

## 12. KYTKINLAITTEET JA ERISTIMET

### 12.1. Suurjännitekytkinlaitteet

Taulukko 12.1a. ABB:n normaalivalikoima.

Kytkinlaite	Laji	$U_r$ kV	$I_r$ A	$I_k$ kA	$I_{sc}$ kA	Huom.
Sisälle asennettava						
Erotrin	OJON_	1 12 24 36	1000...4000 630 ...4000 630 ...4000 1250	50...90 30...60 20...60 30		
Maadoituskytkin	OJWN_	12 17,5 24		25...40 25...40 25...31,5		
Kuormanerotin	NAL_	12 24 36	400...1250 400...1250 630...800	20...30 16...20 25		
Varokekuormanerotin	NALF_	12 24 36	200 100 40		(50) (25) (20)	$I_r$ ja $I_{sc}$ sulake
Ring Main Unit sulakkeilla	CTC-F	12 24	630 400	20 16		
Ring Main Unit katkaisijalla	CTC-V	12 24	630/200 400/100	20 16	20 12,5	
SF6 - katkaisija	HPA	12 24	630...3150 630...2500	12,5...40 12,5...31,5	12,5...40 12,5...31,5	ajk / pj ajk / pj
Tyhjökatkaisija	VD4	12 24	630...4000 630...2500	12,5...50 12,5...25	12,5...50 12,5...25	ajk / pj ajk / pj

$U_r$  = mitoitusjännite,

$I_r$  = mitoitusvirta,

$I_k$  = termien kestovirta ( kesto aika 1 tai 3 s ),

$I_{sc}$  = katkaisijan katkaisukyky,

ajk = aikajälleenkytkentä,

pjk = pikajälleenkytkentä.

Taulukko 12.1a. (jatkuu) ABBn normaalivalikoima.

Kytkinlaite	Laji	$U_r$ kV	$I_r$ A	$I_k$ kA	$I_{sc}$ Ka	Huom.
Ulos asennett.						
Pylväserotin	NPS_	24 36	400...630 630	16 ... 20 21		
SF6-kuormanerotin pylväaseen asennettava	NXA_ NXB_	24 36 24	630 630 630	16 10 20		maadoitus- kytkimellä
Kiertoerotin	NRB SGF	12... 72,5 72,5...420	1250...2500 1600...2500	31,5 40 (1s)		
Tartuntaerotin	TFB_	170...525	2500...3150	40...63		
SF6- katkaisija	EDF EDI SV LTB HPL-A HPL-B ELF-SP	72,5...170 72,5...170 72,5...170 72,5...362 245 ...420 420 ...800	2000...2500 3150 2500...3150 2500...4000 2500...4000 4000	25...31,5 31,5 31,5...40 40...50 31,5...50 40...50	25...31,5 31,5 31,5...40 40...50 31,5...50 40...50	$I_k$ 3 s $I_k$ 3 s $I_k$ 3 s $I_k$ 3 s $I_k$ 3 s $I_k$ 3 s

$U_r$  = mitoitusjännite,

$I_r$  = mitoitusvirta,

$I_k$  = terminen kestovirta ( kesto aika 1 tai 3 s),

$I_{sc}$  = katkaisijan katkaisukyky,

ajk = aikajälleenkytkentä,

pjk = pikajälleenkytkentä.

Muita tuotteita: Sulakkeet lajia CEF; työmaadoitusvälineet lajia NWAB; erottimien moottorihajaimet lajia UEMC; sisälle asennettavia tyhjökontaktoreita.

Tuotteet täyttävät IEC-standardien vaatimukset.

## Yleisiä näkökohtia

### Standardit

IEC	EN	
IEC 60694 ( 1996 )	( HD 448 S3 vanhentunut )	Suurjännitekytkinlaitteille yhteiset asiat
IEC 60129 ( 1984 )	EN 60129 ( 1994 )	Eroottimet
IEC 60265-1 ( 1998 )	HD 355.1 S3	Kuormanerotitmet < 52 kV
IEC 60265-2 ( 1988 )	EN 69265-2 ( 1993 / 5 )	Kuormanerotitmet ≥ 52 kV
IEC 60420 ( 1990 )	EN 60420 ( 1993 )	Varokekuormanerotitmet
IEC 60056 ( 1987 )	HD 348 S6	Katkaisijat
IEC 60282-1 ( 1994 )	EN 60282-1 ( 1993 )	Virtaa rajoittavat sulakkeet
IEC 60470 ( 1999 )		Suurjännitekontaktorit

Euronormit vastaavat yleensä täysin esikuvana olevaa IEC julkaisua harvoja yleensä merkityksettömiä kansallisia poikkeuksia lukuunottamatta.

Taulukko 12.1b. Mitoitusvirta  $I_r$ . Tällä virralla avoasennuksessa lämpenemät eivät ylitä sallittuja arvoja.

Kytkinlaitteen osa	Suurin sallittu lämpenemä / K	Suurin sallittu lämpötila $\vartheta$ / °C
Hopeoidut Cu-koskettimet ilmassa tai SF6 – kaasussa	65	105
Hopeoidut Cu-koskettimet öljyssä	50	90
Paljaat Cu-koskettimet SF6 – kaasussa	65	105
Paljaat Cu-koskettimet ilmassa	35	75
Paljaat Cu-koskettimet öljyssä	40	80
Paljaat liittimet <sup>1)</sup>	50	90
Tinatut liittimet <sup>1)</sup>	65	105
Hopeoidut liittimet <sup>1)</sup>	75	115

<sup>1)</sup> pätee riippumatta siitä onko liitettävä johdin pinnoitettu vai ei.

Kojeistoon asennettavan kytkinlaitteen kuormitettavuus on erikseen tarkistettava, sillä se saattaa olla jopa 30 % pienempi kuin avoasennuksen arvo. Standardit eivät määrittele ylikuormitettavuutta. Kytkinlaite tulee valita siten että ylikuormitukselta vältytään.

**Mitoitusjännite**  $U_r$  on sama kuin kytkinlaitteen suurin sallittu käyttöjännite. Eristystasona käytetään kohdassa 6.1.2 esitettyjä kestokoejännitearvoja. Erottimen erotusvälille asetetut vaatimukset kestokoejännitteiden osalta ovat noin 15 % korkeammat kuin vaihevälille ja maaeristykselle asetetut.

**Terminen kestovirta**  $I_k$  on suurin oikosulkuvirran tehollisarvo, jonka kytkinlaite lyhytaikaisesti kestää ollessaan suljettuna; kesto aika 1 s ellei erikseen mainita.

Laskettaessa kytkinlaitteen kestovirta mitoituskestoajaksi pidemmälle ajalle on lauseke  $I^2 t = \text{vakio}$  käyttökelpoinen; ei kuitenkaan mitoituskestoajaksi lyhyemmälle, koska tällöin yleensä ylitetään kytkinlaitteen dynaaminen kestovirta.

**Dynaaminen kestovirta**  $I_p$  on suurin epäsymmetrisen oikosulkuvirran huippuarvo ( $I_{MC}$  kuvassa 12.1a), jonka kytkinlaite kestää ollessaan suljettuna. Standardoitu arvo  $I_p = 2,5 I_k$ . Suhde  $I_p/I_k$  saattaa olla standardoitua arvoa suurempi, kun kytkinlaitteen galvaanisessa läheisyydessä on suuri generaattori, suuri muuntaja tai paljon moottorikuormitusta. Tällöin kytkinlaitteen valinnassa on  $I_p$  määräävä.

**Oikosulun sulkemiskyky**  $I_{ma}$  tarkoittaa suurinta epäsymmetrisen virran huippuarvoa ( $I_{MC}$  kuvassa 12.1a), jonka kytkinlaite mitoitusjännitteellään pystyy vaurioitumatta kytkemään.

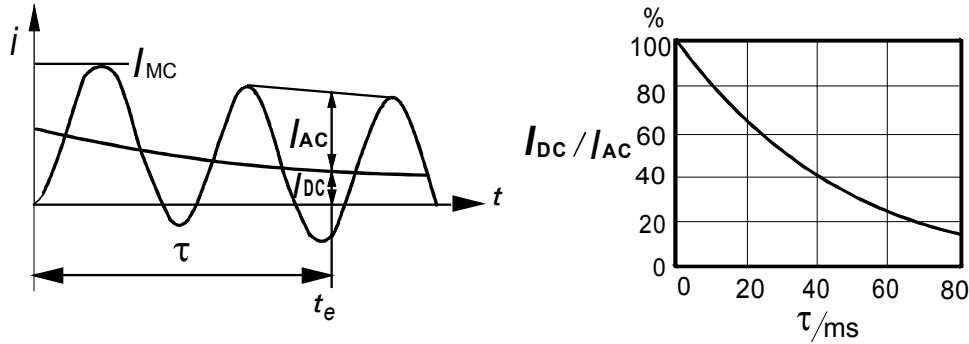
**Oikosulun katkaisukyky**  $I_{sc}$  tarkoittaa suurinta virta-arvoa, jonka katkaisija mitoitusjännitteellään pystyy napaoikosulussa katkaisemaan. Se ilmoitetaan

- vaihtovirtakomponentin tehollisarvona  $I_{sc}$  ja
- tasavirtakomponentin  $I_{DC}$  prosentuaalisena osuutena katkaisijan valokaarikoskettimien erkanemishetkellä.

Standardivaatimus saadaan kuvasta 12.1a, kun  $\tau$  on releaika (10 ms) + katkaisijan pienin erkanemisaika.

Muissa tapauksissa (esim. kuormanerotaminen) katkaisukyky ilmoitetaan suurimpana vaihtovirran tehollisarvona, jonka kytkinlaite ao. IEC-standardissa lähemmin määritetyissä olosuhteissa pystyy katkaisemaan. Kyse on tällöin symmetrisestä virrasta.

Kytkinlaitetta valittaessa on tarkistettava, ettei suurimmalla käyttöjännitteellä ylitetä ilmoitettua katkaisukykyä.



KUVA 12.1a. IEC-standardin 60056 (1987) mukainen epäsymmetrinen oikosulkuvirta (piirin  $\cos \varphi \approx 0,07$ ).

$$I_{MC} = 2,5 I_{sc} \approx 1,8 \sqrt{2} I_{sc} = 1,8 I_{AC}$$

$I_{AC}$  = vaihtovirtakomponentin huippuarvo  $\sqrt{2} I_{sc}$ ,

$I_{DC}$  = tasavirtakomponentti,

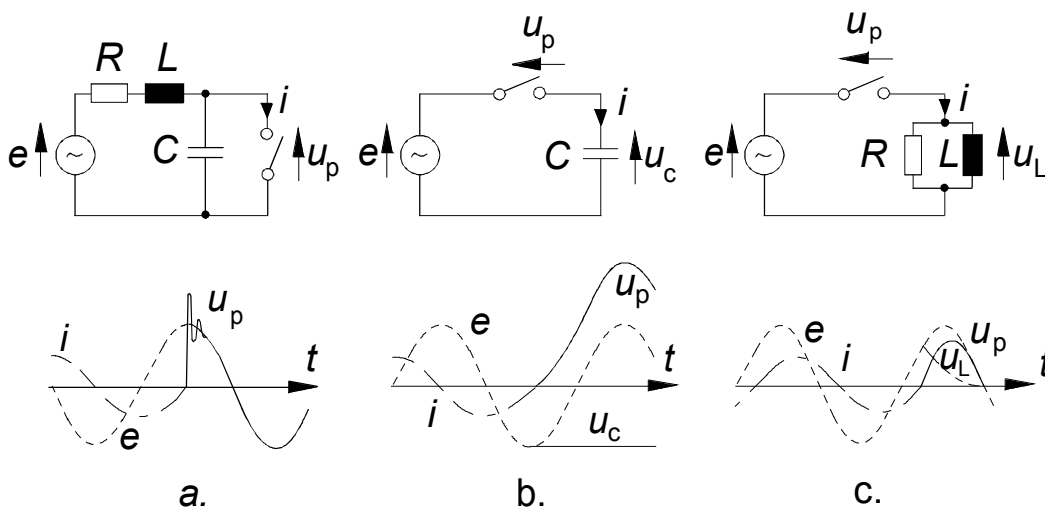
$\tau$  = aika oikosulun alkamisesta katkaisijan valokaarikoskettimien erkanemiseen,

$t_e$  = katkaisijan valokaarikoskettimien erkanemishetki.

**Palaava jännite** on virran katkaisun jälkeen kytkinlaitteen avausvälillä vaikuttava jännite.

Palaava transienttijännite on välittömästi virran katkaisun jälkeen esiintyvä muutostilanteen jännite.

Tärkeimmät katkaisutilanteet ja niihin liittyvät palaavat transienttijännitteet ovat kuvan 12.1b mukaiset.



KUVA 12.1b. IEC standardin 60265-1 (1998) mukaiset sijaispiirit.

a) Induktiivisen virran katkaisu.

b) Kapasitiivisen virran katkaisu.

c) Kuormitusvirran katkaisu.

$e$  = syöttöjännite

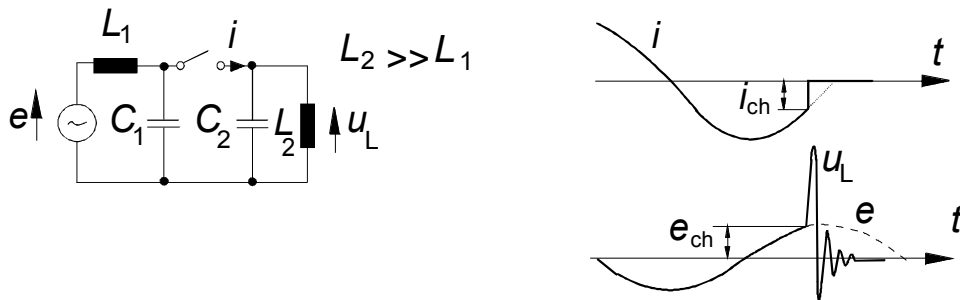
$i$  = katkaisuvirta

$u_p$  = palaava jännite

$u_c$  = kondensaattorin jännite

$u_L$  = kuorman jännite

Pienten induktiivisten ja kapasitiivisten virtojen katkaisussa ei ole niinkään kyse katkaisukyvyistä (poikkeuksena kuormanerotin) kuin katkaisun yhteydessä syntyvien ylijännitteiden suuruudesta. Kuvat 12.1c ja 12.1d esittävät yksinkertaistettuina ylijännitteiden syntymekanismit.

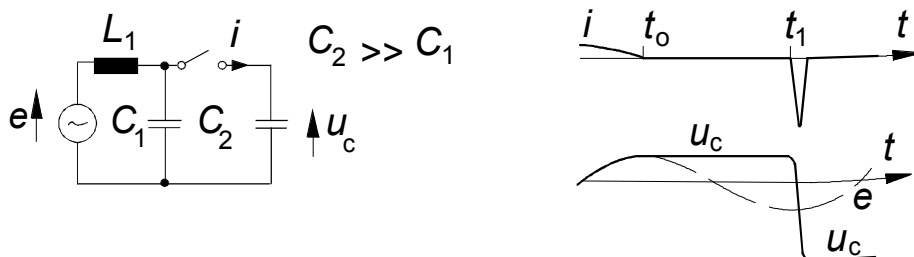


KUVA 12.1c. Pienen induktiivisen virran katkaisu. Virran enneaikaisen katkeamisen aiheuttama ylijännite.

- $e$  = syöttöjännite,  
 $i$  = katkaisuvirta,  
 $i_{ch}$  = siirtymävirta,  
 $u_L$  = erotettavan piirin ( $L_2, C_2$ ) jännite.

Suurin mahdollinen ylijännite

$$u_{max} = \sqrt{e_{ch}^2 + i_{ch}^2 \frac{L_2}{C_2}} \approx i_{ch} \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}.$$



KUVA 12.1d. Kapasitiivisen virran katkaisu. Jälleensyttymisen aiheuttama ylijännite.

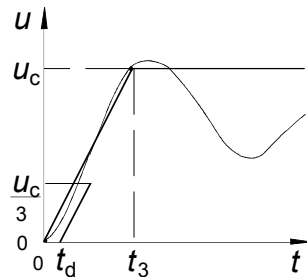
- $t_0$  = virran nollakohta,  
 $t_1$  = jälleensyttymishetki,  
 $u_c$  = kondensaattorin jännite.

Jälleensyttymisen tapahtuessa 10 ms ( $= t_1 - t_0$ ) kuluttua virran nollakohdasta on suurin mahdollinen ylijännite  $U_{max} = 3 \hat{e}$ .

Kapasitiivisten virtojen katkaisujen yhteydessä jälleensyttymisellä tarkoitetaan sitä, että katkaisun yhteydessä avausväli syttyy uudelleen  $\geq 5$  ms virran nollakohdan jälkeen. Mikäli uudelleensyttymisen tapahtuu  $< 5$  ms katkaisun jälkeen tai uudelleensyttymistä ei ollenkaan tapahdu, on kytkinlaite jälleensyttymätön, ja tällöin syntyvä katkaisuylijännite maata vasten voi olla enintään 2,5 kertaa vaihejännitteen huippuarvo.

IEC-standardeissa määritetään induktiivisten virtojen katkaisukokeiden prospektiivinen palaava transienttijännite kahden parametrin ( $U_c$ ,  $t_3$ ) avulla verhoikäyränä (kuva 12.1e). Apusuurena on alkuvaihe  $t_d$ . Kuvassa esitetty värähtelevä jännite täyttää standardivaatimukset.

Yli 100 kV jännitteille palaava transienttijännite määritetään neljän parametrin avulla.



KUVA 12.1e. IEC:n mukaiset palaavan transienttijännitteen tunnusuurat ( $u_c$ ,  $t_3$ ,  $t_d$ ).

Palaavan transienttijännitteen nousunopeus on  $u_c / t_3$ .

**Apujännite  $U_a$ .** Sallittu vaihtelualue on 85... 110 % nimellisarvosta; poikkeuksena katkaisijan aukiohjauksen laukaisumagneetti, jonka on toimittava 70...110 % tasajännitteellä. Ohjaus- ja apuvirtapiirien kestokoejännite on 2 kV, 50 Hz, 1 min.

**Apukoskettimien** tulee olla pakko-ohjattuja. Mitoitusvirta vähintään 10 A; katkaisukyky 2 A 220 V DC 20 ms aikavakiolla ellei toisin mainita.

Kytkinlaitteen **mekaanisen iän** on oltava vähintään 1000 kiinni-auki- toimintaa, katkaisijan 2000.

### Erotin

Erotin on mekaanisesti toimiva kytkinlaite, joka auki-asennossa aikaansaa luotettavan erotusvälin ja kiinni-asennossa kykenee johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran, mutta jolta ei vaadita katkaisu eikä sulkemiskykyä.

Erottimen sulkemis- ja katkaisukyky on korkeintaan 0,5 A ellei erikseen ole toisin mainittu. OJON-erottimilla (12... 36 kV) pystytään erottamaan 300 kVA tyhjäkäyvä muuntaja tai 30 kVA kuorma. 0,5 A vastaa 123 kV:lla n. 2,5 km pituista tyhjäkäyvästä avojohtoa tai 20 MVA tyhjäkäyvästä muuntajaa. Katkaisupiiskoin varustetun NPS erottimen kuormanerotuskyky 24 kV jännitteellä on 25 A.

Erottimen oikosulkukestoisuutta koestettaessa standardin IEC 60129 (1984) mukaisesti on lähimmän tukieristimen etäisyys erottimesta.

- 3 x vaiheväli,  $U_r \leq 52$  kV,  $I_p \leq 100$  kA erottimet

- 2 x vaiheväli,  $U_r > 52$  kV erottimet.

Erottimen yhteydessä oleva maadoituserotin koestetaan samassa piirissä.

Ulos asennettavien NSA/E-erottimien eristimien pintaväli/vaihejännite on noin 3,0 cm/kV. Mikäli käyttöpaikan likaisuusaste on korkea, tulee valita erotin, jonka eristimissä on normaalia pidempi pintaväli tai jonka kohdan 6.1.2 mukainen mitoitusjännite on porrasta suurempi kuin verkon suurin käyttöjännite.

Erottimen käyttölaitteineen tulee olla sellainen, ettei erotin voi avautua tai sulkeutua painovoiman, tuulen, värinän, iskun tai tahattoman koskettamisen kautta. Erottimen apukoskettimet eivät saa osoittaa erottimen kiinniasentoa ennen kuin on varmaa, että pääkoskettimet

saavuttavat asennon, jossa erotin täyttää mitoitusvirta- ja oikosulkuvirtakestoisuusvaatimukset. Apukoskettimet eivät saa osoittaa erottimen auki-asentoa ennen kuin pääkoskettimet ovat saavuttaneet vähintään 80 % erotusvälistä. Jotta erottimia ei vahingossakaan ohjattaisi virrallisina, ne voidaan lukita joko sähköisesti tai mekaanisesti silloin kun niissä voi kulkea virtaa. Sähköinen lukitseminen tehdään lukitusmagneetilla, joka ollessaan jännitteen estää erottimen ohjaamisen.

### Kuormanerotin

Kuormanerotin on kytkinlaite, joka on sekä kytkin että erotin. Kytkin on kytkinlaite, joka pystyy katkaisemaan ja sulkemaan määrätyn virran sekä johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran.

Taulukko 12.1c. Tyypillisiä suoritusarvoja yleiskäyttöön tarkoitetulle sisälle asennettavalle kuormanerottimelle.

Mitoitusjännite	Mitoitusvirta <sup>1)</sup>	Terminen kestovirta	Oikosulun sulkemiskyky	Tyhjäkäyvän muuntajan erottamiskyky (1 % I <sub>r</sub> )	Tyhjäkäyvän kaapelin erottamiskyky	Maasulkuvirran katkaisu	Kaapelin erottaminen maasulun aikana
U <sub>r</sub> kV	I <sub>r</sub> A	I <sub>k</sub> kA	I <sub>ma</sub> kA	I <sub>3</sub> A	I <sub>4 a</sub> A	I <sub>6 a</sub> A	I <sub>6 b</sub> A
12 24	630 630	16...25 12,5...20	40...63 31,5...50	6,3 6,3	10 16	(50) (50)	17 28

<sup>1)</sup> kuormitusvirtojen sulkemis- ja katkaisukyky sekä johtosilmukan avaamiskyky mitoitusvirtaan saakka.

Taulukko 12.1d. Kuormanerotin koestuspiirejä.

TILANNE VERKKOKAAVIO	SIJAIKSYTKENTÄ (ens. katkaiseva vaihe)	PALAAVA TRANSIENTTIJÄNNITE	KOEARVOJA	KOESTUS
Kuormanerotin	 1,5 U <sub>v</sub> Z <sub>s</sub> = 1,5 Z <sub>sv</sub> Z <sub>L</sub> = 1,5 Z <sub>Lv</sub> IEC 60265-1(1998)		Z <sub>s</sub> = (0,12...0,18 Z) tn Z <sub>t</sub> = Z <sub>s</sub> + Z <sub>L</sub> Z <sub>L</sub> : cos φ = 0,70 ± 0,05 U <sub>r</sub> = 24 kV: syöttö u <sub>cs</sub> = 41 kV t <sub>3s</sub> = 88 μs t <sub>ds</sub> = 13 μs	Koestusvaatimukset ks. taulukko 12.1e.
Johtosilmukan avaaminen	 0,3 U <sub>v</sub> IEC 60265-1(1998)		U <sub>r</sub> = 24 kV: u <sub>c</sub> = 8,2 kV t <sub>3</sub> = 250 μs	10 katkaisukoetta (3-): jännite 0,2 U <sub>r</sub> , virta I <sub>r</sub> ja piirin cos φ 0,3.
Varokeuormanerotin toiminta koordinaatiovirralla	 1,5 U <sub>v</sub> IEC 60420 (1990)		U <sub>r</sub> = 24 kV: u <sub>c</sub> = 41 kV t <sub>3</sub> = 176 μs	Kaksi sulaketta oikosuljettuina. Laukaisu kolmannella tai laukaisumagneetilla. 2-vaiheisen koestusvirran suuruus riippuu erottimen avautumisajasta ja sulakkeen virta / sulamisaika diagrammista (Ks. IEC 420 App. B), ollen esim. 10 x sulakkeen I <sub>r</sub> .

Esimerkkeinä koearvot, kun U<sub>r</sub> = 24 kV. C = sulkeminen, O = avaaminen.

$$\hat{u}_v = \sqrt{2} U_v = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_r$$

Uusin IEC julkaisu 60265-1 (1998) määrittelee kolme luokkaa E1 ... E3 sähköiselle kestävyydelle. Lajikokeissa vaadittu katkaisu- ja kytkentäkertojen määrä on sidottu näihin luokkiin. Niiden avulla voidaan optimoida kustannuksia valitsemalla alemman luokan laite harvoin ohjattaviin kohteisiin, joissa kuormitus- ja oikosulkuvirrat ovat pienet ja vastaavasti minimoida huoltokustannuksia vaativimmissa kohteissa.

Vastaavasti on määritelty kaksi luokkaa mekaaniselle kestoisuudelle, M1 ja M2. Luokka M1 vastaa vanhoja vaatimuksia ja toimintakertojen määrä virrattomana on 1000. Sähköisesti ohjatuille laitteille on määritelty myös luokka M2, jossa toimintakertojen määrä on 5000.

Sulkemiskykyvirta on yleensä sama kuin dynaaminen kestovirta. Peruskoesarja eli kuormanerotuskokeet sekä näiden jälkeen suoritettavat sulkemiskyky kokeet on esitetty taulukossa 12.1e.

Taulukko 12.1e Kuormanerotuksen katkaisu- ja kytkentäkoesarjat.

Koesarja		Koejännite +10 % 0 %	Koevirta +10 % 0 %	Toimintakertojen lukumäärä C = kiinniohjaus, O = aukiohjaus		
No	Nimitys			Luokka E1	Luokka E2	Luokka E3
1	Kuormanerotus	$U_r$	$I_1 = I_r$	10 CO	30 CO	100 CO
			$0,05 I_1$	20 CO	20 CO	20 CO
2a	Johtosilmukan avaaminen	$0,20 U_r$	$I_{2a} = I_r$	10 CO	20 CO	20 CO
4a	Tyhjäkäyvän kaapelin erottaminen	$U_r$	$I_{4a}$	10 CO	10 CO	10 CO
			$0,2 - 0,4 I_{4a}$	10 CO	10 CO	10 CO
4b	Tyhjäkäyvän avojohdon erottaminen	$U_r$	$I_{4b}$	10 CO	10 CO	10 CO
5	Oikosulun kytkentä	$U_r$	$I_{ma} = 2,5 I_k$	2 C	3 C	5 C
6a	Maasulkuvirran katkaisu	$U_r$	$I_{6a}$	10 CO	10 CO	10 CO
6b	Tyhjänäkäyvän kaapelin erottaminen maasulun aikana	$I_r$	$I_{6b} = \sqrt{3} I_{4a}$	10 CO	10 CO	10 CO

**2a** Johtosilmukan avaaminen tapahtuu esim. silloin kun käytön rajaa muutettaessa tilapäisesti silmukaksi kytketty verkko palautetaan kuormanerotuksen aukiohjauksella jälleen säteittäiseksi. Standardissa IEC 60265-1 on jännitteen muutokseksi otettu  $0,2 U_r$  käytännössä se on yleensä alle  $0,1 U_r$ .

**6a** Maasulkuvirta on kapasitiivinen ja sen suuruus riippuu verkon rakenteesta ja laajuudesta. IEC ei anna ohjeita.

**6b** Johdon jännite ja varausvirta nousee terveissä vaiheissa. Maasulun ollessa syötön puolella kuormanerotuksen avausvälin yli vaikuttaa pääjännite vaikeuttaen katkaisua.

Muuntajan tyhjäkäyntivirran katkaisukoetta ei vaadita. Laite, joka läpäisee kaikki muut kokeet pystyy varmasti katkaisemaan muuntajan tyhjäkäyntivirran  $1\% I_r$ .



Lajikokeissa katkaisukokeiden jälkeen suoritetaan kaksi oikosulkuvirran kytkentäkoetta mitoitussännitteellä ja nimellisellä sulkemiskyvyllä  $I_{ma}$ .

**Varokekuormanerotin** on vapaalaukaisulaitteella ja sulakkein varustettu kuormanerotin. Yhdenkin sulakkeen toiminta saa aikaan kuormanerotin auki-ohjauksen ja siten piirin kaikkinaapaisen erottamisen. Tällaisen yhdistelmän aukottomalle toiminnalle on esitetty vaatimukset standardissa IEC 60420 (1990). Vaikein koestusvaatimus on koordinaatiovirran koe, on esitetty taulukossa 12.1d.

**Katkaisija**

Katkaisija on kytkinlaite, joka pystyy katkaisemaan, sulkemaan ja johtamaan kuormitusvirran lisäksi myös oikosulkuvirran.

Peruskoesarja eli napaoikosulkukokeet on esitetty taulukossa 12.1f. Taulukossa on mainittu nimellinen toimintaketju:

- aikajälleenkytkentä O - 3 min-CO-3 min-CO
- pikajälleenkytkentä O - 0,3s-CO-3 min-CO, missä O = avaaminen, CO = sulkeminen ja välitön avaaminen, 3 min ohella tunnetaan myös 1 min ja 15 s jälleenkytkentäajat.

Katkaisijan eri napojen toiminnan eriaikaisuus saa olla enintään 10 ms (yksivaihekoestus on sallittu vain jos eriaikaisuus <5 ms.)

Muita peruskoestusvaatimuksia:

- lähivikakoestus katkaisijalle  $U_r \geq 52$  kV.  $I_{sc} > 12,5$  kA. Lähiviialla tarkoitetaan oikosulkua avojohdolla lyhyen matkan (< 5 km) päässä katkaisijasta.
- tyhjäkäyvän avojohdon erottaminen, katkaisijalle  $U_r \geq 72,5$  kV.

Taulukko 12.1f. Katkaisijan koestuspiirejä.

TILANNE VERKKOKAAVIO	SIJAIKYYTKENTÄ (ens. katkaiseva napa)	PALAAVA TRAN- SIENTTIJÄNNITE	KOEARVOJA			KOEUSTUS			
			$I/I_{sc}$	$u_c$ kV	$t_3$ $\mu s$	$t_d$ $\mu s$	Koe- sarja	Toiminto 1)	Koe- virta $I/I_{sc}$
Napaoikosulku 	 $1,5 U_v$ IEC 60056 (1987)	 $100\%$ 0 0,1 0,2 ms	$U_r = 24$ kV			TD 1	O-O-O	10 %	symm. $I_{sc}$
			100%	41	88				
Vaiheoppositio 	 $2,5 U_v$ IEC 60056 (1987)	 0 0,1 0,2 ms	$U_r = 24$ kV $u_c = 61$ kV $t_3 = 176 \mu s$			TD 3	O-O-O	60 %	epäs /DC%
			60%	44	38				
Lähivika 	 $U_v$ IEC 60056 (1987)	 $U_n = 123$ kV $I = 0,75/sc$ 0 0,1 0,2 ms	$I/I_{sc}$	$u_L/\hat{u}_v$	$u_m/\hat{u}_v$	Koeustus 1-vaiheisena $\geq 52$ kV > 12,5 kA katkaisijalle 3 katkaisukoetta kullakin virta- arvolla			
			0,9 0,75	0,16 0,4	1,36 1,3				
Kapasitiivinen kuorma 	 $U_{koe}$ IEC 60056 (1987)	 0 5 10 ms	Koejännite 1-vaihekoestuk- sessa $u_{koe} / u_v$			Koeustus 1-vaiheisena sallittu vain jälleensyöttömälle katkaisijalle mikäli eri napojen eriaikaisuus < 3,3 ms. 3-vaihekoestus kahdella koepiirillä (ä 10 koetta): - syötön oikosulkuvirta / sc ja - kuorman aih. $\Delta U$ 10 % Vastaavasti kokeet arvolla 0,3 / c			
			1,4 kondensaattoriparisto 1,2 tyhjäkäyvä avojohto 1,0 tyhjäkäyvä kaapeli						

Esimerkkinä koearvot, kun  $U_r = 24$  kV (maasta erotettu verkko).  $I_{sc}$  = oikosulun katkaisukyky, C = sulkeminen, O = avaaminen.

$$\hat{u}_v = \sqrt{2} U_v = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_r$$

Erityisvaatimuksia:

- **Tyhjäkäyvän kaapelin** erottaminen. Koestus on yleensä tarpeeton  $\leq 24$  kV katkaisijalle.
- **Kondensaattoripariston** erottaminen, kun on kyse yksittäisestä rinnakkaisparistosta.
- **Vaiheoppositiokoestus**. Vaiheoppositio on tilanne, jossa katkaisijan kummallakin puolella olevat syöttölähteet joutuvat epätahtiin virheellisen tahdistuksen, ylikuormituksen tai oikosulun takia.

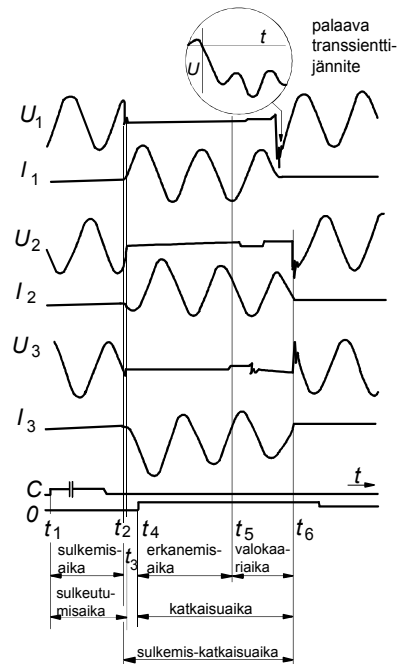
Katkaisijan palaava jännite on suurin kun syöttölähteiden vaihesiirto on 180. Katkaisuvirta on korkeintaan puolet suurimmasta oikosulkuvirrasta. Standardoitu koestusvirta on  $0,25 I_{sc}$  vastaten tapausta jossa syöttävien verkkojen oikosulkuimpedanssien suhde on 1:6 ja suurin oikosulkuvirta on  $I_{sc}$

Eräitä muita tilanteita on esitetty taulukossa 12.1g.

Taulukko 12.1g. Tilanteita, joista ei ole toistaiseksi vaatimuksia IEC-standardeissa.

Tilanne	Erityispiirteet	Huomautuksia
Pienen induktiivisen virran katkaisu, esim. - kuristinkuorman erottaminen - moottorin käynnistysvirta	Suuret ylijännitteet katkaisussa mahdollisia, johtuen lähinnä virran ennenaikaisesta katkeamisesta ( $i_{ch}$ ).	Valitaan sopiva kytkinlaite tai suojataan kohde ylijännitteiltä. Ks. IEC Technical Report 1233(1994).
Oikosulku sarjakuristimen tai muuntajan takana, tämän määrätessä oikosulkuvirran suuruuden. Rinnakkaiskuristimen erottaminen.	Lähinnä alueella $U_r \leq 24$ kV. palaavan transienttijännitteen nousunopeus suuruusluokkaa $5 \text{ kV} / \mu\text{s}$ . (Lajikokeen 100 % ja 60 % kokeissa se on $0,5 \dots 1 \text{ kV} / \mu\text{s}$ , kun $U_r = 24 \text{ kV}$ )	Ks. IEC Technical Report 1233(1994).
Oikosulku suuren generaattorin tai suuren muuntajan lähellä	Oikosulkuvirran tasavirtakomponentti suurempi kuin standardoitu arvo, koska $\cos \phi < 0,07$ .	Katkaisijan aukiohjausta viivästetään tai valitaan erityisesti koestettu katkaisija.

HPA\_ ja VD4 katkaisija soveltuu hyvin moottorikatkaisijaksi kun toimintoja päivässä on enintään 10 (mekaaninen ikä on 10000 toimintaa) eikä se aiheuta vaarallisen suuria ylijännitteitä. Tahdistukseen ja syötön pikavaihtoon soveltuvat HPA\_ ja VD4 katkaisijat, koska toimintaajat (ks. kuva 12.1f) ovat lyhyet ja vakiot.



KUVA 12.1f. Katkaisijan ominaisuuksia koestusoskillogrammin (sulkeminen-katkaisu) avulla esitettynä [ IEC 60056 ( 1987 ) ].

- C = Sulkemisimpulssi ( esim. kelavirta )
- O = Avaamisimpulssi ( esim. kelavirta )
- $I_1$  = Ensimmäisenä katkaisevan navan virta
- $t_3$  = Koskettimien galvaaninen kosketushetki
- $t_5$  = Valokaarikoskettimien erkanemishetki

### Sulake

Suurjännitesulakkeelle standardissa IEC 60282-1 ( 1994 ) esitetyt vaatimukset poikkeavat osittain pienjännitesulakkeille esitetyistä:

- katkaisukykyä ei vaadita pienillä ylivirroilla ( yleensä alle  $3 I_r$  ), vaan yleiskäyttösulakkeiden luotettava toiminta-alue on alue jossa toiminta-aika  $\leq 1$  h,
- tehohäviörajoja ei ole esitetty ja
- aika-virtaominaiskäyriä ei ole esitetty.

Sulakkeiden valintaohjeet ovat siten valmistajakohtaiset.

CEF-sulakkeen mitoitusvirran valinta:

- muuntajan etusulake, ks. taulukko12.1h ja
- kondensaattorin etusulake: 2 x kondensaattorin mitoitusvirta.

CMF-etusulake moottorille:

- n. 2 x moottorin mitoitusvirta riippuen käynnistysajasta ja -tiheydestä ( tarkemmin valmistajan esitteessä ).

Sulakkeiden rinnankytkentä on mahdollista.

Taulukko 12.1h. CEF-sulakkeen valinta muuntajan suojaaksi.

	Muuntajan nimellisjännite 10 ... 12 kV	Muuntajan nimellisjännite 20 ... 24 kV
Muuntajan teho kVA	Sulakkeen mitoitusvirta A	Sulakkeen mitoitusvirta A
50	10	10
100	16	10
200	25	16
250	25	16
315	40	25
400	40	25
500	63	25
630	63	40
800	63	40
1000	80	63
1250	100	63
1600	100	63
2000	160	80
2500	200	100

Sulakkeen mitoitusjännitteen on yleensä oltava sama kuin verkon suurin käyttöjännite. Esim. 3,6 kV jännitteellä ei saa käyttää 12 kV sulakkeita, vaikka 3,6 kV ja 12 kV sulakkeiden ulkoiset mitat olisivat samat, koska 12 kV sulakkeen katkaisuylijännitteet 3,6 kV jännitteellä saattavat ylittää laitoksen eristystason.

Kolmivaihepiirissä kaikkien sulakkeiden tulee olla identtisiä (sama valmistaja, lajimerkki, tekniset arvot).

Sulakkeiden vaihto tulee suorittaa sulakkeiden ollessa virrattomana. On suositeltavaa vaihtaa kaikkien kolmen vaiheen sulakkeet, kun yksi tai kaksi sulaketta on toiminut ellei varmasti tiedetä että mitään ylivirtaa ei ole kulkenut toimimattomien sulakkeiden kautta.

### Kontaktori

Suurjännitekontaktoreille on standardissa IEC 60470 (1999) esitetty AC-luokat sekä niiden vaatimukset (Taulukot 12.1j, 12.1k ja 12.1l).

Taulukko 12.1j. Suurjännitekontaktorien käyttöluokat.

Käyttöluokat	Tyypilliset sovellutukset
AC-1	Ei-induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit
AC-2	Liukurengasmoottorit: käynnistys, pysäytys
AC-3	Oikosulkumoottorit: käynnistys, pyörivän moottorin pysäytys <sup>1)</sup>
AC-4	Oikosulkumoottorit: käynnistys, vastavirtajarrutus, nykäyskäyttö

<sup>1)</sup> AC-3 -luokkaa voidaan käyttää satunnaiseen nykäyskäyttöön tai vastavirtajarrutukseen rajoitettuina ajanjaksoina, kuten koneen asennuksen yhteydessä. Tällaisina rajoitettuina ajanjaksoina tällaisten toimintojen lukumäärä ei saisi ylittää viittä minuutissa eikä kymmentä kymmenen minuutin jaksossa.

Taulukko 12.1k. Suurjännitekontaktin kytkentä- ja katkaisukykyvaatimukset.

Luokka	Kytkeä			Katkaisu		
	$I/I_e$	$U/U_e$	$\cos \varphi$	$I/I_e$	$U/U_e$	$\cos \varphi$
AC-1	1,5	1,1	0,95	1,5	1,1	0,95
AC-2	4	1,1	0,65	4	1,1	0,65
AC-3	8	1,1	0,35	8	1,1	0,35
AC-4	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35

$I$  = koevirta,

$I_e$  = nimellinen käyttövirta,

$U$  = koejännite,

$U_e$  = nimellinen käyttöjännite.

Taulukko 12.1l. Olosuhteet kontaktin elinäkokeessa. <sup>1)</sup>

Luokka	Kytkeä			Katkaisu		
	$I/I_e$	$U/U_e$	$\cos \varphi$ <sup>2)</sup>	$I_c/I_e$	$U_r/U_e$	$\cos \varphi$ <sup>2)</sup>
AC-1	1	1	0,95	1	1	0,95
AC-2	2,5	1	0,65	2,5	1	0,65
AC-3	6	1	0,35	1	0,17	0,35
AC-4	8	1	0,35	6	1,1	0,35

$I$  = koevirta,

$I_e$  = nimellinen käyttövirta,

$U$  = koejännite,

$U_e$  = nimellinen käyttöjännite,

$I_c$  = katkaistava virta ja

$U_r$  = palaava jännite.

<sup>1)</sup> Olosuhteet esitetään tehollisarvoina, mutta on ymmärrettävä, että epäsymmetrisen virran huippuarvo, mikä riippuu piirin tehokertoimesta saattaa saada suurempia arvoja.

<sup>2)</sup>  $\cos \varphi$  voi poiketa arvostaan  $\pm 0,05$ .

Yleisin kontaktityyppi Suomessa on tyhjäkontaktori (mekaaninen ikäluokka 1 milj. toimintaa). Se soveltuu käytettäväksi pienehkön moottorin kytkinlaitteena kun toimintatiheys on suuri. Kontaktin oikosulkusuojana ovat sulakkeet. Suurimman sallitun sulakekoon ilmoittaa valmistaja. Kontaktin ohjain toimii yleensä lepovirtaperiaatteella; saatavissa myös mekaanisella lukituksella ja työvirtaperiaatteella.

Tietyissä tilanteissa alle 0,5 MW moottoria kytkettäessä ja erotettaessa saattaa tyhjäkontaktori aiheuttaa moottorin eristykselle vaarallisia ylijännitteitä. Kontaktorit poikkeavat toisistaan. Mikäli suojausta tarvitaan, eivät tavalliset venttiilisuojat sovellu, vaan on käytettävä valmistajan ilmoittamaa erikoistyyppiä.

## 12.2. Eristimet ja läpiviennit

### Standardit

Tukieristimet: IEC 60168, 60273, 60660

Linjaeristimet: SETI: E1, E9; IEC 60383-1, 60383-2, 61109; SFS 3741, 5004, 5275

Eristimen valinta likaisuuden mukaan: IEC 60815

Läpiviennit: IEC 60137

Listassa mainitut standardit ovat tavallisimmat. Niiden lisäksi sovelletaan muitakin IEC-standardeja (Esim. IEC 60120, 60305).

### Käyttöolosuhteet

Sisäolosuhteissa ei yleensä ole ongelmia. Jos olosuhteet ovat hyvin kosteita tai pölyisiä voidaan käyttää ulkoeristimiä. Ulkoilma on Suomessa sen verran puhdas, ettei eristimien likaantumista yleensä tarvitse ottaa huomioon ulkoasennuksissa. Erikoistapauksissa voidaan likaisissa olosuhteissa käyttää eristimiä, joilla on normaalia pitempi pintaväli tai eristimiä, jotka koestamalla on todettu soveltuvan likaisiin olosuhteisiin (esim. suolasumukoe).

Linjaeristimet, jotka ovat alttiita ilmastollisille ylijännitteille, on koestettu lineaarisesti nousevalla syöksyjännitteellä. Hyvällä linjaeristimellä on alhainen radiohäiriötaso.

### Eristimen valinta

Eristimen valinnassa on otettava huomioon seuraavia seikkoja:

- käyttöolosuhteet: sisällä, ulkona, likaisuus,
- sähköiset rasitukset; käyttöjännite, koejännitevaatimukset,
- mekaaniset rasitukset; taivutus, veto, oikosulkuvoimat ja
- asennusmitat; tilantarve, pituus, kiinnitysreitit.

### Eristimen raaka-aine

Sisälle asennettavat eristimet ovat yleensä epoksimuovia. Myöskin ulosasennettavien eristimien raaka-aineena posliinin ja lasin rinnalla käytetään orgaanisia aineita. Ulkoasennukseen tarkoitetuissa tukieristimissä käytetään erityistä ulkoasennuskestoista epoksimuovia.

Sisäkäyttöön tarkoitettu epoksimuovi on ruskeaa, ulkokäyttöön tarkoitettu on harmaata.

### Eristimien asennus

Eristimiä asennettaessa on huomioitava mm. seuraavat seikat:

- suurimpia sallittuja kiinnitysruuvien kiristysmomentteja ei saa ylittää,
- luotettava kiinnitys edellyttää myös, ettei pienintä suositeltua momenttia aliteta,
- kiinnitysruuvien pituus on valittava siten, että se ei törmää eristimessä olevan mutteriosan pohjaan,
- toisaalta ruuvien tulisi mennä mutteriosaan vähintään  $1,4 \times d$  syvyyteen, missä  $d$  on ruuvien halkaisija,
- vapaa-reiälle asetettuja maksiarvoja ei saa ylittää ja
- kiinnitysruuvien kiristäminen ei saa aiheuttaa eristimeen mekaanisia jännityksiä.

### Läpiviennit

Läpivienneille pätevät samat asiat kuin eristimille. Sen lisäksi on otettava huomioon nimellisvirta ja oikosulkuvirta. Läpivientiä valittaessa on huomioitava pienimmät sallitut etäisyydet maadoitettuihin osiin.