

**LÜHISVOOLUD KOLMEFAASILISTES
VAHELDUVVOOLUSÜSTEEMIDES**

Osa 0: Voolude arvutamine

**Short-circuit currents in three-phase a.c. systems
Part 0: Calculation of currents
(IEC 60909-0:2016)**

EESTI STANDARDI EESSÕNA

See Eesti standard on

- Euroopa standardi EN 60909-0:2016 ingliskeelse teksti sisu poolest identne tõlge eesti keelde ja sellel on sama staatus mis jõustumisteate meetodil vastuvõetud originaalversioonil. Tõlgenduserimeelsuste korral tuleb lähtuda ametlikes keeltes avaldatud tekstidest;
- jõustunud Eesti standardina inglise keeles juulis 2016;
- eesti keeles avaldatud sellekohase teate ilmumisega EVS Teataja 2017. aasta augustikuu numbris.

Standardi tõlke koostamise ettepaneku on esitanud tehniline komitee EVS/TK 19 „Kõrgepinge“, standardi tõlkimist on korraldanud Eesti Standardikeskus ning rahastanud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Standardi on tõlkinud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi dotsent Ülo Treufeldt, standardi on heaks kiitnud EVS/TK 19 ekspertkomisjon koosseisus:

Jako Kilter	Eesti Elektroenergeetika Selts
Raivo Rebane	OÜ Elektrilevi
Meelis Kärt	Tehnilise Järelevalve Amet
Rein Oidram	TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
Raivo Teemets	TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Standardi mõnede sätetele on lisatud Eesti olusid arvestavaid märkusi, selgitusi ja täiendusi, mis on tähistatud Eesti maatahisega EE.

Standardis sisalduvad arväärtusrajad eessõnadega *alates* ja *kuni* sisaldavad alati, nagu ka senistes eestikeelsetes normdokumentides, kaasaarvatult rajaväärtust ennast.

See väljaanne sisaldab võrreldes eelmisega järgmisi olulisi tehnilisi muudatusi:

- a) elektrituulikute panus lühisvoolu;
- b) täismuunduritega jaamaplokkide panus lühisvoolu;
- c) uus dokumendi struktuur.

See dokument on EVS-i poolt loodud eelvaade

Euroopa standardimisorganisatsioonid on teinud Euroopa standardi EN 60909-0:2016 rahvuslikele liikmetele kättesaadavaks 10.06.2016.

Date of Availability of the European Standard EN 60909-0:2016 is 10.06.2016.

See standard on Euroopa standardi EN 60909-0:2016 eestikeelne [et] versioon. Teksti tõlke on avaldanud Eesti Standardikeskus ja sellel on sama staatus ametlike keelte versioonidega.

This standard is the Estonian [et] version of the European Standard EN 60909-0:2016. It was translated by the Estonian Centre for Standardisation. It has the same status as the official versions.

Tagasisidet standardi sisu kohta on võimalik edastada, kasutades EVS-i veebilehel asuvat tagasiside vormi või saates e-kirja meiliaadressile standardiosakond@evs.ee.

ICS 17.220.01; 29.240.20

Standardite reprodutseerimise ja levitamise õigus kuulub Eesti Standardikeskusele

Andmete paljundamine, taastekitamine, kopeerimine, salvestamine elektroonsesse süsteemi või edastamine ükskõik millises vormis või millisel teel ilma Eesti Standardikeskuse kirjaliku loata on keelatud.

Kui Teil on küsimusi standardite autorikaitse kohta, võtke palun ühendust Eesti Standardikeskusega: Koduleht www.evs.ee; telefon 605 5050; e-post info@evs.ee

See dokument on EVS-i poolt loodud eelvaade

Taotluslikult tühjaks jäetud

English Version

**Short-circuit currents in three-phase a.c. systems -
Part 0: Calculation of currents
(IEC 60909-0:2016)**

Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à
courant alternatif -
Partie 0: Calcul des courants
(IEC 60909-0:2016)

Kurzschlussströme in Drehstromnetzen -
Teil 0: Berechnung der Ströme
(IEC 60909-0:2016)

This European Standard was approved by CENELEC on 2016-03-03. CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CENELEC member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, the Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and the United Kingdom.



European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

SISUKORD

EN 60909-0:2016 EESSÕNA	5
1 KÄSITLUSALA	6
2 NORMIVIITED	6
3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED	7
4 SÜMBOLID, ALA- JA ÜLAINDEKSID	15
4.1 Üldist	15
4.2 Sümbolid	15
4.3 Alaindeksid	17
4.4 Ülaindeksid	19
5 LÜHISVOOLUDE KARAKTERISTIKUD: ARVUTUSMEETOD	19
5.1 Üldist	19
5.2 Arvutamise eeldused	21
5.3 Arvutusmeetod	22
5.3.1 Ekvivalentne pingeline lühisekohas	22
5.3.2 Sümmeetrilised komponendid	24
6 ELEKTRISEADMETE LÜHISIMPEDANTSID	25
6.1 Üldist	25
6.2 Võrgufiidrid	25
6.3 Trafod	27
6.3.1 Kahemähiselised trafod	27
6.3.2 Kolmemähiselised trafod	27
6.3.3 Impedantsi parandustegurid kahe- ja kolmemähiselistele võrgutrafodele	29
6.4 Õhuliinid ja kaablid	30
6.5 Lühisvoolu piiravad reaktorid	31
6.6 Sünkroonmasinad	31
6.6.1 Sünkroongeneraatorid	31
6.6.2 Sünkroonkompensaatorid ja -mootorid	32
6.7 Jaamaplokid	32
6.7.1 Koormus-astmelülitiga jaamaplokid	32
6.7.2 Ilma koormus-astmelülitita jaamaplokid	33
6.8 Elektrituulikud	34
6.8.1 Üldist	34
6.8.2 Asünkroongeneraatoriga elektrituulikud	34
6.8.3 Kaksistoitega asünkroongeneraatoriga elektrituulikud	35
6.9 Täismuunduriga jaamaplokk	36
6.10 Asünkroonmootorid	36
6.11 Staatilise muunduriga toidetavad ajamid	37
6.12 Kondensaatorid ja mittepöörlevad koormused	37
7 ÜLIMÖÖDUVA LÜHISVOOLU ARVUTAMINE	37
7.1 Üldist	37
7.1.1 Ülevaade	37
7.1.2 Suurimad ja vähimad lühisvoolud	42
7.1.3 Asünkroonmootorite panus lühisvoolu	43
7.2 Kolmefaasiline ülimööduv lühisvool	43
7.2.1 Üldist	43
7.2.2 Lühisvoolud koormus-astmelülitiga jaamaploki sees	44
7.2.3 Lühisvoolud ilma koormus-astmelülitita jaamaploki sees	46
7.3 Kahefaasiline lühis	46

7.4	Kahefaasiline maalühis	47
7.5	Ühefaasiline lühis	48
8	LÖÖKVOOLU ARVUTAMINE.....	49
8.1	Kolmefaasiline lühis	49
8.1.1	Ühe ja mitme radiaaltoitega lühised.....	49
8.1.2	Mitmiktoitega lühis.....	50
8.2	Kahefaasiline lühis	51
8.3	Kahefaasiline maalühis	51
8.4	Ühefaasiline lühis	52
9	LAHUTUSVOOLU ARVUTAMINE.....	52
9.1	Kolmefaasiline lühis	52
9.1.1	Sünkroonmasinate lahutusvool.....	52
9.1.2	Asünkroonmasinate lahutusvool.....	53
9.1.3	Kaksistoitega asünkroongeneraatoriga jaamaplokkide lahutusvool.....	54
9.1.4	Täismuunduriga jaamaplokkide lahutusvool	54
9.1.5	Võrgufiidri lahutusvool.....	55
9.1.6	Lahutusvool mitme radiaaltoitega lühiste korral	55
9.1.7	Lahutusvool mitmiktoitega lühiste korral	55
9.2	Asümmeetrilised lühised.....	56
10	LÜHISVOOLU ALALISKOMPONENT.....	56
11	PÜSILÜHISVOOLU ARVUTAMINE.....	57
11.1	Üldist.....	57
11.2	Kolmefaasiline lühis	57
11.2.1	Ühe sünkroongeneraatori või ühe jaamaploki püsilühisvool.....	57
11.2.2	Asünkroonmootori või -generaatori püsilühisvool.....	59
11.2.3	Kaksistoitega asünkroongeneraatoriga elektrituuliku püsilühisvool.....	60
11.2.4	Täismuunduriga elektrituuliku püsilühisvool.....	60
11.2.5	Võrgufiidri püsilühisvool	60
11.2.6	Püsilühisvool mitme radiaaltoitega lühiste korral.....	60
11.2.7	Püsilühisvool mitmiktoitega lühiste korral	60
11.3	Asümmeetrilised lühised.....	60
12	LÜHISED TRAFODE ALAMPINGEPOOLEL, KUI ÜLEMPINGEPOOLEL ON ÜKS FAASIJUHT KATKENUD	61
13	LÜHIS ASÜNKROONMOOTORI KLEMMIDEL	62
14	JOULE'I INTEGRAAL JA TERMOEKVIVALENTNE LÜHISVOOL.....	63
	Lisa A (normlisa) Valemid tegurite m ja n arvutamiseks.....	66
	Lisa B (teatmelisa) Sõlmenäivjuhtivuste ja sõlmeimpedantside maatriks	67
	Lisa ZA (normlisa) Normiviited rahvusvahelistele standarditele ja neile vastavatele Euroopa standarditele	70
	Kirjandus.....	71

JOONISED

Joonis 1 — Generaatori kauglühise konstantse perioodilise komponendiga lühisvool (põhimõtteline graafik).....	19
Joonis 2 — Generaatori lähilühise kahaneva perioodilise komponendiga lühisvool (põhimõtteline graafik).....	20
Joonis 3 — Lühiste ja nende voolude iseloomustus.....	21
Joonis 4 — Selgitus ülimööduva lühisvoolu I_k'' arvutamiseks ekvivalentse pingeballika meetodi kohaselt	23
Joonis 5 — Võrgu skeem ja ekvivalentne aseskeem võrgufiidritele	26
Joonis 6 — Kolmemähiseline trafo (näide)	28
Joonis 7 — Diagramm kolmefaasilise ülimööduva voolu suhtes suurimat ülimööduvat lühisvoolu põhjustava lühiseliigi määramiseks (joonis 3), kui impedantside $Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$, $Z_{(0)}$ nurgad on identsed	39
Joonis 8 — Ühe radiaaltoitega lühiste näited	40
Joonise 9 — Mitme radiaaltoitega lühise näide.....	41
Joonis 10 — Mitmiktoitega lühise näide.....	42
Joonis 11 — Lühisvoolud ja osalühisvoolud kolmefaasiliste lühiste korral generaatori ja koormus-astmelülitiga või ilma koormus-astmelülitita plokitrafo vahel või jaamaploki omatarbeträfo ühendusel ja omatarbelattidel A	45
Joonis 12 — Tegur κ jadaahela korral suhte R/X või X/R funktsioonina.....	49
Joonis 13 — Tegur μ lahutusvoolu I_b arvutamiseks.....	53
Joonis 14 — Tegur q asünkroonmootorite lahutusvoolu arvutamiseks	54
Joonis 15 — Tegurid $\lambda_{\min}$ ja $\lambda_{\max}$ silindrilise rootoriga generaatoritele.....	58
Joonis 16 — Tegurid $\lambda_{\min}$ ja $\lambda_{\max}$ väljepoolustega generaatoritele	59
Joonis 17 — Trafo sekundaari lühised, kui Dyn5 trafo ülempingepoleel on üks faas (sulavkaitse) avatud	61
Joonis 18 — Tegur m lühisvoolu alaliskomponendi soojusliku toime jaoks (programmeerimise jaoks on valem teguri m arvutamiseks antud lisas A).....	64
Joonis 19 — Tegur n lühisvoolu perioodilise komponendi soojusliku toime jaoks (programmeerimise jaoks on valem teguri n arvutamiseks antud lisas A).....	65
Joonis B.1 — Sõlmenäivjuhtivuste maatriksi koostis.....	67
Joonis B.2 — Näide.....	68

TABELID

Tabel 1 — Pingetegur c	24
Tabel 2 — Lühisvoolude tähtsus.....	38
Tabel 3 — Tegurid α ja β lühisvoolude arvutamiseks valemiga (96), nimiülekanadesuhe $t_r = U_{rTHV}/U_{rTLV}$	62
Tabel 4 — Asünkroonmootorite lühisvoolude arvutamine lühise korral mootori klemmidel.....	63
Tabel B.1 — Elektriseadmete impedantsid taandatuna 110 kV poolele.....	68

EN 60909-0:2016 EESSÕNA

IEC tehnilise komitee IEC/TC 73 „Shortcircuit currents“ koostatud dokumendi 73/172/CDV tekst, rahvusvahelise standardi IEC 60909-0 tulevane teine väljaanne on esitatud IEC ja CENELEC-i paralleelsele hääletusele ja CENELEC on selle üle võtnud standardina EN 60909-0:2016.

Kehtestati järgmised tähtpäevad:

- viimane tähtpäev Euroopa standardi kehtestamiseks riigi tasandil identse rahvusliku standardi avaldamisega või jõustumisteate meetodil kinnitamisega (dop) 2016-12-10
- viimane tähtpäev Euroopa standardiga vastuolus olevate rahvuslike standardite tühistamiseks (dow) 2019-06-10

See Euroopa standard asendab standardit EN 60909-0:2001.

Tuleb pöörata tähelepanu võimalusele, et standardi mõni osa võib olla patendiõiguse objekt. CEN ega CENELEC ei vastuta sellis(t)e patendiõigus(t)e väljaselgitamise ega selgumise eest.

Jõustumisteade

CENELEC on rahvusvahelise standardi IEC 60909-0:2016 teksti muutmata kujul üle võtnud Euroopa standardina.

Ametliku väljaande kirjanduse loetelus tuleb viidatud standarditele lisada alljärgnevad märkused:

IEC 60865-1	MÄRKUS	Harmoneeritud kui EN 60865-1.
IEC 62428	MÄRKUS	Harmoneeritud kui EN 62428.

1 KÄSITLUSALA

Seda IEC 60909 osa rakendatakse lühisvoolude arvutamiseks

- kolmefaasilistes vahelduvvoolu-madalpingevõrkudes ja
- kolmefaasilistes vahelduvvoolu-kõrgepingevõrkudes, mis talitlevad nimisagedusel 50 Hz või 60 Hz.

Pikkade ülekandeliinidega võrgud, mille kõrgeim pinge on 550 kV ja rohkem, vajavad erikäsitlust.

See IEC 60909 osa kehtestab üldise, kasutuskõlbliku ja lühida protseduuri, mis viib üldjoontes vastuvõetava täpsusega tulemusteni. Selle arvutusmeetodi kohaselt võetakse lühisekohas kasutusele ekvivalentne pingeallikas. See ei välista erimeetodite, nagu näiteks superponeerimismeetodi kasutamist, mida rakendatakse erilistel juhtumitel, kui need annavad vähemalt sama täpsuse. Superponeerimismeetod võimaldab leida lühisvoolu tulenevalt mingist eeldatud püsiseisundist. Seetõttu ei vii see meetod ilmtingimata suurima lühisvooluni.

See IEC 60909 osa käsitleb lühisvoolude arvutamist sümmeetriliste või asümmeetriliste lühiste korral.

Ühefaasiline maaühendusriike jääb väljapoole IEC 60909 selle osa käsitusala.

Kahe eraldi, kuid samaaegse ühefaasilise maalühise ajal esinevate voolude asjus isoleeritud neutraaliga või resonantsmaandatud neutraaliga võrkudes vaata standardit IEC 60909-3.

Lühisvoolusid ja lühisimpedantse võib määrata ka võrgukatsetega võrguanalüsaatori mõõtetulemuste järgi või digitaalarvutiga. Olemasolevates madalpingevõrkudes on võimalik määrata lühisimpedantsi mõõtmiste alusel oodatava lühise asukohas.

Lühisimpedantsi arvutus põhineb üldiselt elektriseadmete nimiaandmetel ja süsteemi topoloogilisel ülesehitusel ning selle eelis on võimalus kasutada seda nii olemasolevate kui ka plaanimisjärgus süsteemide jaoks.

Üldiselt arvestatakse kahe, suuruse poolest erineva lühisvoolu tüübiga:

- suurim lühisvool, mis määrab ära elektriseadmete võimekuse või nimiaandmed ja
- vähim lühisvool, mis võib olla näiteks sulavkaitsmete valiku, kaitseseadmete sätestamise ja mootorite käivituse kontrollimise aluseks.

MÄRKUS Eeldatakse, et vool kolmefaasilisel lühisel tekib üheaegselt kõigil poolustel. Mitteüheaegsete lühiste, mis võivad põhjustada lühisvoolu suuremaid aperiodilisi komponente, uuringud jäävad väljapoole IEC 60909 selle osa käsitusala.

See IEC 60909 osa ei hõlma juhitud tingimustel tahtlikult tekitatud lühisvoolusid (lühiste katsejaamad).

See IEC 60909 osa ei tegele lühisvoolude arvutamisega laevade ja lennukite pardainstallatsioonides.

2 NORMIVIITED

Alljärgnevalt loetletud dokumendid, mille kohta on esitatud normiviited, on kas tervenisti või osaliselt vajalikud selle standardi rakendamiseks. Dateeritud viidete korral kehtib üksnes viidatud väljaanne. Dateerimata viidete korral kehtib viidatud dokumendi uusim väljaanne koos võimalike muudatustega.

IEC 60038:2009. IEC standard voltages

IEC 60050-131. International Electrotechnical Vocabulary – Part 131: Circuit theory (kättesaadav veebilehelt www.electropedia.org)

IEC TR 60909-1:2002. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0

IEC TR 60909-2:2008. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Data of electrical equipment for short-circuit current calculations

IEC 60909-3:2009. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth

IEC TR 60909-4:2000. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents

3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED

Standardi rakendamisel kasutatakse standardis IEC 60050-131 ning alljärgnevalt esitatud termineid ja määratlusi.

3.1

lühis (*short circuit*)

avariiline või tahtlik juhtiv rada kahe või enama (nt kolmefaasiline lühis) juhtiva osa vahel, mis sunnib nende juhtivate osade vahelist elektriliste potentsiaalide vahet muutuma nulliks või nullilähedaseks

accidental or intentional conductive path between two or more conductive parts (e.g. three-phase short circuit) forcing the electric potential differences between these conductive parts to be equal or close to zero

3.1.1

kahefaasiline lühis (*line-to-line short circuit, two-phase short circuit*)

avariiline või tahtlik juhtiv rada kahe faasijuhi vahel koos või ilma maaühenduseta

accidental or intentional conductive path between two line conductors with or without earth connection

3.1.2

ühefaasiline lühis (*line-to-earth short circuit, single-phase short circuit*)

avariiline või tahtlik juhtiv rada jäikmaandatud või impedantsmaandatud neutraaliga võrgus faasijuhi ja kohaliku maa vahel

accidental or intentional conductive path in a solidly earthed neutral system or an impedance earthed neutral system between a line conductor and local earth

3.2

lühisvool (*short-circuit current*)

lühise põhjustatud liigvool elektrisüsteemis

MÄRKUS On vaja teha vahet lühise asukohas esineva lühisvoolu ja suvalises võrgu punktis võrgu harudes esinevate osalühisvoolude vahel (vt joonis 3).

over-current resulting from a short circuit in an electric system

Note 1 to entry: It is necessary to distinguish between the short-circuit current at the short-circuit location and partial short-circuit currents in the network branches (see Figure 3) at any point of the network.