

5.5. KAITSELÜLITID

EESTI STANDARD

EVS-EN 60947-2:2005

MADALPINGELISED LÜLITUSAPARAADID Osa 2: Kaitselülitid

**Low-voltage switchgear and controlgear
Part 2: Circuit-breakers**

EVS EESTI STANDARDIKESKUS

5.5.1 Määratlused

- **DEFINITSIOON**

Eesti standardi EVS-EN 60947-2:2005 järgi on kaitselüliti **mehaaniline lülitusseade**, mis on **vooluahela tavaolukorras** võimeline voolu

- sisse lülitama,
- taluma,
- katkestama

ning

vooluahela määratletud anomaaloludes nagu näiteks lühise korral voolu

- sisse lülitama,
- sätestatud aja jooksul taluma ja
- katkestama.

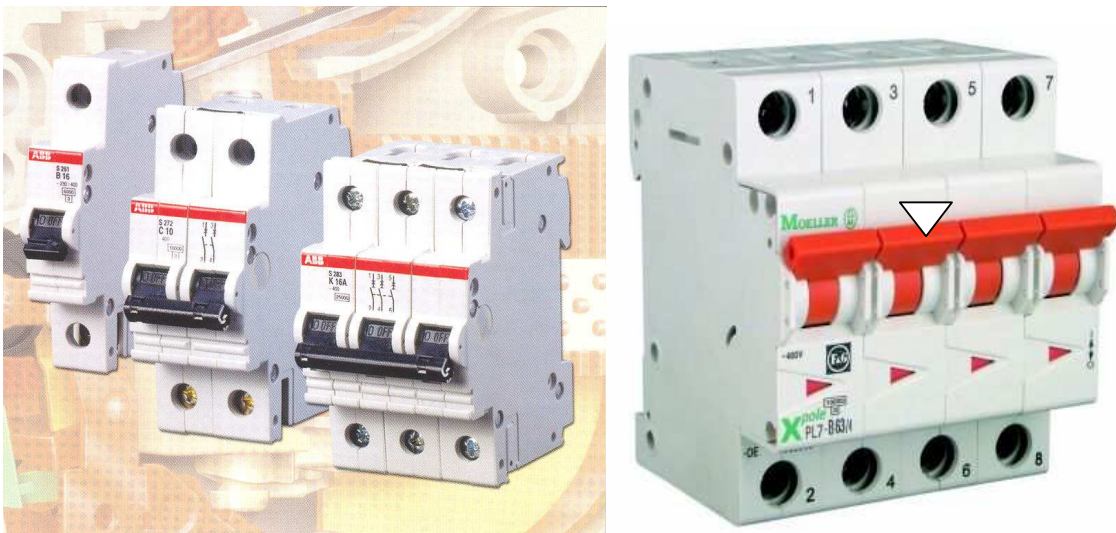
Kaitselüliti võib sõltuvalt tüübist **täita alljärgnevaid funktsioone:**

- lühisekaitse,
- liigkoormuskaitse,
- ühendusjuhtmete kaitse,
- rikkevoolukaitse,
- alapingekaitse,
- olekusignalisatsioon,
- rakendumise indikatsioon,
- sisselülitamine normaalses käidus,
- väljalülitamine kohapealt ja/või eemalt,
- autoriseerimata kasutuse vältimine tabalukuga (kohustuslik pealüliti puhul).

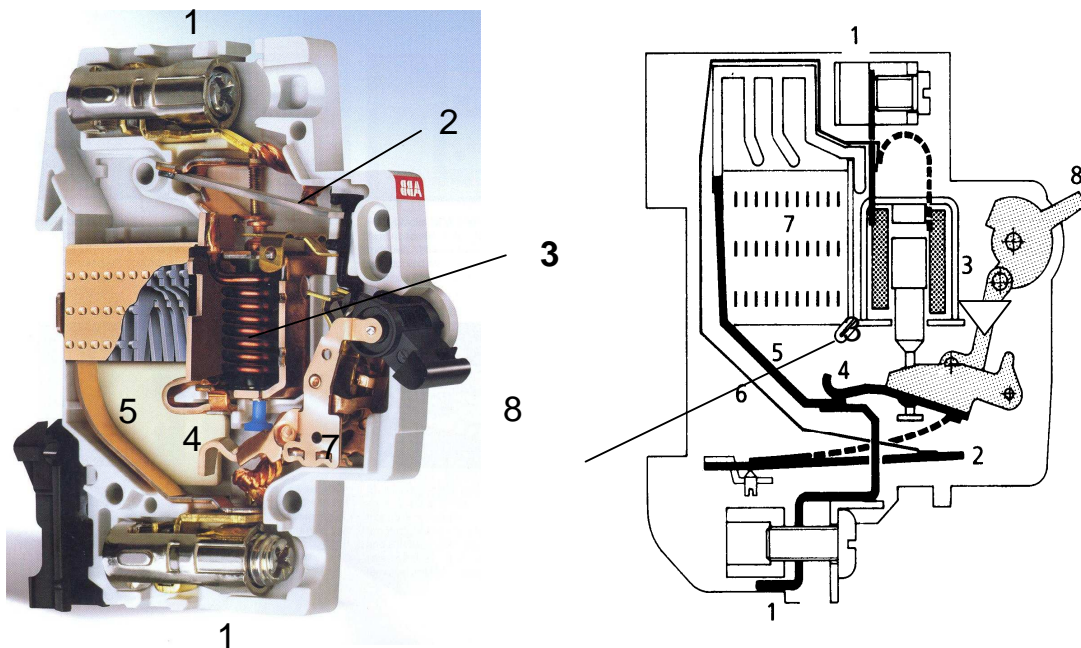
Enamkasutatavad kaitselülite liigid on

- liinikaitselülid,
- rikkevoolukaitselülid,
- mootorikaitselülid,
- liigpingepiirikud.

5.5.2 Kaitselüliti ehitus



Joonis 5.16. Kaitselülite üldvaade



Joonis 5.17. Kaitselüliti läbilõige

1 ühendusklemmid, 2 bimetallvabasti, 3 elektromagnetvabasti,
 4 liikuv kontakt, 5 kaarevenitaja, 6 abiahel, 7 kaarekustutuskamber, 8 lülitushoob

Kaitselüliti olulisemad koostüksused ehk plokid on

- termiline *liigkoormusvabasti* (termovabasti),
- elektromagnetiline *lühisvabasti* ehk (elektromagnetvabasti),
- *väljalülitusmehhanism*,
- *peakontaktid* ja
- *abikontaktid*.

Vabasteid võib olla veel teisigi.

Kaitselüliti **lülitatakse sisse** käsitsi *lülitushoovaga* 8. Kaugjuhitavatel lülititel on selleks ka *elektromagnet- või mootorajam*.

Väljalülitamiseks on lisaks lülitushoovale *bimetall-* ehk termovabasti 2 ja elektromagnetvabasti 3. Tekkiv elektrihaar venitatakse välja ning see kustub *kaarekustutuskambri* 7.

Vooluahel peab lüliti kasutusaja vältel läbi laskma voolu. Vooluahela olulisemateks osadeks on **kontaktid**.

Väiksema nimivoolu korral (alla 200 A) kasutatakse *ühte kontaktpaari*, mis täidab ühtlasi ka kaarekustutuskontaktide funktsiooni.

Üle 200 A nimivooluga kaitselülititel on lisaks peakontaktidele veel *kaarekustutuskontaktid*. **Sisselülitamisel** sulguvad kaarekustutuskontaktid *enne peakontakte*, **väljalülitamisel** lahutuvad *pärast peakontakte*.

Peakontaktid on kaetud *hõbeda* või *metallkeraamikaga*, **kaarekustutuskontaktid** kuumuskindla *metallkeraamikaga* (hõbe on hea voolujuht, metallkeraamika talub kõrget kuumust).

Lülitushoob edastab kontaktide sulgemiseks neile jõu, mis peab tagama sisselülituse. Seda ka kõige halvemal juhul, kui lülitamine toimub lühisele. Lülitushoova asemel on üle 200 A nimivooluga lülitites enamasti elektromagnetajam. 1,5 kA suurema nimivooluga lülitites kasutatakse mootorajamit.

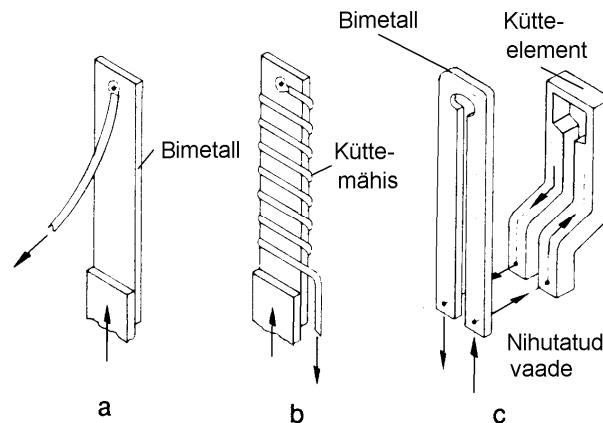
Ülekandemehhanism edastab lülitushoova või ajami jõu kontaktidele, hoiab kontakte suletud asendis, annab kaitselüliti rakendumisel kontaktidele kaare kustumiseks vajaliku kiiruse, fikseerib kontaktid väljalülitatud asendis ja valmistab ette uueks sisselülitamiseks.

Ülekandemehhanismi olulisim osa on lukustussõlm, mis hoiab kontakte suletuna.

Vabasti ülesanne on kaitselüliti väljalülitamise käivitamine rikke- või avariitaoluse tekkimisel.

Termovabastitest enamkasutatav on **bimetallvabasti**. See on kahest tunduvalt erineva joonpaisumisteguriga metallikihist koosnev elastne element. Soojenedes paindub bimetal väiksema joonpaisumisteguriga kihi poole.

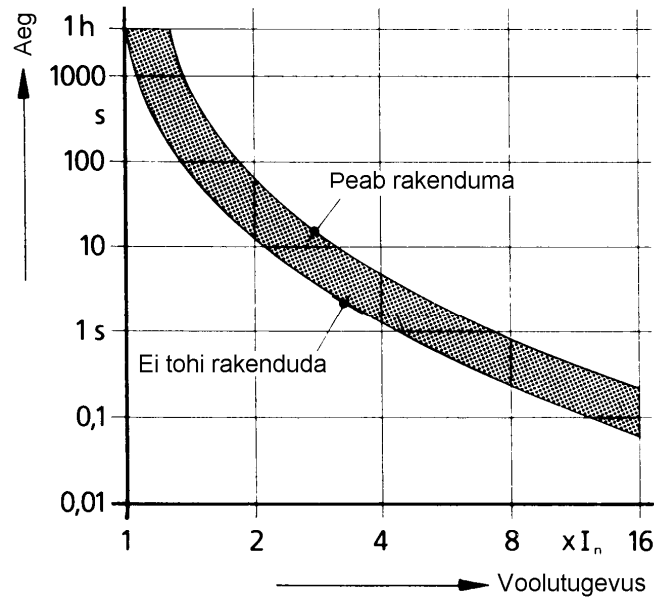
Lihtne ja enamkasutatav on *otsese küttega* **bimetalltajur**, väikeste voolude korral, kui soojuse otsene eraldumine on väike, kasutatakse *kaudse küttega* bimetalltajurit. Elektrimootori kuumenemist simuleerib kõige paremini *kombineeritud bimetalltajur*. Bimetal simuleerib vaskmähist, kütteelement magnetahelat.



Joonis 5.18. Bimetalltajurid

a – otseküttega, b – kaudse küttega, c - kombineeritud

- **Väiksema joonpaisumisteguriga** (passiivse) materjalina on kasutusel enamasti *invar* (raua ja nikli 36% sulam), mille joonpaisumistegur on üliväike, umbes $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.
- **Suurema joonpaisumisteguriga** (aktiivse) materjalina kasutatakse sageli *kroomnikkelterast*, mille joonpaisumistegur on umbes seitse korda suurem.



Joonis 5.19. Termovabasti tüüpiline rakendumistunnusjoon

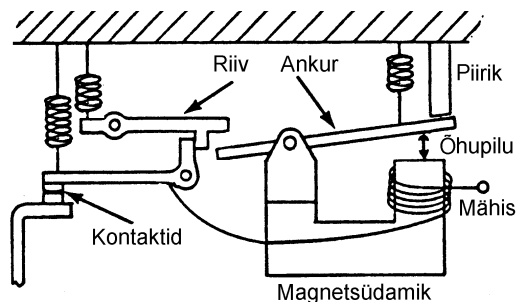
Bimetallvabastite puudusi, mis piiravad nende kasutamist:

- **Vähene termiline vastupidavus** nõuab suure voolu kiiret väljalülitamist. Selleks kasutatakse enamasti elektromagnetvabastit, mis rakendub lühisel.
- Kui väljalülitatav vool suureneb, kasvab kontaktide lahutamiseks vajalik jõud, mida termovabasti peab ületama. See piirab nende kasutamist 200 A nimivooluga.
- Termovabasti viivitus sõltub ümbruskonna temperatuurist.
- Termovabasti rakendumisvoolu hajuvus on suur.

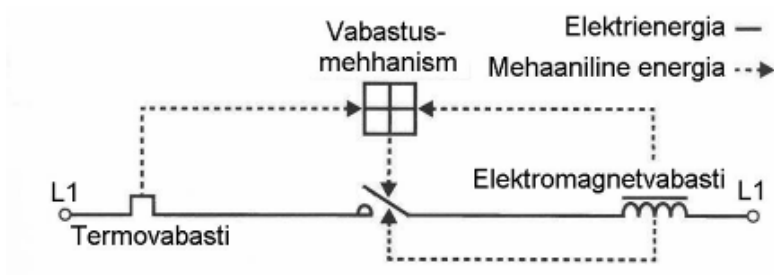
Neid puudusi pole **pooljuhtvabastil**. Pooljuhtvabastiks on hästiseadistatav pooljuhtrelee, mille väljundsignaal rakendab elektromagnetilise vabastusmehhanismi.

Elektromagnetvabasti on termiliselt, elektro-dünaamiliselt ja mehaaniliselt vastupidav lihtne mehhanism.

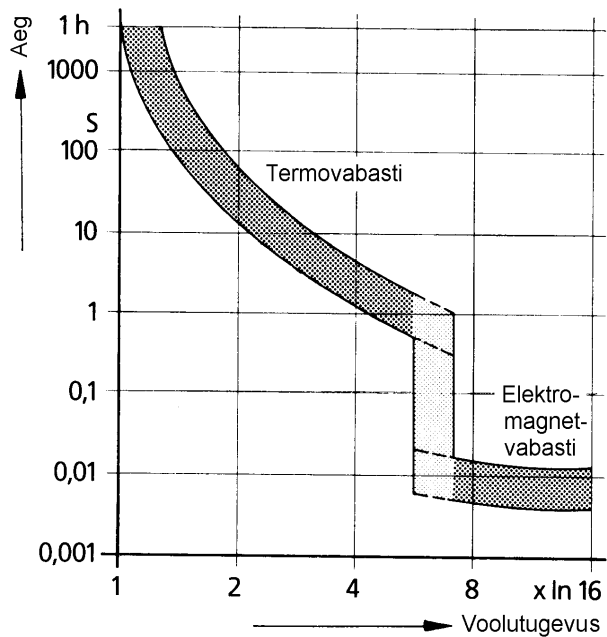
Vabasti mähis on peakontaktidega *jadamisi* ning seda läbib tarviti vool. Arvutusliku lühisvoolu juures ületab magneti tõmbejõud vastuvedru pidurdava jõu.



Joonis 5.20. Elektromagnetvabasti



Joonis 5.21. Kaitselüliti tööpõhimõtte ajalooline joonis



Joonis 5.21. Kaitselüliti tüüpiline rakendumistunnusjoon

Elektromagnetvabastiga sarnane on **sõltumatu vabasti**, mis on mõeldud *kaugväljalülitamiseks*.

Samal põhimõttel, kuid *äraspidiselt* töötab **alapingevabasti**. Vabasti elektromagneti ennistuspinge on reguleeritav 35...70% nimipingest. Kui toitepinge langeb alla seatud väärtuse, tagastub elektromagneti ankur vedru jõul ja rakendab vabastusmehhanismi.

Need vabastid on **juurdekomplekteeritavad** või sisseehitatud.

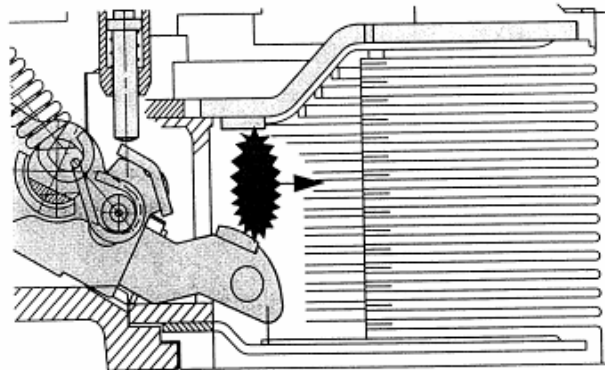
Uuematel kaitselülititel on ka sisseehitatud või külgeühendatav **rikkevooluvabasti**, mis mõõdab lekke- ja rikkevoolu, ning rikkevoolu avastamisel lahutab lüliti.

Kaarekustuti ülesanne on vooluahela lahutamisel tekkiva *elektrikaare kustutamine* mistahes talitlusel. Kaarekustuti määrab kaitselüliti *piirlahutusvõime*.

Lühisvoolu piiramiseks juba selle tekkimisel peavad peakontaktid avanema mõne millisekundi vältel. Väga kiired seadmed vajavad selleks isegi vähem kui 1 ms.

Otsekohe tekib *elektrikaar*, mis juhitakse kaarekustutuskambri suunas ning kaarepinge hakkab kasvama. Lihtsustatult võib kaarepinget vaadelda kui ekvivalentset lisatakistit, mis on jadamisi ühendatud vooluahelasse ja mis otsekohe piirab lühisvoolu kasvamist.

Kontakti avanedes tekkiv kaarleek *tõmbub* elektrodünaamilise jõu toimel *kaarekustutuskambrisse* ning tekib efektiivne voolu piiramine.



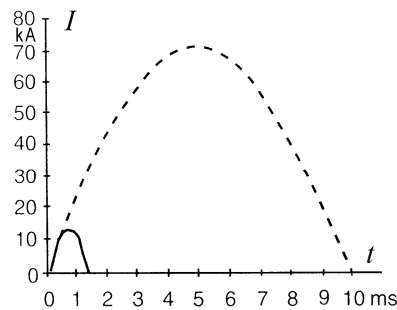
Joonis 5.22. Kaarekustutuskambri külgvaade.

Kere on tugevast isoleermaterjalist. See tagab aparadi kaitse vigastuste ja ümbruse mõjude eest ja väldib inimese kokkupuute pingestatud osadega.

5.5.3 Lühisvoolu lahutamine

Kontaktide avanemine

- Hästi konstrueeritud kaitselüliti võtmekomponendiks on *kiirelt toimiv kontaktsüsteem*.
- Joonisel on kujutatud **50 kA lühisvoolu kiire piiramine**. Katkendjoonega on kujutatud 50 kA efektiivväärtusega vool, mis tuleb kiiresti lahutada, enne kui see saavutab maksimaalväärtuse (voolu tuleb piirata). Pidevjoonega on näidatud tegelik voolukõver.



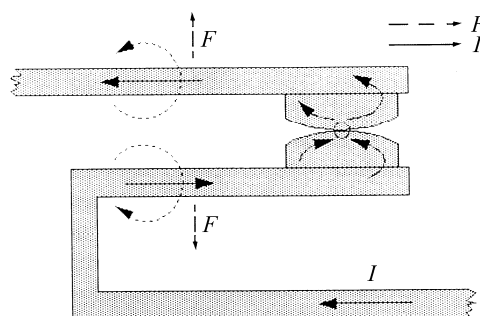
Joonis 5.23. 50 kA lühisvooluvoolu piiramine kolmefaasilises 100-amprises kaitselülitis

Sümmeetrilisel juhul, kui kiiresti kasvav eeldatav lühisvool saavutab oma teoreetilise tippväärtuse juba 5 ms pärast, tuleb see kiiresti katkestada.

Kontaktid peavad avanema juba voolukõvera tõusu alguses ilma igasuguse viivitusega.

Kontaktide avamiseks vajalikust eemaletõukejõust **osa saadakse** elektrodünaamilisest jõust F , mis indutseeritakse rööbiti kulgevates sobiva geomeetriselise kujuga voolujuhtivates osades vooluga I .

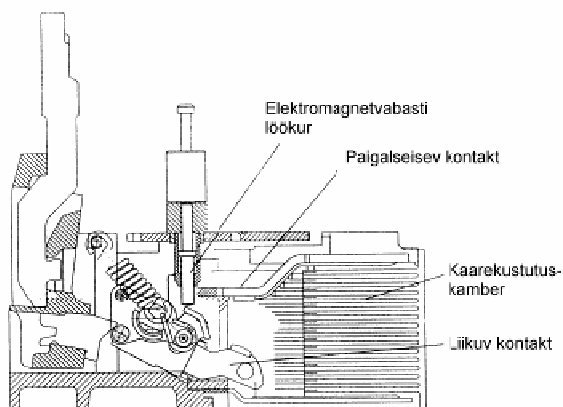
Teine osa vajalikust jõust saadakse voolu ahenemisest kontaktpunktis.



Joonis 5.24. Kontaktpaarile mõjuvad jõud

Lühisvoolu lahutamise protsess

- Väga suure toimekiirusega voolupiirikuga kaitselüliti töös on kontaktide avanemise järel tähtsaim osa **elektromagnetvabasti löökuril**.



Joonis 5.25. Kaitselüliti kontaktsüsteemi löige

Löökuri jõud peab ületama tagastusvedru jõu, avama kontaktid ja kiirendama nende eemaldumise suurele vedrusurvele vaatamata.

Paigalseisevate ja liikuvate kontaktide vahel tekib **kaarleek**, mis tõrjutakse kiiresti välja kaarekustutus-kambri suunas.

Liikuv kontakt avaneb täielikult.

Kui näiteks kaitselüliti löökur lööb kontakti pihta vaid 0,7 ms pärast, siis on kogu lahutusaeg umbes 1,5 ... 1,8 ms.

Võrdluseks: 50 Hz siinuselise vahelduvvoolu **poolaine pikkus** on 10 ms. See tähendab, et lühisvool lahutatakse ammu enne, kui ta saavutab eeldatava tippväärtuse. Ülikiire lahutamise tulemuseks on väga efektiivne voolu piiramine.

Võrdluseks: 1,5 ms vältel levib helilaine umbes 50 cm kaugusele.

5.5.4 Kaitselüliti põhilised tunnussuurused

- **Põhilised tunnussuurused** on
 - nimivool
 - nimipinge
 - lahutusvõime
 - talitluskiirus
 - rakendumistunnusjoon

- liigpingetaluvus
- ressurss (mehaaniline ja elektriline kulumiskindlus)
- mass ja mõõtmed.

Nimivool (*rated operational current I_e*) on kaitselüliti talitusvool (püsivool kestevtalitluses).

Nimipinge (*rated operational voltage U_e*) on kaitselüliti liinipinge kestevtalitluses.

Lahutusvõime ehk kommutatsiooni piirvool (*current ultimate, I_{cu}*) on suurim vool, mida kaitselüliti suudab lühise puhul lahutada.

Talitluskiiruse määrab kaitselüliti *rakendumisaja ja kaarekustutusaja summa*.

- **Rakendumisaeg** on ajavahemik hetkest, mil aparati läbiv vool ületab vabasti rakendumisvoolu väärtuse kuni kontaktide avanemise alguseni.
- **Kaarekustutusaeg** algab ajast, mil kaarleek levib kontaktiotstelt kaarekustutuskambrisse ja kustub seal jaotatuna ja jahutatuna, kui vooluahel on katkenud.

Mehaanilist kulumiskindlust iseloomustab võimalik lülituste arv vooluvabas olekus.

Elektrilise kulumiskindluse näitajaks on võimalik lülituste arv nimivoolul.

Mass ja mõõtmed sõltuvad nimivoolust ja tehnikatasemest. Uuemad kaitselülidid on vanematest sama nimivoolu ja lahutusvõimega aparatuuridest väiksemad ja kergemad.

Paigalduse lihtsustamiseks on kasutusel **moodulpõhimõte**. See võimaldab universaalset kinnitust standardsele paigaldusliistule (mida ajalooliselt nimetatakse ka DIN-liistuks) ja muudab paigaldamise sõltumatuks konkreetse aparadi tüübist.

Rakendumistunnusjoon on kaitselüliti põhiline tunnusjoon – rakendumisaja sõltuvus voolutugevusest. See koosneb mitmest osast. Pikk rakendumisaeg liigkoormuskaitseks tagatakse *termo- või pooljuhtvabastiga*. Kiire väljalülitamise lühisekaitseks tagab *elektromagnetvabasti*.

Liigpingetaluvuse järgi jagatakse aparatuurid nelja kategooriasse.

Aparaati tellides **tuleb silmas pidada veel** palju muid **tunnuseid**, omadusi ja parameetreid. Nendeks võivad olla töötemperatuur, vibratsioonitaluvus, kõrgus merepinnast, kaugjuhtimise võimalus, indikatsioon, abikontaktide arv ja tüüp, taaslülitamise võimalus, kiirendus, ehitusviis, liiv ja tolm, korrosioon, niiskus, tule- ja plahvatusohutus, pingelang.

Kaitselüliteid toodetakse erinevaks otstarbeks, näiteks

- liinikaitselüliti (*circuit breaker for power distribution*)
- mootorikaitselüliti (*circuit breaker for motor protection*)
- rikkevoolukaitselüliti (*residual current circuit breaker*).

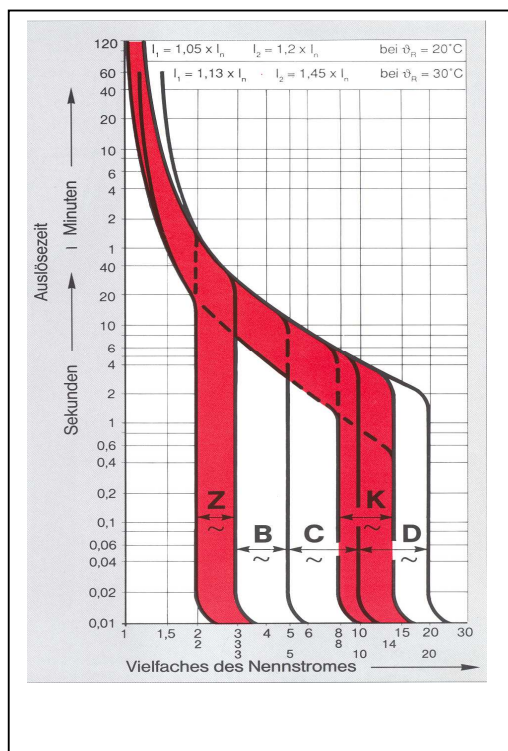
5.5..5. Liinikaitselülitid

Liinikaitselülitid on ette nähtud juhtmete ja kaablite kaitseks ülekoormuste ning lühiste eest.



Joonis 5.26. Ühe-, kahe-, kolme- ja neljapooluseline liinikaitselüliti

Tunnusjooned



B-tunnusjoonega kaitselülidid on mõeldud peamiselt elamusiseste liinide kaitseks, kus tarvititeks on valgustid, küttekehad ja teised väikese sisselülitusvooluga seadmed.

- Lüliti peab rakenduma 3...5-kordse nimivoolu juures.
- Rakendumisaeg peab olema alla 0,1 sekundi

C-tunnusjoonega kaitselülidid on mõeldud toiteliinide kaitseks, kui seal esineb normaaltöö olukorras suuri voolu-tõukeid, mis on iseloomulikud suure sisselülitusvooluga tarvititele nagu luminofoorlambid ja elektritööriistad.

Lüliti peab rakenduma 5...10-kordse nimivoolu juures.

D-tunnusjoonega kaitselülidid peavad taluma kuni

10-kordset nimivoolu, 20-kordne nimivool peab olema lahutatud 0,1 sekundiga.

Joonis 5.27. Liinikaitselülite rakendustunnusjooned

Rakendustunnusjoontele iseloomulikud vabastite rakendusvoolude kordsused ja lahutusajad

Tunnus- joon	Termovabasti		Elektromagnetvabasti		
	Teimivool: Väiksem I_1 suurem I_2	Rakendus- aeg trak	Hoide- vool I_h	Rakendus- vool I_{rak}	Rakendus- aeg trak
B	$1,13 I_n$	$> 1 h$	$3 I_n$	$5 I_n$	$> 0,1 s$
	$1,45 I_n$	$< 1 h$			$< 0,1 s$
C	$1,13 I_n$	$> 1 h$	$5 I_n$	$10 I_n$	$> 0,1 s$
	$1,45 I_n$	$< 1 h$			$< 0,1 s$
	I_n				

B- ja C-rakendustunnusjoontega liinikaitselülite kasutamisel kaitseseadmetena lähtutakse vaid tingimusest $I_n < I_{lub}$, mis lihtsustab valikut.

Liinikaitselüliteid võib kasutada ka **alalisvooluahelate kaitseks**, kuid siis **tuleb arvestada** mõnede parameetrite muutumisega.

Liinikaitselülite **rakendustunnusjoon alalisvoolu puhul:**

- **termovabasti tunnusjoon ei muutu**,
 s.t. $I_1 = 1,13 \cdot I_n$ ja $I_2 = 1,45 \cdot I_n$,
- elektromagnetilise vabasti **hoidevoolu väärtused ei muutu, rakendusvool aga suureneb 1,5 korda.**

Liinikaitselüliti elektromagnetilise vabasti seadesuurused vahelduv- ja alalisvoolu puhul

	B - tunnusjoon		C - tunnusjoon	
	Vahelduv- vool	Alalisvool	Vahelduv- vool	Alalisvool
Hoide-vool	$3 \cdot I_n$	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$
Rakendus- vool	$5 \cdot I_n$	$7,5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	$15 \cdot I_n$

Väliskeskonna temperatuuri tõusu mõju termovabastite tunnusjoontele ja selle kaudu ka liinikaitselüliti koormatavusele

I_n (A)	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
0,5	0,5	0,47	0,45	0,4	0,38	-	-
1	1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2	2	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
3	3	2,8	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9
4	4	3,7	3,5	3,3	3	2,8	2,5
6	6	5,6	5,3	5	4,6	4,2	3,8
10	10	9,4	8,8	8	7,5	7	6,4
16	16	15	14	13	12	11	10
20	20	18,5	17,5	16,5	15	14	13
25	25	23,5	22	20,5	19	17,5	16
32	32	30	28	26	24	22	20
40	40	37,5	35	33	30	28	25
50	50	47	44	41	38	35	32
63	63	59	55	51	48	44	40

NB! 30 °C juures antud voolud vastavad firma seadistatud nimivooludele.

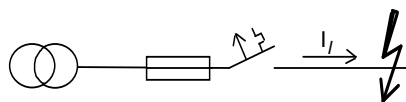
Keresisene temperatuuri tõus on tingitud liinikaitselülite töötamisel eralduvast soojuslikust kaovõimsusest

Nimivool A	Sisetakistus pooluse kohta mΩ	Kaovõimsus pooluse kohta W
0,5	5200	1,3
1	1500	1,5
2	430	1,7
3	230	2,1
4	150	2,4
6	74	2,7
10	18	1,8
13	12	2,0
16	10	2,6
20	7	2,8
25	5,2	3,3
32	3,8	3,9
40	2,7	4,3
50	1,9	4,8
63	1,3	5,2

Nimivoolu parandusteguri sõltuvus kõrvuti asetsevate liinikaitselülite arvust

Kõrvuti paiknevate kaitselülite arv	Nimivoolu parandustegur
1	1
2...3	0,95
4...5	0,9
6 ja enam	0,85

- Liinikaitselülite valikul on **vaja silmas pidada selektiivsust** lühisel. Liigvoolukaitseseadmete selektiivsus on tagatud, kui rakendub vea kohale lähim kaitseseapaarat.



Liinikaitselüliti selektiivne rakendumine sulavkaitsme suhtes

- Vajadusel tuleb kasutada *selektiivseid* liinikaitselüliteid.
- Liigvoolukaitseseadmete vastastikused selektiivsuspäärid on määratud liinikaitselüliti *läbilaskevõimega* $I^2 t$, s.o. lüliti lühise ajal läbiva energiahulgaga.

- Liinikaitselülite levinumad *nimilahunusvõimed* on 6 kA ja 10 kA Peakaitseülitel on see kuni 25 kA. Vastav mäрге on kaitseüliti esikaanel.

Põhilised tehnilised andmed

Ehitus		moodulaparaadid
Pooluste arv n		1, 2, 3, 4
Rakendustunnusjooned		B, C, K, ka D ja Z
Nimivool	I_n	kuni 125 A
Nimipinge	U_n	230/400 V
Nimilahunusvõime		kuni 25 kA
Sagedus	f	50 ... 60 Hz
Kaitseaste		tavaliselt IP 20
Paigaldusasend		suvaline
Paigaldamine		riivistatavad profiillistule EN 50 022 – 35 X 7,5
Ühendamine		nii ühenduslattide, massiiv- kui ka kiudjuhtmetega
Töötemperatuur		-25 °C ... + 55 °C
Mehaaniline ressurss		kuni 20 000 lülitust