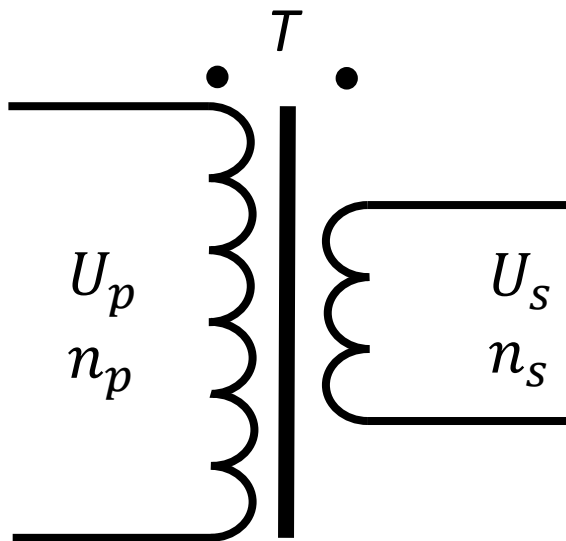


# TRAFO

Trafo on magnetahelatel ja mähistel põhinev elektriaparaat pinge väärtuse muundamiseks. Lihtne trafo koosneb primaar- ja sekundaarmähisest. Punkt tingmärgil märgib mähise algust – kui punktid on samal poolel, on mähised keritud samasuunaliselt. Keerdude arv -  $n$



Ideaalse (kadudeta) trafo korral

$$U_s = U_p * \frac{n_s}{n_p}$$

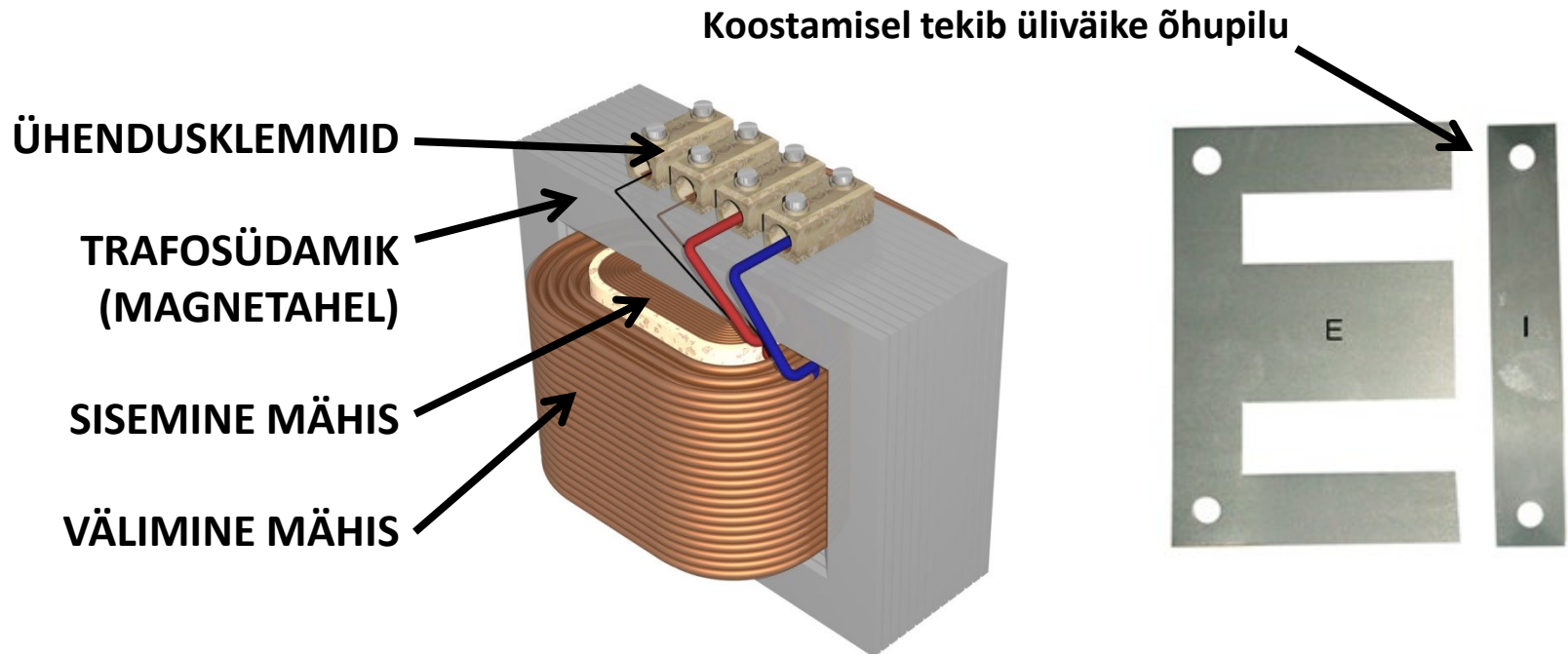
$$I_s = I_p * \frac{n_p}{n_s}$$

$$P_s = U_p * \frac{n_s}{n_p} * I_p * \frac{n_p}{n_s} = U_p * I_p = P_p$$

$$L_s = L_p * \left( \frac{n_s}{n_p} \right)^2$$

# TRAFO

Reaalse trafo mähistel on ka aktiivtakistus, kuna arusaadavatel põhjustel peab traadi läbimõõt olema selline, et keerud ära mahuksid. Kadusid mähistes nimetatakse **VASESKADUDEKS**. Primaarmähis võib olla nii sisemine kui välimine. Samuti on trafoplekkidest magnetahelal teatavad optimaalsed mõõdud – mida suurem magnetahel, seda suuremad kaod ning ka mähise keerupikkus suureneb. Kadusid magnetahelas nimetatakse **RAUASKADUDEKS**. Seetõttu keritakse mähised teatavate empiiriliste valemite ja tabelite järgi, mis tagab summarselt kõige optimaalsemad kaod.



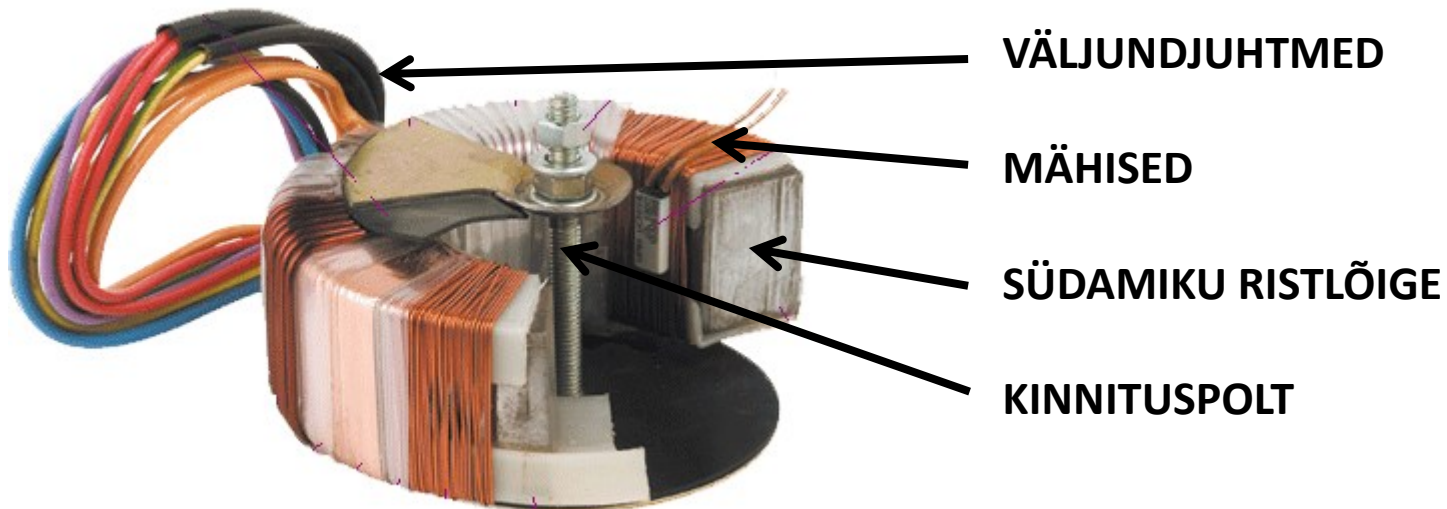
# TRAFO

Trafo magnetahel on koostatud õhukesest elektrotehnilisest terasplekist. Elektrotehniline teras on spetsiaalne sulam, mis tagab väiksed übermagneetumis(hüstereesi)kaod. Paksus enamasti suurusjärgus 0.2 – 0.5mm. Õhuke leht, mille pind on lakiga elektriliselt isoleeritud, tagab väiksemad pöörisvoolukaod. Pöörisvoolukaod sõltuvad sagedusest. Elektrotehnilisest terasest trafod on kasutuses reeglina 50 / 60Hz sagedusel, erijuhtudel ka kuni 10kHz. Lint ei saa olla lõputult õhuke, kuna ka isoleerkihil on teatav paksus – isolatsiooni ja terase suhe halvendab südamikku ristlõiget. Kõrgematel sagedustel kasutatakse ferriitsüdamikke, mis on pressitud monoliitsetest keraamikasarnasest materjalist mille elektrijuhtivus on vilets – ja seetõttu ka pöörisvoolud takistatud.



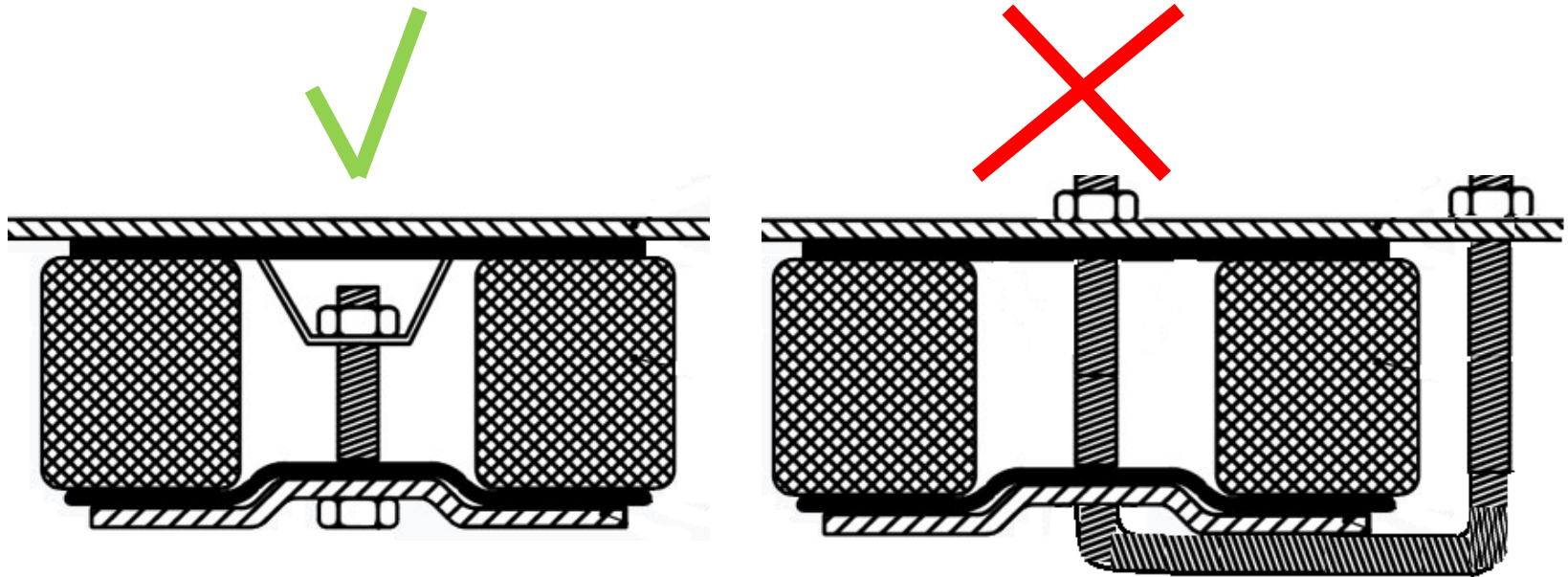
# TOROIDTRAFO

Laialt kasutatakse ka lindist keritud rõngassüdamikuga toroidtrafosid. Nende eeliseks on väiksemad puusteväljad, puuduseks keerulisem valmistustehnoloogia ning suurem käivitusvooluimpulss – käivitusvoolu impulss sõltub magnetahelas olevast õhupilust, mis E südamikel on paratamatu (kuigi üliväike) kuid toroidsüdamikel puudub see täielikult



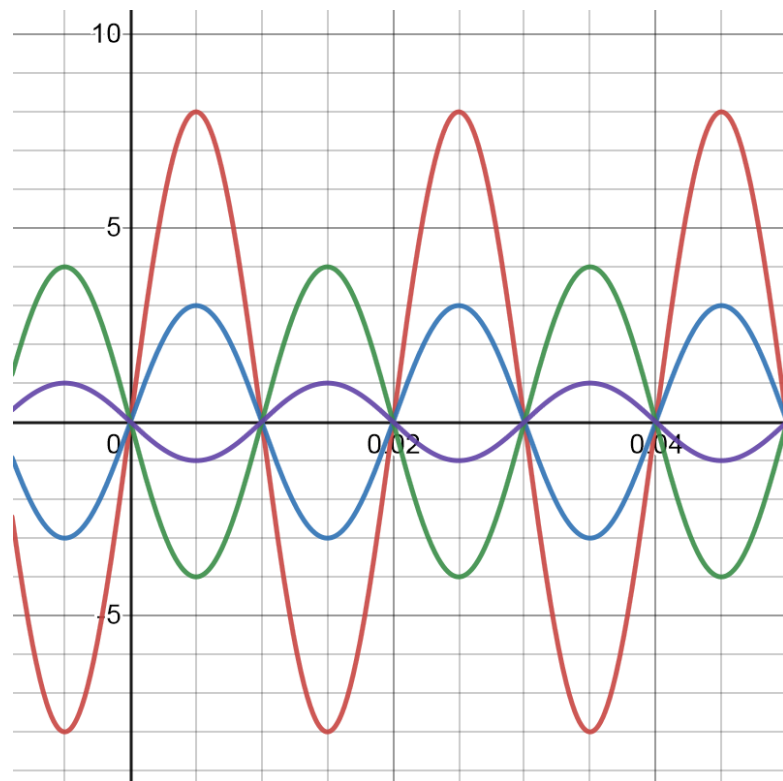
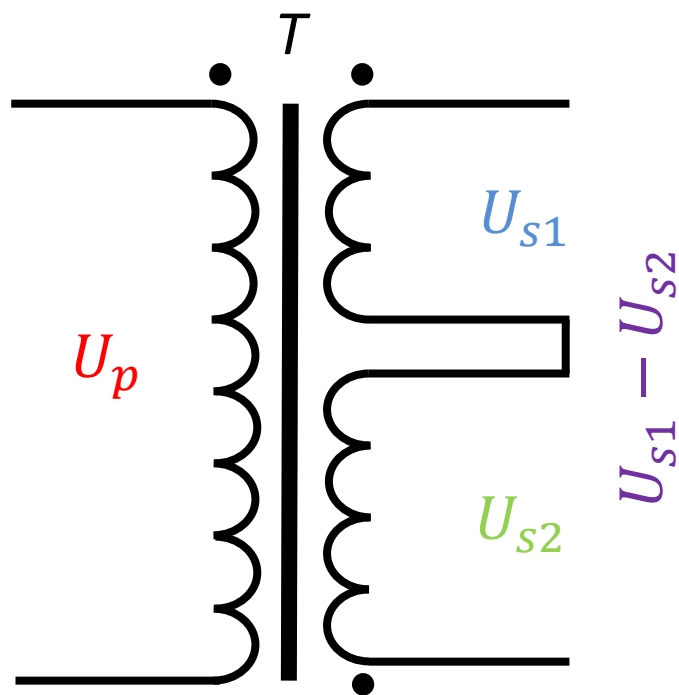
# TOROIDTRAFO

Oluline info toroidtrafo monteerimisel. Miks ei  
või kinnitada U-klambriga ?



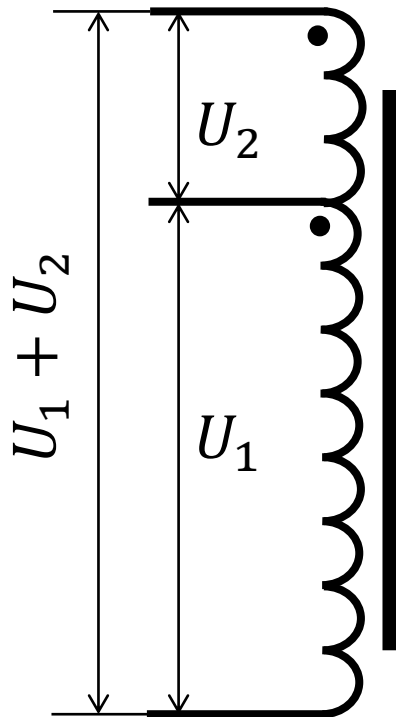
# TRAFO

Trafol võib olla mitmeid mähiseid. Trafo mähise kerimise suunast sõltub, kas sisend-väljund signaal on faasis või vastandfaasis. Trafo mähiste pingeid võib liita ja lahutada (kui mähised on vastandfaasis)

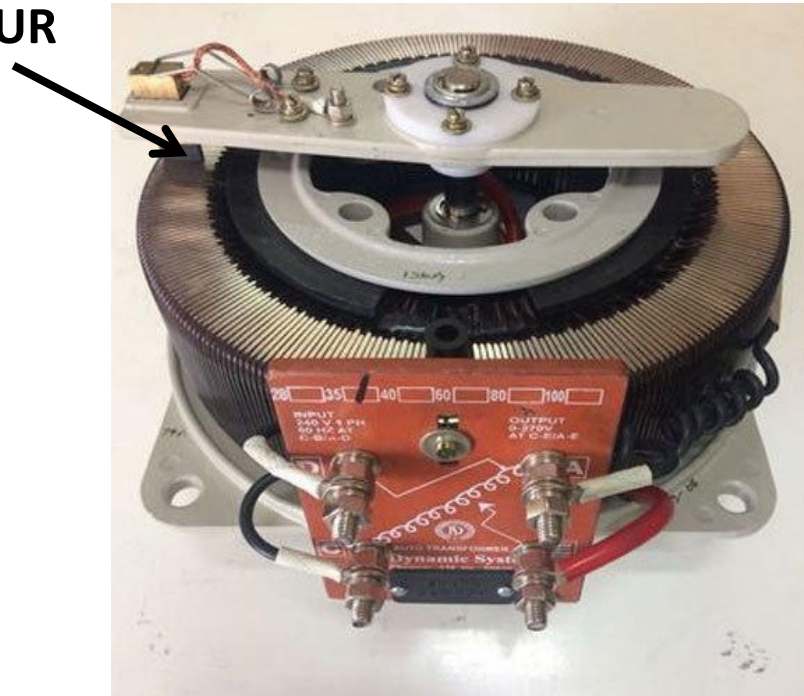


# AUTOTRAFO

Kui trafomähised ei ole omavahel galvaaniliselt isoleeritud, siis nimetatakse seda autotrafoks. Autotrafot kasutatakse näiteks võrgupinge tõstmiseks pika toiteliini lõpus. Sama ülekandesuhte saavutamiseks kulub ligi 2x vähem vaske, kuid puudub galvaaniline isolatsioon. Autotrafo mähise keskmine ühendus võib olla ka liuguriga, siis saame väljundpinget reguleerida

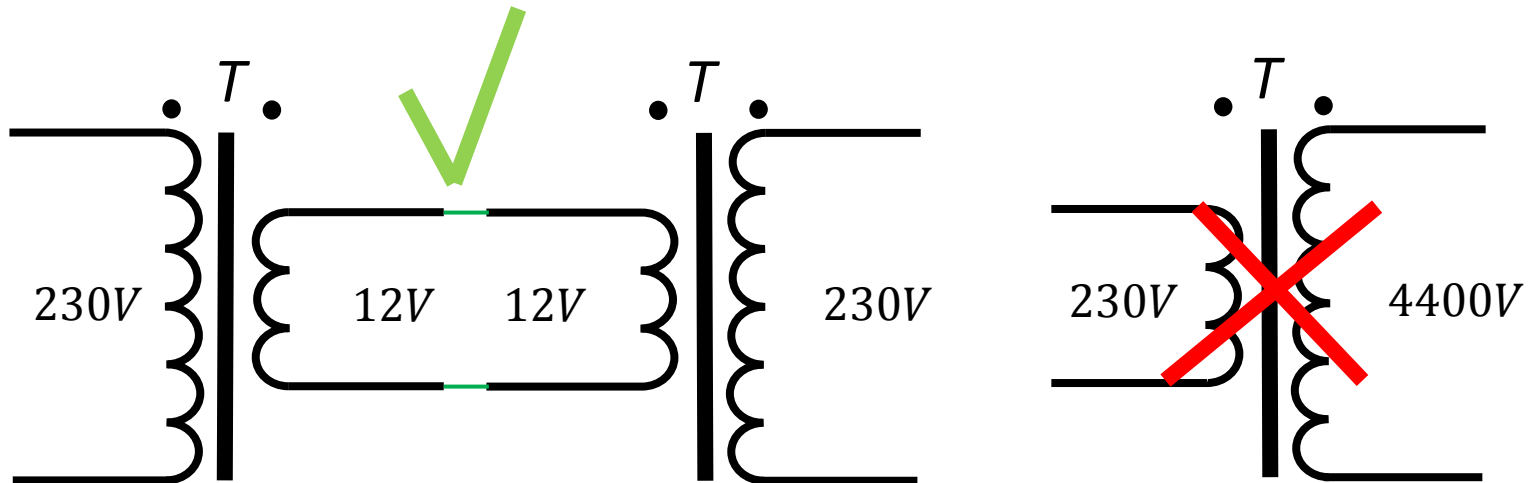


LIUGUR



# TRAFO ON SÜMMEETRILINE

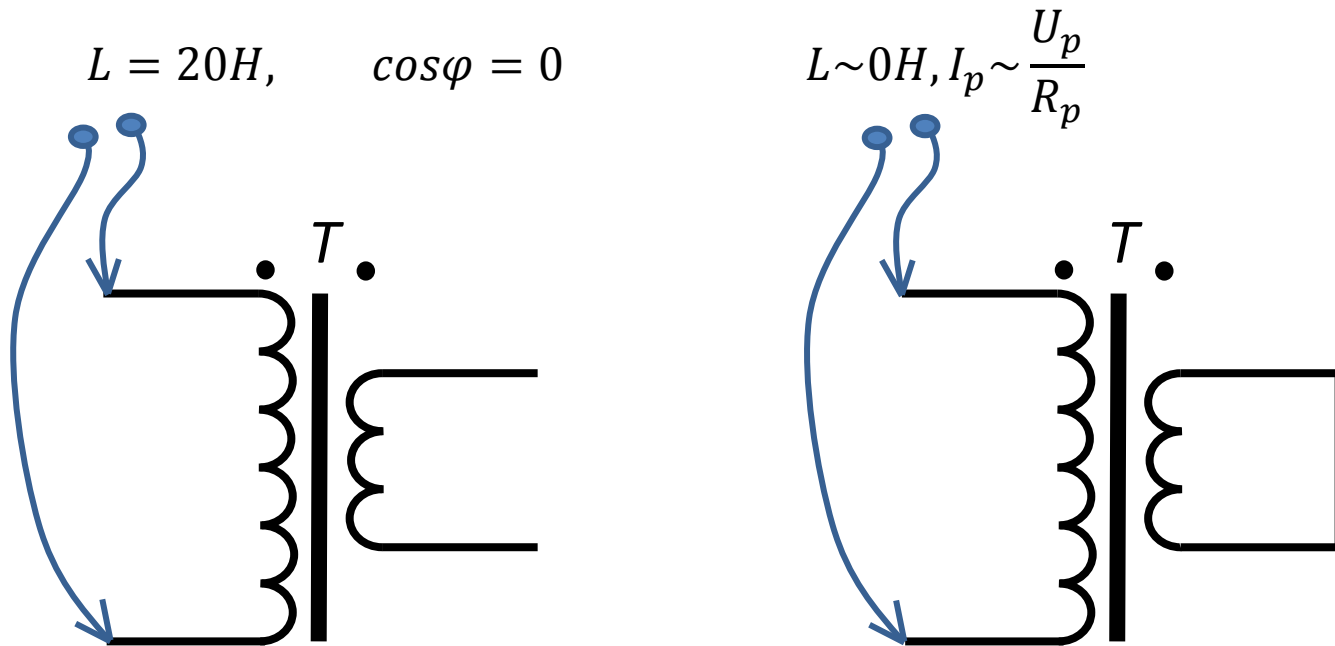
Sama trafoga võib teha kõrgest pingest madala kui ka madalast pingest kõrge. Siiski ei tohi ületada ühegi mähise lubatavat pinget (sildipinget), muidu läheb südamik küllastusse ning trafo ei tööta enam trafona.





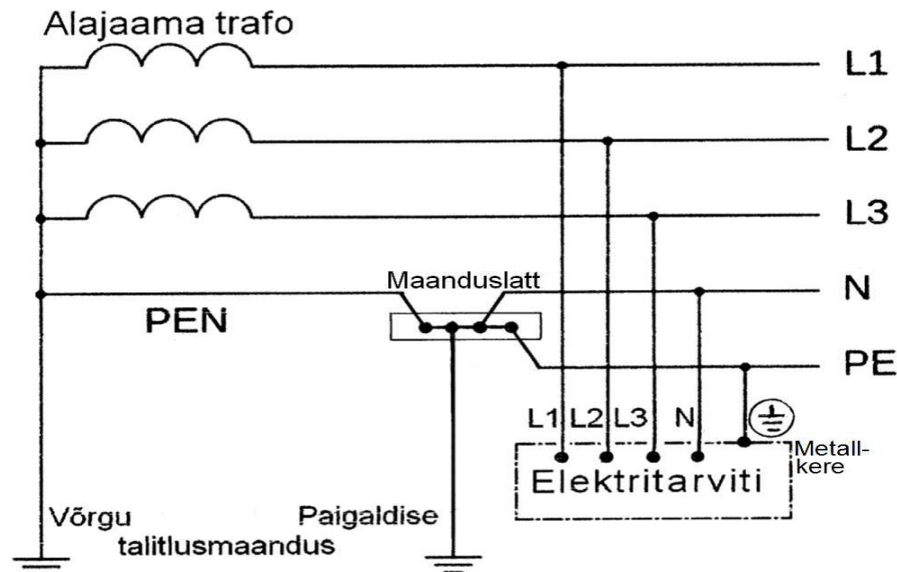
# TRAFO EI OLE DROSSEL

Trafo on induktiivsus, kuid seda ainult siis kui teised mähised ei ole koormatud. Koormamata trafo  $\cos\phi$  on praktiliselt 0, aktiivkoormusega trafo  $\cos\phi > 0.9$ . Kui sekundaarmähis on lühistatud, piirab praktikas voolu ainult primaarmähise aktiivtakistus – mis tähendab  $>10x$  nimivoolu



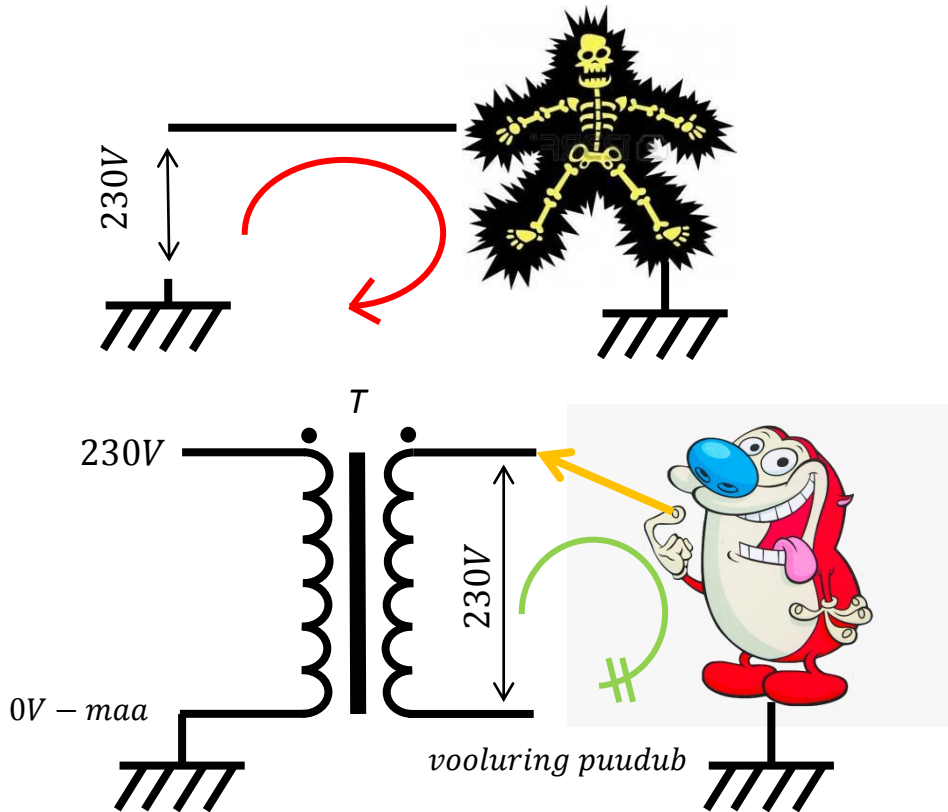
# ELEKTRIVARUSTUS

Eestis on kasutusel nn PEN süsteem, nimipinge 230VAC (faasi ja nulli vahel, L-N) ja 400VAC (2 faasi vahel, L-L). PE – see on kaitsemaandus, milles töövoolu ei liigu. PE juhtmes liigub ainult varjestusest ning filtritest lekkiv vool ning avarii korral (metallkorpus lühises faasiga) lühistab see faasi ning loodetavasti rakendab automaatkaitsme



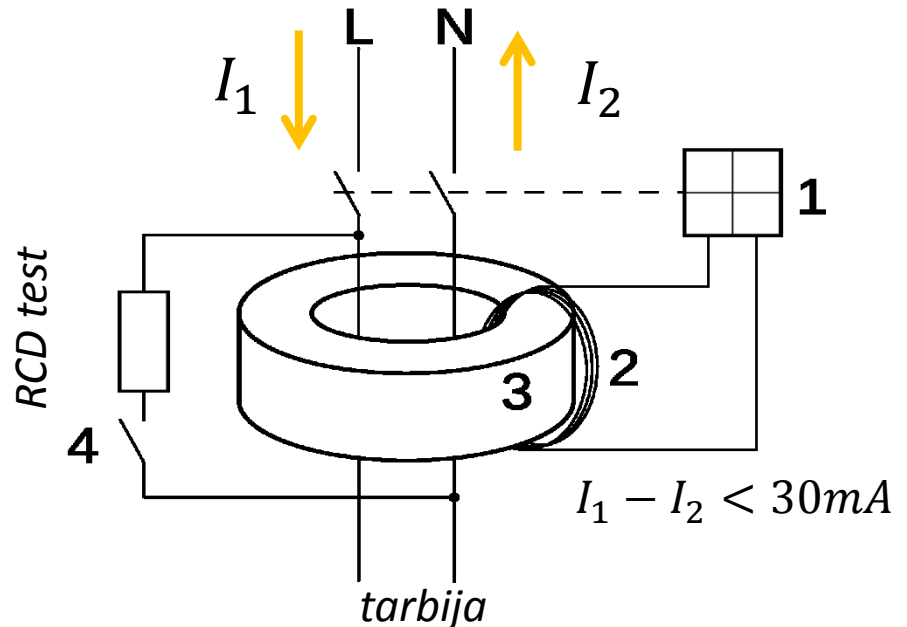
# ISOLATSIOONITRAFO

1:1 ülekanadesuhtega trafosid kasutatakse tarbija eraldamiseks vooluvõrgust kohtades kus on vajalik eriti kõrge ohutus – basseinivalgustus, meditsiiniseadmed jms. Tegemist on parendatud isolatsiooniga trafoga, millel on vastavad tähised. Muidu on tegemist igatpidi tavalise trafoga, vahel on sekundaarmähisel ka väljavõtted pinge teatud ulatuses reguleerimiseks.



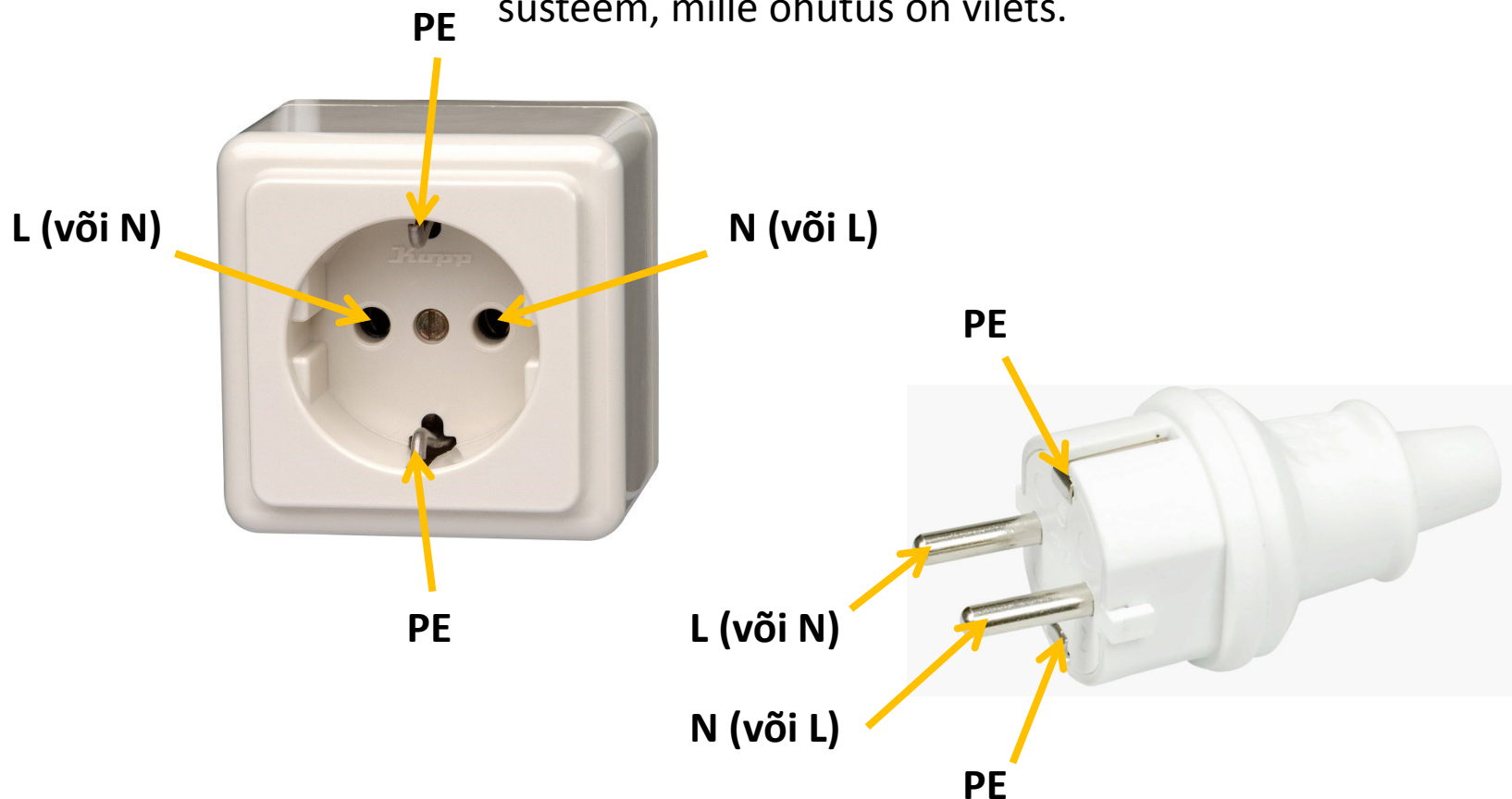
# RIKKEVOOLUKAITSE

Rikkevoolukaitse (RCD, *residual current device*) – rakendub juhul, kui vool, mis jookseb mööda faasi, ei tule tagasi mööda nulljuhet. Eestis peavad kõik pistikupesad olema kaitstud 30mA rikkevoolukaitsega (teatud juhul ka 10mA, nt märgruumid). See tähendab, et kui inimene saab elektrilöögi, mille vool  $>30\text{mA}$  ( $>10\text{mA}$ ), siis kaitse rakendub. Rikkevoolukaitseid tuleb kilbis testida – neil on nupp „test“ mis ühendab faasi ja kaitsemaa PE vahele takisti ja seepeale peab toimuma rakendumine. 3f rikkevoolukaitse on analoogselt ehitusega, lihtsalt mõõteseadet läbib 3 faasi. Kahe erineva rikkevoolukaitse taga olevate pistikupesade nulljuhtmeid ei tohi kokku ühendada, muidu kaitsmed rakenduvad.



# ELEKTRIVARUSTUS

Eestis kasutatakse allolevat tüüpi ühefaasilist toitepesa. Kuna läksime euroopa standartitele üle suhteliselt hiljuti – siis seetõttu on meil vahest ehk kasutusel parim lahendus. Okupatsiooni ajal oli meil kasutusel kahejuhtmeline, ilma kaitsemaata süsteem, mille ohutus on vilets.



# ELEKTRIVARUSTUS

Kolmefaasilised tarbijad on tihtilugu permanentselt (klemmidega) võrku ühendatud, kuid vajadusel kasutatakse IEC 60309 tüüpi pesasid-pistikuid. Eestis levinud 3 tüüpi – CEE16, CEE32 ja CEE63, vastavalt 16,32 ja 63A maksimumvool



paneelile monteeritav pesa (32A)



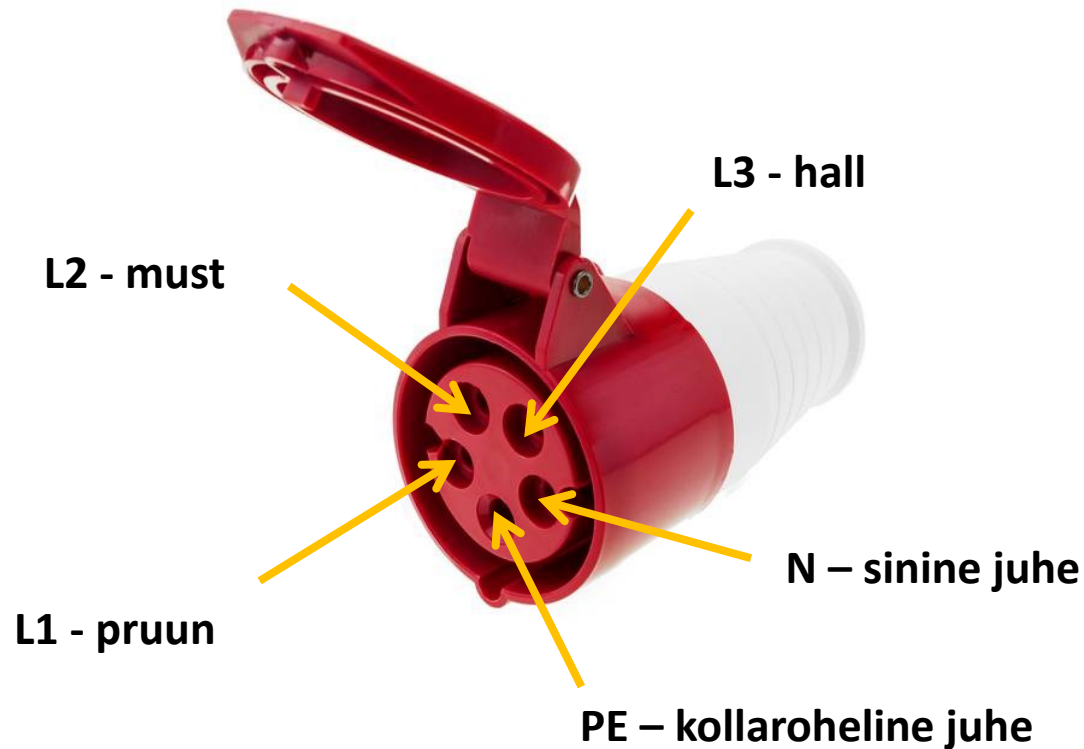
kaablipistikud

kaablipesa (32A)



# ELEKTRIVARUSTUS

Kolmefaasilise pistiku ühendamise on ja ilmselt jääb elektrikute jaoks suureks müsteeriumiks. Seetõttu on mõistlik tähele panna alljärgnevat



# ELEKTRIVARUSTUS

|   |  |
|---|--|
| <b>Kaablis ei ole halli soont, ainult mustad (ja/või pruunid)</b> | <b>L1, L2, L3 võib ühendada musta, pruuni, halli alla – seejuures võib muutuda faasijärjestus</b>                    |
| <b>Sinine juhe kasutusel faasina</b>                              | <b>Ei tohi, väga ohtlik viga !</b>   |
| <b>Sinine juhe puudub – kaablis on ainult 4 soont</b>             | <b>Ei ole probleemiks, kui koormuseks on 3f mootor. 1f tarbijaid ei saa kasutada</b>                                 |
| <b>Kollaroheline juhe puudub</b>                                  | <b>Ei tohi, ohutus pole tagatud</b>  |
| <b>Sinine ja kollaroheline vahetuses või kokku ühendatud</b>      | <b>Ei tohi, ohtlik !</b>   |
| <b>Kõik on OK, ainult et mootor käib valetpidi ringi !</b>        | <b>Vahetage omavahel kaks L – juhet, nt L1-&gt;L2 ja L2-&gt;L1</b>   |
| <b>Pikendusjuhtmel on mõlemas otsas pistik</b>                    | <b>Kohutavalt ohtlik ja loll tegu, otsige süüdlane ja karistage ! Raiuge pistikud kirvega maha ja visake minema.</b> |
| <b>Ei ole ühendatud kõik 3 faasi</b>                              | <b>3f mootorid ei pöörle aga ühefaasiliste tarbijate korral lihtsalt osad tarbijad ei tööta</b>                      |



# ELEKTRIVARUSTUS



- Pistikud peavad olema mehhaaniliselt terved
- Klemmid ei tohi olla vigastatud
- Kaabel ei tohi olla vigastatud
- Kaabli väliskest peab olema korrektselt kinnitatud pistiku külge ja vastav mutter pingutatud
- Pistiku sees juhtmed korrektselt kruvide all
- Juhtmed pistiku sees ei tohi olla mehhaanilise pinge all (isolatsioon veninud, osad kiud katki)
- Kui juhtmed pistiku sees vigastatud, siis tuleb pistik uuesti paigaldada, eelnevalt kaabliit jupp maha lõigata
- Juhtmevärvid ja pistikuklemmid korrektselt sobitatud, kontrolli 3x !

# ELEKTRIVARUSTUS



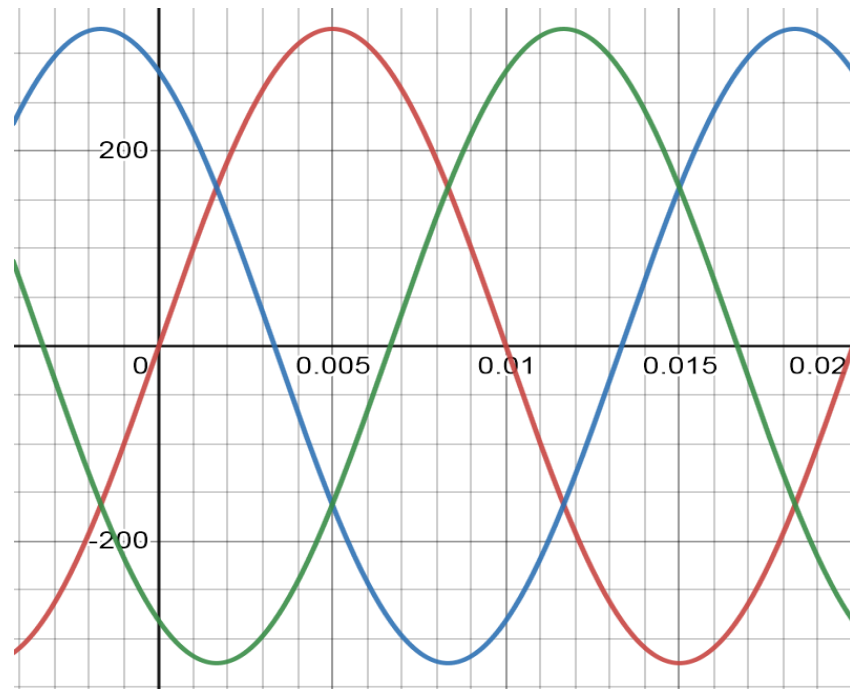
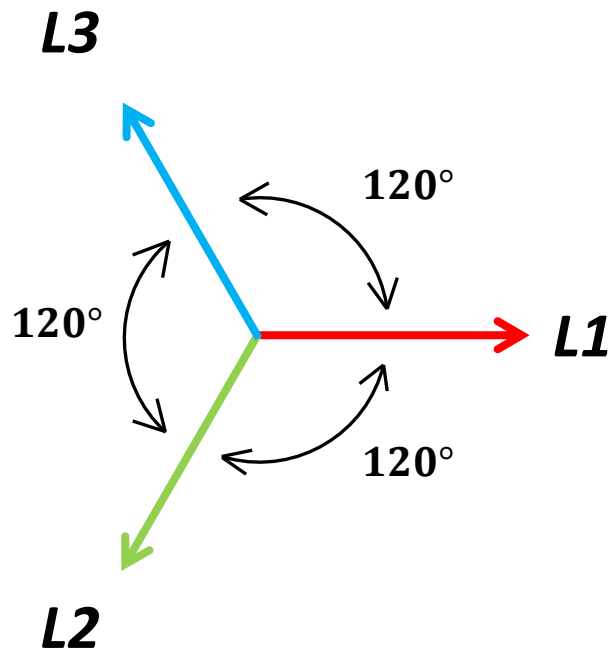
Kui tehases või objektil on laialt kasutusel 3f pistikud, siis tuleks kontrollida toitepesade faasijärjestust – selle jaoks on olemas faasijärjestuse määraja.

Kui hoolimata korrektsest faasijärjestusest töötab mõni seade ikka tagurpidi, siis tuleb faasijuhtmed vahetada omavahel SEADME SEES kuna ilmselt on seda kunagi varem tehtud, et kompenseerida objektil kahtlasevõitu pikendusjuhtmeid.

„Korralik vanakooli elektrik“ võitleb sellistele tegevustele vastu, kuid reaalsuses hoiab korrektne kaabeldus ja pikendusjuhtmed kõvasti aega kokku. Ning vales järjestuses faasid võivad teatud seadmeid rikkuda – näiteks teatud tüüpi pumbad !

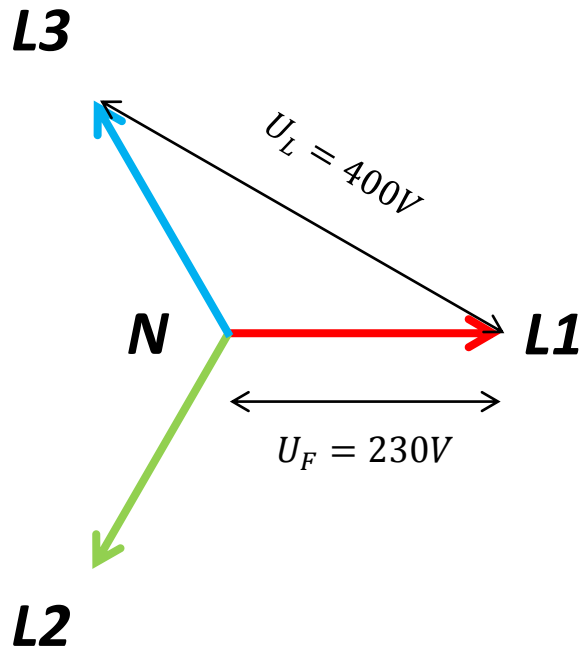
# 3FAASI

3faasi korral genereeritakse pinged 120 kraadise faasinihkega



# 3FAASI

Millised on pinged 3f süsteemis (Eesti toitevõrk) ?



Liinid L1, L2, L3 ja null N

Faasipinge on pinge nulljuhtme ja liinijuhtme vahel – L1-N, L2-N, L3-N. Eestis 230V

Liinipinge on pinge L1-L2 / L2-L3 / L3-L1  
Liinipinge väärtus  $U_L = \sqrt{3} * 230V = 400V$

See kehtib juhul, kui võrk on võimas ja tarbijad sümmeetrilised.

Miks on liinipinge kõrgem ? Kuskohast tuleb see  $\sqrt{3}$  ???

# 3FAASI

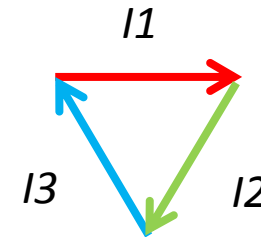
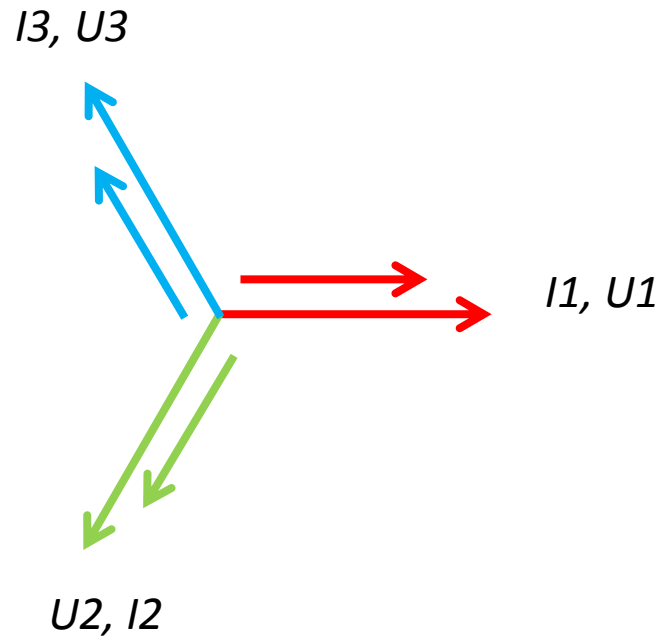
Tõestus on trigonomeetiline. See on toodud pigem näiteks, kuidas matemaatika on interdistsiplinaarne ja töötab iga ilmaga !

Avaldise alguses avaldame kahe faasipinge vahe. Seejärel kasutame trigonomeetrilise teisenduse valemit – siinuste summa teisendamine korrutiseks. Lihtsustame – ning lõpptulemuses on faasipinge kordaja ruutjuur kolmest. Perioodiline funktsioon siinus asendus teisenduse käigus koosinusega – kuid meid ei huvita faasinihe, vaid amplituud. Seega on kõik selge !

$$\begin{aligned}U_F \sin(\omega) - U_F \sin\left(\omega + \frac{2\pi}{3}\right) &= U_F * 2 \sin\left(\frac{\omega - \omega - 2\pi/3}{2}\right) * \cos\left(\frac{\omega + \omega + 2\pi/3}{2}\right) = \\ &= U_F * \left(2 * \frac{-\sqrt{3}}{2}\right) * \cos\left(\omega + \frac{\pi}{3}\right) = -\sqrt{3}U_F * \cos\left(\omega + \frac{\pi}{3}\right)\end{aligned}$$

# 3FAASI

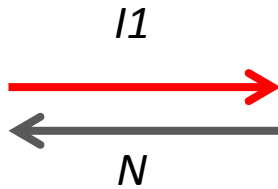
Millised on voolud 3f süsteemis ? Milline on vool nulljuhtmes ? Nulljuhtme vool on faasivoolude SUMMA. Arvutame vektorite abil ! Koormus on sümmeetriline (kõik faasid ühtlaselt koormatud).



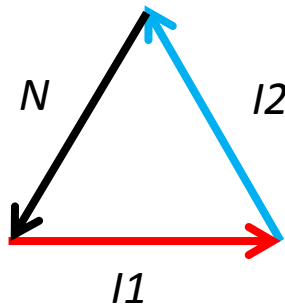
Summa on null – see tähendab et nulljuhtmes voolu ei ole !

# 3FAASI

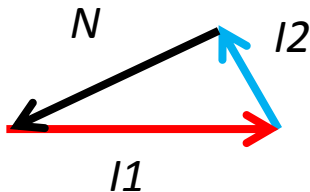
## Ebaühtlane koormus



Koormatud 1 faas – nulljuhtmes on vool sama suur



Koormatud 2 faasi võrdselt – nulljuhtmes vool **võrdne ÜHE faasi** vooluga. Huvitav .. ?



Koormatud 2 faasi ebavõrdselt. Nullivool **VEIDI VÄIKSEM** kui enamkoormatud faasil

# 3FAASI

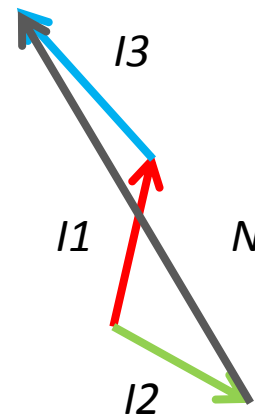
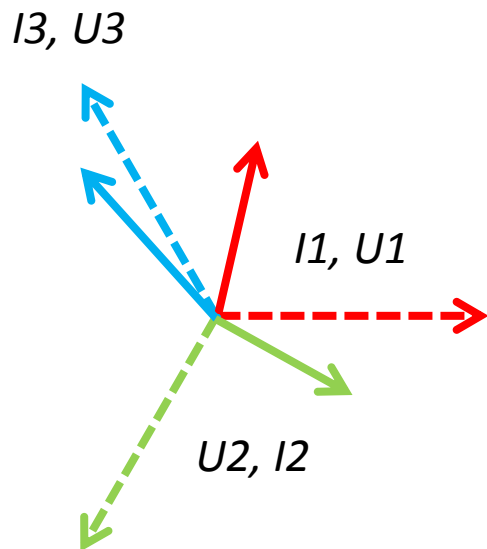
## Järeldused eelnevast

Kolmefaasilises süsteemis on nullivool võrdne või väiksem kui maksimaalselt koormatud faasi vool. Seetõttu on ka kolmefaasilise kaabli nullsoon SAMA ristlõikega kui faasisooned. Normaalses elektrisüsteemis on praktiliselt välistatud olukord, kus nulli saaks üle koormata. Tavapärane talupojaloogika, mis ütleb et kuna kõik faasid „jooksevad tagasi“ läbi nulli, mistõttu sealt läheb 3x rohkem voolu läbi, see EI KEHTI, kuna tegemist on faasinihkes pingetega. Sümmeetrilise koormuse korral ei ole nulljuhtmes üldse voolu. See teadmine tuleb üllatusena enamikele „lihtelektrikutele“ ning minu kogemus näitab et tõesta, mõõda ja seleta – ikka ei usuta.



# 3FAASI

Väga viletsalt käituvad tarbijad 3f võrgus,  $U_1$  ja  $U_2$  tarbijad, mille  $\cos\phi$  on nullilähedane. Pinged näidatud punktiirvektoriga.



Nulljuhtme vool – mis sisaldab enamikus reaktiivkomponenti – on palju suurem kui faasivoolud. Nulljuhtme ülekoormamine on täiesti reaalne. See näitab, miks on oluline, et kolmefaasilise võrgu tarbijad oleksid „viisakad“ tarbijad, mille  $\cos\phi$  läheneb ühele !

# MIKS SIISKI 3 FAASI ?

3faasilist generaatorit ajab ringi auruturbiin, veeturbiin vms. Kehtib seos

$$P_{elekter} = \eta * P_{mehhaaniline}$$
$$P_{mehhaaniline} = \frac{1}{\eta} * P_{elekter}$$

Kus  $\eta$  on generaatori kasutegur. Kasutegur on kõrge ja see meid ei huvita.

Aga seos toimib kahtepidi. Mis juhtub kui koormame generaatorit ebaühtlaselt ? Kogu süsteemis tekib mehhaaniline vibratsioon ja kui selle võimsus on megavattides, siis ilmselt midagi laguneb. Seega oleks hea kui

koormaksime generaatorit võimalikult ühtlase koormusega. Kui võrgupinge sagedus on 50Hz, faase on 3tk, siis tundub et koormus võiks väriseda 50 või 100 või 150 hertsiga.

Analüüsime seda..

# KOORMUSE MATEMAATILINE ANALÜÜS

$$P = \frac{(U_1)^2}{R_1} + \frac{(U_2)^2}{R_2} + \frac{(U_3)^2}{R_3}$$

Kui koormused on võrdsed  $R = R_1 + R_2 + R_3$

$$P = \frac{1}{R} * ((U_1)^2 + (U_2)^2 + (U_3)^2)$$

# KASUTAME TRIGONOMETRILISE TEISENDUSI !

$$P = \frac{U^2}{R} * (\sin^2(\omega) + \sin^2(\omega + 120^\circ) + \sin^2(\omega + 240^\circ))$$

$$\begin{aligned}\sin^2(\omega + 120^\circ) &= (\sin\omega * \cos 120^\circ + \cos\omega * \sin 120^\circ)^2 = \\ &= \left(-\frac{1}{2} * \sin\omega + \frac{\sqrt{3}}{2} * \cos\omega\right)^2 = \\ &= \frac{1}{4} * \sin^2\omega - \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin\omega * \cos\omega + \frac{3}{4} * \cos^2\omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sin^2(\omega + 240^\circ) &= (\sin\omega * \cos 240^\circ + \cos\omega * \sin 240^\circ)^2 = \\ &= \left(-\frac{1}{2} * \sin\omega - \frac{\sqrt{3}}{2} * \cos\omega\right)^2 = \\ &= \frac{1}{4} * \sin^2\omega + \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin\omega * \cos\omega + \frac{3}{4} * \cos^2\omega\end{aligned}$$

## KASUTAME TRIGONOMETRILISE TEISENDUSI !

$$\begin{aligned} & \sin^2 \omega + \frac{1}{4} * \sin^2 \omega - \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin \omega * \cos \omega + \frac{3}{4} * \cos^2 \omega \\ & + \frac{1}{4} * \sin^2 \omega + \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin \omega * \cos \omega + \frac{3}{4} * \cos^2 \omega = \\ & = \sin^2 \omega + \frac{1}{4} * \sin^2 \omega - \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin \omega * \cos \omega + \frac{3}{4} * \cos^2 \omega \\ & + \frac{1}{4} * \sin^2 \omega + \frac{\sqrt{3}}{2} * \sin \omega * \cos \omega + \frac{3}{4} * \cos^2 \omega = \\ & = \frac{3}{2} * \sin^2 \omega + \frac{3}{2} * \cos^2 \omega = \\ & = \frac{3}{2} * (\sin^2 \omega + \cos^2 \omega) = \frac{3}{2} \text{ sest } (\sin^2 \omega + \cos^2 \omega) = 1 \end{aligned}$$

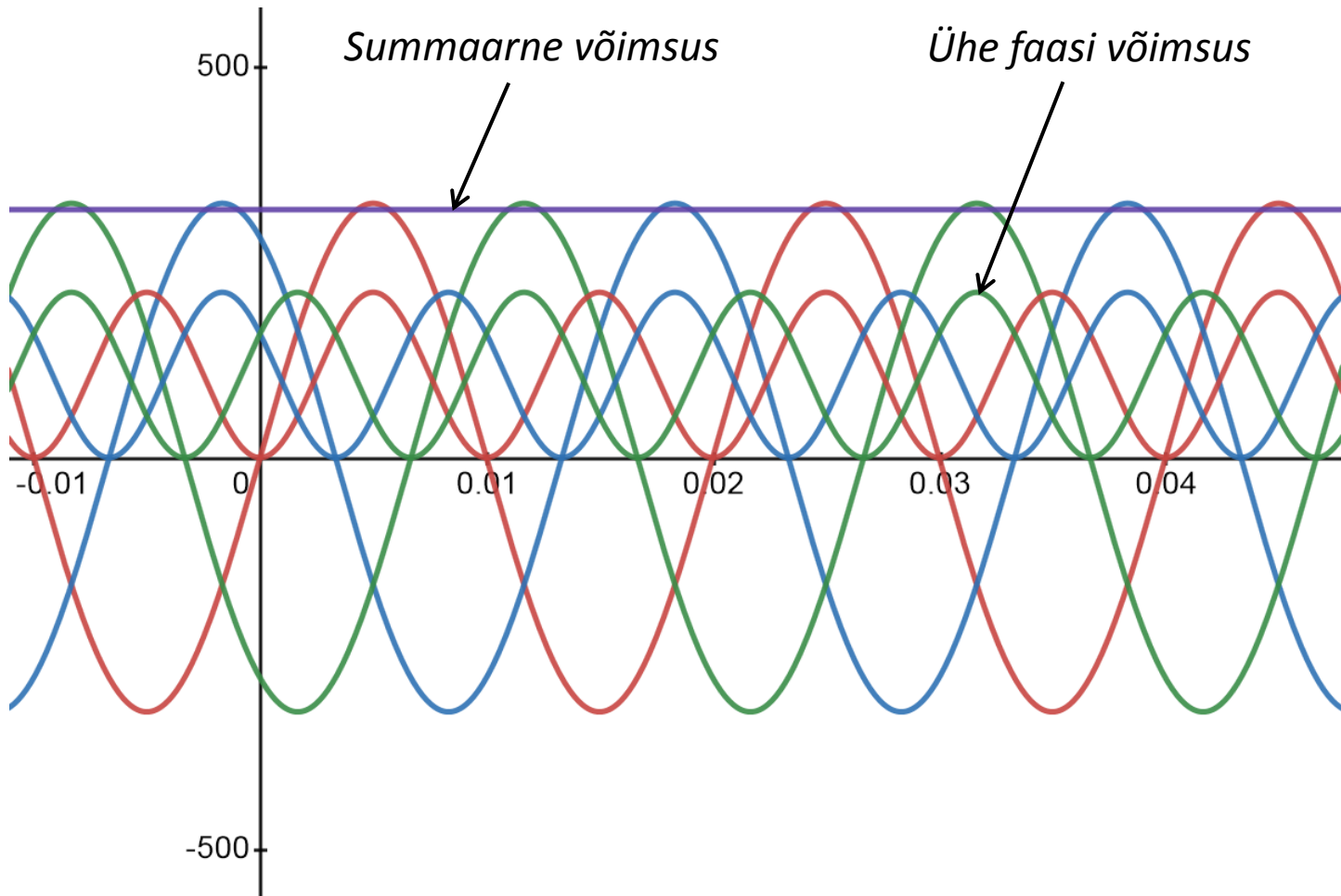
## TEISENDAMISE TULEMUS !

$$P = \frac{U^2}{R} * \frac{3}{2}$$

Mis siis juhtus vahepeal ? Nagu näeme, valemist kadus ära ajast sõltuv tegur  $\omega$  ! See tähendab, et sümmeetrilise takistusliku koormuse korral on kolmefaasilise süsteemi võimsus KONSTANTNE ning seetõttu ei teki koormuse pulsatsiooni – samuti ei ole generaatorile vaja hoorattaid vms pulsatsiooni ühtlustavat mehhanismi.

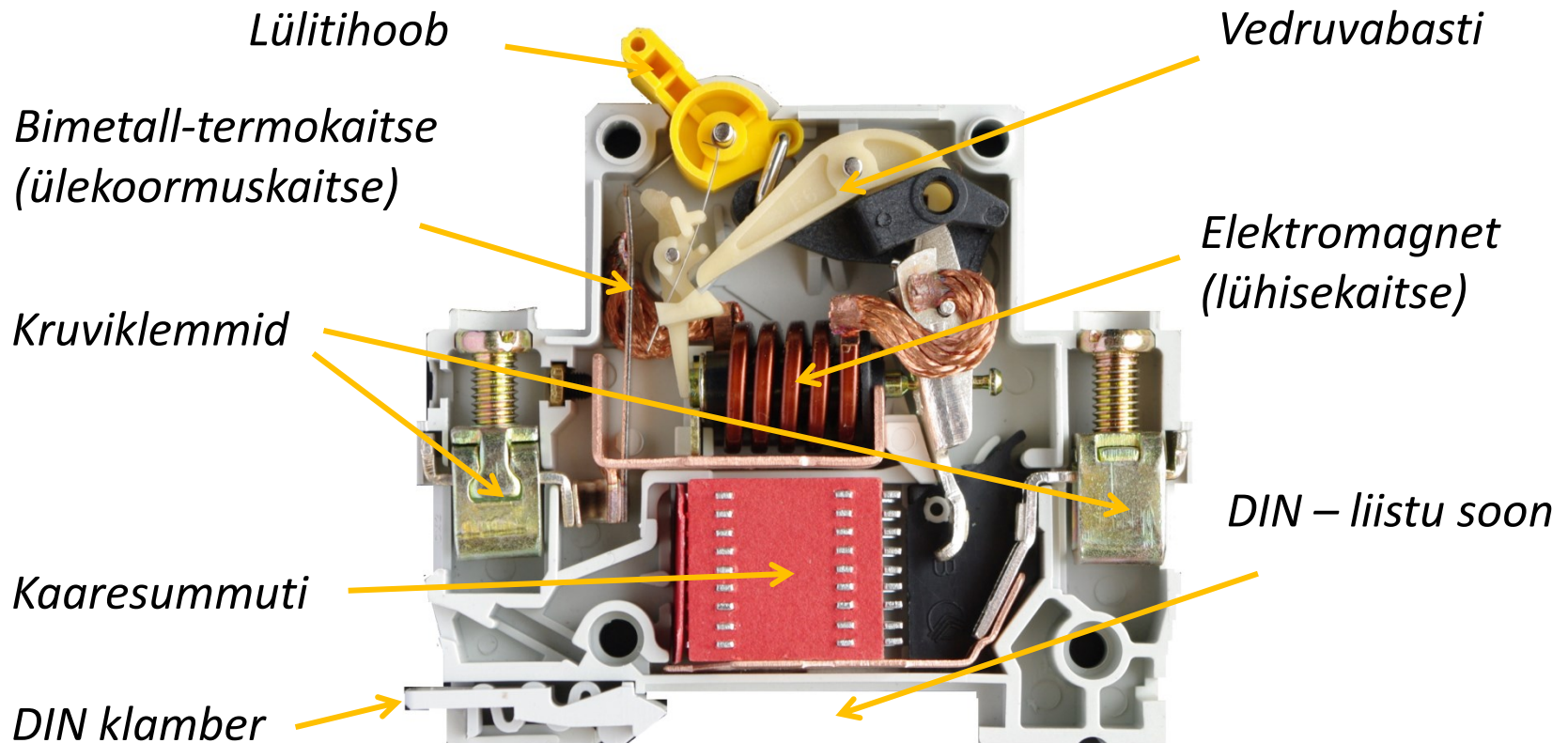
**Kolm faasi on minimaalne sümmeetriline faaside arv, mis seda võimaldab. On võimalik teha ka kahefaasiline ebasümmeetriline süsteem, kuid see suurendaks juhtmete koguristlõiget, ehk vasekasutust.**

# TEISENDAMISE TULEMUS !



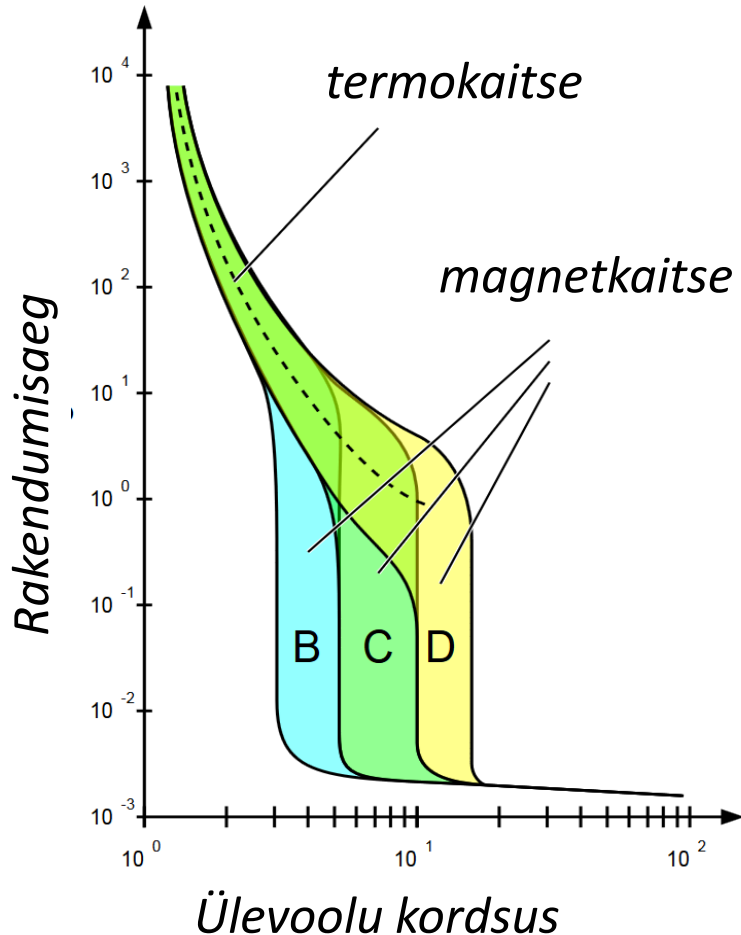
# AUTOMAATKAITSE

Automaatkaitsemed on väga levinud elektriaparaadid, Eestis kasutatakse kilpides praktiliselt ainult automaatkaitsemeid. Automaatkaitse koosneb tegelikult kahest seadmest – kiire elektromagnetiline kaitseahel ning aeglane termokaitse





# AUTOMAATKAITSE



Automaatkaitsemeid tehakse erineva rakenduskarakteristikuga – nimivool, rakendumise kiirus. Eestis on levinud B ja C karakteristikuga kaitsmed – C on aeglasema toimega. Kui ülevool on  $<2-3x$  nimivool, siis rakendub teatava aja jooksul bimetalalkaitse.  $2x$  ülevoolu puhul on rakendumisaeg 100 – 1000 sekundit. Kui ülevool on suurem, siis rakendub kiire magnetahel, selle karakteristik sõltub kaitsme „kiirusindeksist“ – A, B, C, D. On näha, et kui ülevool on  $20x$  suurem nimivoolust, siis rakenduvad kõik kaitsmed - sõltumata indeksist – samal ajal

# AUTOMAATKAITSE JA SELEKTIIVSUS (või selle puudumine)

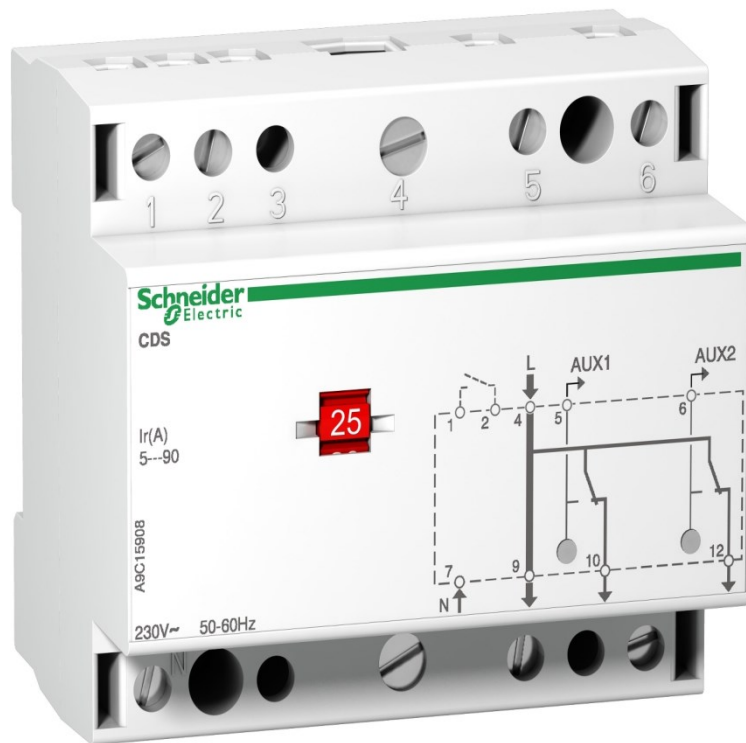


Kuna kaod juhtmestikis on reeglina 1-2%, siis võime eeldada, et lühisvool on 50 – 100x nimivool. See tähendab, et kui peakilbis on peakaitse – nt 32A – ja peale seda on pistikupesadel kaitse 16A, siis lühisvool on 500 – 1500A ning MÕLEMAD kaitsmed rakenduvad samaaegselt. Või rakendub ainult peakaitse – mis tähendab, et „maja on pime“. Selle vältimiseks on kaks varianti

- a) Kasutada peakaitsemena sulavkaitsmeid, mille rakendumiskiirus on täpsemini arvutatav (aga enne läheb vähemalt Eestis põrgu jäässe
- b) Kasutada peakaitsemeks ajalise viitega spetsiaalset automaati – mis on hulga kallim

Pahatihti ei tehta kumbagi, ning ülilevinud on olukord, kus veekeetja rike teeb „pimedaks“ terve kontorihoone korruse

# PRIORITEEDIRELEE



Prioriteedirelee mõõdab tarbitavat voolu ning teatud lävendi ületamisel lülitatakse relee väljundkontakte. See võimaldab realiseerida olukorda, kus ülekoormuse korral lülitatakse ajutiselt välja vähemprioriteetsed tarbijad. Tüüpnäide eramajas – perenaine lülitab sisse pesumasina, nõudepesumasina, pesukuivati, ahju ning paneb triikraua sooja. Samal ajal on keegi dushi all ning tarbib sooja vett. Ehk siis töötab ka elektriboiler. Nüüd tahab perenaine teed keeta, lülitab sisse veekeetja – mille võimsus on kõrge, ca 2kW – ning terve maja peakaitse lülitub välja. Samal ajal võiks prioriteedirelee lülitada välja veeboileri – nii umbes 2 minutiks – ning seda ei märkaks ega ei tunneks mitte keegi.