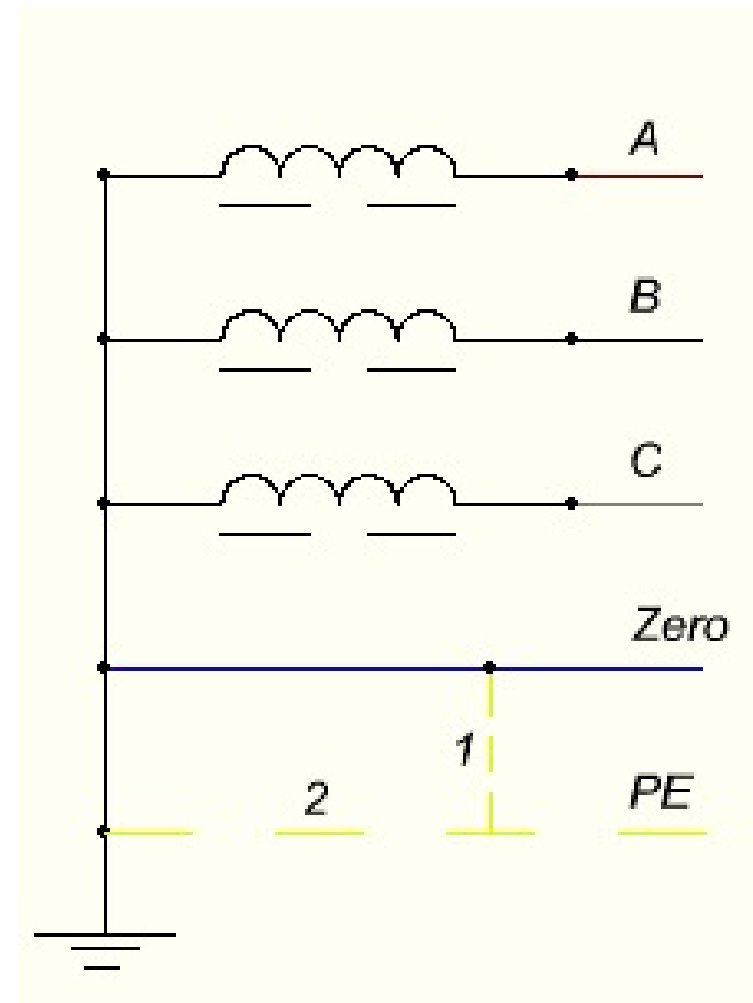
- IT-süsteem – tööjuhid on maandamata (maast isoleeritud), kaitsemaandus on ainult elektritarviti juures.
- TT-süsteem – faasijuhtide neutraalpunkt ja neutraaljuht on alajaamas maandatud (ühendatud maanduriga) ja elektritarviti juures on kohalik kaitsemaandus.
- TN-süsteem – tööjuhtide neutraalpunkt ja neutraaljuht on alajaamas maandatud, samamoodi nagu TT-süsteemis, kuid erinevusena kasutatakse neutraalpunktiga ühendatud kaitsemaandusjuhti. Selleks võib olla eraldi kaitsejuht (tähis PE) või siis on kaitsejuht neutraaljuhiga N ühitatud (tähis PEN). Vastavalt saadakse TN-süsteemi kaks alasüsteemi:
 - TN-C – ühise kaitse- ja neutraaljuhiga süsteem;
 - TN-S – eraldi kaitsejuhiga süsteem.



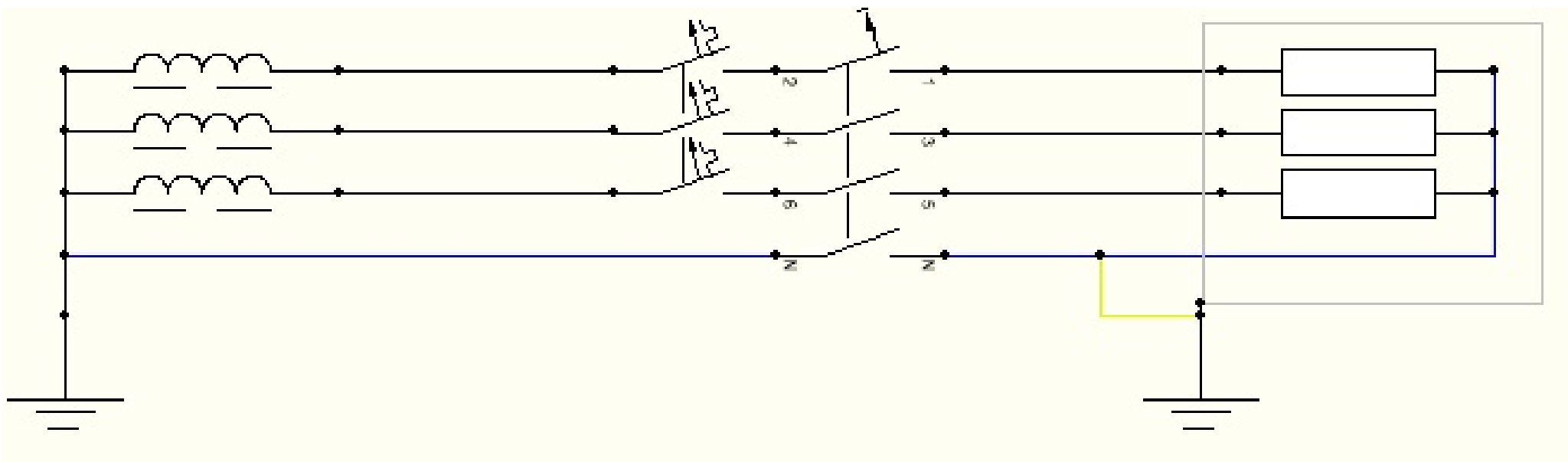
TT-juhistik ehk **TT-süsteem** (*Terre Terre*) on elektrijaotuse juhistikusüsteem, milles trafo keskpunkt ja neutraaljuht on alajaamas jäigalt maandatud ja tarbijate kestad on ühendatud kaitsejuhiga, mis on maandatud kohapeal.



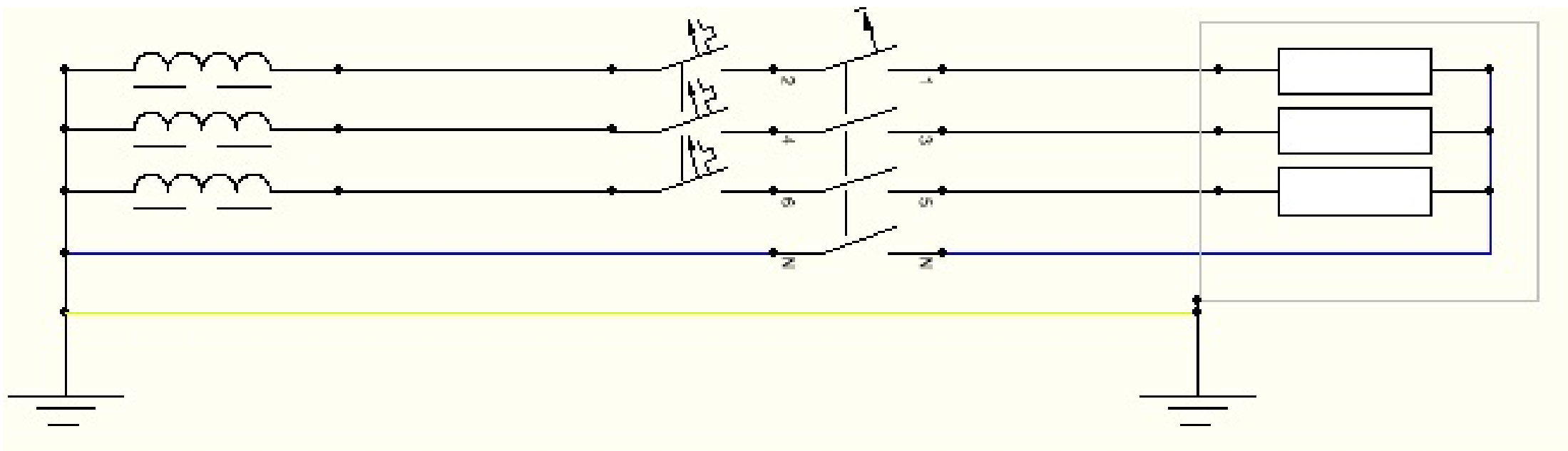
TN-süsteem (Terre Neutral) ehk **TN-juhistik** on elektri jaotusvõrgu [juhistikusüsteem](#), kus neutraaljuht on maandatud. Neutraaljuht (N) on kaitsejuhiga (PE) ühendatud selleks ette nähtud kohas, mida tähistatakse tähisega PEN.



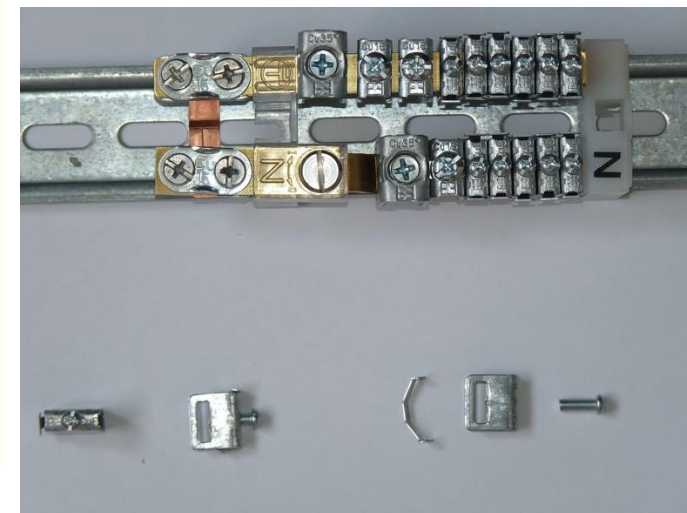
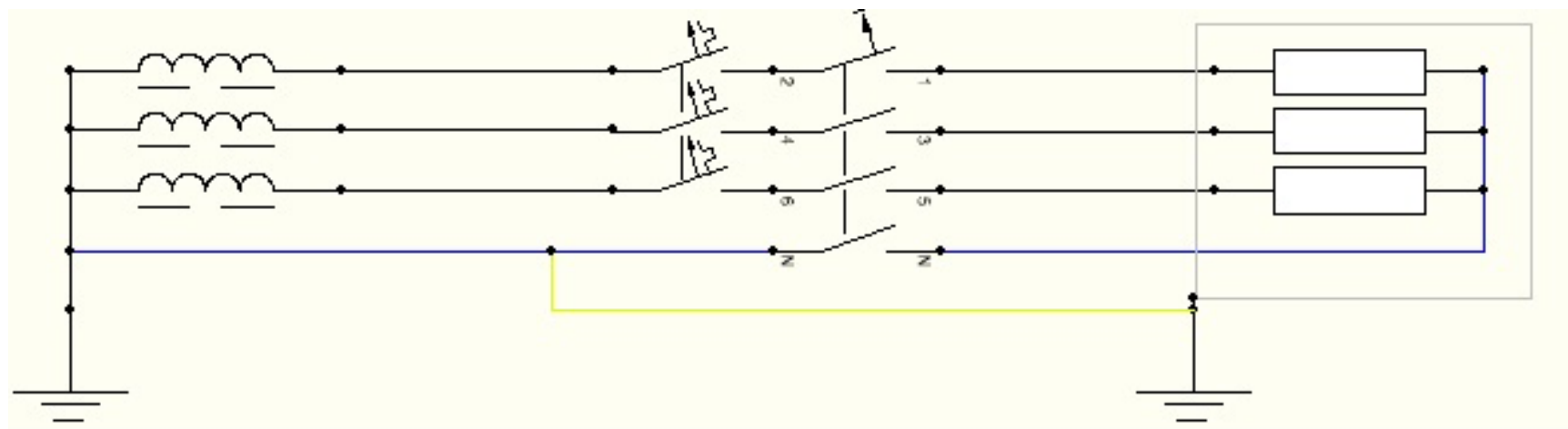
Terre Neutral - Combined kaitsejuht on ühitatud neutraaljuhiga. See süsteem oli sageli kasutusel NSV Liidu [kortermajades](#) ja [ettevõtetes](#). Sellel süsteemil on tõsine puudus: kui neutraaljuht katkeb, siis kõik elektripaigaldise elektriseadmete metallkestad satuvad eluohtliku pinge alla. Tänapäeval ei ole lubatud kasutada seda süsteemi uusehitistes ja selle asemel kasutatakse TN-C-S-süsteemi.



Terre Neutral - Separated maandusjuht ühendatakse neutraaljuhiga [alajaama](#) lähedal. See süsteem on üsna kallid, sest tuleb panna ka PE-juht eraldi alajaamani (vähemalt 25 mm² [vaskkaabel](#) ja pikkus võib ulatuda 1000 või isegi rohkem [meetrit](#)), aga kui neutraaljuht kuskil katkeb, siis kõikide elektripaigaldiste metallkestadele jääb ohutu [potentsiaal](#) 0 volti.

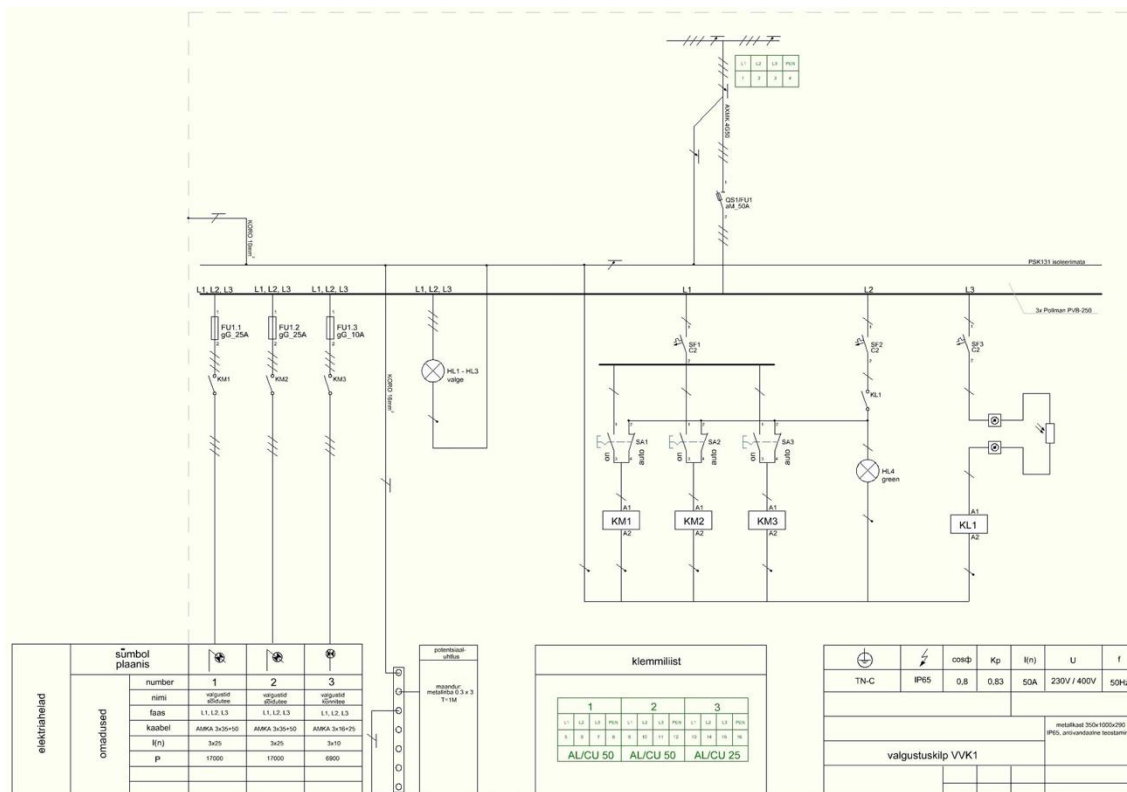


Seda süsteemi kasutatakse tänapäeval [Eestis](#) uutes ja ümberehitavates elamutes ning kontorihoonetes. Alajaamast majani tuleb 4-pooluseline kaabel PEN-juhiga (neutraal ja kaitsejuht ühitatuna), aga maja [peakilbis](#) on suur maanduslatt, kus neutraal eraldatakse sinisele (neutraal, N) ja koll-rohelisele (kaitsemaandus, PE) juhtmele.

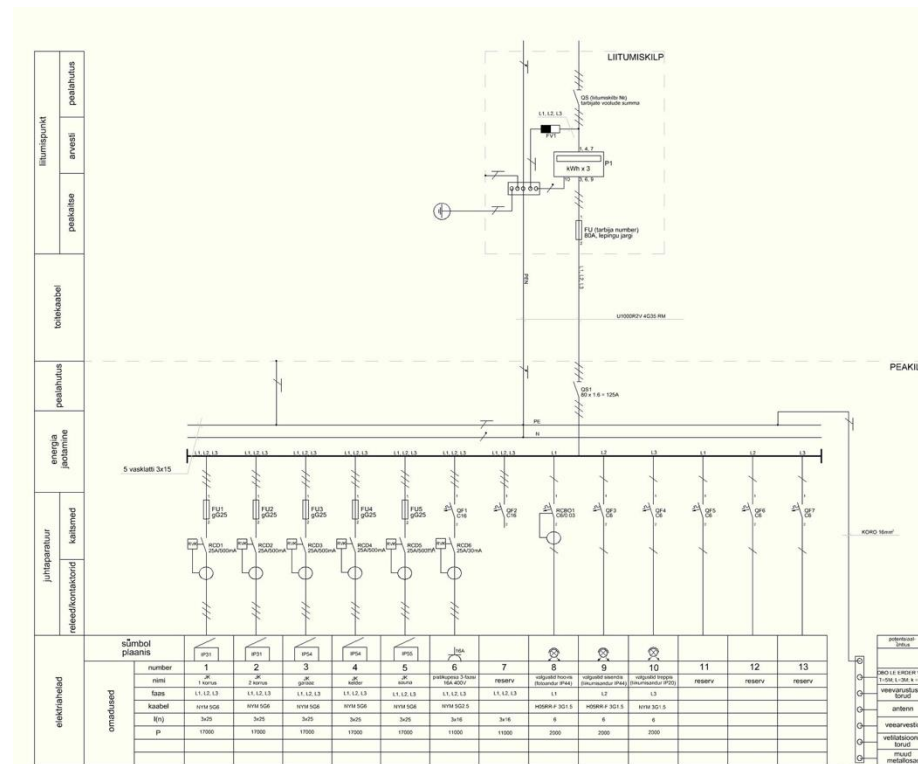


Latt TN-C-S-süsteemi loomiseks

TN-süsteemi kasutamise näiteid

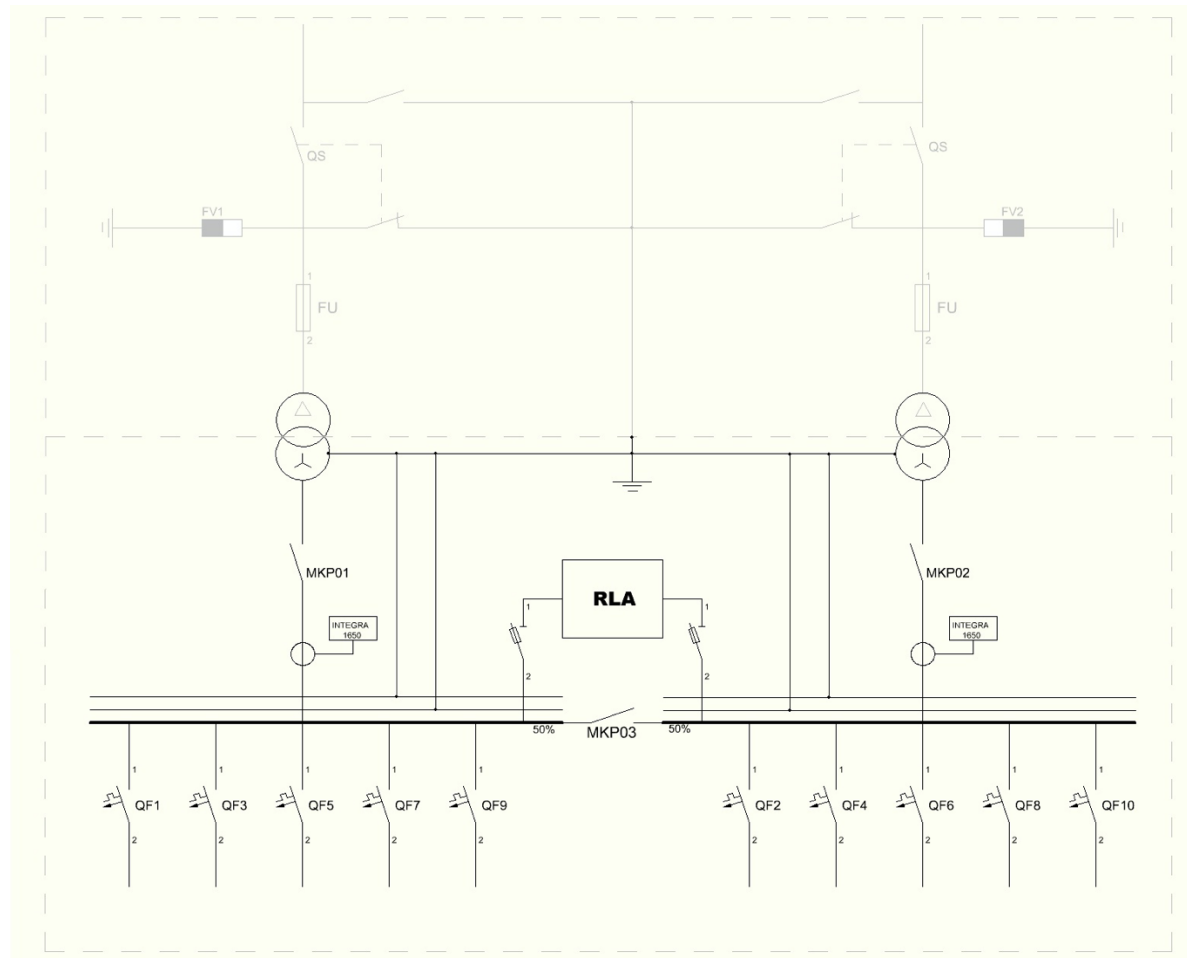


TN-C-süsteemi kasutatakse tänapäeval tänavavalgustuses



TN-C-S-süsteemi kasutamine eramu renoveerimisel

TN-süsteemi kasutamise näiteid



TN-S-süsteemis on N ja PE jaotatud toiteallika juures

Rikkevoolukaitselüliti

Rikkevoolukaitselüliti ehk **rikkevoolukaitse** (inglise [lühend RCC](#) [B](#)) on kaitseseade, mis on ette nähtud elektriahela väljalülitamiseks juhul, kui võrgust tarbija poole kulgevate ja sealt **tagasitulevate voolude vektorsumma erinevus muutub RVK rakendumisvoolust suuremaks.**



Madalpingepaigaldistes on rikke korral vaja toitepinge välja lülitada murdosa sekundi jooksul ning näiteks TT juhistikusüsteemides võimaldavad seda vaid rikkevoolukaitselülid. TN juhistikusüsteemis on see enamasti võimalik ka harilike kaitselülite kasutamisega ning seetõttu kasutatakse rikkevoolukaitsmeid seal vaid lisakaitsena.

Levinuim rikkevoolukaitselülite peaahela nimivoolude rida on: 16, 25, 40, 63, 80 ja 125 A.

Isolatsiooni rikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

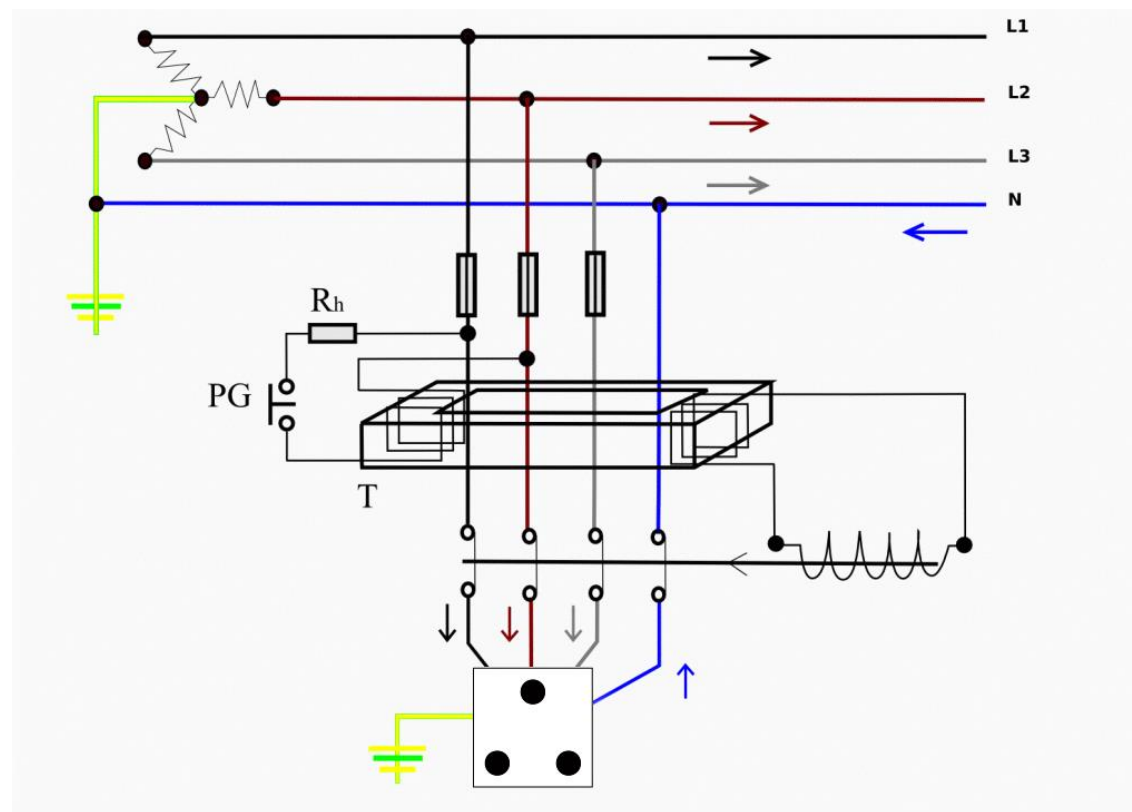
Normaalses korras isolatsiooni puhul on lekkevool väike ja ei kujuta ohtu elektriseadmetele ega inimestele. Ohtlik on, kui lekkevool suureneb üle ohutu väärtuse ning muutub seadmete riket, lühist või eluohtu põhjustavaks vooluks.

Rikke põhjus võib olla:

- isolatsiooni üldine halvenemine
- isolatsiooni kohalik halvenemine
- kereühendus elektriseadmes
- maaühendus liinis
- pingestatud voolujuhtide puutumine

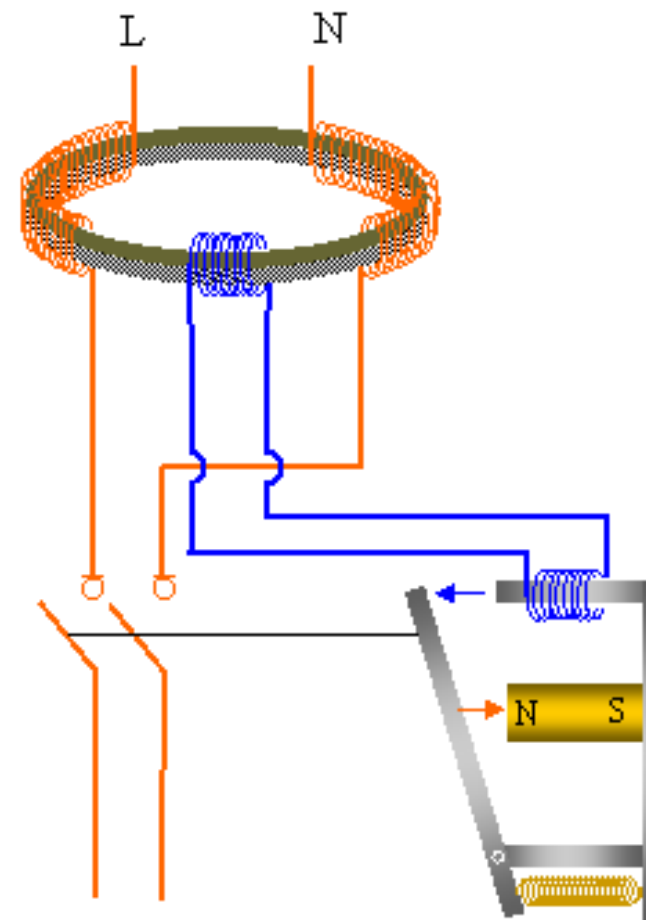
Isolatsiooni rikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

Ükski [isoleermaterjal](#) pole ideaalne, mis tähendab, et esineb mingi takistus (tugevoolupaigaldistes on lubatud isolatsioonitakistus alates 0,5 megaoomi ja enam) ning seetõttu tekib ka täiesti korras juhtide pingestamisel elektrivool mitte ainult [faasi-](#) ja [neutraaljuhtide](#) vahel, vaid ka juhtide ja maa vahelises isolatsioonis. Seda nimetatakse [lekkevooluks](#).



Isolatsiooni rikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

Inimene puudutab vahetu ehk otsese puutega (direct contact) elektriseadme pingestatud osa või isolatsioonirikke tõttu pinge alla sattunud osa, mida nimetatakse kaudseks puuteks (indirect contact). Puute tagajärjel tekkinud elektrilöök võib tekitada südametegevuse peatumise, põletushaavu või muid terviseprobleeme. Rikkevoolukaitseid soovitatakse elektripaigadistes vahelduvpingega üle 50 V ja alalispingega üle 125 V.



Rikkevoolukaitse tööskeem

Rikkevoolukaitselüliti tööpõhimõte

Rikkevoolu poolt tekitatud kahjude eest kaitseb inimesi ja loomi suure tõenäosusega vooluahelasse paigutatud rikkevoolukaitse, mille rakendumisvool on tavaliselt 10 või 30 mA ja rakendumisaeg ei ületa 20...30 ms.

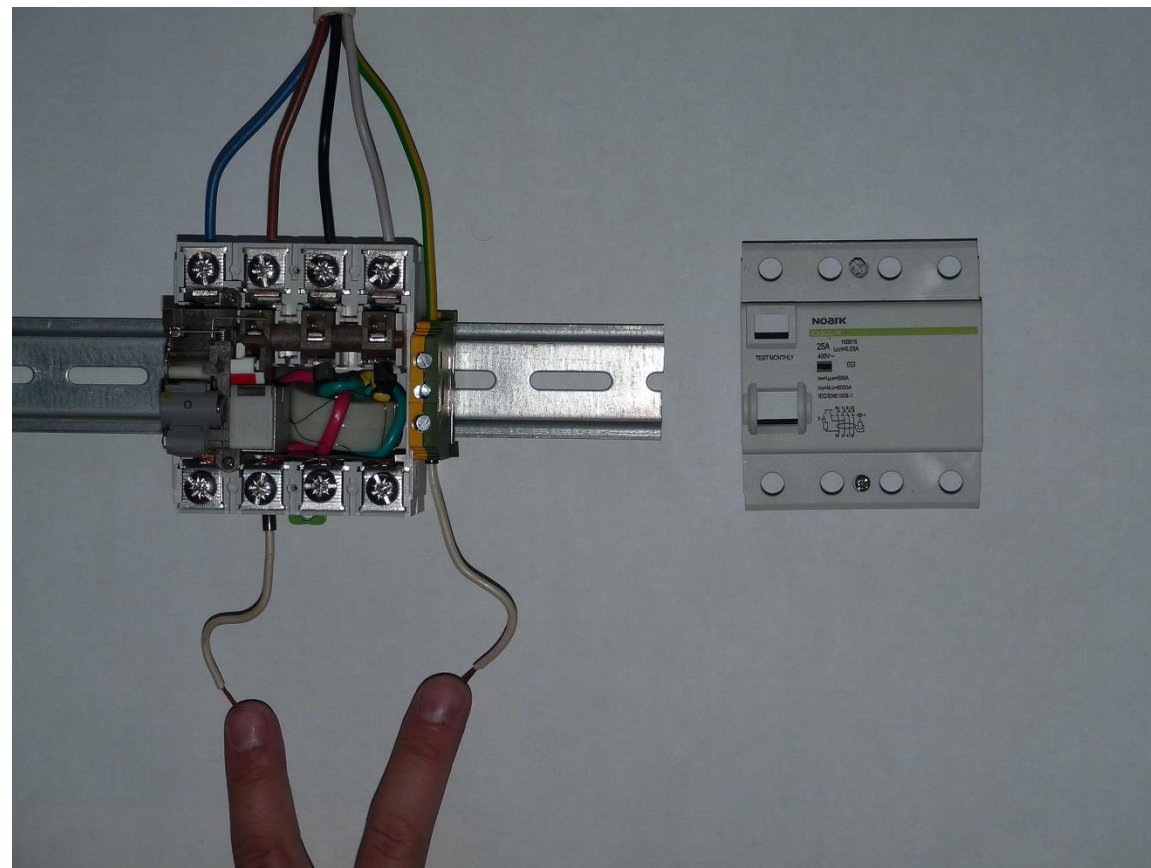
Rikkevoolukaitselüliti põhivabasti on kaitselülitisse ehitatud rikkevoolurelee.

Lekkevoolu suurust rikkevoolukaitsmes mõõdab kaitselüliti sisse ehitatud mõõtetrafo, mis koosneb toroidmagnetahelast (millele on mähitud või mida läbivad faasijuhtmed ja neutraaljuhe) ning sekundaar- ehk mõõtemähisest. Normaaltalitusel on mõõtetrafot läbivad voolud võrdsed ja üksteist tasakaalustavad tekitatud magnetvood.

Inimeste või loomade kaitsmiseks elektrilöögi eest nõutakse eeskirjades rikkevoolukaitselüliti nimirakendumisvooluga 30 mA (eriti ohtlikel juhtudel 10 mA) kasutamist. Kaitselüliti väljalülitusaeg (rakendumisaeg) on $<0,04$ sekundit. Mitut järjestikust kaitseautomaati sisaldavas elektripaigaldises on vaja jälgida ka kaitselülitite omavahelist selektiivsust, selle õigel valikul rakendub rikke korral rikke asukohale lähim kaitseseade. Ebaõige valiku korral aga rakenduvad ka muud ahela toiteallikapoolsed kaitsmed, põhjustades tarbetuid katkestusi muudes riketeta ahelates.

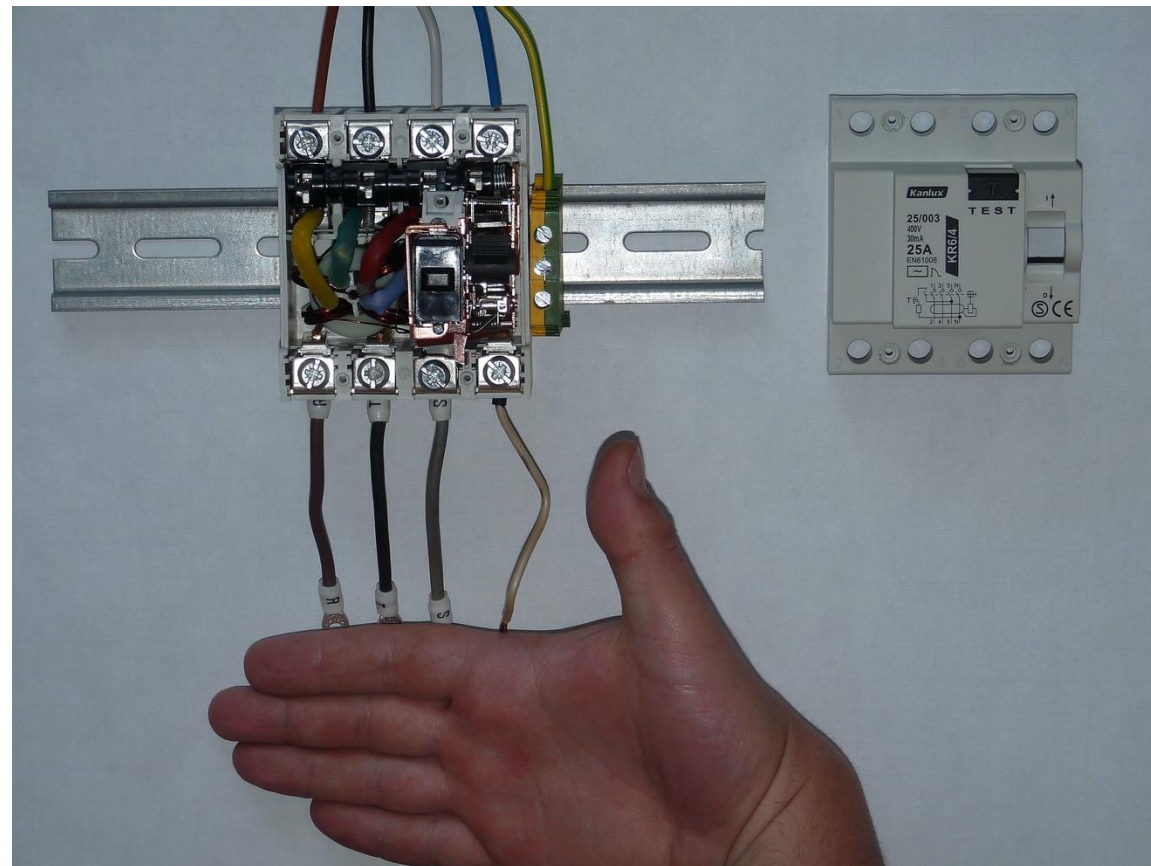
Isolatsiooni rikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

Pildil kujutatud rikke (faas-kaitsejuht) korral rikkevoolukaitse rakendub, juhul kui faasi ja kaitsejuhi vahel kulgev vool ületab RVK rakendumisläve. Inimese kaitsmiseks peab rakendumine toimuma enne, kui see vool eluohtlikuks muutub (vähem kui 0,04 sekundit)



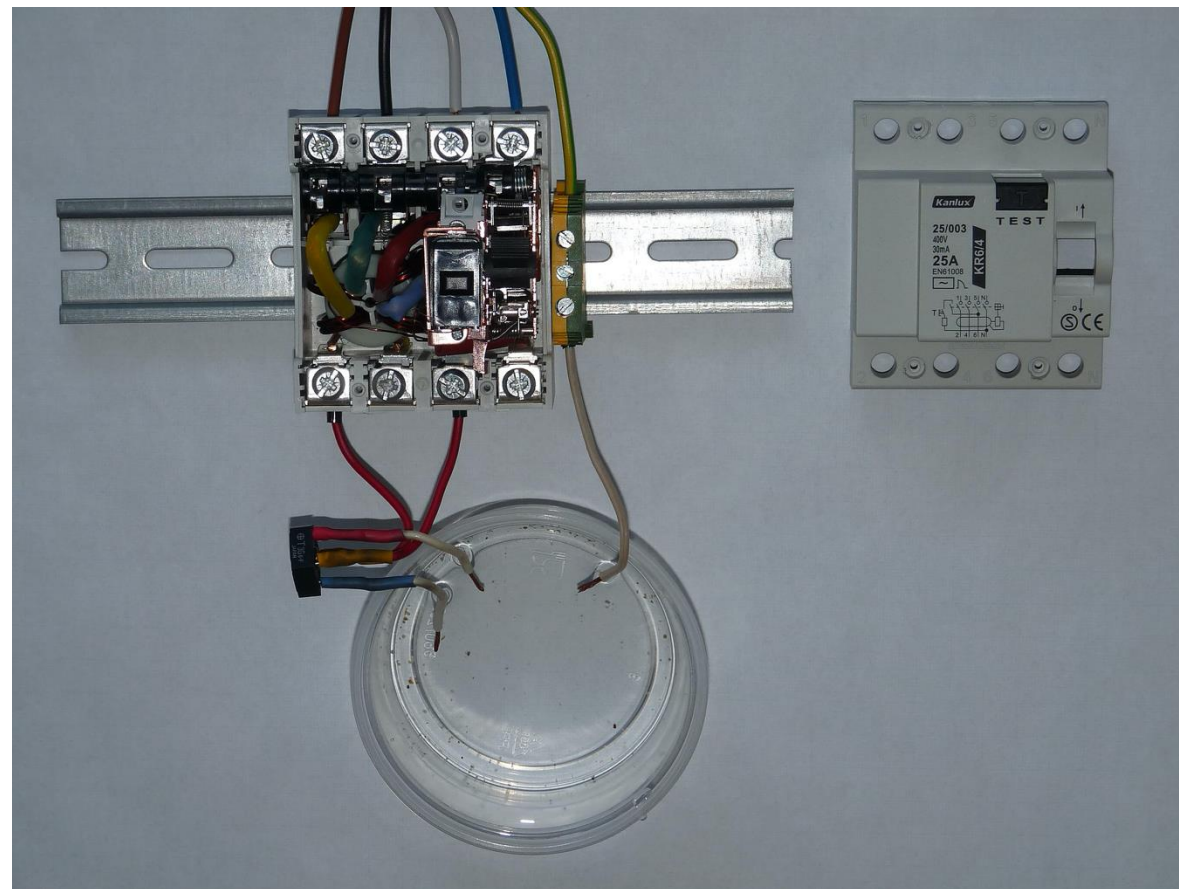
Isolatsiooni rikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

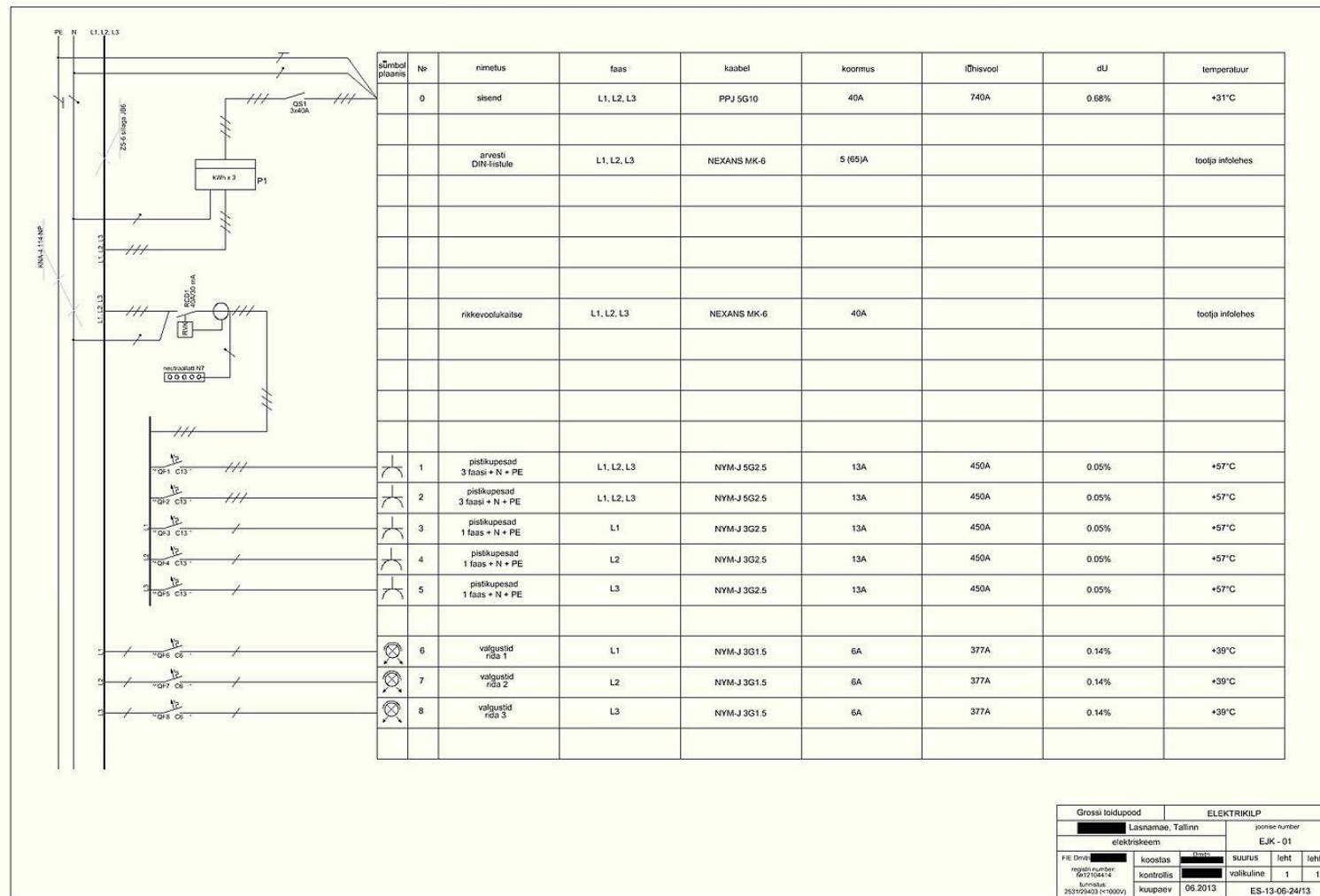
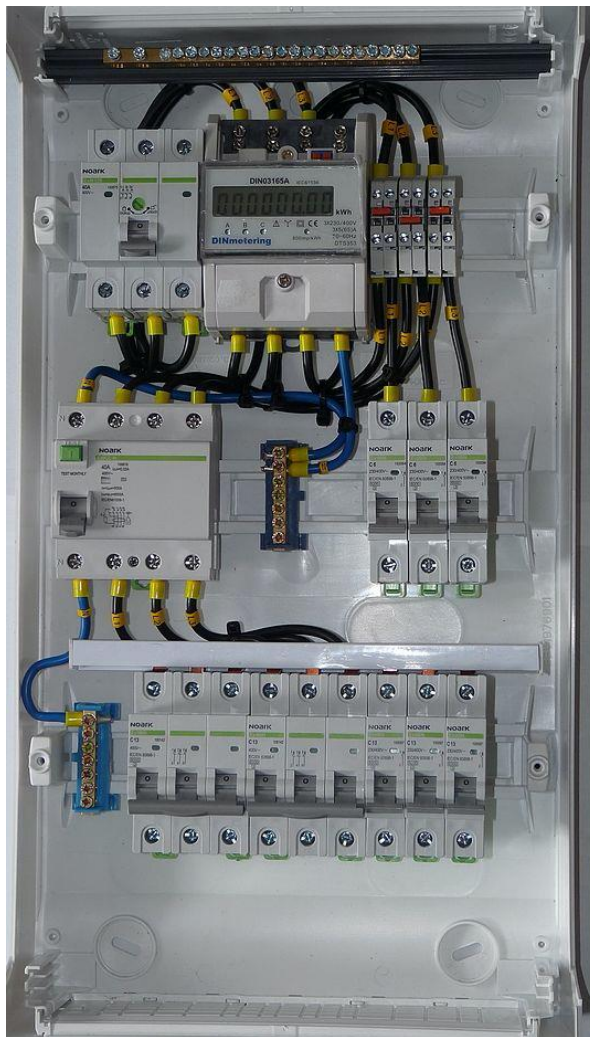
Rike erineva faasiga liinijuhtmete (faas-faas) või liinijuhtme ja neutraaljuhtme (faas-neutraal) vahel ei välista eluohtlikku elektrilööki isegi kaitstud ahelas.



Isolatsioonirikkevoolu ehk ka lekkevoolu olemus

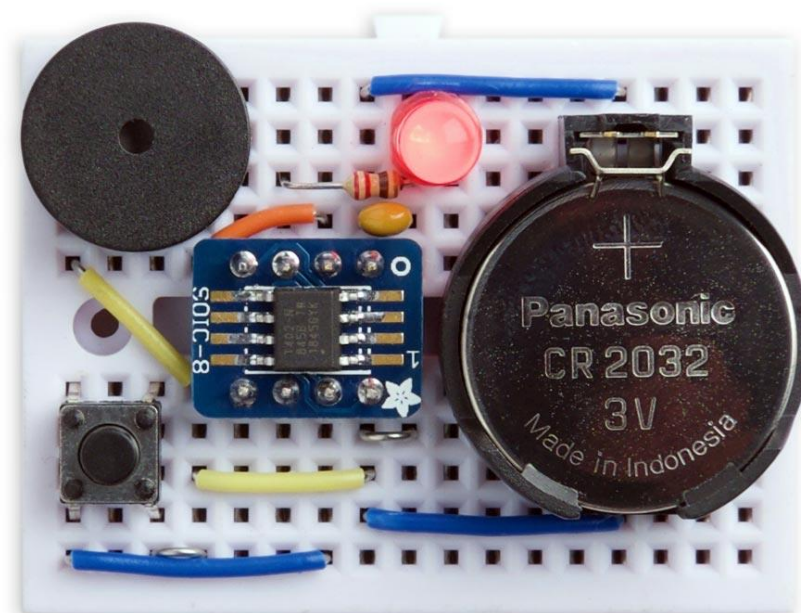
Vahelduvvoolule ettenähtud (AC-tüüpi) rikkevoolukaitselüliti (RVK) ei rakendu (ei löö välja) kui rikke tekib **alalisvooluahelas** sest voolutrafo ei kanna edasi alalisvoolu. Palju kaasaegsed elektroonikaseadmed ja kodumasinad tarbivad mittesiinuselist impulssvoolu mis võib põhjustada soovimatut **lekkevoolu** ja sellega ka RVK rakendumist.





Juhtimisaparaadid võimaldavad kasutajal kontrollida elektrisüsteemide tööd. Nende hulka kuuluvad:

- **Taimerid:** Lülitavad elektrivoolu kindlal ajahetkel sisse või välja.
- **Termoreleed:** Kaitsevad mootoreid ülekoormuse eest, tuvastades temperatuuri tõusu.
- **Loogikalülitid ja programmeeritavad loogikakontrollerid (PLC-d):** Kasutatakse keerukate juhtimis- ja automaatikasüsteemide loomiseks.



Taimerid

Taimeri tööpõhimõte sõltub selle tüübist, kuid üldiselt on taimeri eesmärk mõõta aega ja seejärel teha kindlaksmääratud aja möödudes mingi toiming, nagu seadme sisse- või väljalülitamine. Taimereid on erinevaid, alates lihtsatest mehaanilistest kuni keerukate digitaalsete ja programmeeritavateni. Allpool on kirjeldatud mõningaid levinumaid taimeri tüüpe ja nende tööpõhimõtteid.:

Mehaanilised taimerid

Mehaanilised taimerid töötavad tavaliselt vedru abil, mida kasutaja keerab kindla aja seadmiseks. Kui aeg hakkab jooksuma, vabaneb vedru järk-järgult, liikudes läbi eelseadistatud mehhanismi. Kui seadistatud aeg saab täis, aktiveerib vedru mehhanismi, mis võib näiteks sulgeda või avada elektrilise kontakti, lülitades seeläbi seadme sisse või välja.

Elektroonilised taimerid

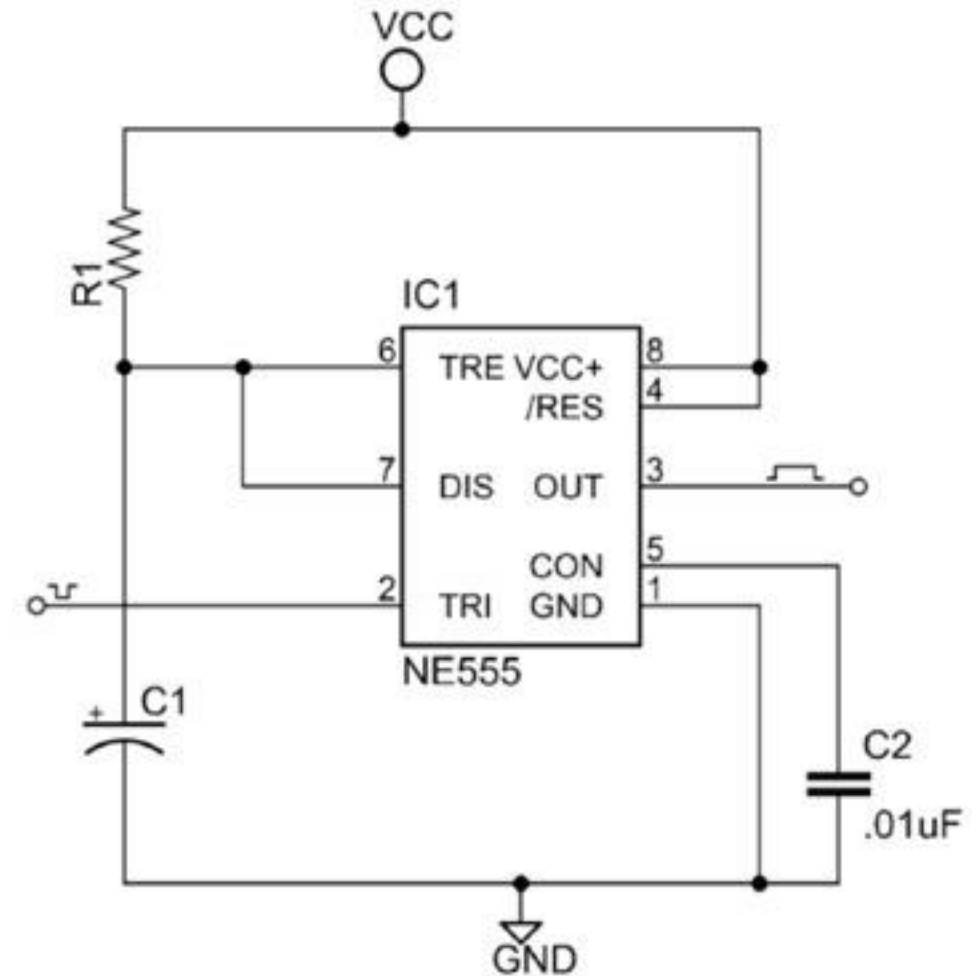
Elektroonilised taimerid kasutavad aja mõõtmiseks elektroonilisi komponente, nagu kvartsist kristallid, mis genereerivad väga täpse sagedusega signaale. Aja möödumist jälgitakse nende signaalide loendamise teel.



Elektroonilised taimerid

Elektroonilised taimerid kasutavad aja mõõtmiseks elektroonilisi komponente, nagu kvartsist kristallid, mis genereerivad väga täpse sagedusega signaale. Aja möödumist jälgitakse nende signaalide loendamise teel.

- **Digitaalsed taimerid:** Need taimerid kasutavad mikrokontrollerit või muud programmeeritavat loogikaseadet aja lugemiseks ja väljundite juhtimiseks. Kasutaja saab seadistada täpse aja digitaalse liidesega, ja taimer aktiveerib väljundi, kui eelseadistatud aeg saab täis.
- **Programmeeritavad taimerid:** Need võimaldavad kasutajatel seadistada mitu ajaintervalli ja toimingut, kasutades selleks keerukamat liidest ja programmeerimiskeelt. Need taimerid võivad pakkuda suuremat paindlikkust ja täpsust erinevate ülesannete jaoks.



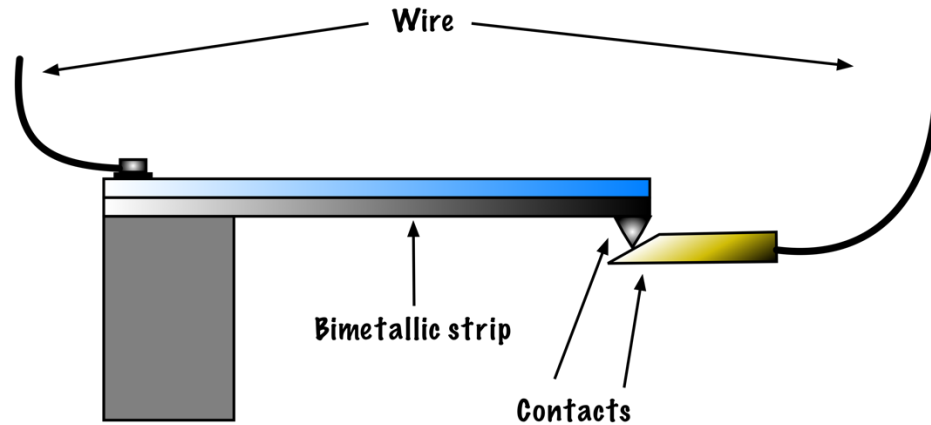
[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

Taimerid



- Elektromehaanilised taimerid
- Elektromehaanilised taimerid ühendavad mehaaniliste ja elektrooniliste taimerite omadused. Neis taimerites kasutatakse elektrimootorit, mis keerab aeglaselt kella mehhanismi. Kui seadistatud aeg saab täis, aktiveerib mehhanism elektrilise lüliti, lülitades seadme sisse või välja. Need taimerid on usaldusväärsed ja neid kasutatakse sageli kodumajapidamises ja tööstuses.
- Iga taimeri tüübi puhul võib olla erinevaid variatsioone ja keerukusastmeid, mis on kohandatud spetsiifilisteks rakendusteks. Digitaalsed ja programmeeritavad taimerid pakuvad suurimat paindlikkust ja täpsust, võimaldades kasutajatel seadistada täpseid ajaintervalle ja keerulisi juhtimisskeeme.

Termoreleed



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY



Termoreleed on seadmed, mis kaitsevad elektrimootoreid ja muid seadmeid ülekuumenemise eest, tuvastades ülekoormust ja katkestades elektrivoolu mootorile, kui vool ületab lubatud piiri. Termoreleede klassifikatsioon võib põhineda mitmetel kriteeriumidel:

Tööpõhimõtte järgi

- **Bi-metaalreleed:** Kasutavad kahte erinevat metalli, mis laienevad erinevatel kiirustel soojenedes. Kui vool on liiga suur, soojeneb bimetal ja paindub, katkestades vooluringi.
- **Elektroonilised termoreleed:** Kasutavad temperatuuriandureid (näiteks termistoreid), et tuvastada ülekoormusest tingitud temperatuuri tõusu ja lülitada seejärel mootor välja.

Paigaldusmeetodi järgi

- Paneelile paigaldatavad: Kinnitatakse tavaliselt juhtpaneeli sees või peal.
- Otse mootorikaitse lülitile paigaldatavad: Integreeritakse otse mootorikaitse lülitiga, moodustades kompaktse kaitseüksuse.

Rakenduse järgi

- Üldotstarbelised: Kasutatakse laias valikus rakendustes ilma erinõueteta.
- Tööstuslikud: Disainitud vastu pidama rasketes tööstuslikes tingimustes, nagu kõrge temperatuur või vibratsioon.



Termoreleed



Seadistatavuse järgi

- Fikseeritud seadistusega: On eelseadistatud teatud voolu või temperatuuri piiridesse ja neid ei saa muuta.
- Reguleeritavate seadetega: Lubavad kasutajal seadistada käivitusvoolu ja temperatuuri piire, pakkudes paindlikkust erinevate rakenduste jaoks.

Vastavuse järgi

- Standardid: Vastavad teatud rahvusvahelistele või kohalikele standarditele, nagu IEC, UL, või CE.
- Eriomadustega: Võivad sisaldada täiendavaid funktsioone nagu faasikao tuvastus, viivitatud käivitamine või täiustatud diagnoosimisvõimalused.
- Iga termorelee klassi ja tüüpi kasutatakse erinevates tööstuslikes ja kommertsiaalsetes rakendustes sõltuvalt nende spetsiifilistest vajadustest ja nõuetest. Oluline on valida õige termorelee vastavalt rakenduse nõuetele, et tagada piisav kaitse ülekuumenemise ja ülekoormuse vastu.

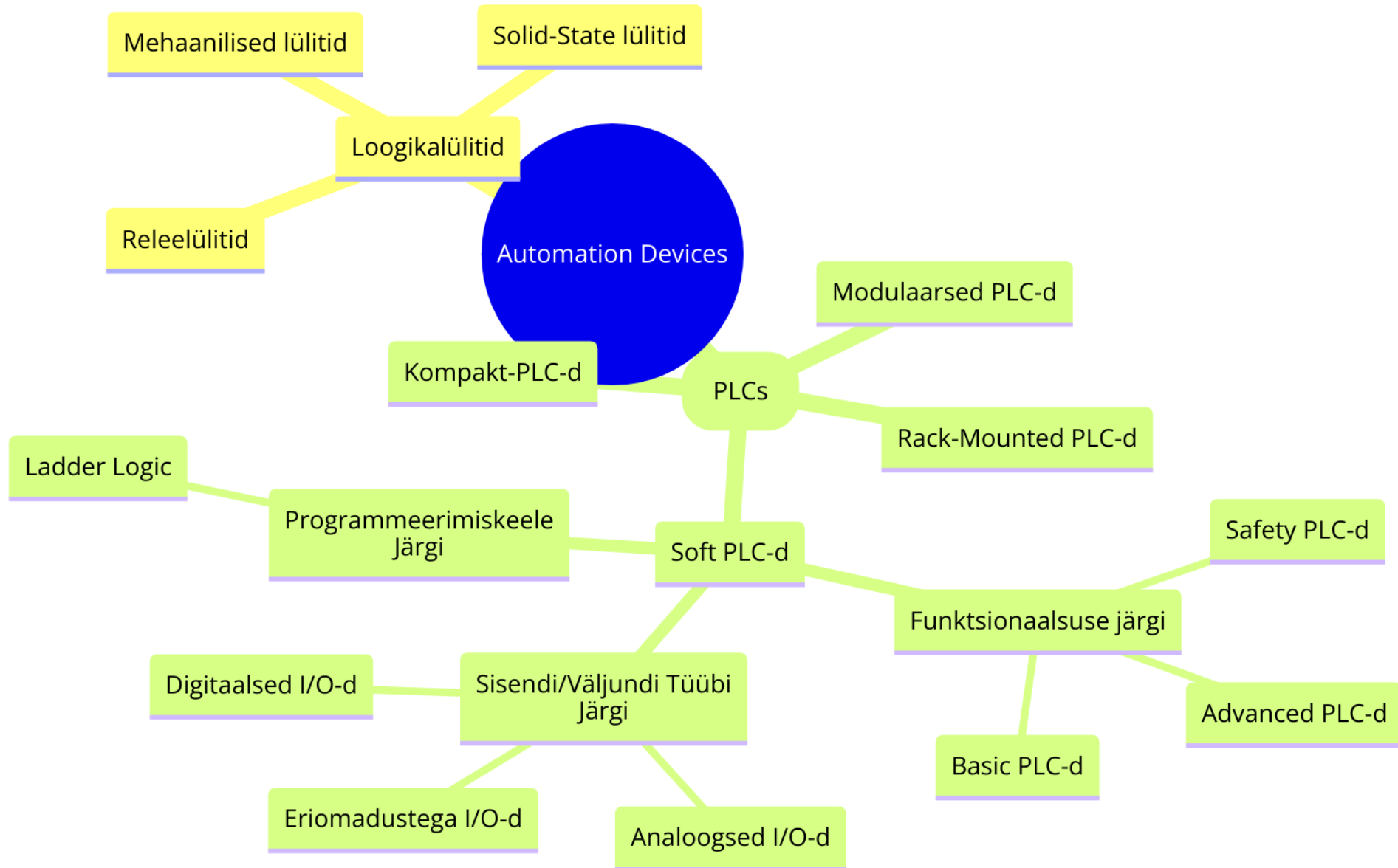
Loogikalülitid ja programmeeritavad loogikakontrollerid (PLC-d)



Loogikalülitid on lihtsad seadmed, mis teostavad põhilisi ON/OFF-tüüpi operatsioone vastusena kindlatele sisendtingimustele. Need võivad olla:

- Mehaanilised lülitid: Käituvad vastavalt füüsilisele toimele (nt vajutus, lüliti keeramine).
- Releelülitid: Kasutavad elektromagnetilist releed, et lülitada kontakte sisse ja välja.
- Solid-State lülitid: Elektroonilised lülitid, mis teostavad loogikafunktsioone ilma liikuvate osadeta.

Loogikalülitid ja programmeeritavad loogikakontrollerid (PLC-d)

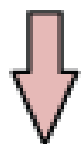


Programmeeritav kontroll

PLC on lühend kontrollile, millega tähistatakse arvutit, mis on seotud töomasina andurite ja täituritega ning mis on kohandatud teatud tüüpi juhtimisülesannete jaoks. Lihtne PLC koosneb:

- Toitemoodulist (PS) ;
- Keskjuhtimismoodulist (CPU);
- signaalimooduli(te)st (SM)
 - sisend-väljundmoodulid (I/O) digitaal- (DI, DO) ja analoogsignaale (AI, AO)

Programmeeritav kontroll



PS
(valikuline)



CPU



IM
(valikuline)



**SM:
DI**



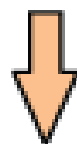
**SM:
DO**



**SM:
AI**



**SM:
AO**



FM:

- Loendamine
- Positsioneerimine
- Suletud kontuuriga juhtimine



CP:

- Jadaühendus
- PROFIBUS
- Industrial Ethernet
- PROFINET

Programmeeritav kontrollervahend (PLC) tüübid

Kompaktne PLC



Moodul PLC

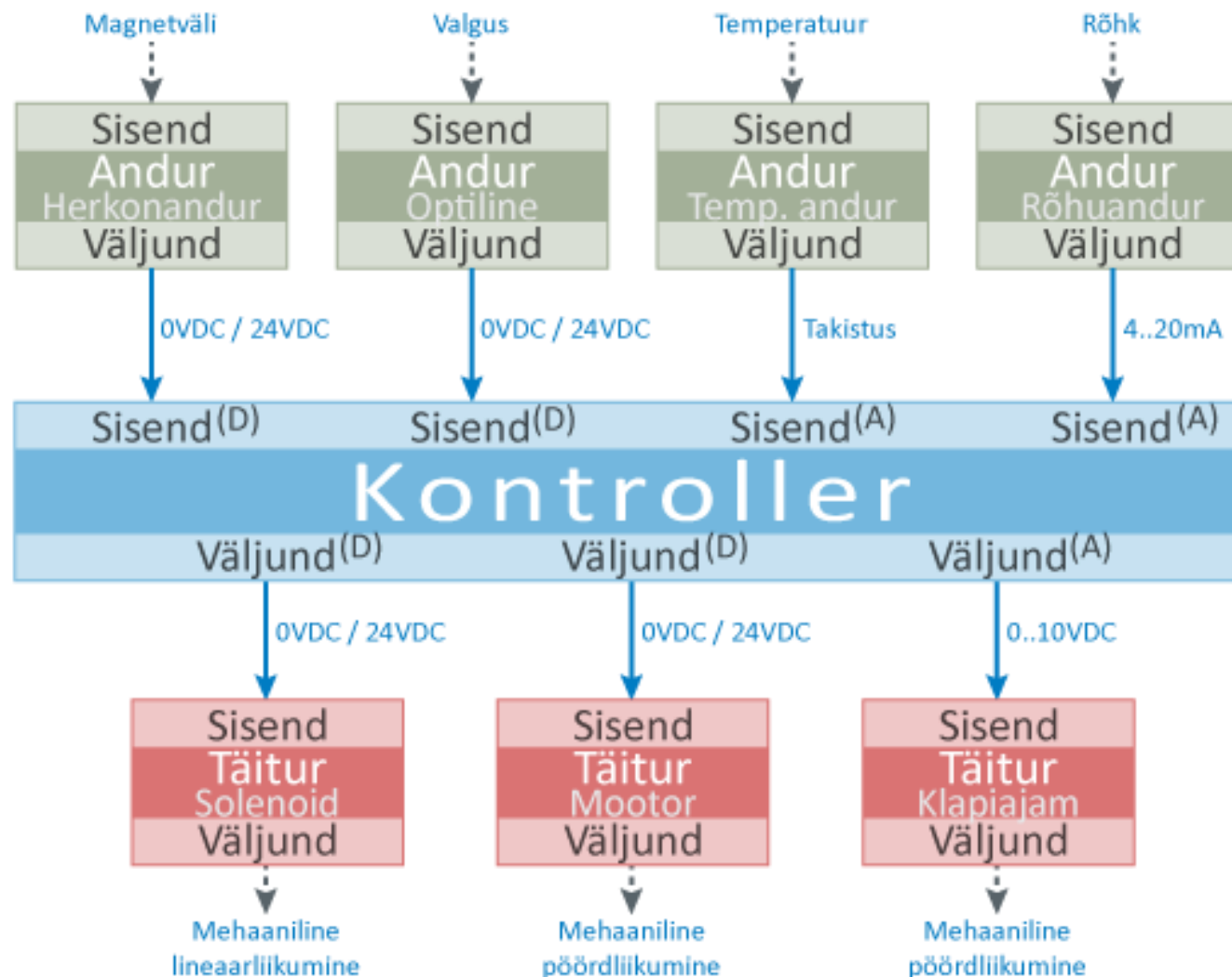


Programmeeritav kontrolleri (PLC) tüübid

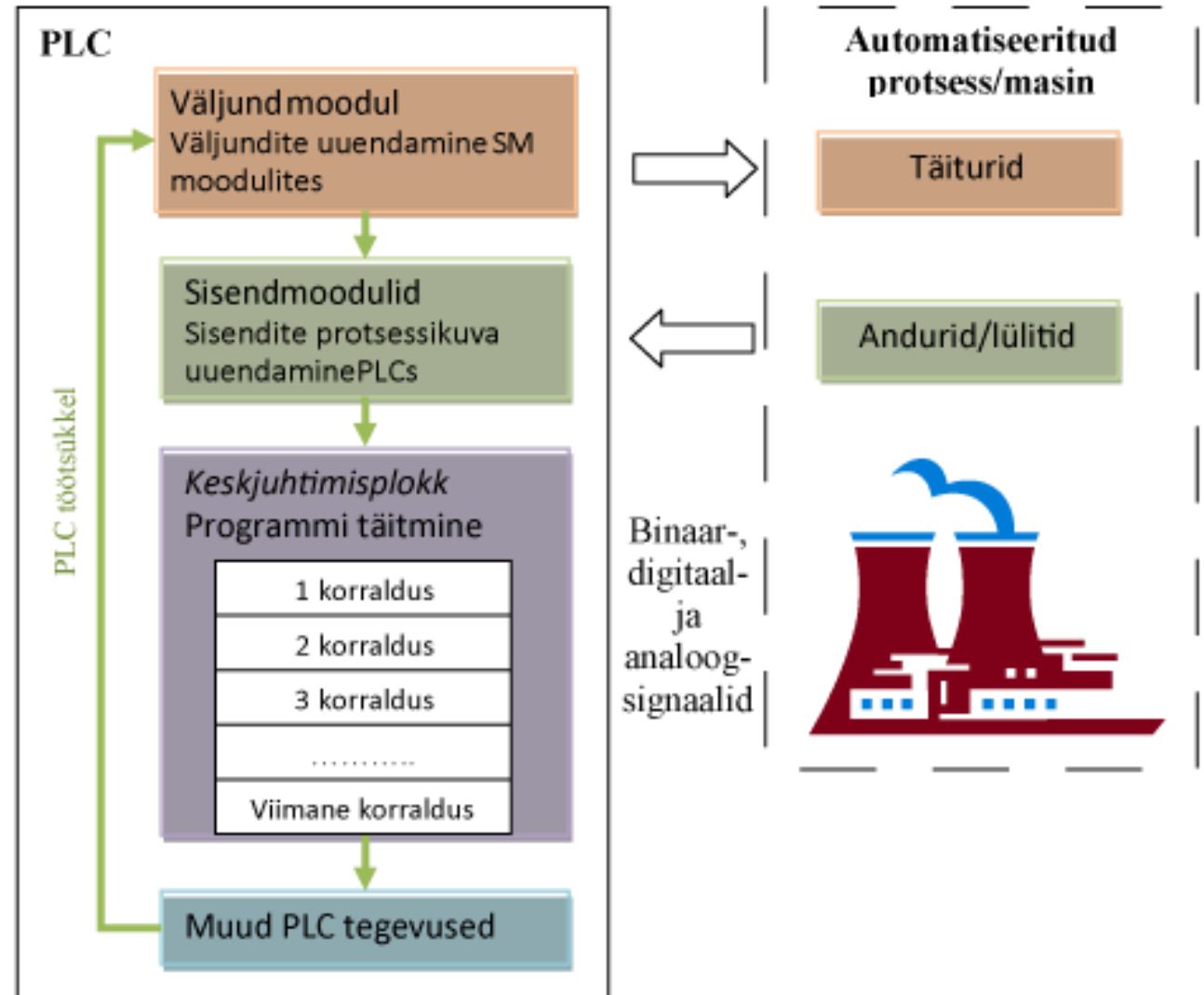


Kassett-PLC

Kontrolleri ehitus



Kuidas töötab SIMATIC S7-1200 PLC?



Programmeeritavad loogikakontrollerite keeled

Programmeeritavad loogikakontrollerid (PLCs) toetavad mitmeid programmeerimiskeeli, mis võimaldavad inseneridel ja tehnikutel luua juhtimisprogramme vastavalt konkreetsele tööstuslikule vajadusele. Peamised programmeerimiskeeled, mida rahvusvaheline standard IEC 61131-3 määratleb, on järgmised:

1. Ladder Diagram (LD)

•**Ladder Diagram (LD):** Kõige traditsioonilisem ja laialdasemalt kasutatav PLC programmeerimiskeel, mis on kujundatud sarnanema elektriskeemide redelloogikale. See on visuaalne keel, kus programm koosneb rööpastest ja treppidest, mis esindavad kontakte ja releesid.

2. Function Block Diagram (FBD)

•**Function Block Diagram (FBD):** Seda keelt iseloomustavad graafilised "plokid", mis esindavad erinevaid funktsioone, nagu loogikaoperatsioonid, ajastus ja aritmeetika. Need plokid saab ühendada joontega, mis sümboliseerivad andmevoogu.

3. Structured Text (ST)

•**Structured Text (ST):** Kõrgetasemeline programmeerimiskeel, mis sarnaneb tekstipõhiste keeltega nagu Pascal, C või Ada. See on mõeldud keerukamate loogikaoperatsioonide kirjutamiseks, kasutades tingimuslausete ja tsüklite struktuure.

4. Instruction List (IL)

•**Instruction List (IL):** Sarnaneb varajaste personaalarvutite assambleekeeltega ja koosneb ridade kaupa kirjutatud juhistest. Kuigi see on võimekas, on IL paljudes kaasaegsetes rakendustes asendatud teiste keeltega.

5. Sequential Function Chart (SFC)

•**Sequential Function Chart (SFC):** Kasutatakse protsesside kirjeldamiseks, mis toimuvad kindlates järjestustes või etappides. SFC on graafiline programmeerimiskeel, mis esitab programmi kui järjestikuste sammude ja otsustuspunktide seeria.

6. Continuous Function Chart (CFC)

•**Continuous Function Chart (CFC):** Sarnaneb FBD-ga, kuid ei piira kasutajat kindlate ühenduste ja paigutustega, pakkudes suuremat vabadust funktsiooniplokkide paigutamisel ja ühendamisel.

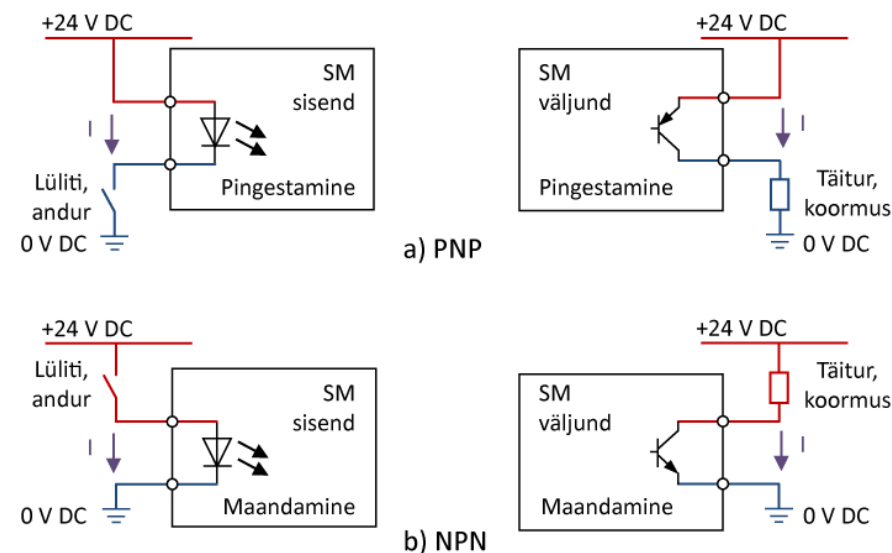
- **Toitemoodul** (PS või PM) varustab PLC-d energiaga, mis saadakse 120/230 V vahelduvvooluvõrgust või 24 V alalisvooluvõrgust. Mõned PLC-d ei vaja oma koosseisu eraldiseisvat toitemoodulit kui keskjuhtimismooduli sisse on ehitatud toiteplokk, mis on võimeline vastu võtma 24 V pingega alalisvoolu (DC) või 230 V pingega vahelduvvoolu (AC). Sellised on ABB [AC500-eCo](#) ja FESTO [CECC](#) seeria kontrollid.
- FESTO [CPX](#) seeria PLC-del on toite ühendus integreeritud kasseti üksiku mooduli (vt pt ["Muud PLC moodulid"](#) ja ["FESTO CPX seeria PLC riistvaraline ülesehitus"](#)) sisse. Nende tähistamiseks on lisatud eraldi seisev Z või V täht kasseti mooduli tootenimesse.

Keskjuhtimismoodul (CPU) on PLC aju, mis täidab automatiseeritud protsessi või masina juhtimisprogrammi, mis on salvestatud tema sisse ehitatud programmimälusse. CPU-s kasutatakse kahte mälutüüpi [6]:

- RAM-mälu (vahemälu)
- EEPROM-mälu (püsिमälu)

Signaalimoodulid (SM) on sisend-väljundmoodulid (I/O). Kasutusel on moodulid digitaalsete signaalide edastamiseks (**DI** - digitaalsisend, **DO** - digitaalväljund) ja analoogsete signaalide edastamiseks (**AI** - analoogsisend, **AO** - analoogväljund). **SM** teisendab saabuval elektrilised signaalid niisugusesse vormi, mida **PLC** protsessor suudab töödelda ning toimetab vastupidiselt väljuvate signaalidega. Enamasti kasutavad digitaalsignaali moodulid oma töös alalispinget väärtusega 24 V või vahelduvpinget väärtusega 120/230 V. Analoo signaalimoodulite juures on kasutusel alalispinge väärtusega kas ± 10 V, 0 – 10 V, ± 5 V või 1 – 5 V ja alalisvool väärtusega kas 4-20 mA või 0-20 mA.

PLC signaalimoodul



Muud PLC moodulid

Peale eespool loetletud moodulite võib PLC koosseisus olla järgmisi mooduleid/seadmeid: kassett/siin on süsteem, millesse on ehitatud andmeside siiniga ühendatakse eraldiolevad PLC moodulid kokku üheks terveks PLC seadmeks

- liidesmoodul (IM) ühendab mitmed eraldiseisvad kassetid üheks PLC-ks
- funktsioonimoodul (FM) on seade, mis tegeleb keeruliste või aeg-kriitiliste protsessidega mis tuleb teostada CPU-st sõltumatult (nt kiire loendamine, PID- ja positsioonjuhtimine)
- andmeside moodul (CP või CM) ühendab PLC tööväljasiiniga (nt Modbus TCP, Modbus RTU, Ethernet IP, PROFIBUS DB, CANopen, DeviceNet, Sercos III, jne)
- laienduskaart võimaldab laiendada CPU enda küljes olevate I/O-de arvu, andmeside liideste arvu või mingi muu (näiteks ekraaniga kasutajaliides) asja võrra ilma suure lisamooduli juurdepanemata
- lisa mälukaart (MC või SD), mis paigaldatakse CPU-sse. Seda saab kasutada lisa mäluna andmete ja programmi hoidmiseks, programmi laadimiseks PLC'sse ning mõnede CPU-de puhul saab uuendada nendes olevat firmware

FESTO CPX seeria PLC riistvaraline ülesehitus

FESTO [CPX](#) seeria PLC pannakse kokku erinevatest moodulitest paigutades need kasseti ([joonis](#))

Kassett on ka modulaarne, mis tähendab et Festo saab selle koostada nii pikka (soovitud pesade arv) ja vastavate kasseti pesamoodulitest nagu seda soovib klient. Kassett koosneb lõpukaantest (sellel võib olla veel toite või teise kasseti laienduse ühendusklemmid) ja pesamoodulitest. Ühel pesamoodulil võib olla ka toite ühendus, mis peab kindalt olema CPU mooduli all olema olemas. Samas võivad mõned väljundid ka vajada eraldi toite pesaga pesamoodulit

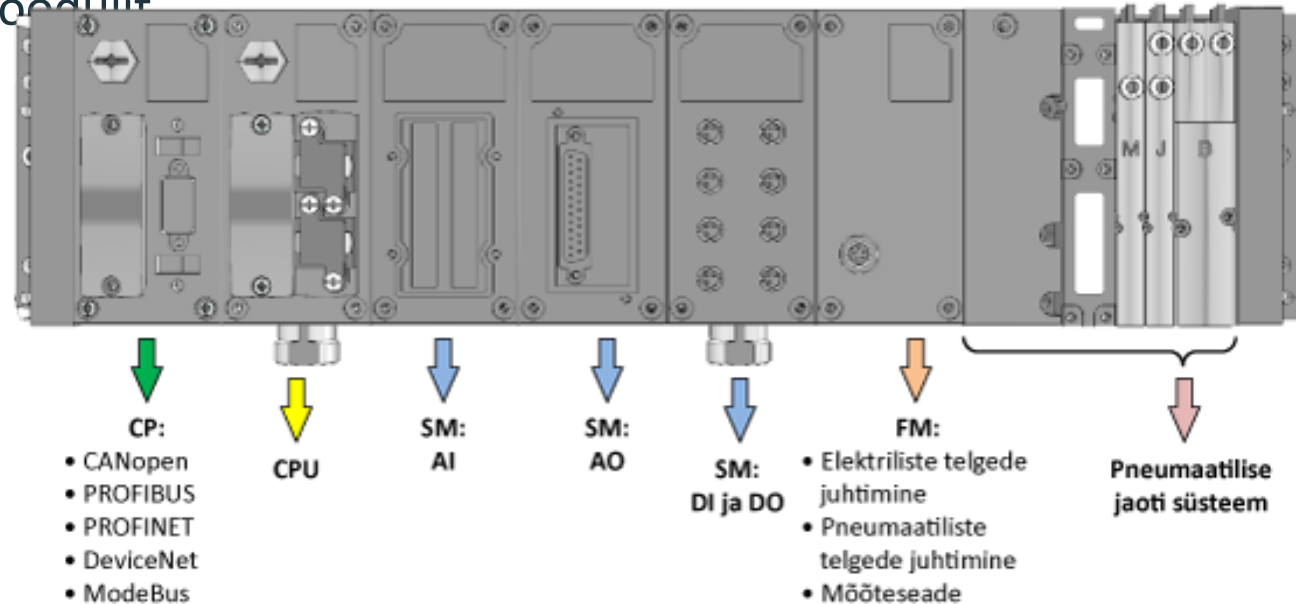
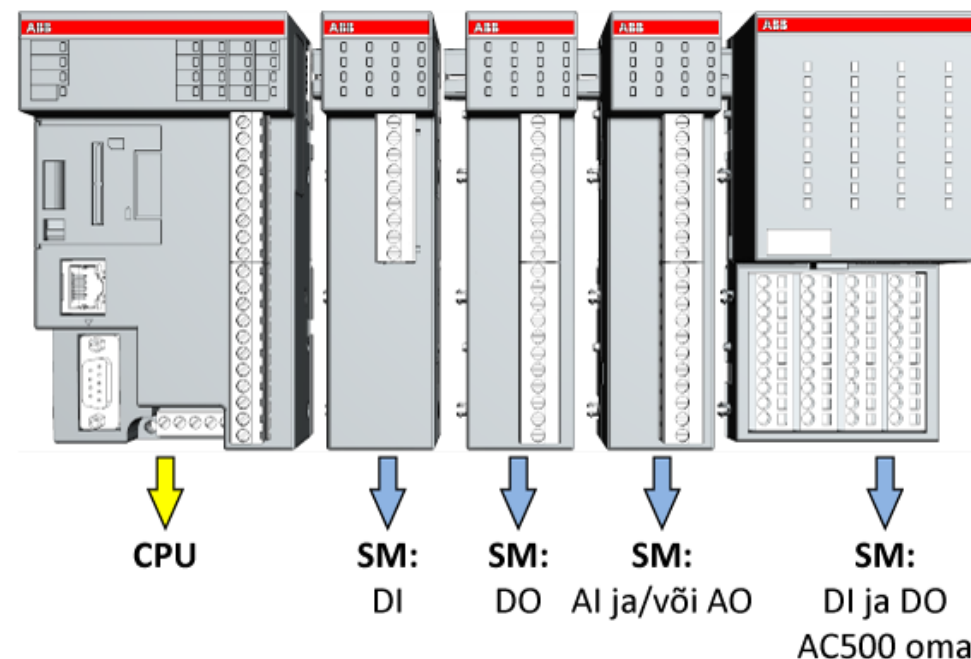


ABB AC500-eCo seeria PLC riistvaraline ülesehitus

ABB AC500-eCo PLC riistvaraline ülesehitus

- [Joonisel](#) on kujutatud ABB [AC500-eCo](#) seeria kontrolleri võimalik riistvaraline koosseis. CPU-st paremale poole saab paigutada kuni 10 erinevat I/O moodulit kas siis ABB [AC500-eCo](#) või AC500 seeriast [8].
- ABB [AC500-eCo](#) seeria kontrolleri ei vaja eraldiseisvat PS, kuna see on CPU-sse ehitatud. CPU-d võib toita kas ainult 24 V DC või ainult 230 V AC pingega. CPU enda külge on integreeritud üks RS485 andmeside liides ja mõned digitaal I/O (sõltuvalt tüübist on nende arv erinev).



Sõltuvalt sellest, missugune on CPU mooduli ehitus ja kuidas see on ühendatud teiste moodulitega [9], saab PLC liigitada järgmisteks tüüpideks:

- kompakt-PLC
- moodul-PLC
- HMI PLC
- tööstusarvuti
- kaart-PLC
- tarkvaraline PLC

Kompakt-PLC-s on CPU, PS ja SM paigutatud ühte väikesesse korpusesse. Sellisel PLC-l on kindel arv digitaal I/O-id (mitte üle 40), üks või kaks andmesideliidest (nt üks PLC programmeerimiseks ja teine tööstusandmesideks) ning HMI liides. Kompakt-PLC-ga saab ühendada lisamooduleid I/O arvu suurendamiseks. Lisatavate lisamoodulite arv ei ületa kümnet ning need paiknevad samasuguses korpuses nagu kompakt-PLC.



Moodul-PLC on võimsam ja omab rohkem funktsioone kui kompakt-PLC. Tema osad nagu näiteks CPU, PS, SM, FM, servo-mootori juhtimismoodul, positsioneerimismoodul, CP moodul, jne, mis paiknevad eraldi korpustes.



Nagu HMI nimi PLC sees juba ütleb, omab antud seade lisaks kontrolleriile ka inim-masin (kasutaja/operaator) liidest automatiseeritud protsesside või masinate juhtimiseks ja nende töö jälgimiseks. HMI osa koosneb enamasti ekraanist ja klaviatuurist või puuteekraanist. HMI ekraan võib olla tekstipõhine või graafiline.



Tööstusarvuti on põhimõtteliselt tavaline personaalarvuti, millesse on integreeritud PLC funktsionaalsus. PLC osa antud süsteemis võib põhineda riistvaral (kaart-PLC) või tarkvaral (virtuaalne PLC).

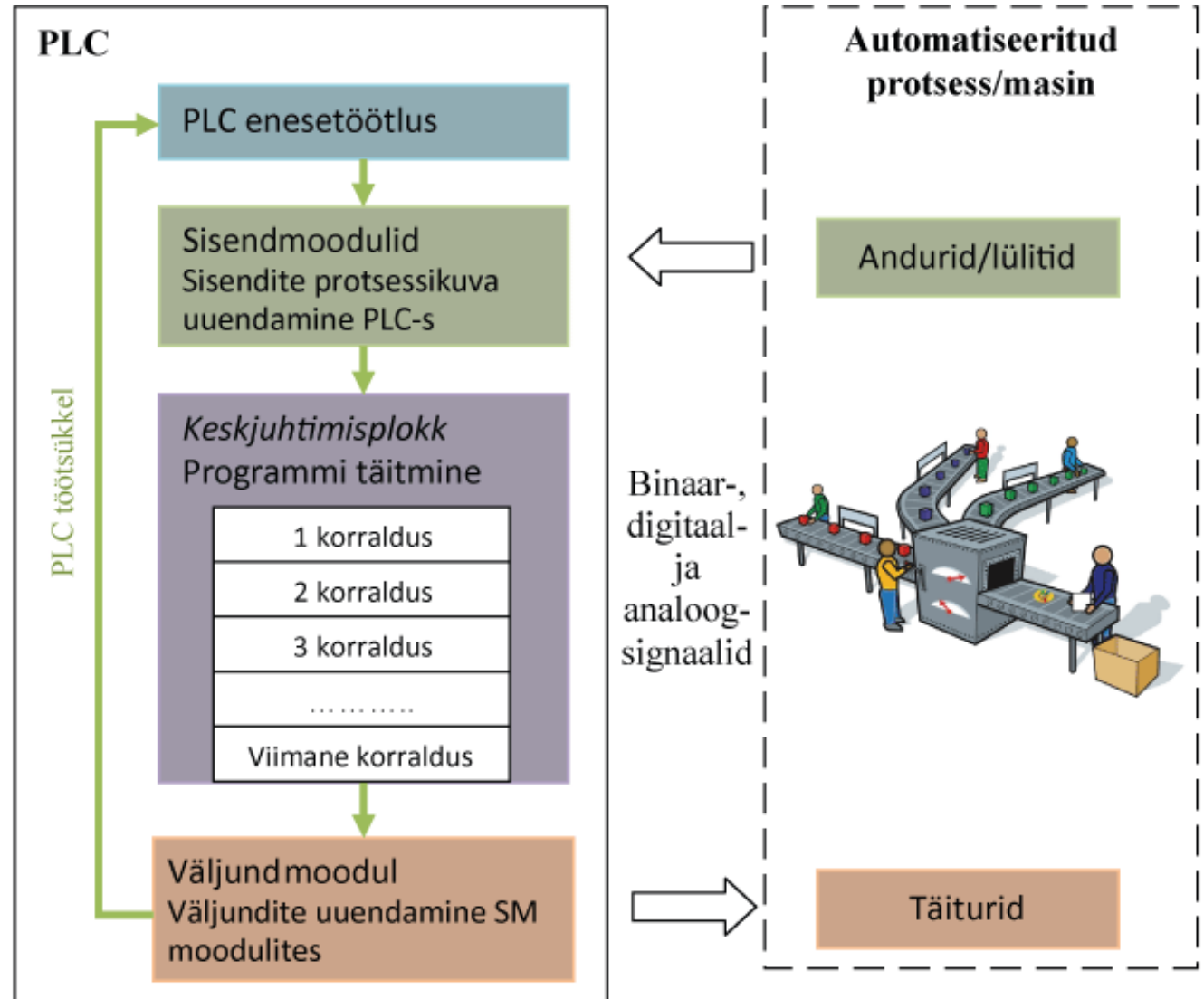


Kaart-PLC on arvutisse või selle laadsesse süsteemi paigaldatav spetsiaalne riistvaraline moodul, mis omab kõiki tavalise PLC CPU funktsioone. Enamasti paigutatakse see arvuti emaplaadil olevale PCI või PCI-E pessa, mis võimaldab otsest andmevahetust arvutis oleva HMI ja/või teiste arvutite tarkvaraliste rakendustega.

Tarkvaraline PLC ehk virtuaalne PLC on programm, mis töötab personaalarvutis ja emuleerib riistvaralist kontrollerit. Automatiseeritud protsesside või masinate juhtimiseks kasutab see arvutis olevaid andmesideliideseid (Ethernet kaart, Etherneti pesa, COM pesa) või arvutisse asetatavaid spetsiaalseid andmesidekaarte suhtlemaks hajutatud I/O-dega ja teiste juhtimissüsteemi seadmetega.

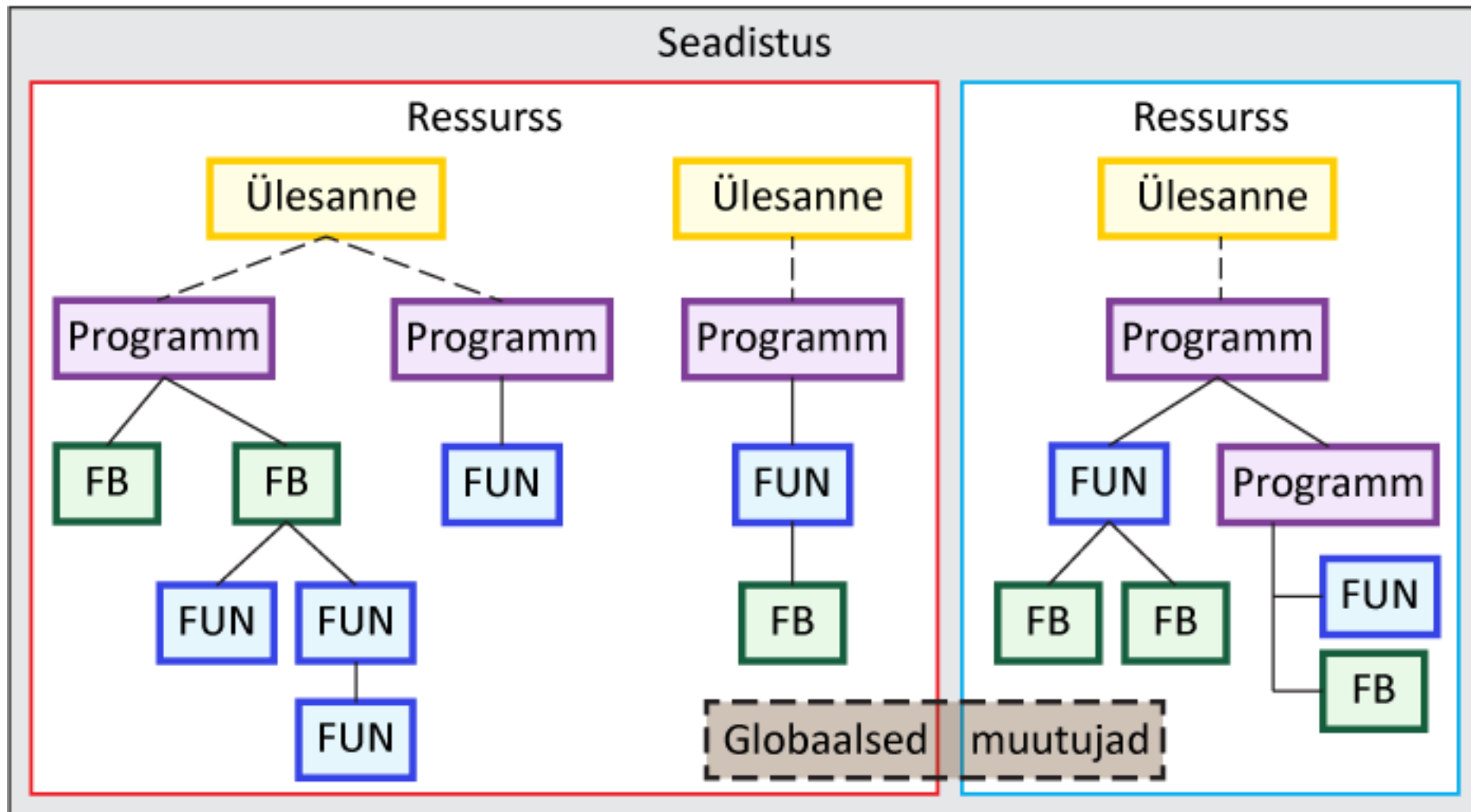
Kuidas töötab CoDeSys-i kasutav PLC?

- Iga uus PLCtöotsükkel algab PLC enesetöötlustest. Siia alla kuuluvad andmeside pidamine, hooldustööd nagu mälu haldamine, moodulite diagnostika jne
- Teise sammuna uuendatakse PLC sisendite väärtused (ehk sisendite protsessikuva). SM-des mõõdetakse sisendsignaali väärtused ja need muudetakse binaar- või digitaalsignaaleks ja saadetakse sisese siinisüsteemi kaudu edasi CPU-sse ja salvestatakse sisendite andmemälus (sisendite protsessikuvast).
- Järgmise sammuna täidab CPU programmimälu olevat kasutaja loogika kohaselt loodud juhtimisprogrammi (korraga täidetakse üht korralduserida), mis on salvestatud mingis masinkoodis. (defineeritud standardis IEC 61131-3) Väljundeid ei uuendata veel väljund SM-s.
- Viimaseks sammuks on väljundite väärtuste uuendamine SM-des. Väljundite andmemälus (väljundite protsessikuvast) olevad binaar- ja/või digitaalsignaalid kopeeritakse ja saadetakse SM-desse, kus need muundatakse täituritele arusaadavasse vormi (nt elektri-signaaleks) ja saadetakse sealt edasi täituritele.
- Kui viimane samm PLC töötsüklist on täidetud, siis alustab PLC uue töötsükliga toetades moodulite oleku kontrolli, pidades andmesidet, jne ehk siis teostades enesetöötlust.



- Tänapäeva PLC-d on võimelised täitma automatiseeritud protsessi juhtimisel korraga mitut **ülesannet**. Iga ülesanne võib koosneda mitmest eraldi programmist. Tegelikult täidab PLC CPU-s iga protsessor korraga ainult üht ülesannet (selle mingit programmiosa). Kuna protsessorid töötavad väga kiiresti, näib kasutajale, et PLC täidab mitut ülesannet korraga ehk toimub **multitegumtöö**.
- **Eesõiguseta multitegumtöös** täidetakse ülesanne lõpuni isegi siis, kui kõrgema prioriteediga ülesanne nõuab täitmist. Järgmisena jätkatakse kõige kõrgema prioriteedi ja pikima ooteajaga ülesande täitmisega.

Programmi struktuur



Programmi ülesehituse plokk

Standardis IEC 61131-3 nimetatakse funktsionaalseid plokkide, millest moodustatakse kõik programmid ja projektid, programmi ülesehituse üksusteks (POU-deks). Tavapäraselt PLC arenduskeskkonnas vastavad nendele programmiploki, juhtimisploki, järjestusploki ja funktsiooniploki [viide]. Standardi üks oluline eesmärk on piirata eri plokitüüpide mitmekesisust ja seega lihtsustada nende kasutamist. Standard määratleb järgmised POU tüübid:

- funktsioon (FUN)
- funktsiooniplokk (FB)
- programm (PRG)

Neid POU-sid kasutatakse ka CoDeSys-is, võimaldades struktureerida mingi seadme/protsessi juhtimisprogrammi paremini.

POU nimega "Programm"

Programm (PRG) on kõrgetasemeline POU, mida kasutatakse juhtimisprogrammi sidumiseks mingi ülesandega. See on liides masina juhtimisprogrammi ja PLC operatsioonisüsteemi vahel. PRG sees oleva programmi kirjutab programmeerija, kuid see käitatakse (hakatakse täitma) ülesande abil PLC operatsioonisüsteemi poolt.

Ühes ülesandes võib olla rohkem kui ainult üks PRGtüüpi POU.

CoDeSys tekitatakse PRG nimega *PLC_PRG* ja see seotakse automaatselt mingi tsüklilise ülesandega (CoDeSys on selle nimi *MainTask*), kui uue PLCprojekti loomisel valitakse kohe ka kontrolleri (PLC, millele antud projekt luuakse). PLC_PRG-d võib käsitleda, kui peaprogrammi faili, mille sisse koostatud juhtimisprogrammi hakatakse täitma kontrolleri poolt teatud ajaintervalli järel. Seda muidugi kui CPU on töörežiimis.

POU nimega "Funktsioon"

Üldjoontes loetakse **funktsiooniks** (FUN) POU-d, millel on sisendid, üks väljund (väljund on seotud FUNnimega) ja kohalikud muutujad, mille väärtusi ei peeta meeles (mälus) pärast FUN täitmist. Samade sisendväärtuste puhul annab FUN alati ühesuguse väljundväärtuse. FUN teostab alati kindlat protseduuri ja sellel on reeglina üks väljund.

FUN mõte seisneb selles, et mingit kindlat ülesannet täitva programmiosa peab funktsioonina kirjutama vaid ühe korra. Edaspidi, kui on soov seda programmiosa uuesti kasutada, ei tule seda iga kord uuesti kirjutada, vaid piisab vastava FUN-i väljakutsumisest.

Ühe FUN elemendi täitmine mitmel korral

PRG

```
...  
Tulemus_1 := Liit (Sisend1 := 12, Siend2 := 24);  
Tulemus_2 := Liit (30 , 23);  
Tulemus_3 := Liit (Sisend1 := arv, Sisend2 := 2);  
...
```

FUN: Liit

Liit := Sisend1 + Sisend 2;



POU nimega "Funktsiooniplokk"

Funktsiooniplokk (FB) on FUN-ile sarnane POU. Vahe on selles, et sellel POU-l on mälu ja selle väljundite väärtus sõltub sisendmuutujate ja samuti ka plokisiseste (mälus olevate) muutujate väärtustest.

PRG

VAR

...

Pump1 : Pump;

Pump2 : Pump;

Pump3 : Pump;

...

END_VAR

...

Pump1 (Sart1, Stopp1, Kiirus1);

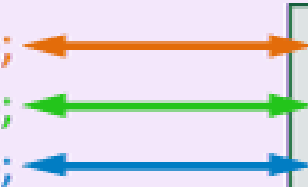
Pump2 (In1 := Start2, In2 := Stopp2, Out := Kiirus 2);

Pump3 ();

...

FB: Pump

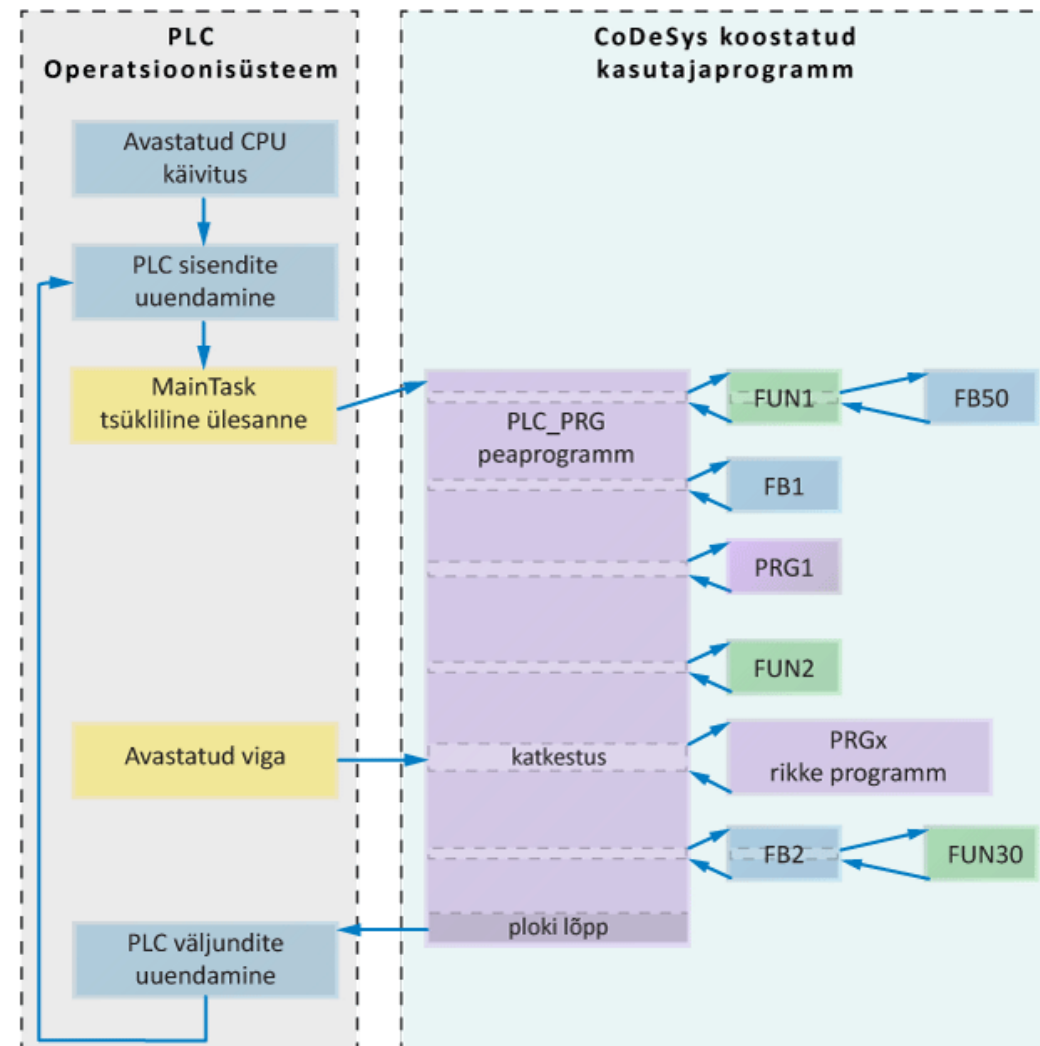
Pumba juhtimis-
programm



*Ühe FB elemendi täitmine
mitmel korral (instances) PRG-s*

Programmi täitmine PLC-s

Rakenduse põhiprogrammi täitmine toimub PLC_PRG kaudu. Pärast toite sisselülitamist ja CPU lülitamist TÖÖ režiimi hakatakse täitma PLC_PRG. PLC_PRG täidetakse igal PLC tsüklil kuni CPU TÖÖ režiimikatkestatakse või toide lülitatakse välja.



Tsükliline programmi täitmine PLC-s

PLC programmeerimiskeeled

Käsulist (Instruction List - IL)

```

1  LD      %IX10.0
   AND     %IX10.1
   ST      %QX10.1
   JMPCN   M_001
   LD      %IW0
   ST      %QW0
   JMP     M_002

2  M_001:
   LD      %MW2
   ST      %QW0

3  M_002:

```

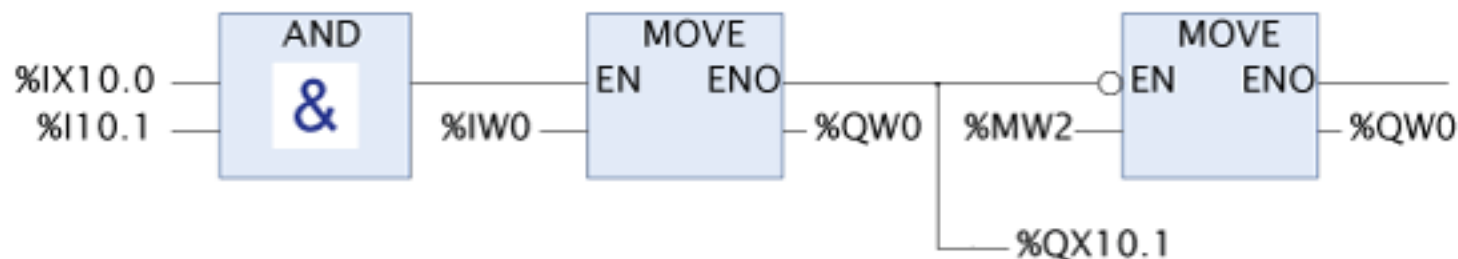
Struktureeritud tekst (Structured Text - ST)

```

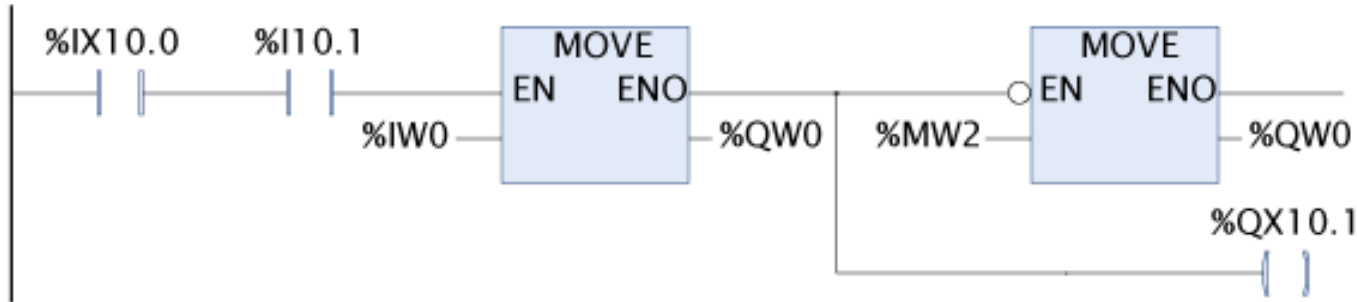
%QX4.0 := %I0.0 AND %I1.1 OR NOT %I0.1;
IF %QX4.0 = TRUE THEN JMP M_001;
ELSE %QX1.0 := NOT %QX4.0;
END_IF;
M_001: %MW2 := 1 + %MW2;

```

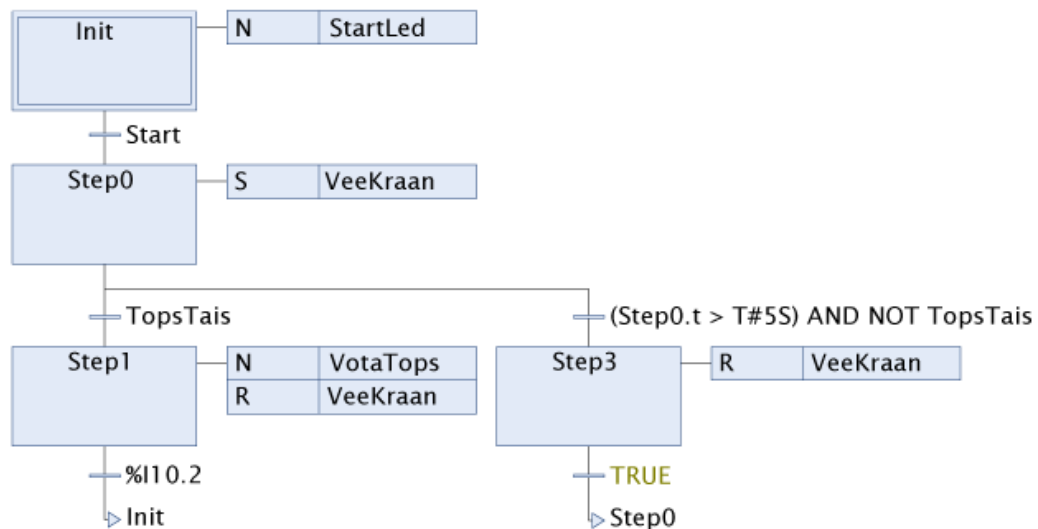
Funktsiooniplokkskeem (Function Block Diagram - FBD)



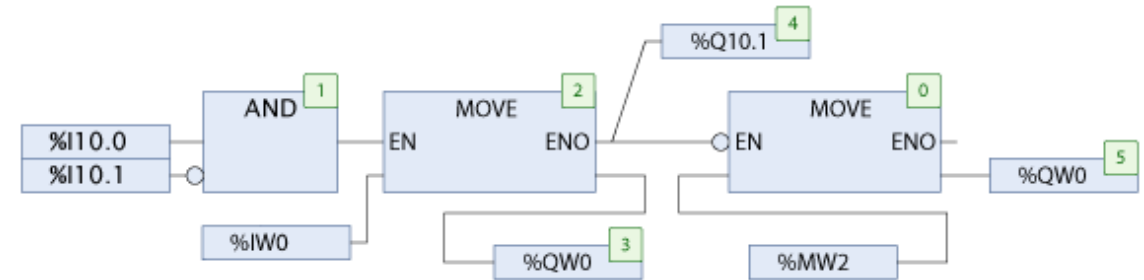
Kontaktaseskeem (Ladder Diagram - LD)



Jätkuvate funktsioonide kaart (Continues Function Chart – CFC)



Järjestatud funktsioonide kaart (Sequential Function Chart – SFC)



Muutujate adresseerimine CoDeSys-s

Enamus PLC-de mälus on piirkonnad, mille poole saab programmist pöörduda programmi täitmiseks vajalike andmete võtmiseks ja/või talletamiseks. PLC-s (nt CoDeSys-iga programmeeritav FESTO CECC-D PLC) kasutatavate muutujate mälupiirkonnad jagunevad järgmiselt:

- sisendite protsessikuva (I)
- väljundite protsessikuva (Q)
- marker (M)

Muutujate adresseerimine CoDeSys-s

Biti suurusega muutuja aadressile viidatakse alati unikaalse sümboliga (absoluutne aadress), mis koosneb:

%	Mälupiirkonna tunnus	+	Suuruse tähis	+	Mälupiirkonna suuruse aadress	+	.	+	Biti number	Kommentaar
%	M		X		1		.		1	Adresseeritud on bit 1 markeri mälupiirkonnast bait 1
%	M		B		2		.			Adresseeritud on bait 2 markeri mälupiirkonnast
%	M		W		0		.			Adresseeritud on andmesõna 0 markeri mälupiirkonnast
%	M		D		1		.			Adresseeritud on topelt andmesõna 1 markeri mälupiirkonnast
%	M		L		2		.			Adresseeritud on pikk andmesõna 2 markeri mälupiirkonnast

Markeri mälupiirkonna absoluutne adresseerimine

Muutujate adresseerimine CoDeSys-s

Kui adresseerimisel viidatakse mälupiirkonna suurustele nagu bait, andmesõna, topelt andmesõna, pikk andmesõna, siis lisatakse mälupiirkonna tunnuse järgi täht **B, W, D** või **L** (nt **%IB7, %IW7, %ID7, %IL7**). Suuruse mälupiirkonna aadressinumbriks kirjutatakse vastava suuruse mälupiirkonna number (baidi jaoks 0, 1, 2, jne, Samamoodi kirjutatakse ka teistele suurustele mälupesade numbrid. Andmesõna, topelt ja pikka andmesõna mälupesade nummerdamist alustatakse ka 0, 1, 2, jne. numbritega.

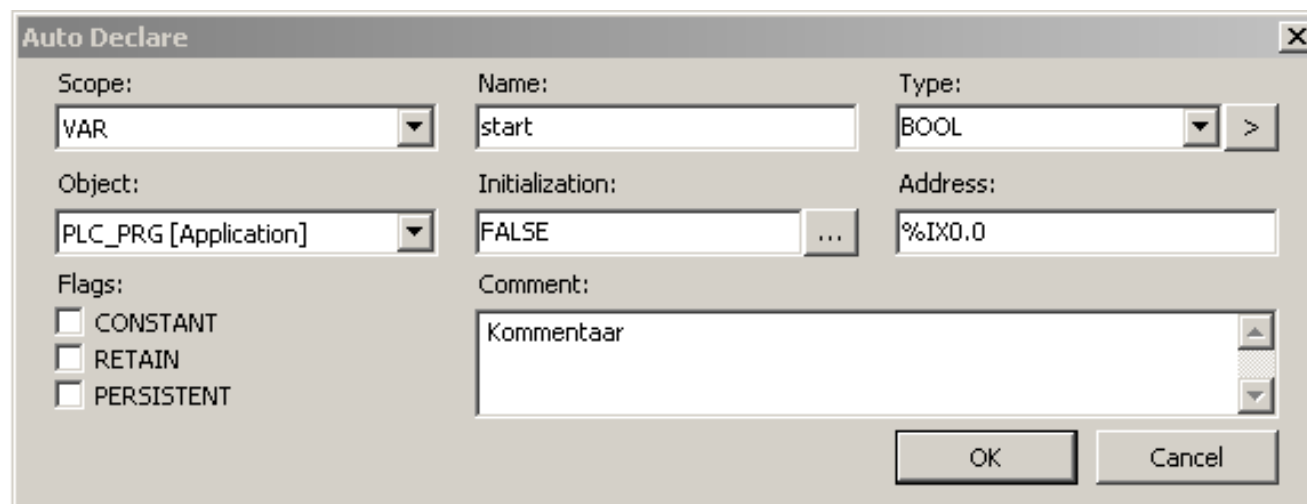
Bitid								Baidid	Andmesõnad	Topelt and- mesõnad	Pikad and- mesõnad
%MX 0.7	%MX 0.6	%MX 0.5	%MX 0.4	%MX 0.3	%MX 0.2	%MX 0.1	%MX 0.0	%MB0	%MW0	%MD0	%ML0
%MX 1.7	%MX 1.6	%MX 1.5	%MX 1.4	%MX 1.3	%MX 1.2	%MX 1.1	%MX 1.0	%MB1			
%MX 2.7	%MX 2.6	%MX 2.5	%MX 2.4	%MX 2.3	%MX 2.2	%MX 2.1	%MX 2.0	%MB2	%MW1		
%MX 3.7	%MX 3.6	%MX 3.5	%MX 3.4	%MX 3.3	%MX 3.2	%MX 3.1	%MX 3.0	%MB3			
%MX 4.7	%MX 4.6	%MX 4.5	%MX 4.4	%MX 4.3	%MX 4.2	%MX 4.1	%MX 4.0	%MB4	%MW2	%MD1	
%MX 5.7	%MX 5.6	%MX 5.5	%MX 5.4	%MX 5.3	%MX 5.2	%MX 5.1	%MX 5.0	%MB5			
%MX 6.7	%MX 6.6	%MX 6.5	%MX 6.4	%MX 6.3	%MX 6.2	%MX 6.1	%MX 6.0	%MB6	%MW3		
%MX 7.7	%MX 7.6	%MX 7.5	%MX 7.4	%MX 7.3	%MX 7.2	%MX 7.1	%MX 7.0	%MB7			
%MX 8.7	%MX 8.6	%MX 8.5	%MX 8.4	%MX 8.3	%MX 8.2	%MX 8.1	%MX 8.0	%MB8	%MW4	%MD2	%ML1
%MX 9.7	%MX 9.6	%MX 9.5	%MX 9.4	%MX 9.3	%MX 9.2	%MX 9.1	%MX 9.0	%MB9			
%MX 10.7	%MX 10.6	%MX 10.5	%MX 10.4	%MX 10.3	%MX 10.2	%MX 10.1	%MX 10.0	%MB10	%MW5		
%MX 11.7	%MX 11.6	%MX 11.5	%MX 11.4	%MX 11.3	%MX 11.2	%MX 11.1	%MX 11.0	%MB11			

Muutujate deklareerimine sümbolite abil

Et paremini mõista programmi ja selle muutujaid, kasutatakse üha rohkem **sümboolset adresseerimist**. See võimaldab anda muutujatele tähenduslikud nimed (sümbolid) ja programmi koostamisel ei pea enam mõtlema, millest alates ja kui suure osa mälupiirkonnast peaks mingi muutuja enda alla võtma. Kõik see viimane osa tehakse PLC arenduskeskkondade poolt automaatselt. Selline lähenemine on standard IEC 61131-3 järgi lubatud ja CoDeSys kasutab seda.

[Muutujate adresseerimine CoDeSys-s](#)

Muutujate deklareerimine CoDeSys-s



The image shows the 'Auto Declare' dialog box in the CoDeSys software. It is used for automatically declaring variables in a PLC program. The dialog has several fields and options:

- Scope:** A dropdown menu set to 'VAR'.
- Name:** A text field containing 'start'.
- Type:** A dropdown menu set to 'BOOL', with a '>' button next to it.
- Object:** A dropdown menu set to 'PLC_PRG [Application]'.
- Initialization:** A text field containing 'FALSE', with an ellipsis button next to it.
- Address:** A text field containing '%IX0.0'.
- Flags:** Three checkboxes: 'CONSTANT' (unchecked), 'RETAIN' (unchecked), and 'PERSISTENT' (unchecked).
- Comment:** A text area containing 'Kommentaar'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

PLC-s kasutatavad andmetüübid

Andmetüübid on andmete klassifikatsioonid, kus määratakse muutujates hoitavate andmete formaat (vorm, mis näitab kuidas mingit reaalselt sisu kirjeldavate andmete väärtusi hoitakse), andmete reaalne pikkus bittides ja eelnevast tulenev mälu vahemik. Õigesti valitud andmetüübid tagavad andmete optimaalse töötlemise võimalikkuse ja selle, et erinevate muutujate jaoks reserveeritakse sobiv hulk mälu nende deklareerimisel.

Andmetüübid jagunevad üldjoontes kahte leeri:

- elementaarsed andmetüübid
- komplekssed andmetüübid

PLC-s kasutatavad andmetüübid

PLC programmis kasutatavad arvsüsteemid

PLC programmeerimisel saab kasutada erinevaid arvsüsteeme nagu kümnend-, kahend-, BCD-, kaheksand-, kuueteistkümnend-, märgiga kahend- ja reaalarve. Arvsüsteemi määramiseks dokumentides kasutatakse arvu juures alaindeksit (nt 1354_{10} , $1111\ 0011_2$, 0011_{BCD}).

Kümnendsüsteem

Kümnendsüsteemi (DEC) aluseks on 10 erinevat numbrit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ja 0, mis tähistavad arve alates 0 kuni 9. Kümnendsüsteemis on baasarvuks 10. Kui objektide loendamise tulemusena saadakse arv üle 9, siis võetakse kümnendarvus kasutusele järgmine numbrikoht. Nimetatud asukoha tähtsus on 10^1 . Järgmise numbriasukoha kasutuselevõtt leiab aset arvu 99 järel [viide].

Arvu 1354 on võimalik esitada nii: $1354_{10} = 1 * 10^4 + 3 * 10^3 + 5 * 10^1 + 4 * 10^0 = 1 * 1000 + 3 * 100 + 5 * 10 + 4 * 1$

See arvude kirjutamise (koostamise) meetod on väga lihtne ning sobib ka teiste kümnendsüsteemist erinevate numbrisüsteemide võrdlemiseks.

Kümnendarvule ei kirjutata enamasti alaindeksit juurde vaid need esitatakse ilma selleta.

PLC programmis kasutatavad arvsüsteemid

Elektronarvutid võimaldavad arvutada (teostada tehteid) ainult kahe numbriga. Number 1 esitab (tähistab) liikuva sisu arvvaartust nt "vool on sees" ja number 0 esitab liikumatu sisu arvvaartust nt "vool on väljas".

Kuna arvude esitamiseks kasutatakse kahte numbrit, siis ei arvutata numbri asukohta 10^x alusel, vaid 2^x alusel. Kahendarvu kõige parempoolsemas numbrikohas esitatakse kõige väiksema väärtusega sisu $2^0 = 1$. Kahendarvu järgmine numbrikoht esitab sisu, mille numbriline väärtus on $2^1 = 2$ jne. Kuna antud arvusüsteemis kasutatakse ainult kahte numbrit, siis kustutakse seda binaarseks ehk kahendsüsteemiks (BIN) [viide]. [Tabelis](#) on esitatud kahendarv $1001\ 1101_2$ ja selle numbrikohtadele vastavad kümnendarvud.

$2^7=128$	$2^6=64$	$2^5=32$	$2^4=16$	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
1	0	0	1	1	1	0	1

[PLC programmis kasutatavad numbrisüsteemid](#)



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY](#)

Muundurid ja regulaatorid

- Need seadmed muudavad elektrienergia vormi või parameetreid. Nende hulka kuuluvad:
- **Transformaatorid:** Muundavad pinget ja voolutugevust.
- **Sagedusmuundurid (inverterid):** Muundavad vahelduvvoolu sagedust, et juhtida elektrimootorite kiirust.
- **Pinge- ja vooluregulaatorid:** Stabiliseerivad pinge ja voolu tasemeid.

Mõõteseadmed

Mõõteseadmed on mõeldud elektriparameetrite, nagu pinge, voolutugevus, võimsus ja energiatarbimine, mõõtmiseks. Näiteks:

- **Multimeetrid:** Mõõdavad pingeid, voolutugevusi ja takistusi.
- **Energiameetrid:** Mõõdavad tarbitud elektrienergia hulka.
- **Võimsusmõõtjad:** Mõõdavad elektriseadmete võimsust.



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKool
TTK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Rohepööre energiasektoris

Tehnoloogiliste innovatsioonide süvendatud analüüs energeetikas, eriti seoses elektrienergia muundamise, salvestamise, automaatika ja tehisintellekti (AI) lahendustega, valgustab olulisi edusamme, mis aitavad kaasa energiaefektiivsusele, süsteemi paindlikkusele ja jätkusuutlikkusele. Vaatame lähemalt igaühete neist valdkondadest.

Elektrienergia muundamine

- **Täiustatud Fotogalvaanilised Tehnoloogiad**
- **Perovskiit-päikesepaneelid:** Pakuvad kõrgemat muundamise efektiivsust ja madalamaid tootmiskulusid võrreldes traditsiooniliste silikoonipõhiste paneelidega.
- **Multijunction-päikesepaneelid:** Kasutavad mitut kihti, et absorbeerida erinevaid valgusspektri osi, suurendades oluliselt muundamise efektiivsust.



Elektrienergia muundamine



- **Tuuleenergia Innovatsioonid**
- **Ujuvad tuuleturbiinid:** Võimaldavad tuuleenergia kasutamist süvameres, kus tuulekiirus on kõrgem.
- **Suurema võimsusega turbiinid:** Arendused suurema labade pikkusega turbiinides suurendavad võimsust ja efektiivsust.

Elektrienergia Salvestamine

—Aku Tehnoloogiad

—**Liitium-ioon akud:** Praegu kõige levinumad tänu oma kõrgele energiatihedusele ja pika elueale.

—Täiustatud

akutehnoloogiad:

Tahkisakud, mis pakuvad suuremat ohutust ja energiatihedust; vedelsoola akud, mis on odavamad ja keskkonnasõbralikumad.

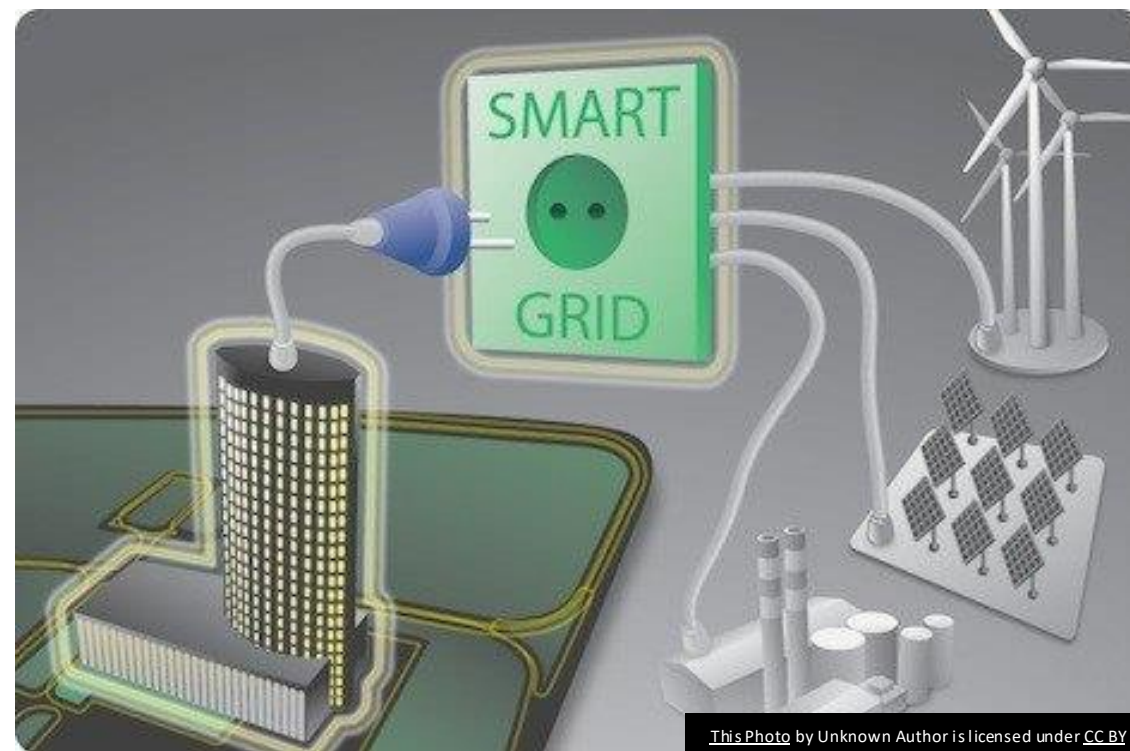


Elektrienergia muundamine



- **Mitte-aku Põhised Salvestussüsteemid**
- **Pump-hüdroelektrilised salvestussüsteemid:**
Kasutavad üleliigset elektrit vee ülespumpamiseks reservuaari, millest saab hiljem toota elektrit.
- **Lainepõhised ja termilised salvestustehnoloogiad:**
Uued uurimisvaldkonnad, mis pakuvad alternatiive traditsioonilistele salvestusmeetoditele.

- **Targad Võrgud**
- **Andmete kogumine ja analüüs:** Reaalajas andmete kogumine ja analüüsimine energiatarbimise ja -tootmise optimeerimiseks.
- **Nõudluse juhtimine:** Automaatne reageerimine energianõudluse muutustele, parandades võrgu stabiilsust ja efektiivsust.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY

Tehisintellekt (AI) Lahendused



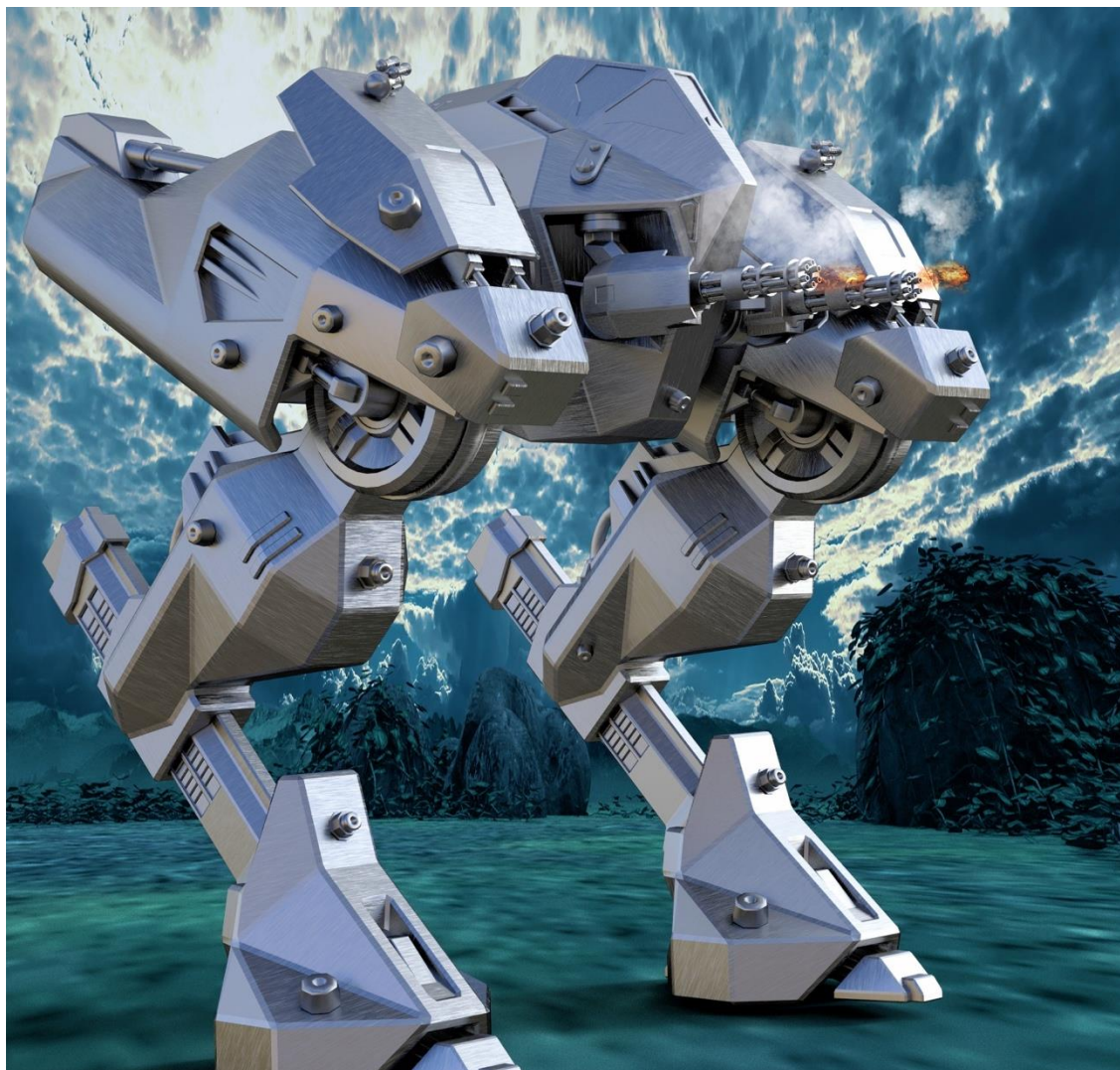
- **Prognoosimine ja Optimeerimine**
- **Energianõudluse prognoosimine:** AI algoritmid analüüsivad suuri andmekogumeid, et täpsemalt ennustada energianõudlust.
- **Taastuvenergia tootmise optimeerimine:** AI aitab prognoosida taastuvenergiaallikatest (päike, tuul) saadava energia hulka, optimeerides nende kasutust.

Tehisintellekt (AI) Lahendused

- **Seire ja Hooldus**
- **Ennetav hooldus:** AI ja masinõppe algoritmid analüüsivad seadmete seisukorda reaalajas, ennustades vajalikke hooldustöid enne rikete tekkimist.



Tehisintellekt (AI) Lahendused



- **Autonoomsed Süsteemid**
- **Robotika ja autonoomsed süsteemid:**
Kasutatakse keerulistes või ohtlikes keskkondades, nagu tuuleparkide või päikeseparkide hooldus, vähendades inimtööjõu vajadust ja suurendades ohutust.

Tehnoloogilised innovatsioonid elektrienergia muundamisel, salvestamisel, automaatikas ja AI lahendustes mängivad keskset rolli energiasüsteemide tõhususe, paindlikkuse ja jätkusuutlikkuse suurendamisel. Nende edasiarendamine ja integreerimine on hädavajalik, et vastata kasvavale energianõudlusele ja kliimamuutuste väljakutsetele.

Vesiniku energia

- Vesinikutehnoloogia roll roheenergia kontekstis on viimastel aastatel muutunud üha olulisemaks, kuna see pakub potentsiaalset lahendust mitmetele energiatootmise, -salvestamise ja -transportimise väljakutsetele. Vesiniku kasutamine roheenergiana sõltub aga selle tootmise viisist. Vaatleme lähemalt, kuidas vesinikku saab klassifitseerida roheenergia allikaks või mitte, tuginedes erinevatele tootmisprotsessidele.



Hall Vesinik

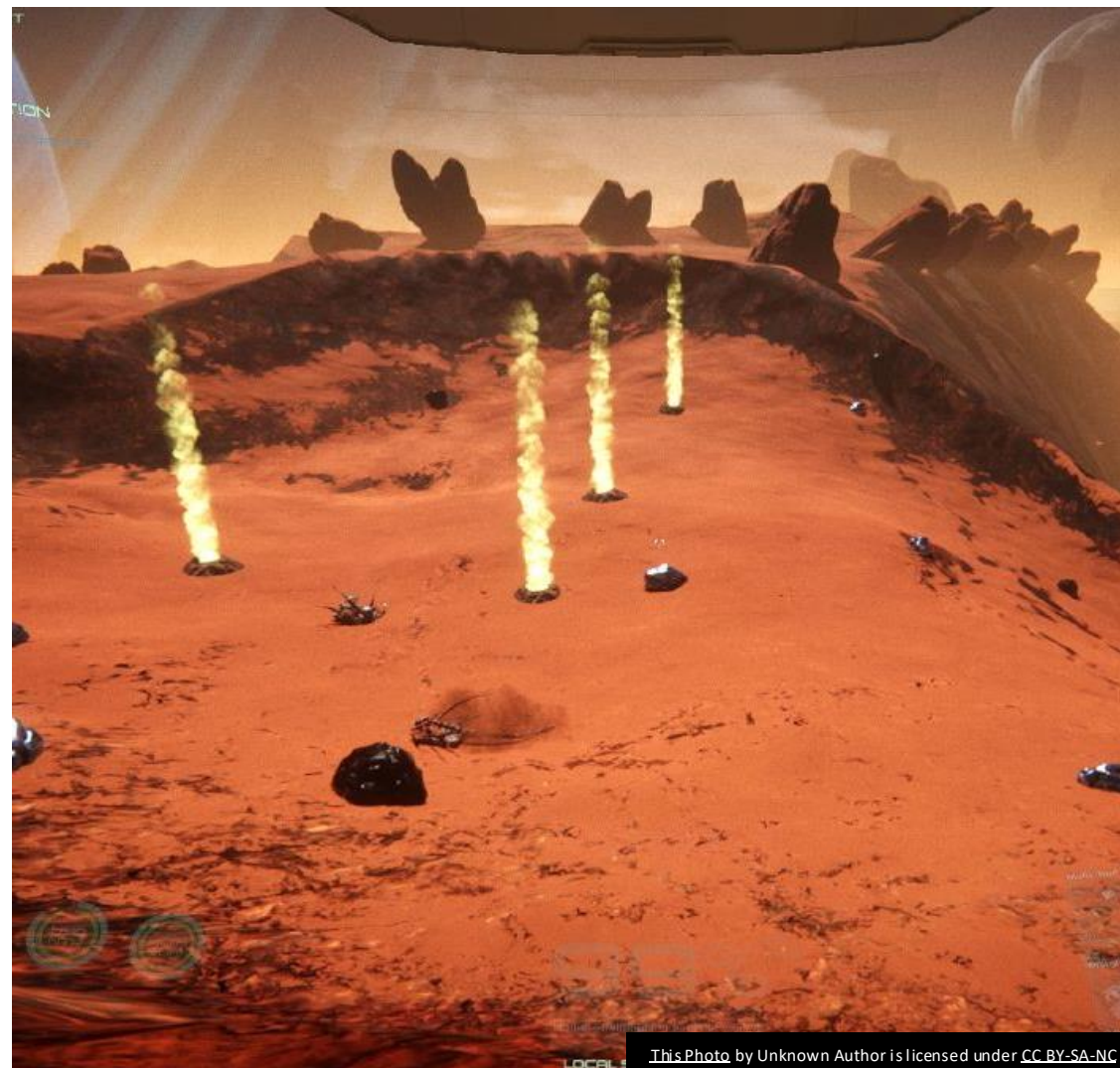
- Tootmine:** Hall vesinik toodetakse peamiselt fossiilkütustest, näiteks maagaasist, kasutades aurureformatsiooni meetodit, mis eraldab vesiniku süsinikühenditest.
- Keskkonnamõju:** Kuna see protsess vabastab suures koguses CO₂, ei peeta halli vesinikku roheenergia allikaks.

2. Sinine Vesinik

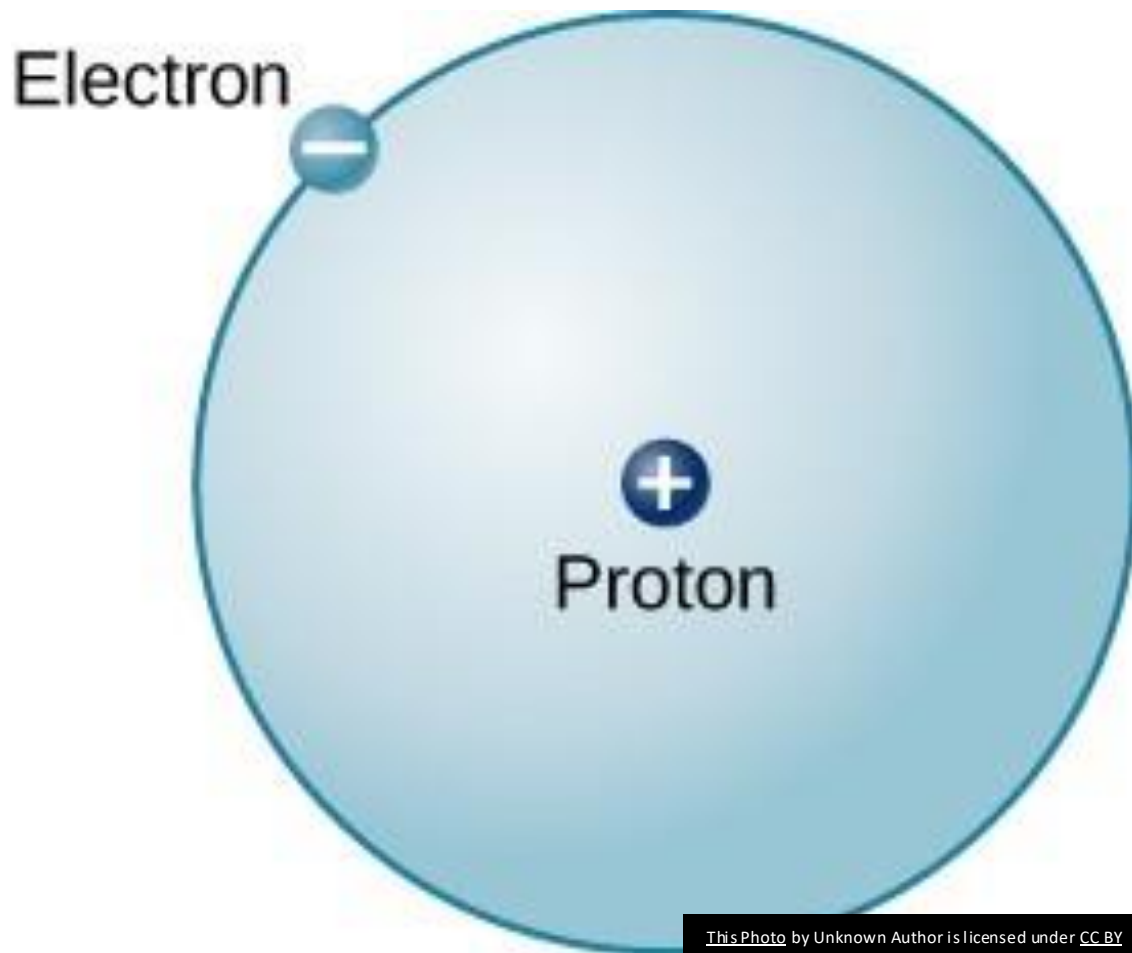
- Tootmine:** Sinine vesinik toodetakse samuti fossiilkütustest, kuid CO₂, mis protsessi käigus tekib, püütakse ja säilitatakse või kasutatakse uuesti (CCS tehnoloogiad).
- Keskkonnamõju:** Kuigi sinine vesinik vähendab atmosfääri paisatava CO₂ hulka, on selle keskkonnamõju siiski arvestatav, kuna tootmisprotsess põhineb endiselt fossiilkütustel.

Vesiniku energia

- **3. Roheline Vesinik**
- **Tootmine:** Roheline vesinik toodetakse vee elektrolüüsi teel, kasutades taastuvatest energiaallikatest (näiteks tuule- või päikeseenergiast) saadud elektrit.
- **Keskkonnamõju:** Kuna see meetod ei eralda kasvuhoonegaase, peetakse rohelist vesinikku tõeliseks roheenergia allikaks.



Vesiniku Kasutamine Roheenergiana



- Rohelise vesiniku peamised eelised roheenergia kontekstis hõlmavad järgmist:
- **Energiatõhusus ja Paindlikkus:** Vesinikku saab kasutada elektrienergia salvestamiseks, pakkudes lahendust taastuvenergia allikate (näiteks tuule- ja päikeseenergia) ebastabiilsusele ja hooajalisusele.
- **Mitmekülgsus:** Vesinikku saab kasutada laias valikus rakendustes, sealhulgas transpordis, tööstuses ja kodumajapidamistes, aidates vähendada sõltuvust fossiilkütustest.
- **Nullheitega Energia:** Roheline vesinik võimaldab CO₂-neutraalset energiatootmist, toetades ülemaailmseid jõupingutusi kliimamuutuste vastu võitlemisel.

Vesiniku Kasutamine Roheenergiana

- **Järeldus**
- Vesinikutehnoloogia võib olla oluline roheenergia allikas, eriti kui keskendutakse rohelise vesiniku tootmisele ja kasutamisele. Rohelise vesiniku laiem kasutuselevõtt nõuab siiski märkimisväärsed investeeringuid tootmisinfrastruktuuri, transpordi ja jaotusvõrkude arendamiseks, samuti energiasüsteemide ümberkujundamiseks, et maksimeerida selle keskkonna- ja majanduslikku potentsiaali.



Aatomienergia (tuumenergia)

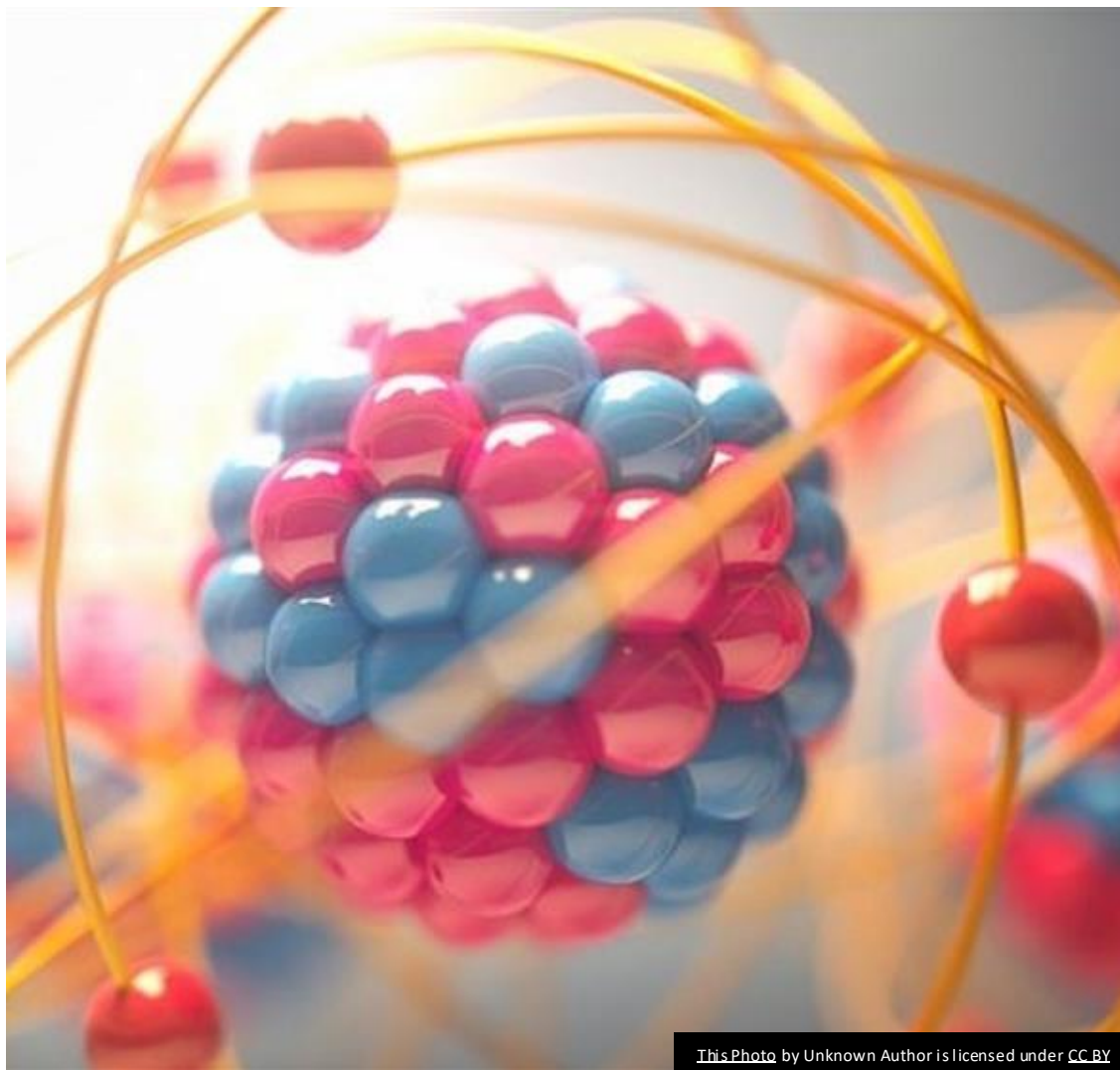
Aatomienergia (tuumenergia) klassifitseerimine roheenergia allikaks on keeruline ja tekitab palju arutelu. See sõltub peamiselt sellest, milliseid kriteeriume kasutatakse "roheenergia" määratlemisel. Siin on mõned peamised kaalutlused aatomienergia puhul

Kasvuhoonegaaside Heitkogused

- Madalad Heitkogused:** Tuumaelektrijaamad ei eralda töötamise ajal õhku kasvuhoonegaase, erinevalt fossiilkütustel põhinevatest energiaallikatest. Selles kontekstis võib tuumaenergiat pidada roheenergiaks, kuna see aitab vähendada CO₂ jalajälge elektri tootmisel.



Aatomienergia Keskkonnamõju



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY

- **Jäätmed ja Ohutus**
- **Radioaktiivsed Jäätmed:**
Tuumajaamade tegevus tekitab radioaktiivseid jäätmeid, mille ohutu käitlemine ja säilitamine on keeruline ja kulukas. Lisaks on tuumaõnnetuste risk, kuigi harv, potentsiaalselt katastroofiline.
- **Ressursside Kaevandamine:**
Uraniumi kaevandamine, mida kasutatakse tuumakütusena, on keskkonnale kahjulik ja nõuab märkimisväärselt energiakulu.

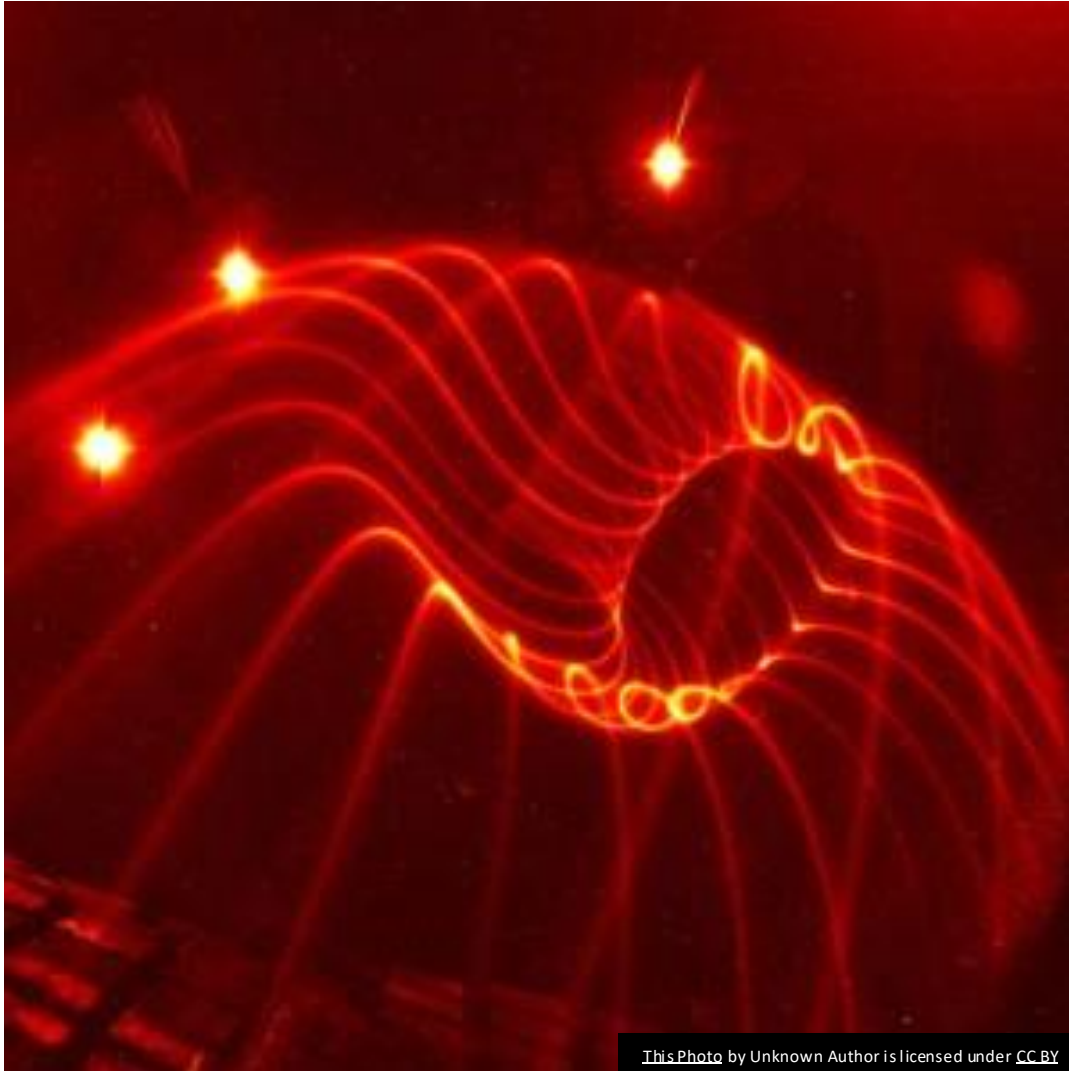
Aatomenergia ja Säästva Arengu Eesmärgid

- **Energiatõhusus ja -kindlus**
- **Stabiilne Energiavarustus:**
Tuumajaamad suudavad toota suures koguses baasvõimsust, mis on stabiilne ja vähem sõltuv kliimatingimustest, erinevalt mõnest taastuvenergia allikast.
- **Üleminek Fossiilkütustelt**
- **Sild Puhta Energiatuleviku Poole:**
Mõnes regioonis võib tuumaenergia pakkuda vahendit, kuidas kiiresti vähendada sõltuvust süsinikuintensiivsetest fossiilkütustest, aidates sellega kaasa üleminekule puhtamale energiale.



Tuumasünteesi Potentsiaal

- **Tuumasüntees:** Vaadeldes tulevikku, peetakse tuumasünteesi paljulubavaks tehnoloogiaks, mis võiks pakkuda peaaegu lõpmatut, puhtat ja ohutut energiaallikat. Kuigi tuumasüntees on veel arendusjärgus ja kommertskasutuseeni jõudmine võib võtta aastakümneid, võib see tulevikus märkimisväärselt mõjutada tuumaenergia klassifitseerimist roheenergia allikana.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY

Aatomenergia (tuumenergia)

— Järeldus

- Aatomenergia võib teatud aspektides toetada roheenergia eesmäärke, eriti seoses kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamisega. Siiski, arvestades sellega kaasnevaid keskkonna- ja ohutusalseid muresid, ei pruugi see täielikult vastata roheenergia kõige rangematele kriteeriumidele, nagu jätkusuutlikkus ja keskkonnasõbralikkus. Arutelu tuumaenergia üle roheenergiana jätkub, kajastades erinevaid perspektiive energia tuleviku, keskkonnamõjude ja tehnoloogilise arengu osas.



Eraldi anti oskustele hinnang, kui oluline vastav oskus on, mida arvestati alljärgneva kümne suurema energeetika ja elektri erioskuse sõnastamisel.

1. Energeetiliste ressursside ja primaarenergia kasutamise hindamise võimekus energia (sh elektri ja soojuste) tootmiseks, hõlmates erinevaid tehnoloogiaid ning nende mõju keskkonnale, majandusele ja ühiskonnale.
2. Muutuste arvestamise oskus seoses taastuvenergia kasutamisega.
3. Elektrienergia muundamise ja salvestamise oskus.
4. Automaatika, andmetöötuse, robotika ja tehisintellekti lahenduste oskuste rakendamine energeetika eri valdkondades.
5. Väljakutsete hindamise oskus seoses taastuvelektri ülekande ja jaotamisega ning arusaam tehnoloogia arenguga seotud muutustest elektrisüsteemis.
6. Muutuste ja riskide prognoosimise oskus energeetika arengus, hõlmates keskkonda, regulatsioone, standardeid ning siseriiklikke ja rahvusvahelisi nõudeid ja määrusi.
7. Kaasaegsete info- ja kommunikatsioonitehnoloogia ning digitaliseerimise vahendite oskuslik rakendamine, ühendades uusi (targad masinad/robotid, iseõppivad algoritmid ja automaatikasüsteemid) ja olemasolevaid tehnoloogiaid.
8. Elektrifitseerimise teostamise oskus tööstuse, transpordi ja elamumajanduse erinevates valdkondades.
9. Keskkonnamõjude vähendamise ja ringmajanduse rakendamise võimaluste märkamise oskus.
10. Oskus pakkuda valdkonna töötajatele vajalikke oskusi nende arenguks.



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKool
TTK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Elektrimaterjalid

Eduard Brindfeldt PhD

- 1. Elektri juhid:** Need materjalid on tuntud oma suure elektri juhtivuse poolest. Juhtivate materjalide hulka kuuluvad näiteks vask, alumiinium ja kuld. Juhtivad materjalid on olulised elektrivoolu ülekandmisel.
- 2. Pooljuhid:** Pooljuhid on materjalid, mille juhtivusomadused asuvad juhtivate materjalide ja isolaatorite vahel. Nende juhtivus sõltub tugevalt lisandite tüübist ja kontsentratsioonist, samuti välistest mõjutustest nagu temperatuur ja valgus. Pooljuhtide näited hõlmavad silikooni ja germaaniumi.
- 3. Dielektrikud:** Need on materjalid, mis takistavad elektrilaengu liikumist. Isolaatorid võimaldavad hoida elektrivoolu soovitud rajal, takistades selle lekkimist. Näiteks puhas vesi on halb elektri juht, kuna ainult väike osa veemolekulidest dissotsieerub ioonideks.
- 4. Magnetilised materjalid:** Need materjalid on tuntud oma magnetiliste omaduste poolest ja neid kasutatakse elektrotehnilistes rakendustes, kus on oluline magnetväli.

Materjalide omadused

- Füüsikalised Tihedus, sulamistemperatuur, soojuspaisumine, eritakistus, juhtivus jm
- Keemilised Vastupanu korrosioonile, oksüdatsioonile, keskkonnamõjudele
- Mehaanilised Tugevus: voole- ja tugevuspiir, väsimus- ja roometugevus; kõvadus; plastsus, sitkus; kulumiskindlus
- Tehnoloogilised Vormitavus: valatavus, deformeeritavus, lõiketöödeldavus; liidetavus: keevitavus, liimitavus jm

Tihedus

- Tihedus (density) on homogeense aine mass ruumalaühiku kohta. Tiheduse ühikuks on kg/m^3 (ka g/cm^3). Eristatakse ka puistetihedust (apparent density, bulk density) pulbriliste materjalide korral, rappetihedust (tap density), eritihedust.
- Tihedus on ka üks metallide liigituse alus (kergetmetallid tihedusega alla 5 g/cm^3 , raskmetallid üle 10 g/cm^3 ja keskmismetallid $5...10 \text{ g/cm}^3$)

Tihedus ρ , g/cm³

Alumiinium 2,7

- Hõbe 10,5
- Kuld 19,3
- Magneesium 1,7
- Nikkel 8,9
- Plaatina 21,4
- Plii 11,3
- Raud 7,9
- Tina 7,3
- Titaan 4,5
- Tsink 7,1
- Vask 9,0
- Volfram 19,3

Plastid

- Polüetüleen (LDPE) 0,9
- Naturaalkummi 1,2

Keraamika

- Klaas 2,5
- Korund 3,8

Puit

- Kask 0,7
- Mänd 0,5

Materjali elastsust või jäikust iseloomustavad elastsuskonstandid, milleks on

- elastsusmoodul (normaal-, kuju- ja mahtelastsusmoodul),
- Poissoni tegur.

Normaalelastsusmooduliks ehk Youngi mooduliks E (Young's modulus, modulus of elasticity) nimetatakse Hooke'i seaduse kehtimise ja joonpinguse korral normaalpinge ja sellele vastva suhtelise deformatsiooni suhet

Kuju- ehk nihkeelastsusmoodul (Coulomb's modulus, modulus of elasticity in shear) G iseloomustab materjali nihkejäikust

Materjal	Normaalelastsusmoodul E , $\text{N/mm}^2 \cdot 10^3$	Poissoni tegur ν
Metalsed materjalid		
Terased	190...220	0,25...0,30
Alumiiniumisulamid	70...75	0,34
Titaanisulamid	110...120	0,34
Plastid		
Polüetüleen (MDPE)	0,4...1,4	0,4
Polüvinüülkloriid (PVC)	2,4...4,1	0,4
Keraamika		
Korund	350	–
Puit		
Kuusk	9,5	0,45...0,50
Mänd	2,2	0,45...0,50

Maht- ehk ruumelastsusmoodul (bulk modulus) K iseloomustab materjali jäikust mahumuutuse suhtes.

Poissoni tegur (Poisson's ratio) μ iseloomustab suhteliste risti- ja pikideformatsioonide suhet tõmbel (survel). Enamikul metallidel on see piires 0,2...0,4.

Soojuslikud omadused

Elektriaparaatides tekivad nende töötamise ajal aktiivenergia kaod, missoojuseks ja eralduvad soojusena voolu juhtivates osades (juhtmed, mähised, latid), nende üleminekutes (kontaktid) ja ferromagnetilistes materjalides (magnetahelad).

Osa soojusest akumuleerub detailides, tõstes nende temperatuuri, osa hajub ümbritsevasse keskkonda. Üleliigne temperatuuri tõus vanandab kiiresti isolatsiooni ja vähendab juhtmete mehaanilist tugevust .

Näiteks, kui temperatuur tõuseb üle lubatu ainult 8 kraadi, lüheneb isolatsiooni tööiga kaks korda; kui temperatuur tõuseb 100...200 C, väheneb vase mehaaniline tugevus juba 40 %.

Nendel protsessidel on eriline tähendus lühise puhul, mil temperatuur tõuseb 300 C ja enamgi. Samal ajal mõjuvad voolujuhtidele tugevad elektrodünaamilised jõud. Temperatuur avaldab olulist mõju ka kontaktühenduste töö stabiilsusele.

Mainitust järeldub, et elektriaparaatide töökindlus sõltub suuresti nende osade temperatuurist.

Kaovõimsus voolujuhis

$$P = I^2 R$$

kus I - vool elektriahelas,
 R - voolujuhi aktiivtakistus.

Soojuspaisumine

- Materjali tihedus oleneb temperatuurist, enamasti vähenedes temperatuuri tõusuga; teisiti öeldes massiühiku maht suureneb temperatuuri tõusuga. See väljendub üldjuhul **soojuspaisumisteguris** (*coefficient of thermal expansion, CTE*) ja väljendatakse seda mõõtmete muutumises temperatuuri tõusuga ühe kraadi võrra. Tavaliselt on selleks pikkuse muut (harvemini mahu muut), kuna pikkust on lihtsam mõõta. Pikkuse muut kõnealusel temperatuuril on arvutatav järgmiselt:

$$L2 - L1 = \alpha \cdot L1 (T2 - T1)$$

Sulamistemperatuur

Puhaste elementide sulamistemperatuur (melting point) TS on temperatuur, mille juures materjal läheb tahkest olekust üle vedelasse olekusse.

Vastupidine muutus – üleminek vedelast tahkesse – leiab aset kristallisatsiooni- ehk tardumistemperatuuril

(crystallization temperature, solidification temperature) TK.

Kristalsete ainete, näiteks metallide korral on sulamis- ja tardumistemperatuur (kristallisatsioonitemperatuur) sama.

Kindlat soojushulka, mis on vajalik muutuseks tahkest olekust vedelasse olekusse, nimetatakse sulamissoojuseks (specific heat).

Alumiinium 660 °C

Kuld 1064 °C

Hõbe 962 °C

Plaatina 1769 °C

Raud 1539 °C

Plii 327 °C

Vask 1083 °C

Klaas 520...550 °C

Soojusjuhtivus (thermal conductivity) on üks oluline soojusülekanne protsess ja see väljendub materjalide korral soojusjuhtivusteguris λ (coefficient of thermal conductivity, CTC).

Alumiinium,	204 W/m *K	Raud	80 W/m *K
Kuld	310 W/m *K	Vask	390 W/m *K
Hõbe	407 W/m *K	Klaas	0,80 – 1,0 W/m *K
Plaatina	70 W/m *K		

Eritakistus (resistivity) ρ on voolujuhtiva materjali omadus – materjali võime, mis on seotud laengukandjate – elektronide liikumisega. See on 1 meetri pikkuse ühtlase 1 mm² ristlõikega traadi takistus (ühikuks on $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

Sagedamini kasutatav ja mugavam on materjali elektrijuhtivuse (electrical conductivity) mõiste kui eritakistuse mõiste. **Elektrijuhtivus on eritakistuse** pöördväärtus ($1/\rho$), kusjuures elektrijuhtivuse ühikuks on $(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$.

Eritakistus

Materjaligrupp/ materjal	Eritakistus ρ , $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 20 °C	Suhteline elektrijuhtivus, % IACS, orienteeruvalt
Voolujuhid	($10^{-6} \dots 10^{-8}$)	
Alumiinium	$2,8 \cdot 10^{-8}$	60
Hõbe	$1,5 \cdot 10^{-8}$	110
Kuld	$2,2 \cdot 10^{-8}$	80
Magneesium	$4,4 \cdot 10^{-8}$	40
Nikkel	$9,5 \cdot 10^{-8}$	20
Plaatina	$9,8 \cdot 10^{-8}$	17
Plii	$2,1 \cdot 10^{-7}$	8
Raud	$13 \cdot 10^{-8}$	15 (17 /70) ¹⁾
Süsinik	$5000 \cdot 10^{-8}$	0,03

Materjaligrupp/ materjal	Eritakistus ρ , $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 20 °C	Suhteline elektrijuhtivus, % IACS, orienteeruvalt
Tina	$1,2 \cdot 10^{-7}$	145
Titaan	$4,2 \cdot 10^{-7}$	40
Tsink	$5,8 \cdot 10^{-8}$	30
Vask	$1,8 \cdot 10^{-8}$	100
Volfram	$5,5 \cdot 10^{-8}$	30
Pooljuhid	($10^1 \dots 10^5$)	
Räni	$1,0 \cdot 10^3$	–
Isolaatorid	($10^1 \dots 10^{15}$)	
Polüetüleen	$100 \cdot 10^{12}$	–
Naturaalkummi	$1,0 \cdot 10^{12}$	–

¹⁾ Sulgudes madalsüsinikteras/ roostevaba teras

Metallide korrosioon

Korrosiooniks (corrosion) nimetatakse metalli ja keskkonna (õhk, gaasid, pinnas, vesi, kemikaalid) vahelist reaktsiooni, milles metall hävineb.

Metallide korrosioon võib kulgeda keemilise või elektrokeemilise mehhanismi järgi.

Keemiline korrosioon (chemical corrosion) toimub kuivades gaasides ja orgaanilistes vedelikes (nafta, bensiin). Metallid reageerivad keskkonna agressiivsete komponentidega, ilma et sellega kaasneks elektrivoolu teke.

Elektrokeemiline korrosioon (electrochemical corrosion) toimub vettsisaldavas keskkonnas ja sulaelektrolüütides. Korrosiooni põhjustavad elektrokeemilised reaktsioonid (anoodi- ja katoodiprotsessid) metalli ja elektrolüüdilahuse kokkupuutepinnal.

Elektrokeemilise korrosiooni tõttu hävinevad metallid merevees, hapete, aluste ja soolade lahustes, sulasoolades, niiskes õhus ja pinnases uitvoolude osavõtul.

Metallide keemiline korrosioon

Metallide keemiline korrosioon on metalli vahetu ühinemine keskkonna oksüdeeriva komponendiga.

Näiteks $2 \text{ Mg} + \text{O}_2 = 2 \text{ MgO}$.

Kõrgtemperatuurne gaaskorrosioon esineb metallurgiaprotsessides (sulatamine, valamine, kuumvaltsimine) ja seadmetes (kollete restid, aurukatelde küttepinnad, sisepõlemismootorite klapid, silindrid, kolvid, gaasi väljalasketorud, elektriahjade kütteelemendid).

Gaaskorrosiooni puhul kattub metallipind enamasti korrosioonisaaduste kihiga, mis ei lase oksüdeerijat metalli pinnale ja korrosioon aeglustub. Kaitsetoime on ainult nendel kihtidel, mis katavad metalli pinna ühtlaselt ja tihedalt. Selleks peab korrosiooniproductide maht (V_{oks}) ületama korrodeerunud metalli mahu (V_{met}).

Korrosioonile hästi vastupidavad on tiheda oksiidikihiga kattuvad metallid (Cd, Al, Pb, Sn, Ti, Zr, Zn, Ni, Be, Cu, Cr, Fe), millel $V_{oks}/V_{met} = 1,21...2,14$. Suurte V_{oks}/V_{met} väärtuste puhul praguneb kaitsekiht sisepingete tõttu ning korrosioon oluliselt ei aeglustu.

Gaaskorrosiooni kaitseks kasutatakse peamiselt järgmisi meetodeid:

1. legeerimist, st sulamile lisatakse kuumuspüsivust tõstvaid legeerivaid elemente;
2. kaitse- pindamist;
3. kaitsegaasikeskkondade loomist (kasutatakse põhiliselt metallide kuumtöötlemisel).

Metallide elektrokeemiline korrosioon

Metallide elektrokeemiline korrosioon on tingitud ca 80 % korrosiooni- kahjustustest. Korrodeeruva metalli pinnale kondenseerub niiskus, milles lahustub õhuhapnik. Tavaliselt muutub niiskus elektrolüüdiks, mis sisaldab õhus olevaid gaase (H_2S , CO_2 , SO_2) ning soola ($NaCl$). Teras (malmi) pind on elektrokeemiliselt ebaühtlane: tema struktuuris oleval ferriidil, tsementiidil ja grafiidil on erinevad elektrodipotentsiaalid. Tekkivates mikrogalvaanipaarides Fe-C, Fe-Fe₃C jt on raud aktiivsemaks elektrodiks – anoodiks.

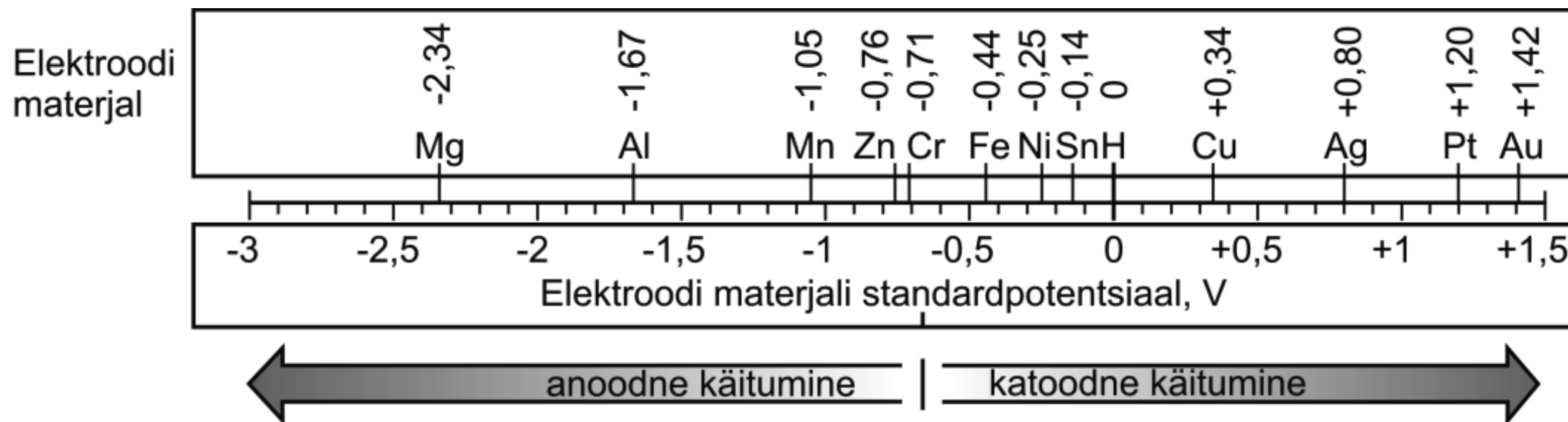
Anoodiprotsessi väljendab võrrand $Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$

(raud, andes ära 2 elektroni, muutub kahevalentseks rauaks).

Keemiliselt puhta metalli puhul soodustab mikrogalvaanipaaride teket metallipinnale kondenseerunud niiskuskelme ebaühtlane koostis. Raudioonide üleminekul lahusesse tekivad anoodialadel vabad elektronid, mis liiguvad katoodialadele. Korrosiooni- protsessi pidevaks kulgemiseks on vaja katoodialadel saabunud elektronid siduda.

Metallide elektrokeemiline korrosioon

Metallide termodünaamilise püsivuse üle saab ligikaudselt otsustada nende normaal- potentsiaali alusel: mida negatiivsem on metalli potentsiaali väärtus, seda väiksem on tema termodünaamiline püsivus. Paljude metallide (Al, Zn, Cr) pinnale tekib õhuke kaitsev oksiidikiht, mis takistab korrosiooni mitmesugustes kesk- kondades."



Näide: Cu normaalpotentsiaal on +0,34 V ja Al = −1,67 V, tekkiv potentsiaalide vahe $U = +0,34 \text{ V} - (-1,67 \text{ V}) = 2,01 \text{ V}$. Korrodeerub alumiinium (anood).

Metallide elektrokeemiline korrosioon

Elektrokeemilise korrosiooni kaitse viisideks on:

1. pindamine;
2. kaitsemäärded;
3. polarisatsioon;
4. korrosiooninhibiitorid;
5. vastava keskkonna loomine.

Metallpinded. Keemiliselt püsivama metalliga katmine on üks vanemaid ja levinumaid viise metallide kaitsmisel korrosiooni vastu. Kui pindemetall on põhimetallidest keemiliselt vähem aktiivne, siis on tegemist katoodpindega (Cu, Ni, Sn või Ag on rauale katoodpindeks). Zn ja Cd kui aktiivsemad metallid on raua suhtes anoodpindeks. Katoodpinne kaitseb seni, kuni kaitsekiht on vigastamata. Anoodpinne kaitseb metalli ka siis, kui selles on põhimetallini ulatuvaid vigastusi.

Oksiid- ja fosfaatpinded. Võrreldes metallpinnetega on oksiid- ja fosfaatpinnete keemiline vastupidavus väiksem, kuid nad sobivad hästi atmosfäärikorrosiooni tõrjeks ja on tihti heaks alusmaterjaliks (krundiks) värvpinnetele.

Värvpinded. Värvpindeid kasutatakse kõige enam elektrokeemilise korrosiooni tõrjeks. Kvaliteetse värvpinde saamisel on oluline pinna ettevalmistamine, krundi- mine, pahteldamine, lihvimine-poleerimine ja värvimine.

Kaitsemäärded takistavad niiskuse juurdepääsu metallipinnale ja tõkestavad sellega korrosiooni. Konsistentsetest kaitsemääretest on tuntumad suurtükimääre, tehniline vaseliin ja autopõhjade kaitseks loodud mastiksid. Vedelatest kaitsemääretest kasutatakse mineraalõlide baasil valmistatud määrded, mis sisaldavad korrosiooni pidurdavaid aineid – inhibiitoreid sisaldavaid aineid.

Polarisatsiooni kasutades pidurdub metallkonstruktsiooni elektrokeemiline korrosioon. Olenevalt metalltarindi polariseerimise viisist eristatakse protektor-, katood- ja anoodkaitsemeetodit.

Protektorkaitse korral ühendatakse metallkonstruktsioon isoleeritud juhtme abil temast aktiivsema metalliga, nn protektoriga, mis on moodustunud galvaanipaaris lahustuvaks anoodiks. Protektoriks kasutatakse Zn, Mg, Al. Kaitstav metall töötab katoodina ja praktiliselt ei korrodeeru.

Katoodkaitse korral ühendatakse alalisvooluallika negatiivne poolus kaitstava metallkonstruktsiooniga.

Anoodkaitse korral ühendatakse kaitstav objekt alalisvooluallika positiivse poolusega ja abielektrood negatiivse poolusega.

Korrosiooni pidurdamiseks piisab, kui inhibiitori sisaldus agressiivses keskkonnas on 0,1...1 %.

Korrosioonitõrje vastava keskkonna

Korrosioonitõrje vastava keskkonna loomise kaudu.

Elektrokeemilise korrosiooni kulgemiseks vajalik silmale nähtamatu niiskuskiht tekib terase, vase, tsingi ja nikli pinnale, kui õhu suhteline niiskus on 50...70 %. See on korrosiooni kriitiline suhteline niiskus. Õhu suhteline niiskus väheneb, kui temperatuur tõuseb. Seetõttu on köetavad ruumid metallkonstruktsioonide ja -seadmete jaoks soodsad. Seadmete transportimisel, ladudes, aga ka allveelaevades, kasutatakse laialdaselt õhu kuivatamist silikageeliga – amorfse, niiskust aktiivselt imava ränihappega.

Plastide korrosioon

Keskkonna mõju plastidele on eelkõige polümeeride osaline või täielik keemilistest muutustest tingitud lagunemine, mida soodustavad keskkonnamõjurid ja mis on analoogne metallide korrosiooniga.

- Polümeeride lagunemist mõjutavad kuumutustemperatuur, mehaanilised pinged, osoon ja kiirgus. Esimesed kaks on tavamõjurid, mida tuleb silmas pidada polümeeride termomehaanilisel töötlemisel. Kuumutamisel kiirendab kõrgem temperatuur oksüdatiivset degradatsiooni. Mehaanilistest pingetest on arvestatavad nii polümeeride töötlemisest jäänud sisepinged kui ka rakendatavast välisjõust tingitud pinged.
- Kiirgusest tulenevast mõjust on oluline valguse, eelkõige selle lühilainelise osa mõju, mitte niivõrd ultraviolettkiirgus, mille toime vastu kaitstakse materjale sobivate Uvfiltrite lisamisega plasti.

Mehaanilised omadused

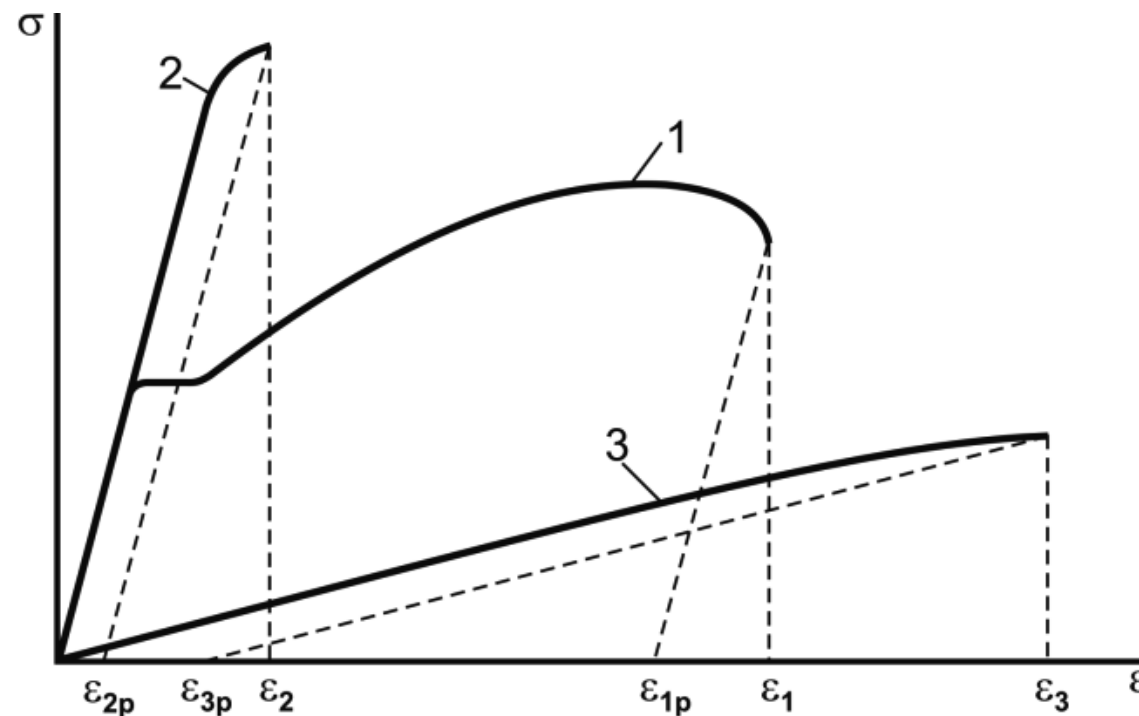
Materjali vastupanu deformeerimisele ja purunemisele iseloomustavad materjalide mehaanilised omadused:

1. Tugevus (strength) on materjali võime purunemata taluda koormust, ebaühtlast temperatuuri vm,
2. Kõvadus (hardness) on materjali võime vastu panna kohalikule plastsele deformatsioonile,
3. Plastsus (plasticity) on materjali võime muuta purunemata talle rakendatud välis- koormuse mõjul oma kuju ja mõõtmeid ning säilitada jäävat (plastset) deformatsiooni pärast väliskoormuse lakkamist. ,
4. Elastsus (elasticity) on materjali (keha) võime taastada oma kuju ja ruumala (tahkised) või ainult ruumala (vedelikud, gaasid) pärast deformatsiooni esilekutsunud jõudude eemaldamist.,
5. Sitkus (toughness, ductility) on materjali võime purunemata taluda dünaamilist koormust.
6. Haprus (brittleness) on materjali omadus puruneda tühise deformatsiooni korral.

Staatilisel koormamisel määratavad omadused

Põhilised staatilise katsetamise moodused on tõmbeteim, surveteim, paindeteim ja väändeteim kui ka põhilised kõvaduskatsed.

Metallide puhul kasutatakse painde- ja väändeteimi harva, mistõttu metallide valiku ja tugevusarvutuste aluseks on eelkõige tõmbeteimil määratavad mehaanilised omadused.



Metallide tüüpilised tõmbediagrammid: 1 – plastne materjal, 2 – habras materjal,
3 – kõrgelastne materjal (võrdluseks näiteks elastomeer)

Tehnoloogilised omadused

Materjali tehnoloogilised omadused on seotud eelkõige materjalist detaili/toote valmistusprotsessiga ja on materjali valikul sama olulised kui materjali mehaanilised omadused:

- Valatavus (castability) – detaili vormitavus valamise teel.
Survetöödeldavus (forgeability, malleability) – materjali võime elastselt või plastset deformeeruda koormuse all purunemiseta.
- Survetöödeldavust mõjutavad eelkõige materjali elastsus- ja voolepiir ning plastsusnäitajad.
- Lõiketöödeldavus (machinability) – põhineb sagedamini tööriista suhtelisel tööeal ja kui kerge on materjali lõigata.
- Keevitatavus (weldability) – materjali omadus moodustada keevitamise teel konstruktsiooni- ja kasutamishõuetele vastav liide.
- Termotöödeldavus (heat-treatability) – materjali omadus struktuuri- ja mehaaniliste omaduste muutusteks kuumutamisel ja jahutamisel.

1. Millised on materjali füüsikalised omadused?
2. Loetlege juhtusid, kus materjali tihedus on oluline.
3. Mille poolest on materjali elastsusmoodul oluline materjali omadus?
4. Miks on olulised materjali soojuslikud omadused (joonpaisumistegur, soojusjuhtivustegur)?
5. Millised metalsed materjalid on parima elektrijuhtivusega?
6. Mis on elektrokeemiline korrosioon?
7. Loetlege elektrokeemilise korrosioonitõrje mooduseid.
8. Millised on materjalide põhilised mehaanilised omadused?
9. Missugused on materjali põhilised tehnoloogilised omadused?

Elektrijuhtidel peab olema sobiv eritakistus (väike – juhtmaterjalidel, suur – takistusmaterjalidel), piisav mehaaniline tugevus, temperatuuri- ja ilmastikukindlus.

eritakistus: juhid $\rho = 10^{-8} \dots 10^{-5} \Omega$

Elektrijuhid võivad olla tahked kehad, vedelikud (vesi, elektrolüüdid) ja teatud olekus ka gaasid (plasma). Kuid harilikult kasutatakse elektrijuhtidena metalle ja sulameid. Juhid liigitatakse tavaliselt kahte liiki:

- **suure juhtivusega elektrijuhid** (kasutatakse peamiselt õhuliini juhtmete ja trafode ning elektrimasinate mähiste valmistamisel, vask ja alumiinium, erijuhtudel (kontaktide materjalina) ka hõbe, mis on parim elektrijuht)
- **suure eritakistusega elektrijuhid** (kasutatakse enamasti reostaatide, täppistakistite, elektriküttekehade, hõõglampide jne. valmistamisel. Tuntumad seda liiki materjalid on manganiin, konstantaan ja nikroom.)

Põhilised elektrijuhte iseloomustavad suurused on eritakistus ρ või selle pöördväärtus – erijuhtivus γ , eritakistuse temperatuuritegur TK_{ρ} , kontakt-potentsiaalid ja elektromotoorsed jõud, soojusjuhtivustegur, mehaaniline tugevus ja suhteline pikenemine tõmbel.

Kuna elektrijuhte kasutatakse enamikel juhtudel traadi kujul, siis kasutatakse eritakistuse ühikuks ka ühe meetri pikkuse ja ühe ruutmillimeetrilise läbilõikega traadi takistust $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, ($1\Omega\text{mm}^2/\text{m}=1\cdot 10^{-6}$)

Hõbe (Ag) on valge läikiv metall väga hea peegeldumisvõime, elektri- ja soojusjuhtivusega. Puhtalt kasutatakse teda väiksemates kontaktides ning ta on mitmete metallkeraamiliste kontaktide põhiline koostisosa. Dielektriku pinnale kantuna võib hõbe olla kondensaatorite elektrodideks.

Teda kasutatakse ka suure mahutavusega keemiliste vooluallikate, -akumolaatorite elektrodidena.

Vask (Cu) on roosakaspunane hästi töödeldav metall. Vask oli kaua aega põhiline elektrotehnikas kasutatav juhtmematerjal ja tänapäevalgi kasutatakse teda laialdaselt väikese eritakistuse, elastsuse, küllaldase mehaanilise tugevuse, korrosioonikindluse, hea juodetavuse jms. tõttu. Teda leidub maakoores vähem kui 0,01%)

Juhtmevask võib olla kaheksa tüüpi töötusega.

Külm töötlus saadakse nn. kõva vask, mille tõmbetugevus on kuni 360...390 N/mm². Pisut suureneb ka eritakistus. Kõva vaske kasutatakse õhuliinijuhtmete, elektrimasinate kommutaatori lamellide jne. valmistamisel.

Lõõmutamine 400...650 °C juures saadakse pehme vask, mille tõmbetugevus on piirides 240...280 N/mm². - elektrimasinate ja apa- raatide mähisteks, kaablisoonteks jne.

Alumiinium (Al)

Alumiinium (Al) on hall pehme metall. Tema eritakistus on umbes 1,64 korda vase eritakistusest suurem. Kuna aga alumiiniumi tihedus on vase tihedusest 3,3 korda väiksem, siis sama takistusega alumiiniumjuhe on vaskjuhtmest enam kui kaks korda kergem.

Teiseks alumiiniumi eeliseks on temaa küllaldased varud (maakoores umbes 8,8%).

Pooljuhtmaterjalidele esitatavad nõuded on väga mitmekesised, olenedes nende omaduste (takistuse, dielektrilise läbitavuse, elektromotoorse jõu jms.) sõltuvusest mõnest pooljuhile mõjuvast suurusest nagu temperatuur, elektriväljatugevus, valgustatus, niiskus jne. Väga oluline on lisandite mõju.

eritakistus: pooljuhid $\rho = 10^{-6} \dots 10^8 \ \Omega$

Pooljuhid on kas keemilised elemendid või keemilised ühendid.

Pooljuhtmaterjalide klassifikatsioon perioodilises süsteemis hõlmab tavaliselt elemente, mis asuvad III, IV ja V rühmas, kuna just nendel elementidel on pooljuhtidele omased elektrilised omadused. Kui viitate perioodilise tabeli rühmadele või perioodidele, siis klassikalised pooljuhtmaterjalid nagu räni ja germanium asuvad IV rühmas, samas kui III-V rühma pooljuhte nagu galliumarseniid (GaAs) ja indiumfosfiid (InP) peetakse ka pooljuhtideks.

—

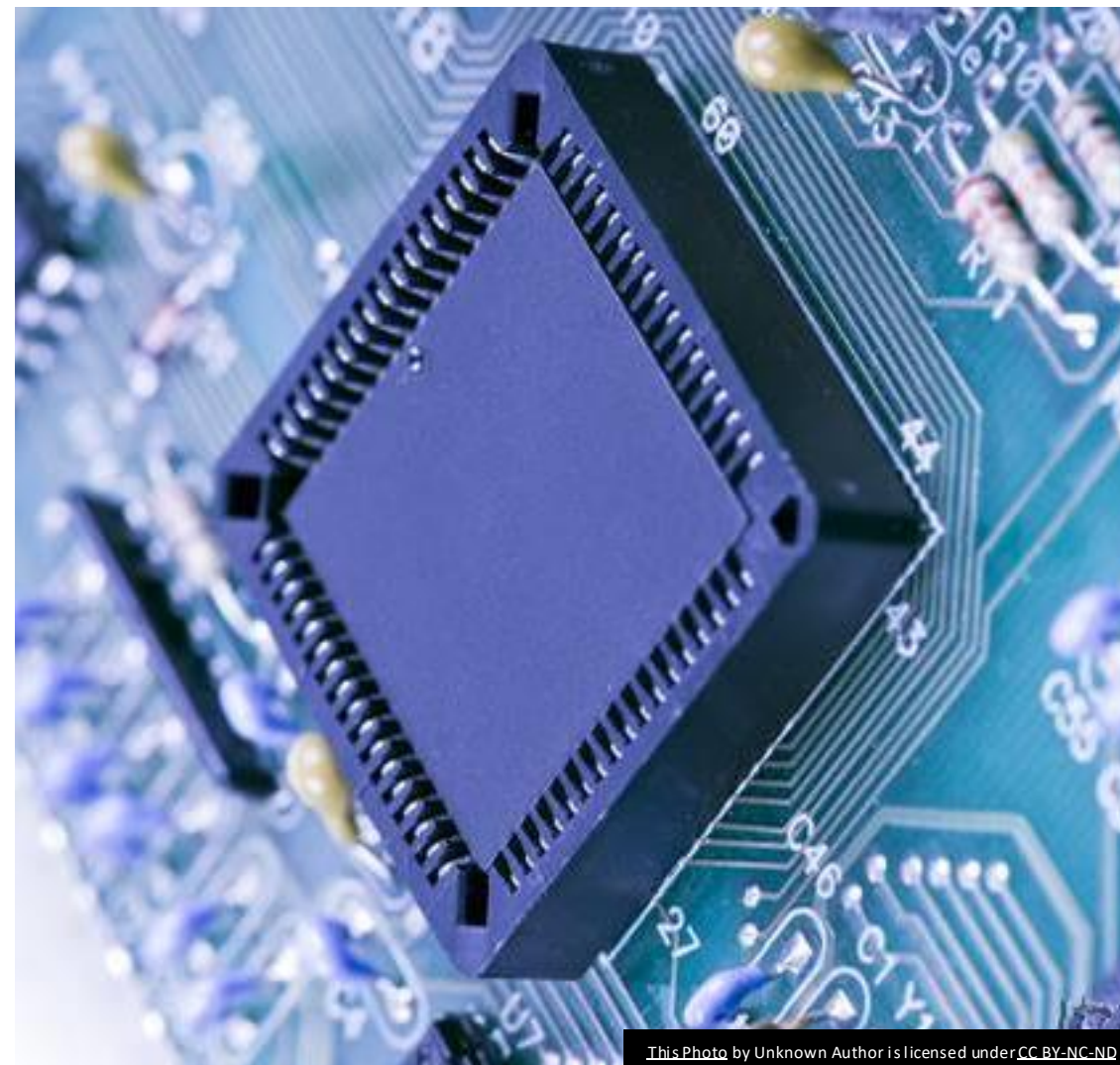
Rühm IV elemente, mida tuntakse pooljuhtidena, on ainult kaks:

- Räni (Si)
- Germanium (Ge)

Rühm III-V ühendid on pooljuhid, mis koosnevad III ja V rühma elementide kombinatsioonidest, nagu:

- Galliumarseniid (GaAs)
- Indiumantimoniid (InSb)
- Galliumnitriid (GaN)
- Indiumarseniid (InAs)

1. Räni (Si)
2. Germanium (Ge)
3. Galliumarseniid (GaAs)
4. Indiumfosfiid (InP)
5. Ränikarbiid (SiC)
6. Galliumnitriid (GaN)
7. Orgaanilised pooljuhid



Räni (Si)

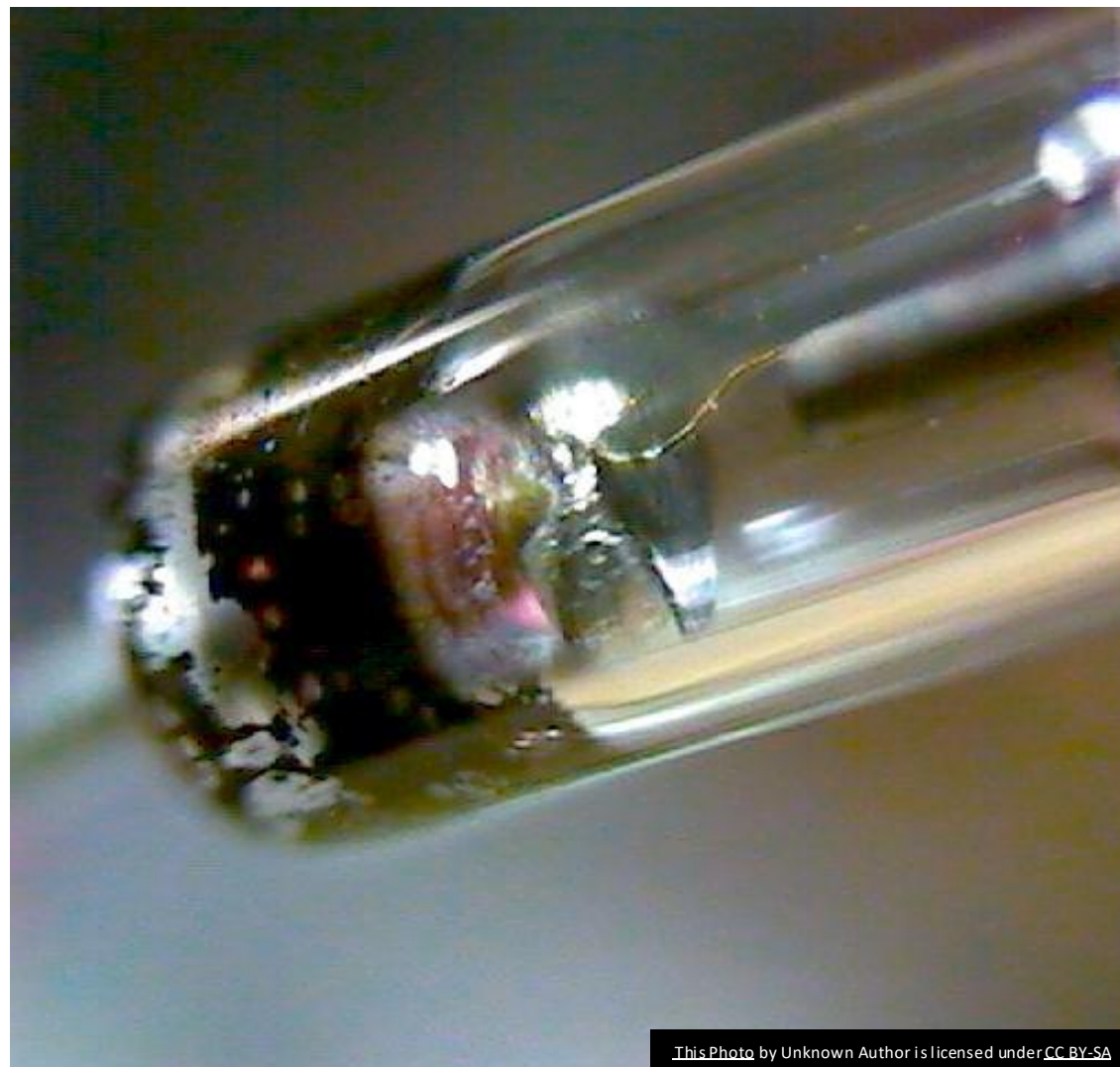


This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Räni on kõige laialdasemalt kasutatav pooljuhtmaterjal elektroonikatööstuses, peamiselt tänu sellele, et see on külluslik (moodustades ligikaudu 28% Maa koorest massi järgi), suhteliselt lihtne puhastada kõrge puhtusastmeni ja sobib hästi mikroelektrooniliste seadmete tootmiseks.

Germanium (Ge)

Germanium oli üks esimesi pooljuhtmaterjale, mida kasutati elektroonikas, enne kui räni sai domineerivaks. Kuigi germaniumil on mõningaid tehnilisi eeliseid, nagu kõrgem laengu kandjate liikuvus, on selle kasutamine piiratud peamiselt kõrgema maksumuse ja madalama termilise stabiilsuse tõttu võrreldes räniga.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Galliumarseniid (GaAs)

Galliumarseniid (GaAs)

Galliumarseniid on teine oluline pooljuhtmaterjal, mida eelistatakse teatud rakendustes, nagu kiired integraallülitused ja optoelektronika (näiteks LED-id, laserid), tänu oma suurele elektronide liikuvusele ja võimele töötada kõrgematel sagedustel kui räni



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Indiumfosfiid (InP)

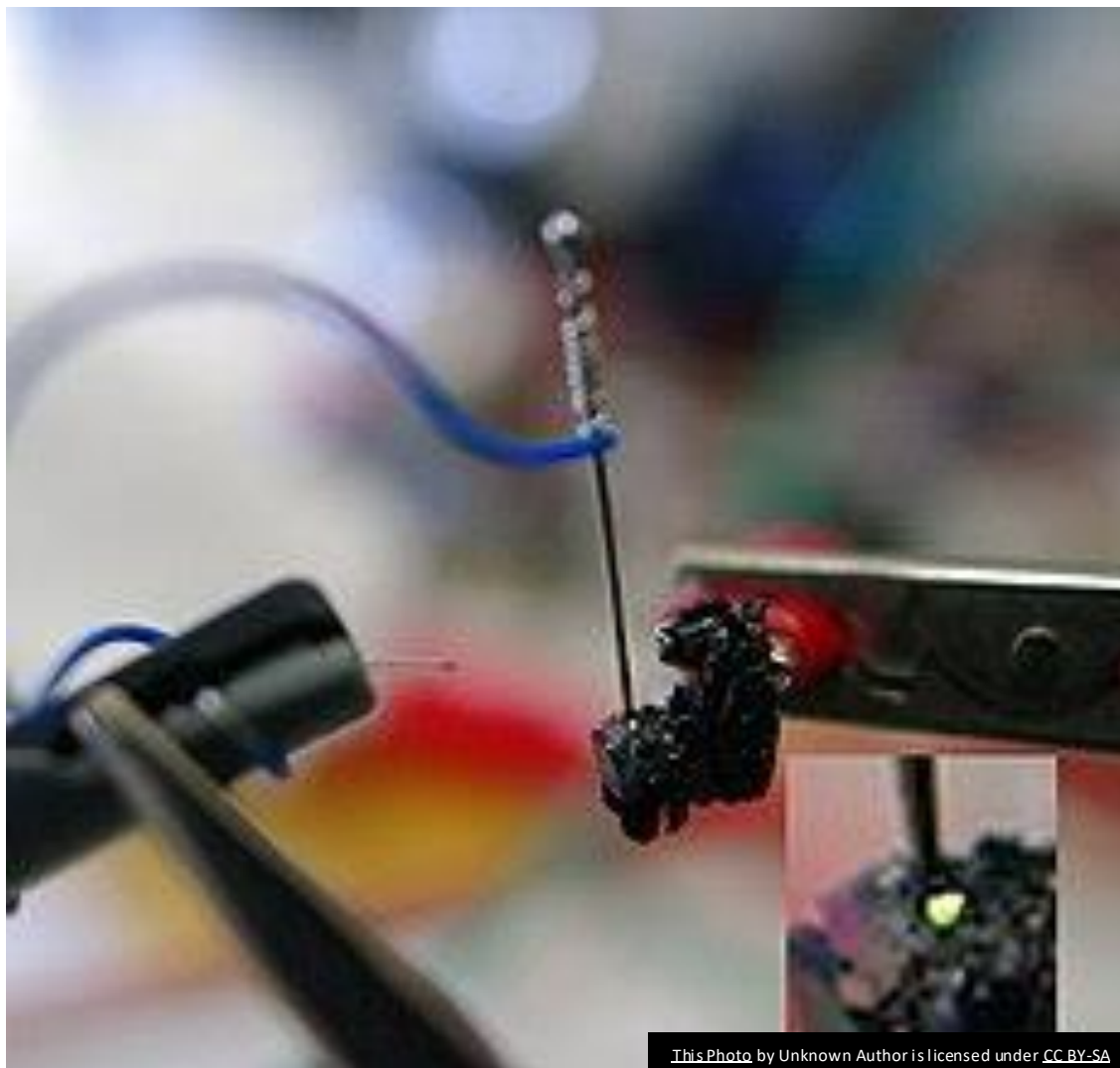
Indiumfosfiidil on suurepäraseid elektroonilised ja optilised omadused, mis teevad selle ideaalseks kasutamiseks kõrgsageduslikes ja kiudoptilistes kommunikatsiooniseadmetes. InP võimaldab toota väga kiireid elektroonikakomponente ja laserdiode.



Räni (Si)

Ränikarbiid (SiC)

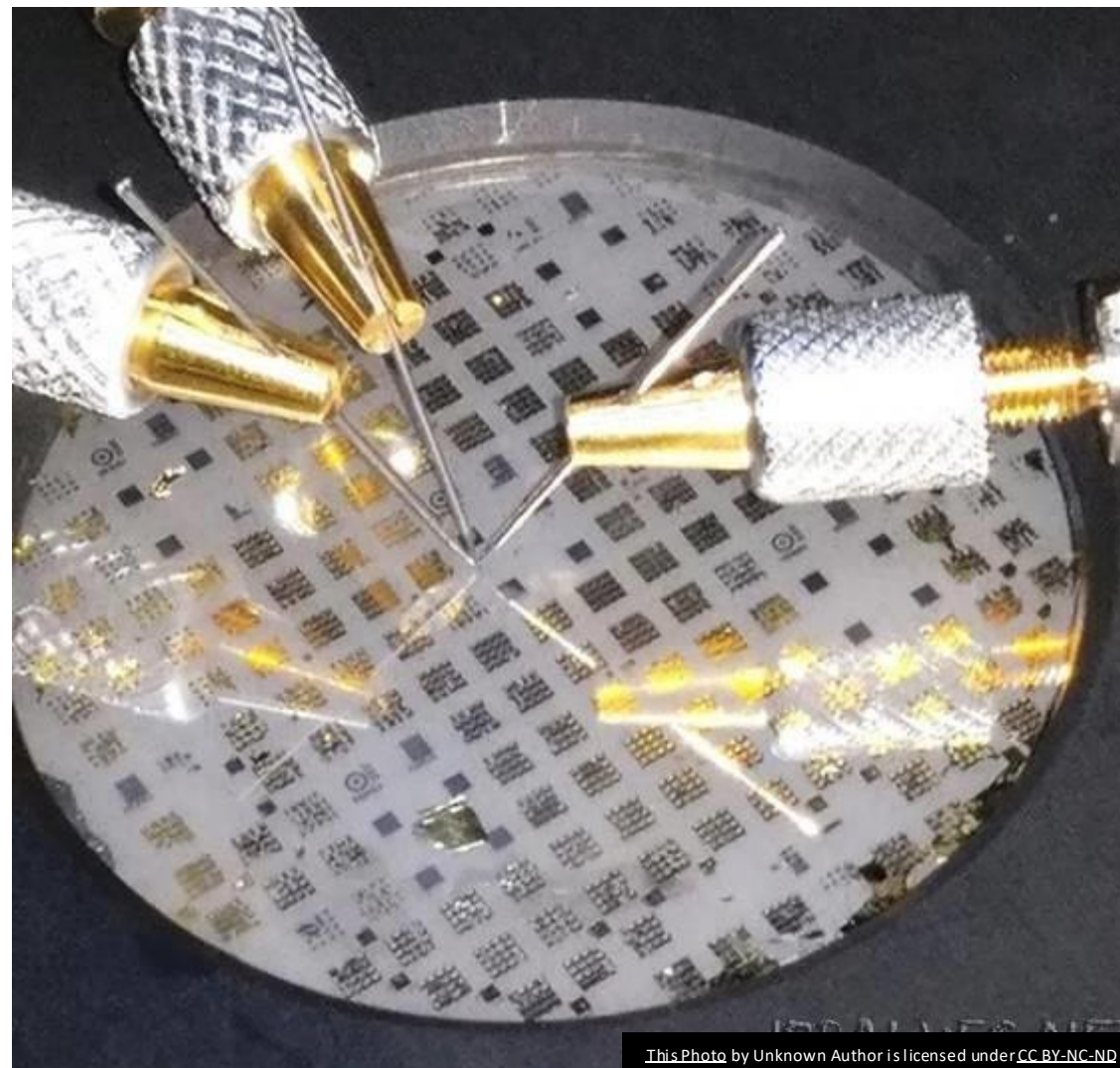
Ränikarbiid on tuntud oma kõrge termilise juhtivuse, kõrge elektrivälja taluvuse ja kõrge töötemperatuuri poolest, mis teeb sellest ideaalse materjali kasutamiseks võimsuselektronikas, näiteks elektrisõidukite ja suure võimsusega rakenduste pooljuhtseadmetes.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Galliumnitriid (GaN)

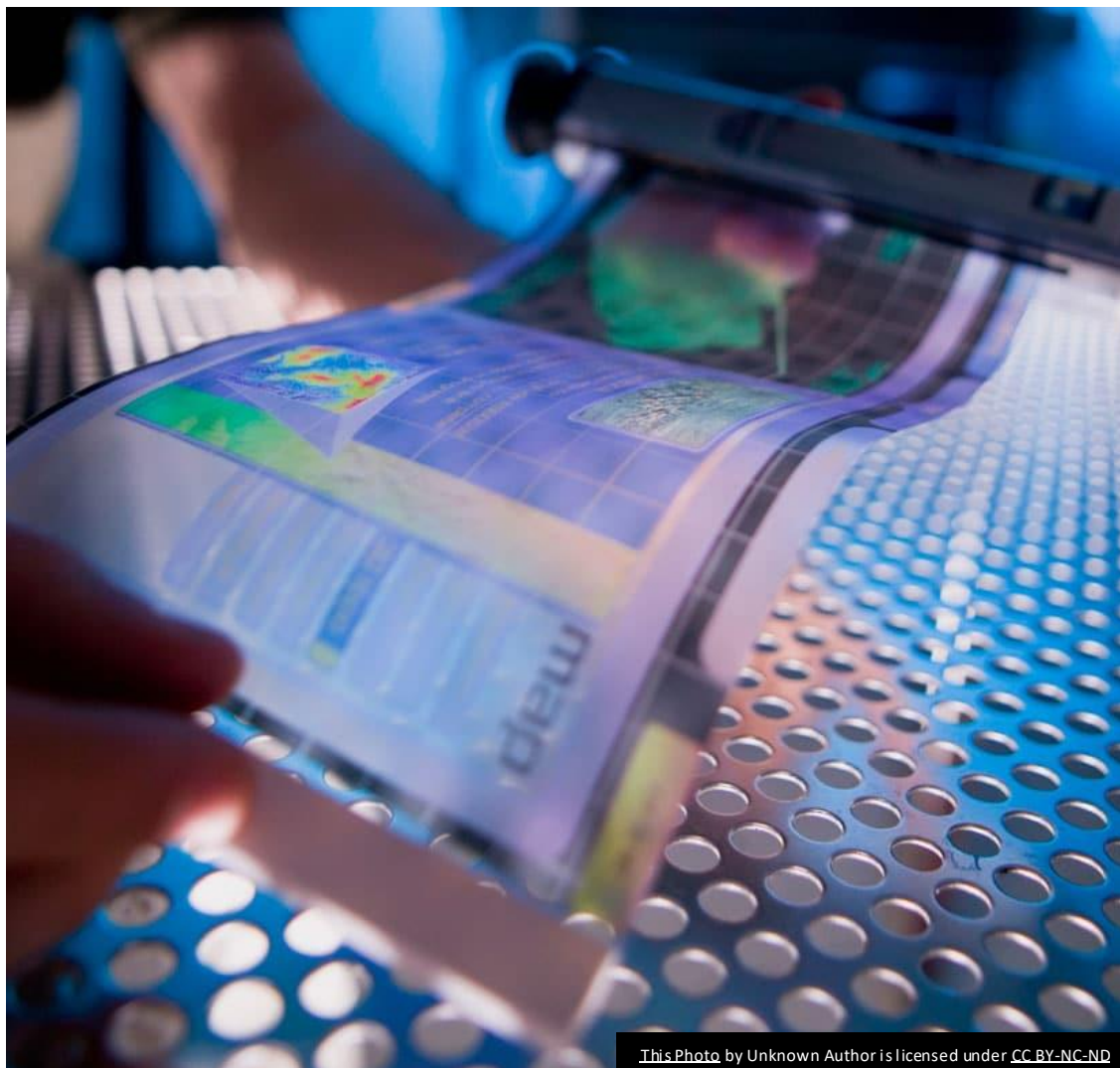
Galliumnitriid on veel üks pooljuhtmaterjal, mida kasutatakse peamiselt optoelektronikas (näiteks sinistes ja ultraviolettes LEDides) ja võimsuselektronikas. GaN pakub suuremat efektiivsust ja võimaldab seadmeid, mis töötavad kõrgematel temperatuuridel ja võimsustel.



Räni (Si)

Orgaanilised pooljuhid

Orgaanilised pooljuhid on süsinikupõhised molekulid või polümeerid, mida kasutatakse paindlikes elektroonikaseadmetes, nagu OLED-ekraanid ja paindlikud päikesepaneelid. Need pakuvad uusi võimalusi elektroonika tootmiseks, sealhulgas trükitavad ja painutatavad seadmed.



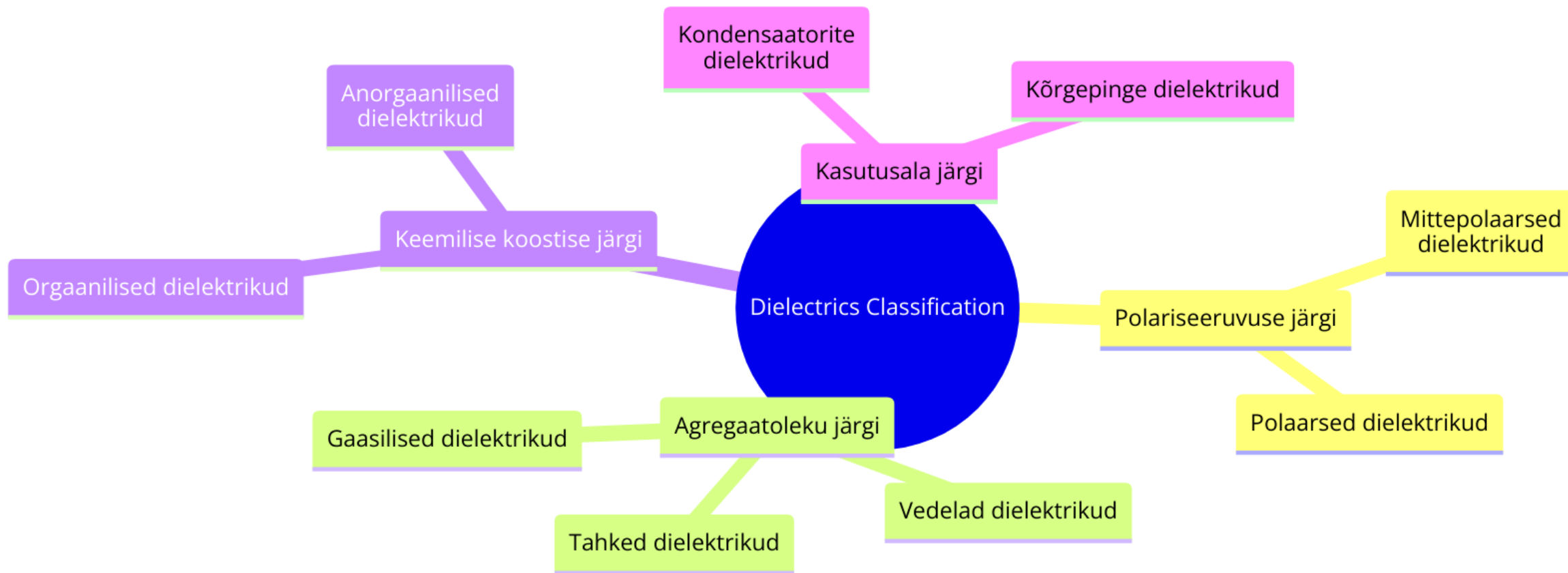
This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC-ND

Dielektrikutel (isoleermaterjalidel) peab olema

- suur elektritakistus, väikesed energiakaod, suur
- elektriline tugevus, küllaldane temperatuuri- ja
- niiskuskindlus, samuti mehaaniline tugevus.

eritakistus: dielektrikud $\rho = 10^7 \dots 10^{17} \Omega$

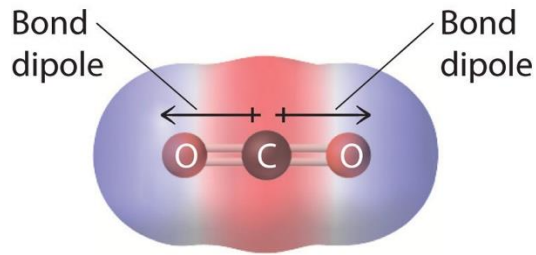
Dielektrikute klassifikatsioon



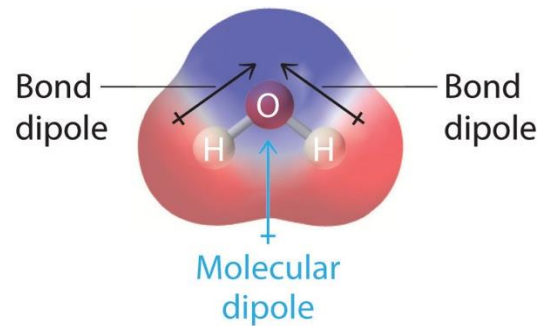
Dielektrikute klassifikatsioon

Polariseeruvuse järgi:

- Polaarsed dielektrikud: Molekulides on püsiv elektriline dipoolmoment.
- Mittepolaarsed dielektrikud: Molekulid on elektriliselt sümmeetrilised ja neil puudub püsiv dipoolmoment.



(a) No net dipole moment



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA-NC

Polariseerumine

Polarisatsioon on üks põhiline dielektrikus elektrivälja mõjul toimuv protsess. Polarisatsioon on seotud laengute piiratud nihkumine või dipoolide orienteerimine elektrivälja mõjul. Polariseeruvad nii neutraalsed kui ka polaarsed materjalid.

Mittepolaarsed dielektrikutes nihkuvad erinimelised laengud aatomis ja molekulis vastassuundades ning positiivse ja negatiivse laengu keskmed enam ei ühti. Nihkumine on seda suurem, mida suurem on rakendatud elektrivälja tugevus.

Polaarses dielektrikus paiknevad dipoolid soojusliikumise tõttu kaootiliselt. Kui sellisele dielektrikule rakendada elektriväli, siis see püüab pöörata dipooleselliselt, et need oleksid orienteeritud mõjuva elektrivälja jõujoonte sihis.

Elektrivälja eemaldamisel aastub endine olukord.

Igat elektrootidega varustatud ja elektriahelasse lülitatud dielektrikut võib vaadelda kondensaatorina.

Sellise kondensaatori elektrootidel olev laeng on
 $Q = CU,$

Suhteline dielektriline läbitavus ε on laengute Q ja Q_0 suhe:

$$\varepsilon = Q / Q_0 = (Q_0 + Q_I) / Q_0 = 1 + Q_I / Q_0.$$

Vaadeldes kondensaatorite mahtuvust, kui elektrodide vahel on vaakum ja kui elektrodide vahel on uuritav dielektrik, saame:

$$C_0 = Q_0 / U \text{ ja } C = \varepsilon Q_0 / U = \varepsilon C_0 .$$

Seega näitab ε seda, mitu korda suureneb samade mõõtmetega kondensaatori mahtuvus, kui asendada vaakum kondensaatori elektrodide vahel dielektrikuga, mille suhteline dielektriline läbitavus on ε .

Dielektrikute elektrijuhtivus

Polarisatsioon on seotud laengute nihkumine. See põhjustab dielektrikus lühiajalise voolu, mida nimetatakse nihkevooluks.

Alalispingel kestab see vool senikaua, kuni polarisatsioon jõuab välja kujuneda.

See aeg on, olenevalt polarisatsiooni liigist, väga lühike, ulatudes 10^{-15} s kuni maksimaalselt mõne minutini. Vahelduvpingel kestab nihkevool kogu selle aja vältel, mil dielektrik asub elektriväljas.

Tahketel materjalidel eristatakse mahu- ja pinnatakistust. Erinevate materjalide elektrijuhtivuse võrdlemiseks kasutatakse mahueritakistuse ρ ja pinnaeritakistuse ρ_s mõisteid.

Dielektrikuskadudeks nimetatakse dielektrikus elektrivälja toimel ajaühikus hajuvat ja dielektriku soojenemist põhjustavat energiat.

Dielektrikute põhiomadused ja –parameetrid

- Polarisatsioon – suhteline dielektriline läbitavus ϵ
- Elektrijuhtivus – eritakistus ρ
- Dielektrikuskaod – kaonurga tangens $\tan \delta$
- Elektriline tugevus – läbilöögi elektriväljatugevus E_l

Elektriline tugevus

Iga elektriväljas asetsev dielektrik kaotab oma isoleerivad omadused, kui elektriväljatugevus ületab teatud kriitilise väärtuse. Sel kriitilisel väljatugevusel tekib elektroodide vahele suure juhtivusega kanal, vool läbi dielektriku kasvab järsult. Seda nähtust nimetatakse dielektriku läbilöögiks. Väljatugevust, mil toimub läbilööök, nimetatakse läbilöögiväljatugevuseks ja sellele vastavat pinget läbilöögipingeks.

Dielektrikut iseloomustavaks suuruseks on elektriline tugevus, milleks loetakse dielektriku läbilöögiväljatugevust ühtlases elektriväljas:

$$E_l = U_l / d$$

kus U_l on läbilöögipinge, V (enamasti kV) ja d on

Dielektrikute klassifikatsioon

Agregaatoleku järgi:

- Gaasilised dielektrikud:
Näiteks kuiv õhk või
väävelheksafluoriid (SF₆).
- Vedelad dielektrikud:
Näiteks destilleeritud vesi
või transformatori õli.
- Tahked dielektrikud:
Näiteks portselan, kvarts,
erinevad polümeerid.



Gaaside läbilöögil mängivad olulist osa pörkeja fotoionisatsioon. Gaaslahendus algab elektronide laviinide tekkega, misjärel moodustub elektrootide vahel suure juhtivusega plasmakanal (plasma koosneb negatiivsetest ja positiivsetest laengukandjatest), mida nimetatakse striimeriks.



Gaasid

Isoleermaterjalidena leiavad kõige sagedamini kasutamist õhk, lämmastik ja elegaas (Tihti on isoleermaterjalina kasutatavatel gaasidel ka teisi funktsioone, nagu näiteks jahutamine, elektrikaare kustutamine. Kõige sagedamini on gaasiliseks dielektrikuks õhk. Õhk on isoleermaterjaliks näiteks õhuliini juhtmete ja mitmesuguste kõrge- ja madalpingeseadmete voolujuhtivate osade vahel. Sageli on õhk samal ajal ka jahutavaks keskkonnaks ja õhklülites elektrikaart kustutavaks keskkonnaks.

Õhu elektriline tugevus ei ole suur, seepärast on kõrgepingeseadmetes voolujuhtivate osade vahekaugus suur ja õhkisolatsiooniga seadmed suurte mõõtmetega. Viimatinimetatud puudust leevendab elegaasi (väävelheksafluoriid SF6) kasutamine.

Gaas	Tihedus kg / m ³	El. tugevus kV / mm	Soojus- mahtuvus kJ/kg °K	Veeldumis- temp. °K
Lämmastik , N ₂	1,25	3	1,06	77
Elegaas, SF ₆	6,39	7,2	0,62	209
Vesinik, H ₂	0,09	1,8	14,2	20
Neoon, Ne	0,9	0,4	1,03	27
Argoon, Ar	1,78	-	0,52	87
Krüptoon, Kr	3,47	-	0,25	120
Ksenoon, Xe	5,58	-	0,16	166
Heelium, He	0,18	0,4	5,2	4,2

Elektriline tugevus

Vedeldielektrikute elektriline tugevus on tunduvalt suurem, kui gaasidel normaaltingimustel, kuid oleneb suurel määral lisandite olemasolust. Praktikas kasutavates vedelikes on lisandid peaaegu alati olemas. Kõige tavalisemad lisandid on niiskus ja tahked osakesed, kuna vedeldielektrikuid kasutatakse tihti koos tahkete isoleermaterjalidega. Elektriväljas lisandid polariseeruvad ja kogunevad suurema väljatugevusega piirkondadesse, moodustades elektrootide vahel sillakesi, mis soodustavad vedeliku läbilööki



Elektriline tugevus

Tahkete dielektrikute puhul võib sõltuvalt rakendatud elektrivälja iseloomust (alalis-, vahelduvvõi impulsspinge), defektide olemasolust ja dielektriku jahutamistingimustest esineda kas elektriline, soojuslik või osalahendustest põhjustatud läbilöök.

Elektriline läbilöök on oma iseloomult sarnane läbilöögile gaasides, ka siin mängivad olulist rolli pörkeionisatsioon ja laviinid. Elektriline läbilöök on väga kiire protsess, läbilöögi aeg on suurusjärgus $10^{-6} \dots 10^{-8}$ s. Ühtlase struktuuriga tahkediiektrikute elektriline tugevus on elektrilise läbilöögi puhul väga suur, tavaliselt 100...300 kV/mm, ebaühtlase struktuuriga dielektrikuil on see näitaja suurusjärgu võrra väiksem.



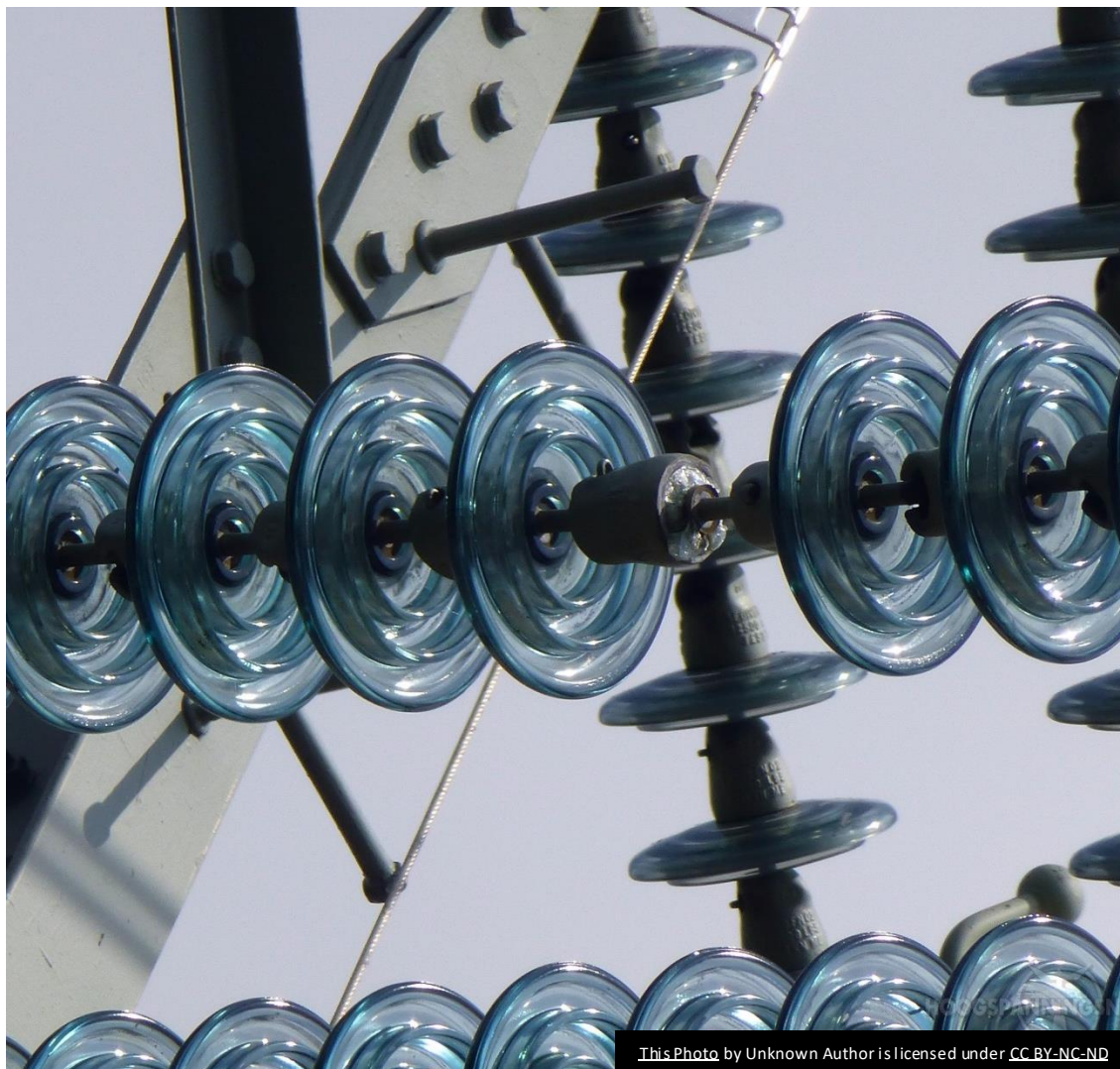
Tahked isoleermaterjalid

Tahked isoleermaterjalid moodustavad kõige suurema isoleermaterjalide grupi. Kasutatakse nii looduslikke ja tehismaterjale.

Keemilise koostise järgi jagatakse tahked isoleermaterjalid orgaanilisteks ja mitteorgaanilisteks materjalideks.

Tahkete isoleermaterjalide põhiomadusi

Dielektrikute klassifikatsioon



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC-ND

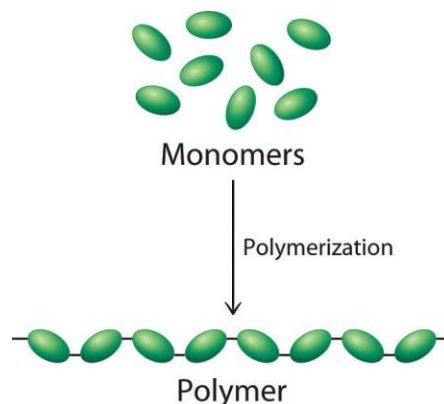
1. Keemilise koostise järgi:

- Orgaanilised dielektrikud: Sisaldavad süsinikku, näiteks polüetüleen või polüstüreen.
- Anorgaanilised dielektrikud: Sisaldavad süsinikku vähe või üldse mitte, näiteks keraamika või klaas.

Monomeerid ja polümeerid

Monomeer:

- **Definitsioon:** Monomeer on väike molekul, mis võib keemiliselt siduda teisi sarnaseid molekule, moodustades polümeeri. Monomeerid on polümeeride ehituskivid.
- **Struktuur:** Monomeerid on tavaliselt lihtsad molekulid, millel on üks või mõni funktsionaalne rühm, mis võimaldab neil reageerida ja moodustada pikemaid ahelaid.
- **Näited:** Etüleen (C_2H_4), propüleen (C_3H_6), vinüülkloriid (C_2H_3Cl) on tüüpilised monomeerid, mida kasutatakse vastavalt polüetüleen, polüpropüleen ja polüvinüülkloriidi (PVC) tootmiseks.



Polümeer:

- **Definitsioon:** Polümeer on suur molekul (makromolekul), mis koosneb korduvatest monomeerühikutest, mis on keemiliselt seotud. Polümeerid võivad koosneda sadadest kuni miljonitest monomeeridest.
- **Struktuur:** Polümeerid on keerukad molekulid, mille struktuur sõltub monomeeride tüübist, nende paigutusest ahelas (lineaarne, hargnenud või võrgustik) ja monomeeridevaheliste sidemete tüübist.
- **Näited:** Plastid nagu polüetüleen, polüpropüleen ja polüvinüülkloriid on polümeerid. Samuti kuuluvad polümeeride hulka looduslikud makromolekulid nagu tselluloos, valgud ja DNA.

Põhiline erinevus:

- **Monomeer on üksiku molekuli ühik, mis on polümeeri moodustamise aluseks.** See on nagu ehitusplokk või tellis, mida kasutatakse suuremate struktuuride loomiseks.
 - **Polümeer on monomeeridest koosnev kett või võrgustik.** See on nagu müür või hoone, mis on ehitatud paljudest tellistest (monomeeridest).
- Seega, monomeerid ja polümeerid on omavahel tihedalt seotud, kusjuures monomeerid on vajalikud polümeeride moodustamiseks läbi polümerisatsioonireaktsioonide.

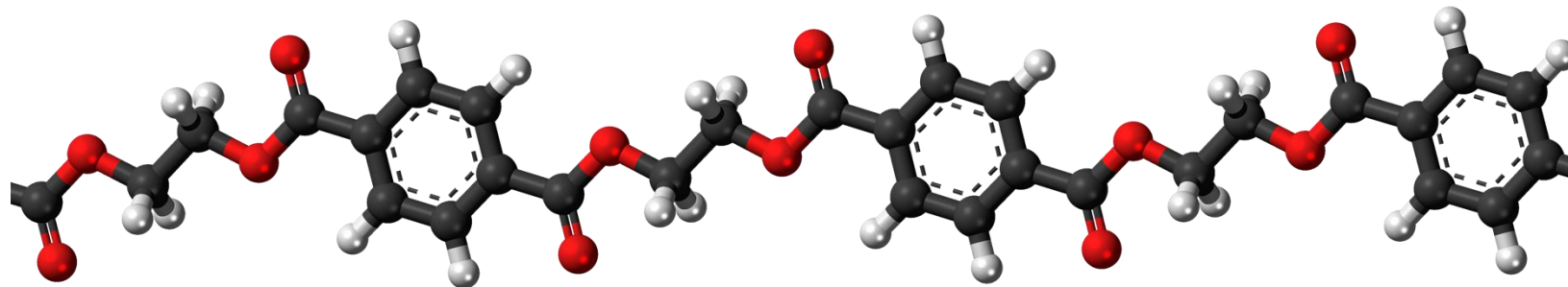
Polümeerid on kõrgmolekulaarsed orgaanilised materjalid. Elektrotehnikas leiavad kasutamist:

- looduslikud polümeerid
- tehispolümeerid

Polümeerid võivad olla termoplastsed või termoreaktiivsed.

- Termoplastsed ained pehmenevad ja muutuvad temperatuuri tõustes voolavaks, temperatuuri langedes tahkuvad taas ilma, et nende omadused muutuksid.
- Termoreaktiivsed polümeerid on tootmisprotsessis tavaliselt pehmed, kuid pärast tahkumist enam ei pehmene.

Enamiku polümeeride molekulid on lineaarse struktuuriga, see tähendab, et molekulid moodustavad pikki (pikkus suurusjärgus $1\ \mu\text{m}$) peenikesi üksteisega läbipõimunud ahelaid, mille pikkuse ja läbimõõdu suhe on umbkaudu 1000. Viimasel ajal levivad aga üha laiemini võrkstruktuuriga polümeerid, kus pikkade lineaarsete molekulide vahel on põiksidemed. Need polümeerid on palju püsivamad, nende elektrilised omadused ja eriti töötemperatuur ületavad lineaarsete polümeeride vastavaid näitajaid.



Looduslike polümeerid

- Kummi valmistamisel on lähteaineks kautšuk
- Paber ja papp on tselluloosi baasil valmistatud materjalid.
- Vilk - Vilgukivi ehk vilk on üks levinum anorgaaniline dielektrik.



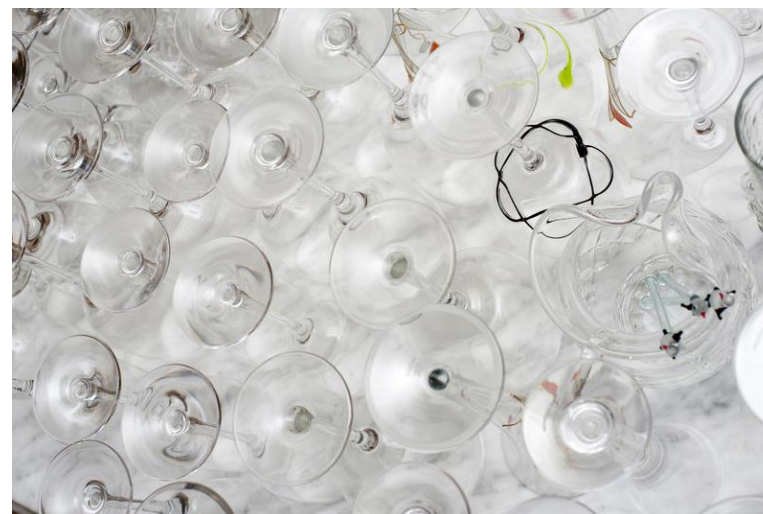
Tehispolümeerid



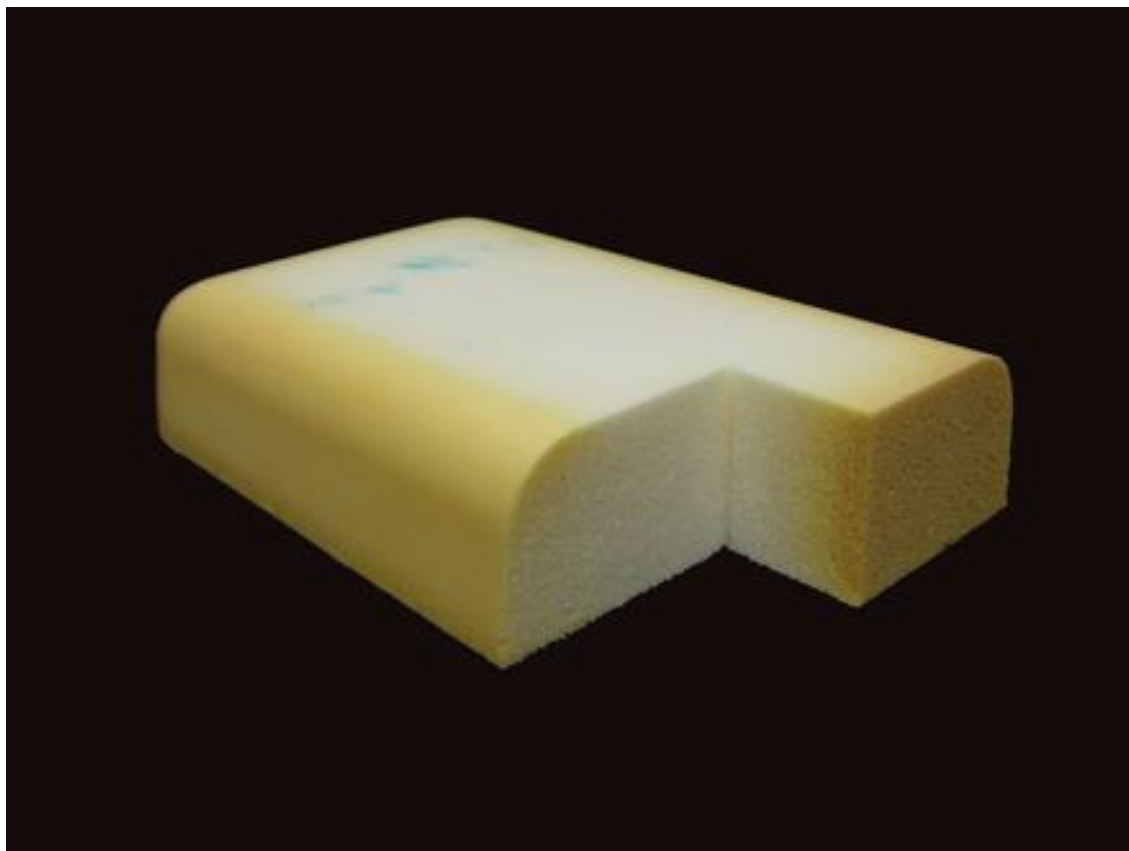
- Polüstüreen (polüstürool; tähis PS)
- Fluororgaanilistest polümeeridest on enamlevinud polütetrafluoreteen (PTFE, teflon, fluorplast, Venemaal ftoroplast-4 ja ftorlon-4).
- Polüvinüülkloriid (PVC) on lineaarse struktuuriga termoplastne polümeer, mida saadakse kloroeteeni polümeerides.
- Orgaaniline klaas (pleksiklaas, polümetüülmetakrülaad) on läbipaistev polümeerne materjal.

Tehispolümeerid

- Orgaaniline klaas (pleksiklaas, polümetüülmetakrülaas) on läbipaistev polümeerne materjal.
- Polüamiid (PA) on heade mehaaniliste omadustega polümeer.
- Polükarbonaadid (PC, USAs lexan ja merlon, Saksamaal makrolon) on suure löögi- ja paindetugevusega head isoleermaterjalid.



Tehispolümeerid



- Polüuretaanid (PUR) on kõrgmolekulaarsed kulumis- ja ilmastikukindlad polümeerid. Nad on head heli-, soojus- ja elektriisolaatorid ning kergesti liimitavad.
- Räniorgaanilised polümeerid ehk silikoonid on kõrgmolekulaarsed ühendid.
- Fenoolformaldehüüdvaigud on metanaali ja fenoolide polükondensatsiooni saadused. Neil on dielektriliste omadustega, taludes temperatuuri kuni 200 °C.
- Epoksüvaigud (EP) on sünteetilised polümeerid, mis sisaldavad niinimetatud epoksürühma.

Kuna isoleermaterjalid on tihti samaaegselt ka konstruktsioonimaterjalid, siis peab tähelepanu pöörama ka materjalide mehaanilistele omadustele: surve-, tõmbe- ja paindetugevusele, kõvadusele, elastsusele jne.

Mitteelektrilised omadused

Isoleermaterjali kasutamise võimalus laias temperatuurivahemikus on tehnikas väga tähtis.

Pikaajalisel soojenemisel halvenevad dielektriku omadused mitmesuguste protsesside tõttu. Seda nimetatakse dielektriku soojuslikuks vananemiseks. Soojuslikust seisukohast iseloomustavad dielektrikut peamiselt kuumusekindlus, külmakindlus, soojusjuhtivus.

Mitteelektrilised omadused

Kuumusekindluse all mõistetakse dielektriku võimet taluda kõrget temperatuuri ilma, et tema omadused nimetamisväärselt halveneksid. Suurima lubatud temperatuuri järgi on dielektrikud jagatud kuumuskindlusklassidesse.

Vedelate dielektrikute kuumuskindlust iseloomustatakse leektäpi, või ka süttimistemperatuuriga.

Leektäpiks nimetatakse temperatuuri, mille juures vedeliku aurude ja õhu segu süttib tulega kokkupuutumisel.

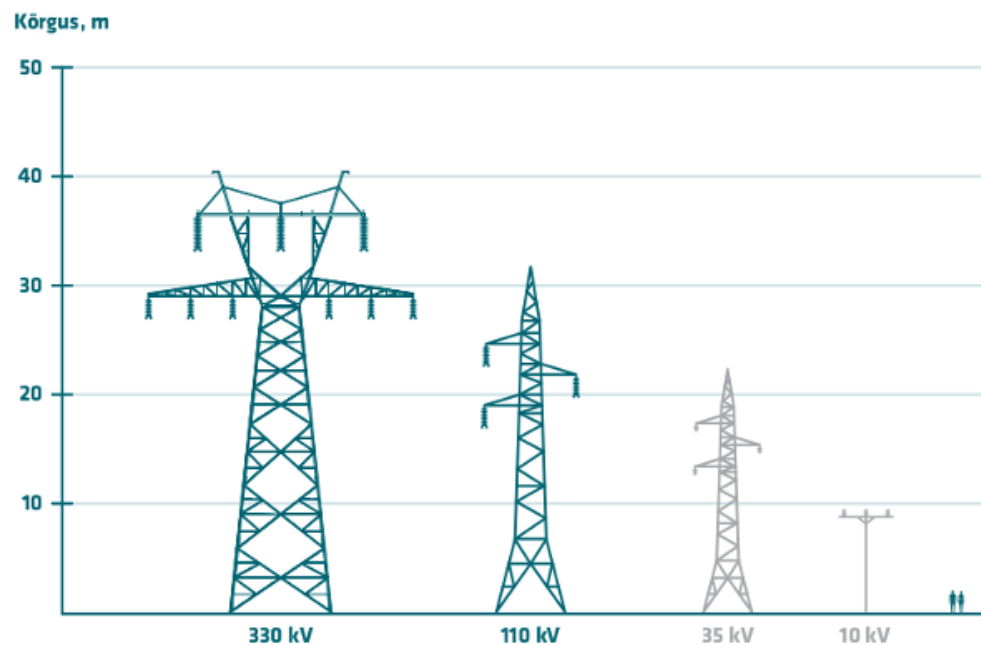
Näiteks trafoõli leektäpp ei tohi olla alla 135 °C.

Klass	Lubatud temp. °C	Näiteid
Y	90	Polüeteen, polüstürool, immutamata paber ja papp
A	105	Immutatud paber ja papp, polüamiidkiled
E	120	Tekstoliit, getinaks, epoksü- ja polüuretaanvaigud
B	130	Orgaaniliste sidematerjalidega mikaniidid, klaastekstoliit
F	155	Mikaniidid ja klaaskiudmaterjalid koos kuumuskindlate sideainetega
H	180	Räniorgaanilised lakid ja nendega liimitud mikaniidid ja klaaskiudmaterjalid
C1)	> 180	Vilk ja klaaskiudmaterjalid, fluorplastid

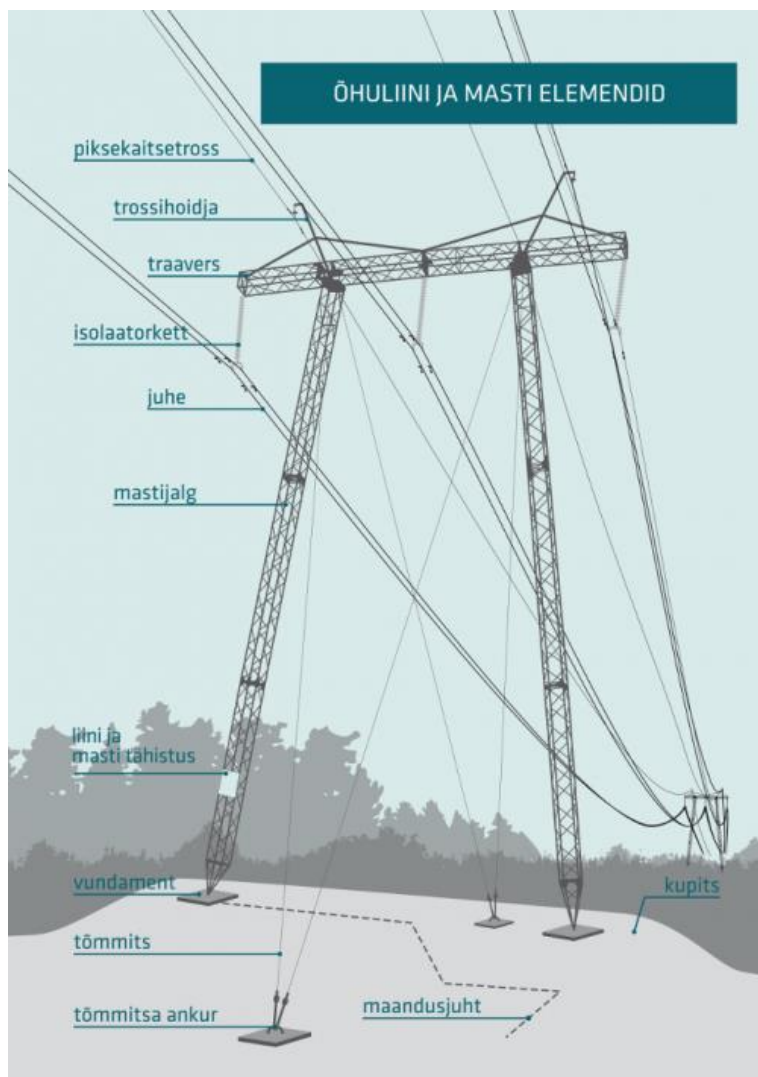
Mitteelektrilised omadused

- Külmaskindlus võimaldab hinnata dielektrikute vastupidavust madalatele temperatuuridele. Paljud materjalid kaotavad madalatel temperatuuridel elastsuse ja pragunevad painutamisel. Viimast nähtust kasutatakse sageli materjalide külmaskindluse määramisel.
- Niiskuskindluse all mõistetakse dielektriku võimet pidevalt töötada niiskes keskkonnas ilma, et tema omadused nimetamisväärselt halveneksid.
- Õhus esineb alati teatud kogus veeauru. Vesi on tugevalt polaarne madala eritakistusega vedelik, seega vedeldielektrikusse sattunud või tahke dielektriku pooridesse tunginud vesi halvendab tunduvalt dielektriku elektrilisi omadusi. Vee molekul on väga väike, seepärast võib vesi tungida väga väikese poorsusega materjalidesse. Niiskuskindluse parandamiseks kaetakse tahkete isoleermaterjalide pinnad mittemärguvate lakkide või glasuuriga, selleks kasutatakse ka vett imavate materjalide immutamist.
- Tähtsad on ka isoleermaterjalide mehaanilised omadused, sest sageli kasutatakse neid samal ajal ka konstruktsioonielementidena. Isoleermaterjalide, eriti plastide, mehaanilisi omadusi on käsitletud esimeses peatükis.

Dielektrikud



Liini ping	Isolaatorketi pikkus	Isolaatorite arv ketis
35 kV	Ligikaudu 1 meeter	3-4
110 kV	Ligikaudu 1 meeter	7 - 8
220 kV	Ligikaudu 2 meeter	14 - 16
330 kV	Ligikaudu 3 meetrit	20 - 28



Kaabelliinid

Eleringile kuulub Eestis üle 135 km kaabelliine, millest 112 km on 110 kV kaablid; 23 km on 6-35 kV kaablid.

EstLinkid

Lisaks opereerib Elering Eesti ja Soome vahelisi alalisvooluühendusi EstLink 1 ja EstLink 2. Mõlemad ühendused koosnevad nii maismaal kui meres kulgevast kaablist. Kokku on EstLinkide pikkus:

EstLink 1 - 54 km

EstLink 2 - 85 km

Dielektrikute klassifikatsioon

Kasutusala järgi:

- Kõrgepinge dielektrikud: Suure dielektrilise tugevusega materjalid, kasutatakse näiteks kaablite isolatsioonis.
- Kondensaatorite dielektrikud: Kõrge dielektrilise läbitavusega materjalid, mis suudavad hoida elektrivälja, näiteks tantaal või keraamika.

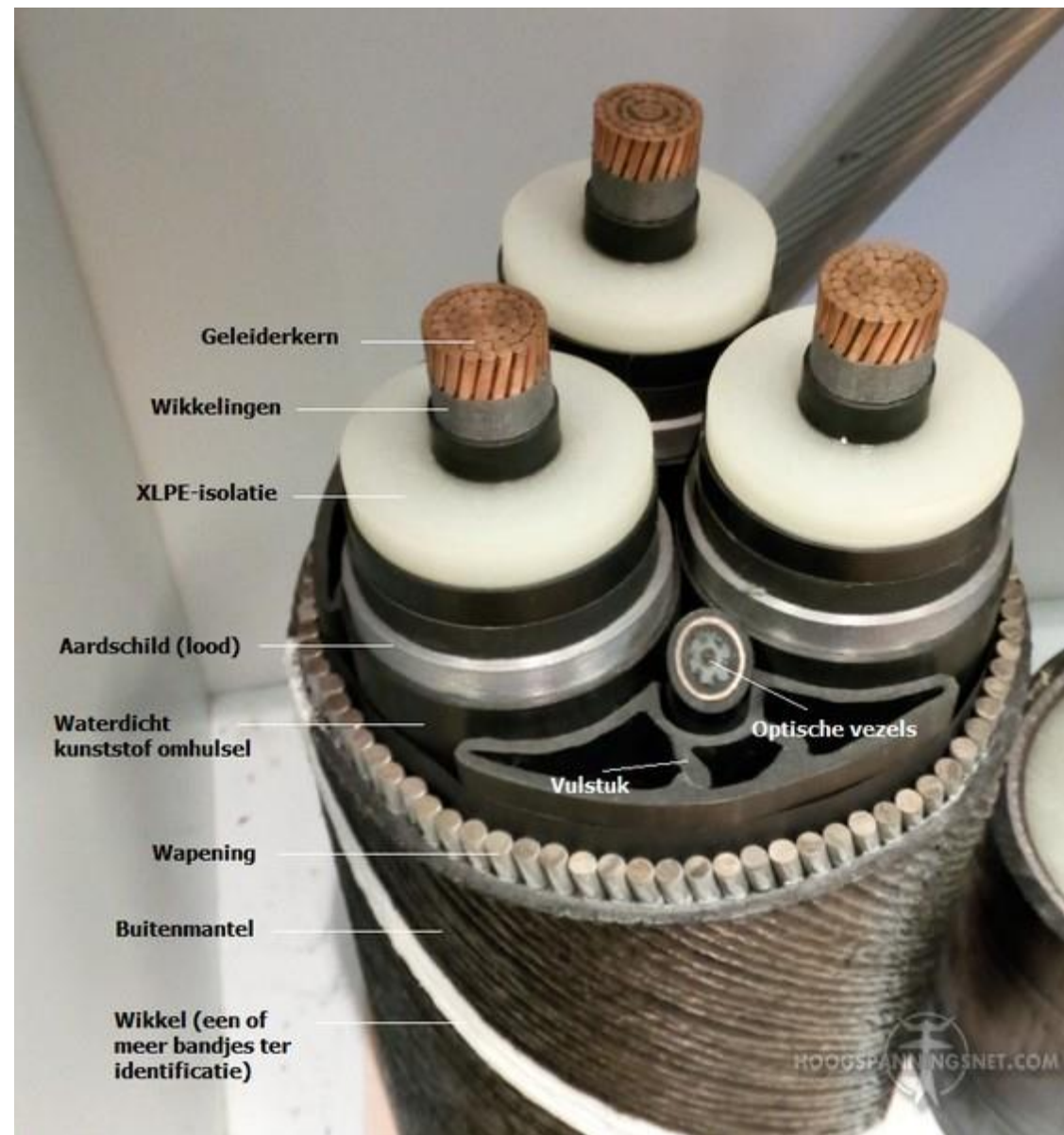


Dielektrikute klassifikatsioon

Kõrgepinge kaablite isolatsioonimaterjalidena kasutatakse tavaliselt materjale, mis taluvad kõrgeid pingeid ilma elektrit juhtimata või läbimurret tekitamata. Tüüpiliste materjalide hulka kuuluvad:

- **Ristsidestatud polüetüleen (XLPE)**
- **Etüleen-propüleen-kumm (EPR)**
- **Polüvinüülkloriid (PVC)**
- **Polüpropüleen (PP) ja Polütetrafluoroetüleen (PTFE)**

[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC-ND](#)



Dielektrikute klassifikatsioon

Ristsidestatud polüetüleen (XLPE): See on laialdaselt kasutatav isolatsioonimaterjal kõrgepinge ja keskpinge kaablites, kuna talub suurt elektrilist stressi ja omab head termilist stabiilsust.

- Ristsidestatud polüetüleen (XLPE) on kõrgelt hinnatud isolatsioonimaterjal kõrgepinge kaablite jaoks tänu oma suurepärasele dielektrilisele tugevusele, keemilisele stabiilsusele ja termilisele vastupidavusele. XLPE isolatsiooni tootmise protsessis luuakse polüetüleeni molekulide vahele ristsidemed, mis parandavad materjali füüsikalisi omadusi, võimaldades tal taluda suuremaid temperatuure ja elektrilisi koormusi kui tavaline polüetüleen. Ristsidestus suurendab ka mehaanilist tugevust ja vähendab elektrilise läbimurde ohtu, mis on kriitiline kõrgepinge rakendustes. XLPE isolatsiooni saab kasutada mitmesuguste kaablite puhul, sealhulgas maa-alustes ja veealustes ülekandeliinides



Dielektrikute klassifikatsioon

Etüleen-propüleen-kumm (EPR): Tuntud oma elastse struktuuri ja suurepärase dielektrilise tugevuse poolest.

Etüleen-propüleen-kumm (EPR), tuntud ka kui EPDM (etüleen-propüleen-dieen-monomeer), on elastomeerne materjal, mis on tuntud oma suurepärase isolatsiooniomaduste poolest ja mida kasutatakse laialdaselt elektriikaablite isolatsioonimaterjalina. EPR on termiliselt stabiilne, vananemiskindel ja talub hästi ilmastiku- ja osoonimõjusid, mis teeb sellest ideaalse valiku karmides keskkonnatingimustes kasutamiseks. Lisaks on EPR hea painduvusega ja keemiliselt vastupidav erinevate kemikaalide suhtes, sealhulgas happed, leelised ja paljud lahustid. Selle tõttu on EPR kõrgelt hinnatud materjal kõrgepinge ja keskpinge kaablite isolatsioonis.



Dielektrikute klassifikatsioon

Polüvinüülkloriid (PVC): Seda kasutatakse mõnikord madalama pingega kaablites, kuid see ei pruugi olla sobiv kõrgepinge rakendusteks.

- Polüvinüülkloriid (PVC) on laialdaselt kasutatav sünteetiline plastpolümeer, mis on soodne ja vastupidav, mistõttu on see populaarne valik mitmesugusteks rakendusteks, sealhulgas elektrikaablite isolatsiooniks. PVC on tuntud oma hea mehaanilise tugevuse, keemilise vastupidavuse ja elektrilise isolatsioonivõime poolest. Seda kasutatakse laialdaselt madalpinge- ja signaalikaablites nii kodumajapidamistes kui ka tööstuslikes rakendustes. PVC on ka leegiaeglustav, mis tähendab, et see aitab vähendada tuleohu riski elektriseadmetes.



Dielektrikute klassifikatsioon

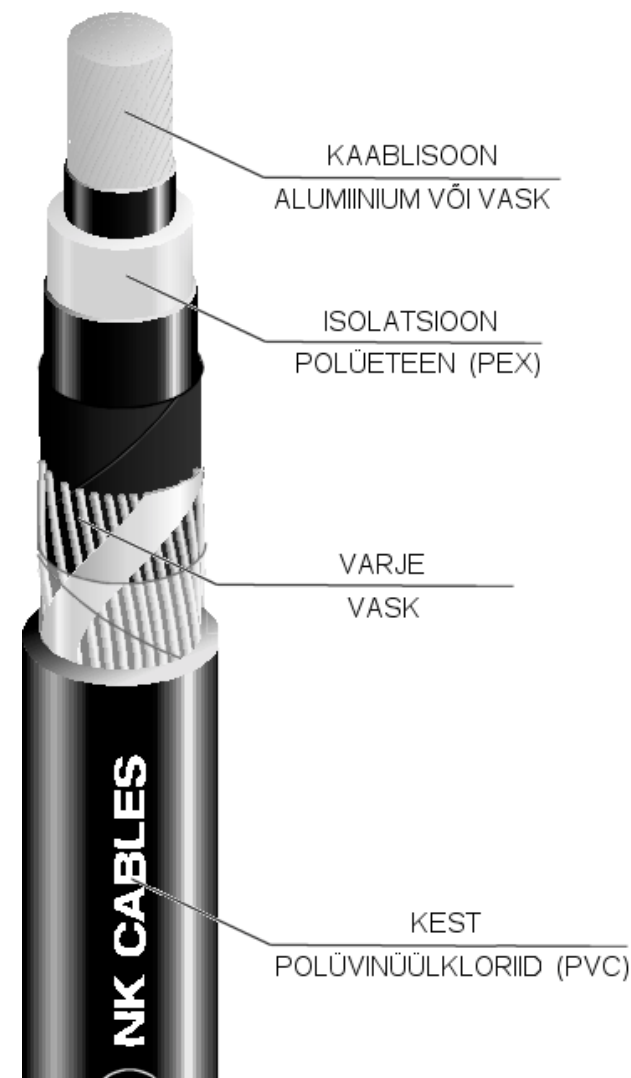
Polüpropüleen (PP) on kerge, vastupidav termoplastne materjal, mis on tuntud oma keemilise vastupidavuse ja hea isolatsioonivõime poolest. PP on sageli valitud materjal madalpinge kaablite jaoks ja teistes rakendustes, kus on vajalik materjali kõrge dielektriline konstant ja mehaaniline vastupidavus.

Polütetrafluoroetüleen (PTFE), tuntud kaubamärgi Teflon™ all, on erakordselt vastupidav kõrgetele temperatuuridele ja agressiivsetele kemikaalidele. Sellel on suurepärane elektriline isolatsioonivõime, mis ühendab kõrge dielektrilise konstandi, madala kaotusteguri ja suure läbimurdepinge, mistõttu on see ideaalne valik kõrgepinge ja eritingimuste kaablite isolatsiooniks.

Mõlemad materjalid on seega hinnatud valikud nii tavalistes kui ka eriti nõudlikes elektrilistes isolatsioonirakendustes.



- **NYM / H05VV-U / PPJ / XPJ**
PVC isolatsiooniga ümar paigalduskaabel
Kaabel on sobilik paigaldamiseks kuivades ja niisketes ruumides krohvi alla, sisse, peale ja kohale. Sobib ka välispaigalduseks kui kaitstud otsese päikesekiirguse eest. Ei sobi paigaldamiseks vette ega pinnasesse.
- **MSK / H05VV-F / BVV-PLL / OMY / MSOY / H03VV-F**
PVC isolatsiooniga ümar paigalduskaabel
Kaabel on sobilik paigaldamiseks kodumajapidamiste ja kontorite tavalistes kasutustingimustes. Kodumajapidamisseadmetes kuivades ja niisketes ruumides. Ei ole ette nähtud kasutamiseks välis- ja tööstustingimustes, tehnoruumides, v.a teisisldatavates majapidamisseadmetes. Riputatava valgusti mass ei tohi ületada 2 kg.
- **MSO / H03VVH2-F**
PVC isolatsiooniga lapik paigalduskaabel
Ühenduskaablina kodumajapidamiste ja kontorite tavalistes kasutustingimustes. Mitte köögi- või soojusseadmetes. Ei ole ette nähtud kasutamiseks välis- ja tööstustingimustes, tehnoruumides, v.a teisisldatavates majapidamisseadmetes. Riputatava lambi mass ei tohi ületada 2 kg.





MMJ

PVC isolatsiooniga paigalduskaabel

Kohtkindlaks paigalduseks sise- ja välitingimustes, kuid mitte pinnasesse. Sobiv paigaldamiseks krohvi alla. Välispaigaldusel on vajalik kaablit kaitsta otseste päikesekiirte eest.

SIHF

Kuuma ja õlikindel silikoonkaabel

Kaableid kasutatakse liikuvate ühenduste tegemiseks ning suure temperatuuride vahemiku korral, sest sellistel tingimustel muutub tavalise kaabli isolatsioon lühikese aja jooksul hapraks.

DRAKAFLEX H07RN-F / H05RR-F

Kummikaabel

Väga hästi painduv ilmastiku- ja õlikindel kaabel. Ühenduskaablina keskmistes kasutustingimustes, kuivades ja niisketes ning plahvatusohtlikes kohtades. Välis- ja tööstustingimustes ja ajutisteks paigaldisteks töökohtadel.

NYJ-J/XPB

Jõukaabel

Kaabel on ette nähtud paigaldamiseks ruumis, välitingimustes, pinnases, betoonis ja vees.

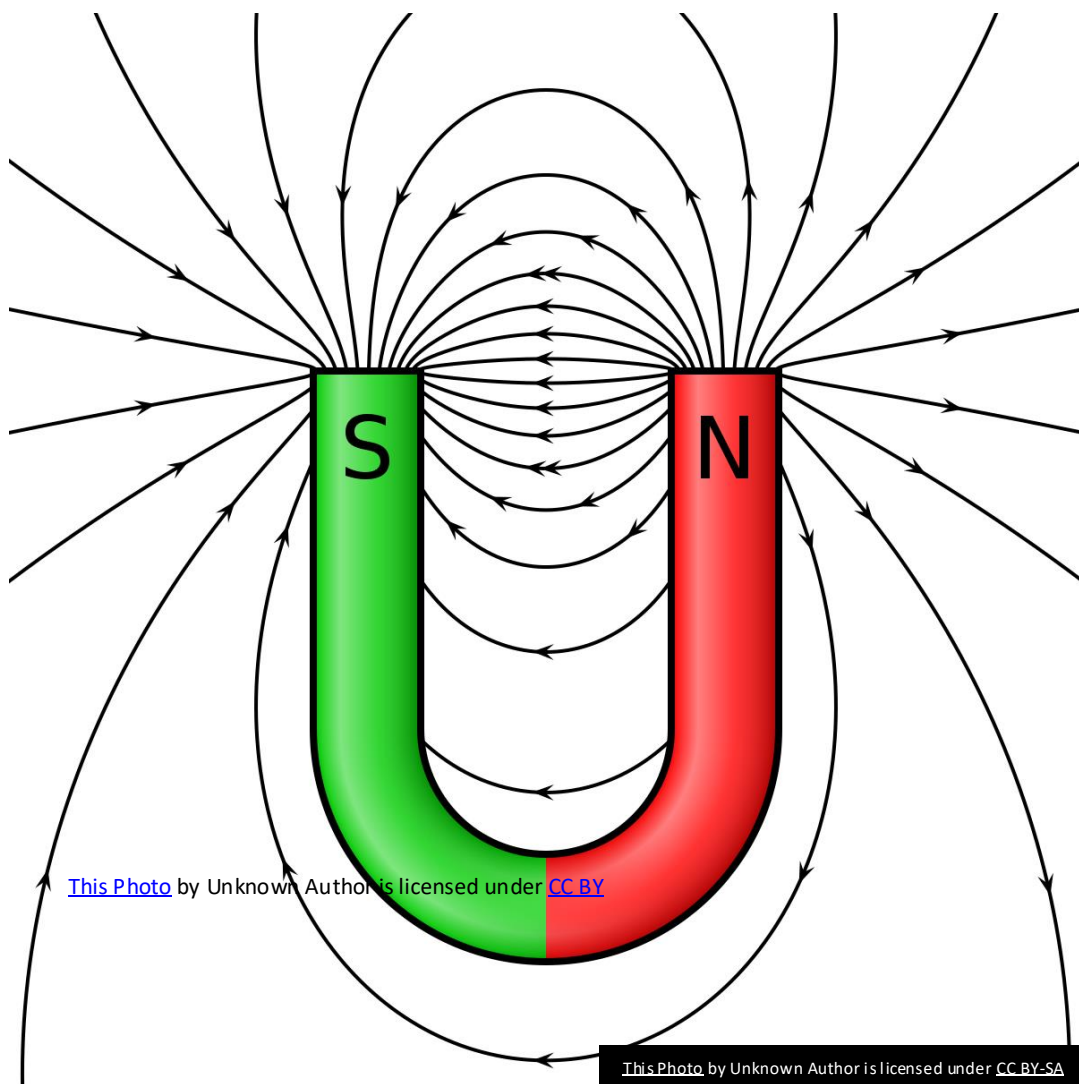
MCMK

Vaskjuhtmetega ja PVC isolatsiooniga jõukaabel

Kaabel paigalduseks sise- ja välitingimustes, ka pinnasesse ja ehitus taranditesse, näiteks valatuna betooni.

Magnetilised materjalid

Magnetmaterjale kasutatakse peamiselt elektriseadmetes magnetjuhtidena (elektrimootorites, trafodes, aparaatides jm.). Neil materjalidel peab olema suur magnetiline läbitavus ja väikesed energiakaod



Magnetilised materjalid

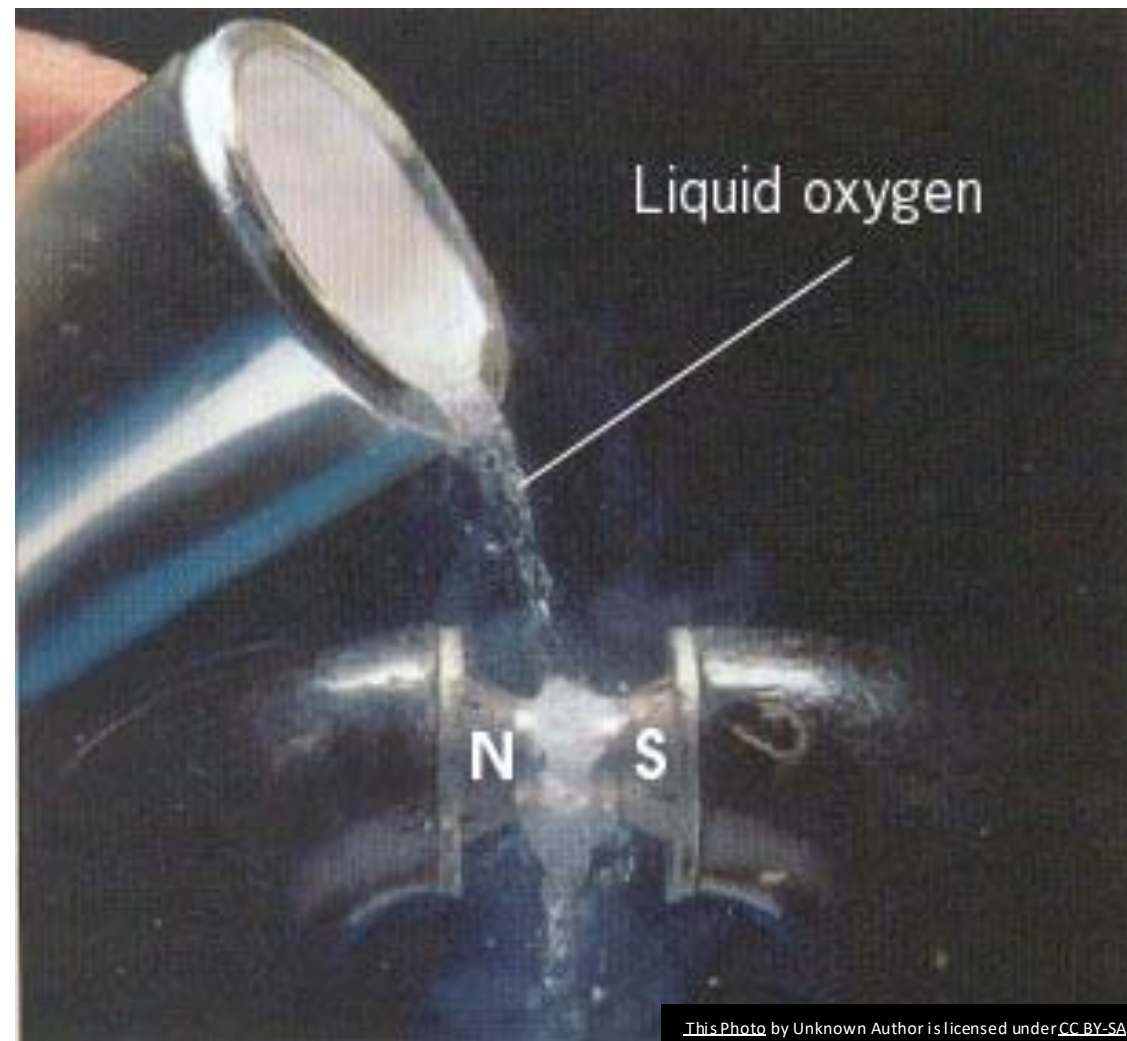
Magnetilised materjalid on ained, mida iseloomustavad nende vastus magnetväljale. Need jagunevad laias laastus nelja põhiklassi, millest igaühel on oma unikaalsed omadused ja rakendused.

1. Diamagnetilised materjalid:

- Omadused: Diamagnetilised materjalid tekitavad magnetvälja suhtes nõrga vastasmagnetvälja. See on universaalne omadus, kuid diamagnetism on tavaliselt nii nõrk, et seda on raske märgata. Diamagnetilised materjalid ei ole magnetiseeritavad.

Näited: Vask, kuld, plii, räni, süsinik (graafit), vesinik.

Rakendused: Nendel materjalidel on spetsiifilisi kasutusviise, peamiselt teaduslikes seadmetes, kus on vajalik magnetväljade välistamine või kompenseerimine.



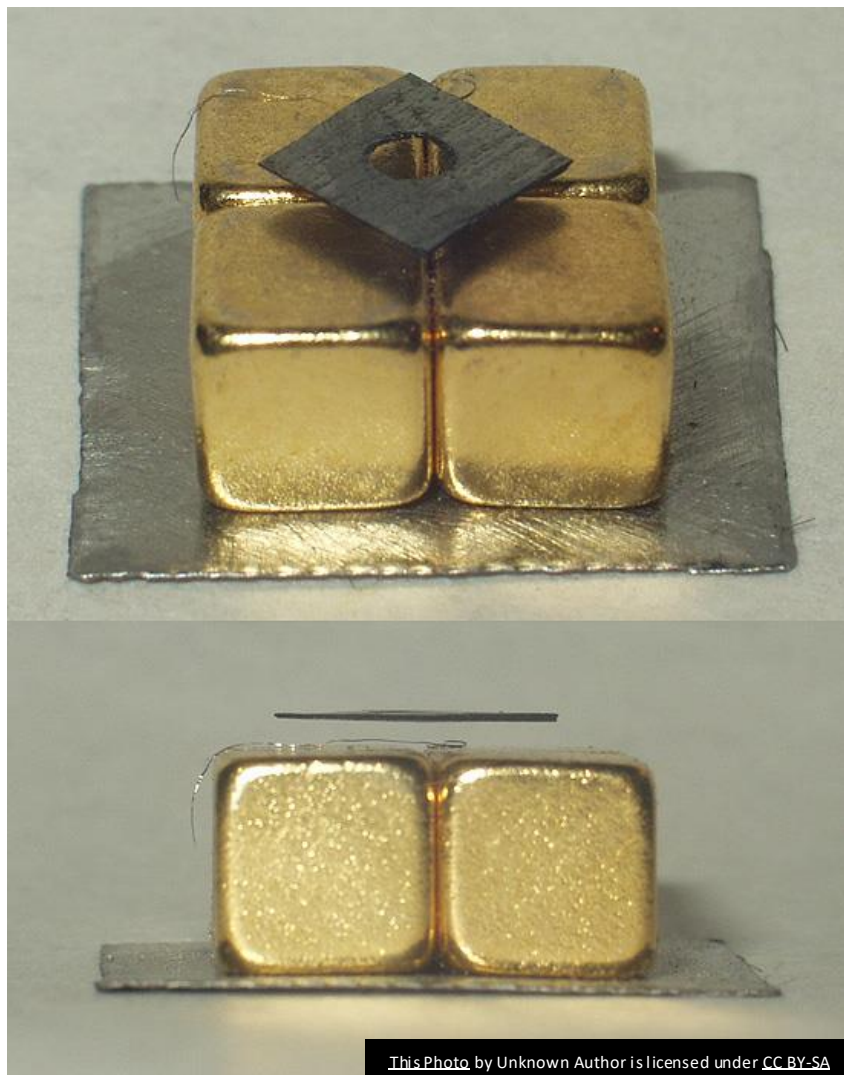
This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Magnetilised materjalid

Magnetilised materjalid on ained, mida iseloomustavad nende vastus magnetväljale. Need jagunevad laias laastus nelja põhiklassi, millest igaühel on oma unikaalsed omadused ja rakendused.

2. Paramagnetilised materjalid:

- Omadused: Paramagnetilised materjalid on nõrgalt magnetiseeritavad magnetvälja suunas ja kaotavad oma magnetismi, kui väline magnetväli eemaldatakse. Nad on tavaliselt iseloomustatud positiivse magnetilise läbitavusega.
- Näited: Alumiinium, plaatina, õhk, oksiidid nagu raud(III)oksiid (Fe_2O_3).
- Rakendused: Kasutatakse teadusuuringutes ning mõnedes tehnoloogiates, kus on vaja ära kasutada nende magnetilist käitumist.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-SA

Magnetilised materjalid

3. Ferromagnetilised materjalid:

- Omadused: Ferromagnetilised materjalid on need, mida tavaliselt mõeldakse, kui räägitakse magnetitest. Need on tugevalt magnetiseeritavad nii magnetvälja suunas kui ka pärast selle eemaldamist. Neil on suur magnetiline läbitavus ja nad võivad näidata hüstereesi.

Näited: Raud, nikkel, koobalt ja nende sulamid, samuti mõned haruldaste muldmetallide ühendid.

Rakendused: Kasutatakse laialdaselt alates tavalistest külmpapimagnetitest kuni kõvaketaste, elektrimootorite ja generaatoriteni.



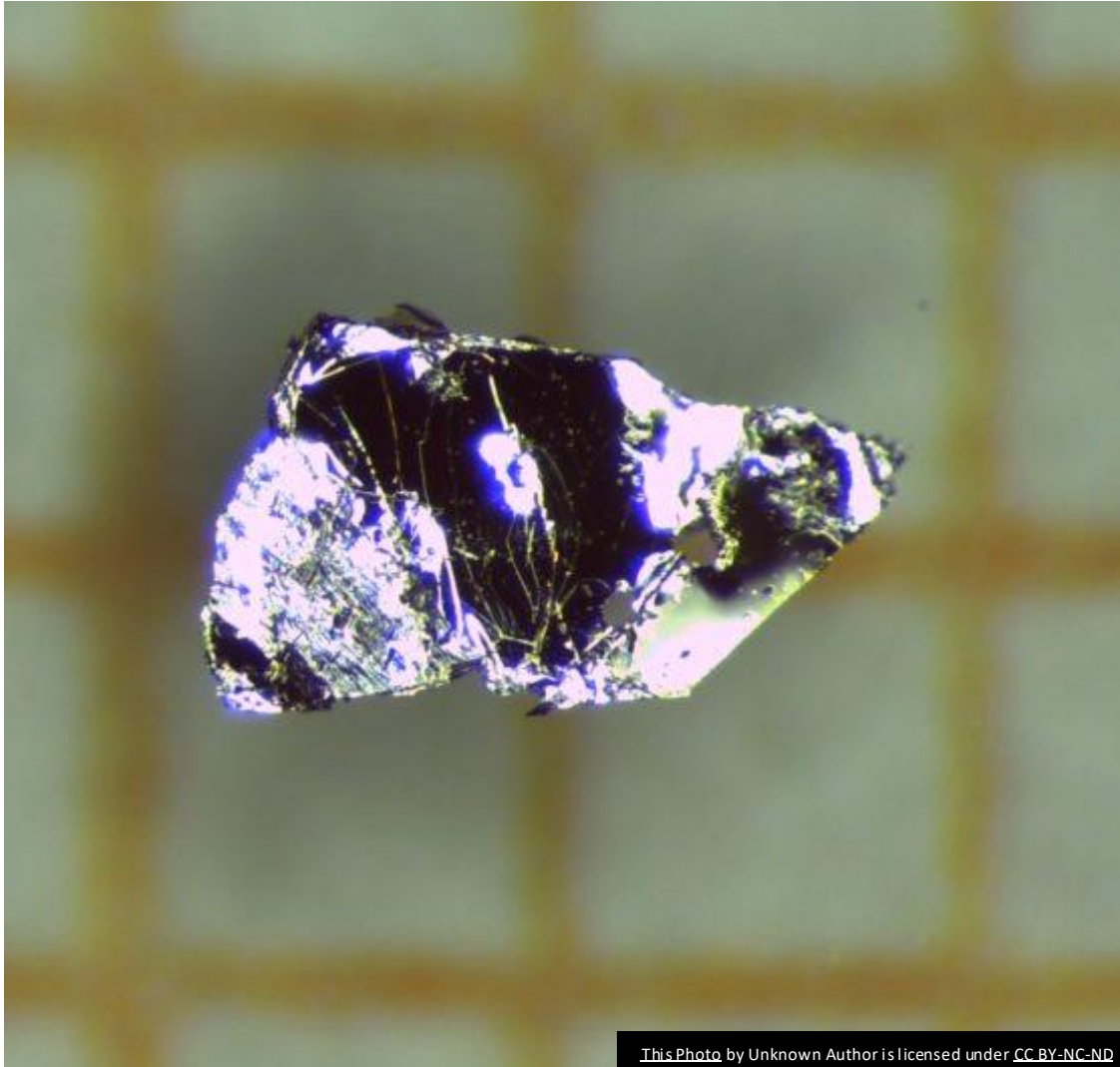
Magnetilised materjalid

4. Antiferromagnetilised materjalid:

- Omadused: Antiferromagnetilistes materjalides paiknevad magnetilised momendid on korraldatud selliselt, et iga hetk kompenseerib oma naabri hetke, põhjustades seeläbi üldise magnetilise momendi puudumise.

Näited: Mangaanoksiid, raudoksiidid, nikkeloksiid ja mõned legeeritud sulamid.

Rakendused: Need on olulised teadusuuringutes ja mõnedes tehnoloogilistes rakendustes, kus kasutatakse ära nende temperatuuril põhinevaid magnetilisi omadusi.



This Photo by Unknown Author is licensed under CC BY-NC-ND

Magnetilised materjalid

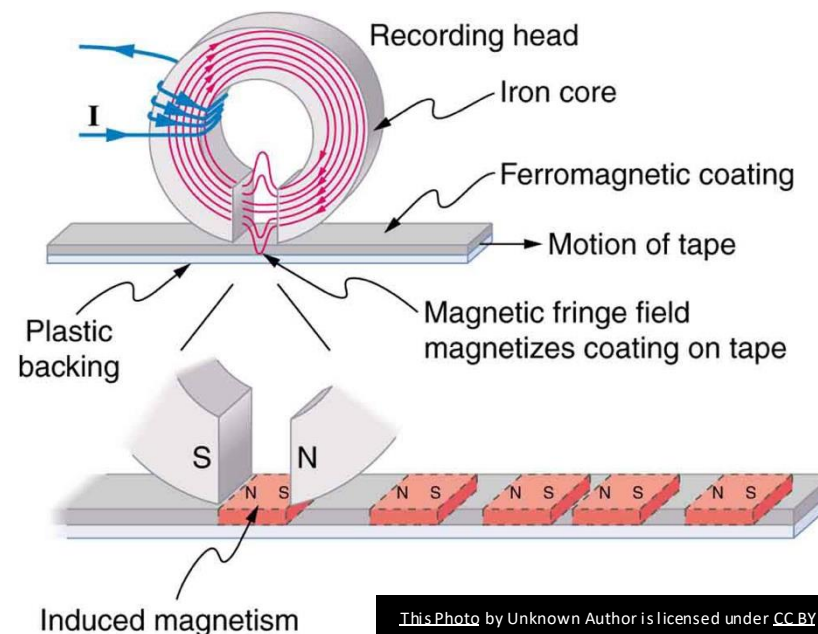
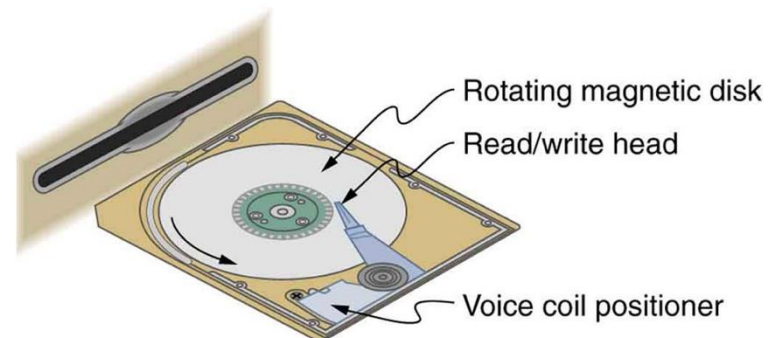
Lisaks on olemas ka **ferrimagnetilised materjalid**:

- Omadused: Ferrimagnetism on sarnane ferromagnetismiga, kuid põhineb materjali erinevat tüüpi ionide magnetiliste momentide erineval korraldusel, mis ei kompenseeri täielikult üksteist.

Näited: Magnetiit (Fe_3O_4) ja teised ferriidid.

Rakendused: Kasutatakse magnetilistes salvestusseadmetes, trafo südames, mikrolaineahjude komponentides jne.

Iga klassi materjalide magnetilised omadused on määratud nende aatomite ja molekulide sisemise struktuuri ning elektronide paigutusega. Rakendused ulatuvad igapäevastest esemetest kuni kõrgtehnoloogil



Magnetiliste materjalide omadused

Küllastus: Punkt, kus materjal ei suuda enam suurendada oma magnetisatsiooni rakendatud magnetvälja suurenemisel.

Hüsterees: Nähtus, kus materjali magnetisatsioon on jäänud alles pärast välise magnetvälja eemaldamist.

Permeaablus: Materjali võime toetada magnetvälja loomist.

Koertsiivus: Välise magnetvälja tugevus, mis on vajalik materjali magnetisatsiooni nullini viimiseks pärast magnetiseerimist.

Magnetiliste materjalide omadused

Küllastus: Punkt, kus materjal ei suuda enam suurendada oma magnetisatsiooni rakendatud magnetvälja suurenemisel.

Magnetilise küllastumise protsess:

Kui magnetilist materjali hakatakse väliste magnetväljadega magnetiseerima, hakkavad materjali domeenid ehk mikroskoopilised magnetilised alad joonduma välise magnetvälja suunas. Alguses on domeenide liikumine suhteliselt kerge ja magnetisatsiooni tõus on kiire. Kuid kui suurem osa domeenidest on joondunud, muutub iga täiendav magnetisatsiooni suurenemine järjest raskemaks.

Magnetiliste materjalide omadused

Küllastumise Füüsikalised Omadused:

- **Domeenide Joondumine:** Kui kõik magnetilised domeenid on välise magnetväljaga joondunud, ei saa magnetisatsioon enam suureneda, mis tähendab, et materjal on saavutanud küllastuse.
- **Maksimaalne Magnetisatsioon:** Küllastumise tasemel saavutab materjal oma maksimaalse magnetisatsiooni, mida ei saa enam suurendada isegi mitte tugevama magnetväljaga.
- **Materjali Omadused:** Küllastusomadused sõltuvad materjali tüübist ja võivad varieeruda olenevalt koostisest ja mikrostruktuurist.

Küllastumise Praktiline Tähtsus:

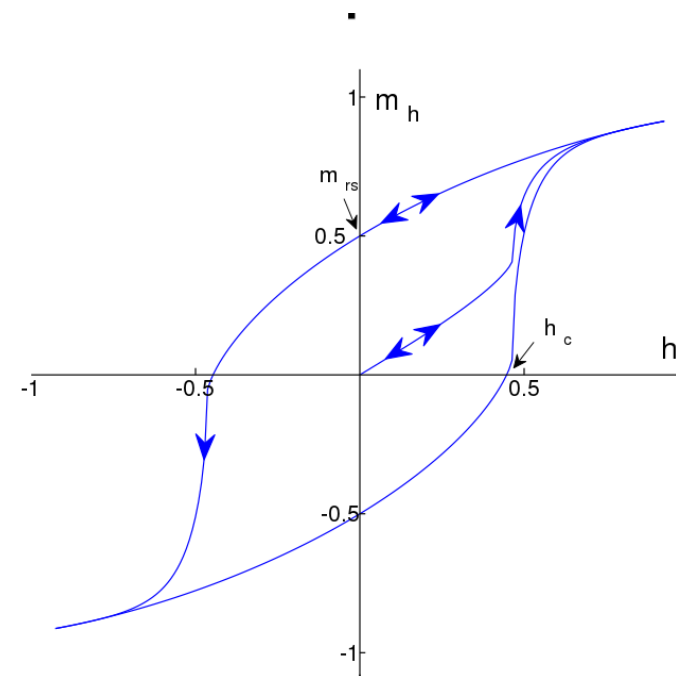
- Elektromagnetite Disain: Elektromagnetite, transformaatorite ja induktiivkomponentide disainis on küllastus kriitilise tähtsusega, sest see määrab maksimaalse magnetvoo tiheduse, mida materjal suudab taluda.
- Energiakadude Minimeerimine: Küllastuse mõistmine aitab vähendada energiakadusid seadmetes, mis töötavad suurte magnetvoogudega, kuna küllastusest kõrgemal töötamine võib põhjustada soovimatuid hüstereesi ja soojuskadusid.
- Magnetmaterjalide Valik: Erinevatel magnetmaterjalidel on erinevad küllastusmagnetisatsiooni tasemed. Insenerid peavad valima õige materjali, mis suudaks toime tulla konkreetse rakenduse magnetväljade nõuetega ilma küllastumiseta.

Magnetiliste materjalide omadused

Hüsterees: Nähtus, kus materjali magnetisatsioon on jäänud alles pärast välise magnetvälja eemaldamist.

Hüstereesi Omadused:

- Magnetiseerimise ja Magnetvälja Viivitus: Kui magnetväli suureneb, magnetiseerub materjal, kuid kui väli kahaneb, ei vähene magnetisatsioon kohe samal määral. Selle tulemuseks on silmusekujuline graafik, mida nimetatakse hüstereesi silmuseks.
- Jääkmagnetism: Kui välise magnetvälja tugevus väheneb nullini, jääb materjalile teatud magnetisatsiooni tase, mida nimetatakse jääkmagnetismiks või remanentsiks.
- Koertsivjõud: Selleks, et viia magnetisatsioon tagasi nullini pärast seda, kui magnetväli on eemaldatud, on vaja rakendada vastassuunalist magnetvälja. Selle välja tugevust nimetatakse koertsivjõuks.

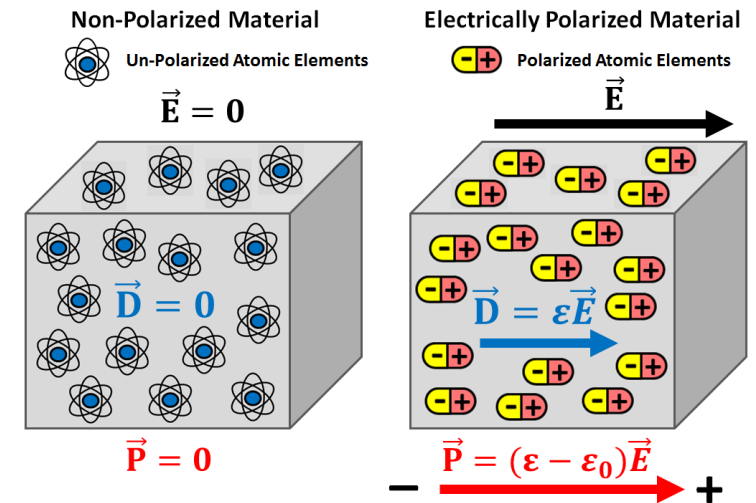


Magnetiliste materjalide omadused

Permeaablus: Materjali võime toetada magnetvälja loomist. Permeaablus on füüsikaline omadus, mis iseloomustab materjali võimet toetada magnetvälja loomist ehk kui hästi materjal võimaldab magnetvälja läbida. See on oluline parameeter magnetmaterjalide puhul ja seda mõõdetakse tavaliselt mikro- või milli-henrides meeter kohta ($\mu\text{H/m}$ või mH/m).

Permeaabluse Omadused:

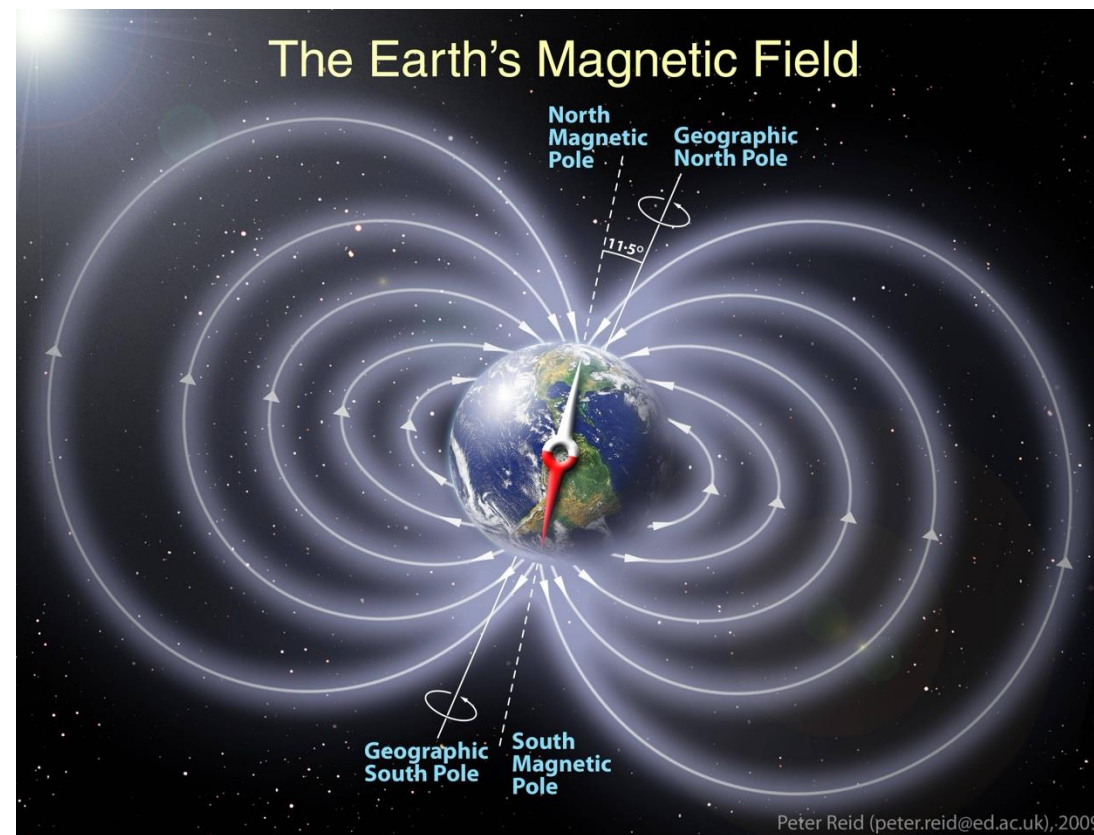
- Kõrge Permeaablusega Materjalid: Need materjalid, nagu pehme raud või erinevad rauasulamid, võimaldavad magnetvälja kergesti läbida ja neid kasutatakse sageli südamikuna transformaatorites ja induktorites, et suurendada magnetilist vastastikmõju.
- Madala Permeaablusega Materjalid: Sellised materjalid nagu õhk või vaakum on magnetväljade suhtes palju läbitungimatumad. Nende materjalide magnetilisi omadusi kasutatakse sageli referentsina, mille suhtes mõõdetakse teiste materjalide permeaablust.



Magnetiliste materjalide omadused

Koertiivsus: Välise magnetvälja tugevus, mis on vajalik materjali magnetisatsiooni nullini viimiseks pärast magnetiseerimist.

Koertiivjõu mõõtmisel suurendatakse rakendatava välise magnetvälja intensiivsust vastassuunas, kuni materjali magnetisatsioon on täielikult kõrvaldatud. Koertiivsus on see välja tugevus, mis on selleks vajalik. See on hüstereesi silmusel selgelt nähtav punkt, kus magnetisatsioonikõver ületab magnetvälja tugevuse telge (H-telg) nullpunktis.



Füüsikalisi ja keemilisi suurused

Füüsikalised Suurused:

1. Magnetiline Moment (μ):

- Magnetilise objekti võime tekitada magnetvälja; seotud objekti magnetiliste dipoolide tugevuse ja suunaga.

2. Magnetväli (B):

- Ruumi punktis valitsev magnetiline jõud; väljendatud teslades (T), mis määrab magnetilise jõu, mis mõjub liikuvatele laetud osakestele ja magnetilistele momentidele selles punktis.

3. Magnetilise Välja Tugevus (H):

- Sageli lihtsalt magnetväli; mõõdetakse amprites meetri kohta (A/m) ning iseloomustab magnetvälja tugevust ja suunda.

4. Permeaablus (μ):

- Materjali võime toetada magnetvälja loomist, mõõdetakse henries meetri kohta (H/m) või (N/A^2).

5. Suskeptiiblus (χ):

Näitab, kui suurel määral materjal magnetiseerub vastuseks välimisele magnetväljale; dimensioonitu suurus, mis iseloomustab materjali vastuvõtlikkust magnetiseerumisele.

6. Küllastusmagnetisatsioon (J_s):

Maksimaalne magnetisatsioon, mida materjal saab saavutada, enne kui edasine magnetväli ei suurenda enam magnetisatsiooni.

7. Koertsiivjõud (H_c):

Välise magnetvälja tugevus, mis on vajalik materjali magnetisatsiooni nullini viimiseks pärast magnetiseerimist.

8. Remanents (J_r):

Jääkmagnetism, mis püsib pärast välise magnetvälja eemaldamist.

Füüsikalisi ja keemilisi suurused

Magnetismi ja magnetiliste materjalide iseloomustamiseks kasutatakse erinevaid füüsikalisi ja keemilisi suurusi. Need suurused aitavad mõista materjali magnetilisi omadusi ja käitumist väliste magnetväli mõjul. Siin on mõned peamised suurused ja mõisted:

Keemilised Suurused:

1. **Elektronide Spin:**

- Elektronide kvantmehaaniline omadus, mis on seotud magnetismiga; elektronide spinnid võivad olla paralleelsed või antiparalleelsed, mõjutades materjali magnetilisi omadusi.

2. **Orbitaalne Magnetmoment:**

- Elektronide orbitaalne liikumine aatomi ümber tekitab magnetmomendi, mis on samuti magnetismi allikas.

3. **Valents:**

- Mõjutab aatomi või molekuli võimet luua sidemeid, mis võivad mõjutada magnetilisi omadusi sõltuvalt struktuurist ja keemilistest sidemetest.

4. **Kristallstruktuur:**

- Materjali aatomite või ioonide paigutus ruumis, mis mõjutab magnetiliste domeenide käitumist ja üldist magnetilist käitumist.

5. **Keemiline Koostis ja Ligandid:**

- Keemiliste elementide ja nende ligandide tüübid mõjutavad materjali magnetilisi omadusi, kuna erinevad elemendid ja nende kombinatsioonid võivad mõjutada elektronide spinide konfiguratsiooni.

Need suurused on fundamentaalsed magnetismi mõistmisel ning võimaldavad teadlastel ja inseneridel projekteerida ja arendada uusi magnetilisi materjale ning optimeerida olemasolevaid materjale erinevateks rakendusteks, alates andmesalvestusest kuni elektriliste ja meditsiiniliste seadmet