



Sisaldab värvilisi
lehekülgi

Avaldatud eesti keeles: veebruar 2020

MÕÕTETRAFOD

Mõõtemuundurite kasutamine elektri kvaliteedi mõõtmiseks

Instrument transformers

The use of instrument transformers for power quality measurement (IEC/TR 61869-103:2012)

EESTI STANDARDI EESSÕNA

See Eesti standard on

- IEC tehnilise aruande IEC TR 61869-103:2012 ingliskeelse teksti sisu poolest identne tõlge eesti keelde. Tõlgenduserimeelsuste korral tuleb lähtuda ametlikes keeltes avaldatud tekstidest;
- eesti keeles avaldatud sellekohase teate ilmunisega EVS Teataja 2020. aasta veebruarikuu numbris.

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

Dokumendi on tõlkinud Tallinna Tehnikaülikooli elektrotehnika ja mehhatroonika instituudi vanemlektor Ülo Treufeldt, dokumendi on heaks kiitnud EVS/TK 19 eksperdikomisjon koosseisus:

Jako Kilter	Eesti Elektroenergeetika Selts
Margus Sirel	Elektrilevi OÜ
Ülo Treufeldt	Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
Rein Oidram	Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

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

Dokument sisaldab värve, mis on vajalikud selle sisu õigesti mõistmisel. Seepärast tuleks dokumenti printida värvipriteriga.

See dokument on IEC tehnilise aruande IEC TR 61869-103:2012 eestikeelne [et] versioon. Teksti tõlke on avaldanud Eesti Standardikeskus.	This document is the Estonian [et] version of the IEC Technical Report IEC TR 61869-103:2012. It was translated by the Estonian Centre for Standardisation.
---	---

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

ICS 17.220.20

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

SISUKORD

EESSÕNA.....	VII
1 KÄSITLUSALA.....	1
2 NORMIVIITED.....	1
3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED.....	1
4 PROBLEEMI OLEMUS.....	7
5 ELEKTRI KVALITEEDI NÄITAJAD VASTAVALT STANDARDILE IEC 61000-4-30:2008.....	8
5.1 Üldist.....	8
5.2 Elektri kvaliteedi mõõteahel.....	9
5.3 Signaalitöötlus vastavalt standardile IEC 61000-4-30:2008.....	10
5.4 Võrgusagedus.....	11
5.5 Toitepinge amplituud.....	11
5.6 Värelus.....	11
5.7 Toitepinge lohud ja muhud.....	13
5.8 Toitekatkestused.....	13
5.9 Transientpinged.....	14
5.10 Toitepinge asümmeetria.....	14
5.11 Pingeharmoonikud.....	15
5.12 Pinge vaheharmoonikud.....	15
5.13 Toitepingele pealdatud võrgusignaali pinged.....	15
5.14 Kiired pingemuutused.....	15
5.15 Parameetrite ala- ja ülehälbe mõõtmine.....	16
5.16 Elektri kvaliteedinäitajate hindamiseks kehtestatud nõuete kokkuvõte.....	16
6 MÕÕTEMUUNDURITE MÕJU ELEKTRI KVALITEEDI MÕÕTMISTELE.....	16
6.1 Üldist.....	16
6.2 Induktiivmõõtetrafod.....	18
6.3 Mahtuvuslikud pingetrafod.....	29
6.4 Elektroonilised mõõtemuundurid.....	36
7 ELEKTRI KVALITEEDI KATSED.....	62
7.1 Pingemuunduri sageduskaja katseprotseduur.....	62
7.2 Katse ülesehitus pingetrafo sageduskaja katseks.....	63
7.3 Voolumuunduri sageduskaja katseprotseduur.....	64
7.4 Katse ülesehitus voolumuunduri sageduskaja katseks.....	64
7.5 Erikaalutlused digitaalväljundiga elektrooniliste mõõtemuundurite katsetamiseks.....	66
7.6 Katsed elektroonilistele mõõtemuunduritele vastavalt IEC standardile 60044-8.....	66
Lisa A (teatmelisa) Mõõtemuundurid ja elektri kvaliteedi mõõtmine – lahtised küsimused.....	69
Lisa B (teatmelisa) Muundurite klassid.....	72
Kirjandus.....	74
JOONISED	
Joonis 1 — Mõõteahel ([8], muudetud).....	16
Joonis 2 — Mõõtemuundurite panus üldisesse mõõtemääramatusesse ([9], muudetud).....	17
Joonis 3 — Näide värelust põhjustavast pingest kõikumisest.....	19
Joonis 4 — Demodulatsioon IEC värelusmeetris.....	19
Joonis 5 — Pingelohu näide (allikas: Itaalia jaotusvõrgu seiresüsteem – QuEEN).....	20

Joonis 6 — Toitekatkestuse näide (allikas: Itaalia jaotusvõrgu seiresüsteem – QuEEN).....	21
Joonis 7 — Pinge asümmeetria näide (allikas: Itaalia jaotusvõrgu seiresüsteem – QuEEN).....	21
Joonis 8 — Pingeharmonikute näide.....	22
Joonis 9 — Pingemuundurite tehniliste lahenduste sagedusvahemikud vastavalt olemasolevale kogemusele.....	24
Joonis 10 — Voolumuundurite tehniliste lahenduste sagedusvahemikud vastavalt olemasolevale kogemusele.....	25
Joonis 11 — Induktiivpinge/-voolutrafo aseskeemi näide.....	26
Joonis 12 — Induktiivpingetrafo läbilõikevaade pingetele üle 1 kV kuni 52 kV (allikas: Schneider Electric).....	27
Joonis 13 — Vabaltseisva kõrgepinge pingetrafo läbilõikevaade (allikas: Trench Switzerland AG).....	29
Joonis 14 — Tüüpilise 420 kV induktiivpingetrafo sageduskaja (allikas: Trench Switzerland AG).....	30
Joonis 15 — Esimene resonantsi tipp sõltuvalt võrgu pingest Um (allikas: Trench Switzerland AG).....	30
Joonis 16 — Voolutrafo läbilõikevaade (allikas: Schneider Electric).....	33
Joonis 17 — 245 kV voolutrafo kohta saadud tulemused (allikas: Trench Switzerland AG).....	35
Joonis 18 — 245 kV voolutrafo kohta saadud tulemused: fragment (allikas: Trench Switzerland AG).....	35
Joonis 19 — Mahtuvusliku pingetrafo läbilõikevaade (allikas: Trench Switzerland AG).....	36
Joonis 20 — Mahtuvuslik pingetrafo: aseskeem võrgusagedusel.....	37
Joonis 21 — Ilma kompenseeriva reaktorita mahtuvusliku pingetrafo lihtsustatud Thevenin'i aseskeem võrgusagedusel.....	38
Joonis 22 — Mahtuvusliku pingetrafo lihtsustatud Thevenin'i aseskeem võrgusagedusel.....	38
Joonis 23 — Mahtuvusliku pingetrafo täielik Thevenin'i aseskeem võrgusagedusel.....	39
Joonis 24 — Harmoonikute mõõteklemmiga varustatud mahtuvusliku pingetrafo abil sooritatud mõõtmised.....	41
Joonis 25 — Erinevate mõõtmiste võrdlus koos ja ilma harmoonikute seireklemmiga (allikas: Trench Switzerland AG, põhineb kirjandusallikal [16]).....	41
Joonis 26 — Pockelsi efekti tekitava mahtkristalli põhikujundus (allikas: Alstom Grid).....	46
Joonis 27 — Erinevad lahendused pinge rakendamiseks toimivale kristallile.....	46
Joonis 28 — Erinevad meetodid kogupinge jagamiseks enne kristallile rakendamist.....	47
Joonis 29 — Pockelsi tajuri põhikonstruktsioon (allikas: Alstom Grid).....	48
Joonis 30 — Tööstuslik Pockelsi mahtelement (allikas: Alstom Grid).....	48
Joonis 31 — Sageduskaja arvutamine optilise pingemuunduri jaoks (allikas: Alstom Grid).....	49
Joonis 32 — Aktiivtakistusliku pingejaguri läbilõikevaade ja elektriline skeem [22].....	50
Joonis 33 — Aktiivtakistusliku keskpingejaguri suhteviga (allikas: Trench Switzerland AG).....	51
Joonis 34 — Aktiivtakistusliku keskpingejaguri nurgaviga (allikas: Trench Switzerland AG).....	51
Joonis 35 — Mahtuvusliku pingejaguri elektriline skeem.....	52
Joonis 36 — Takistusmahtuvusliku pingejaguri aseskeem [23], [24].....	54
Joonis 37 — Tasakaalustatud takistusmahtuvusliku pingejaguri aseskeem [24].....	54
Joonis 38 — Takistusmahtuvusliku pingejaguri sageduskaja (allikas: Trench Switzerland AG).....	55

Joonis 39 — Takistusmahtuvuslikul pingejaguril tehtud mõõtmiste tulemused pingeastmel 145 kV 150 m pikkuse kaabliga (allikas: Trench Switzerland AG)	56
Joonis 40 — Optilise voolumuunduri mõõtmispõhimõte [22].....	57
Joonis 41 — Optilise voolumuunduri mõõtmispõhimõte (allikas: Alstom Grid)	58
Joonis 42 — Sageduskaja arvutamine optilise voolumuunduri jaoks (allikas: Alstom Grid).....	58
Joonis 43 — Väikese võimsusega voolutrafo tüüpilised sageduskaja mõõtmistulemused (allikas: Trench Switzerland AG)	60
Joonis 44 — Aseskeem Rogowsky poolidele (allikas: Alstom Grid)	60
Joonis 45 — Rogowsky voolutrafo elektriline skeem ja joonis (allikas: Alstom Grid).....	63
Joonis 46 — Šundiga voolu mõõtmise elektriline skeem (allikas: Alstom Grid)	64
Joonis 47 — Šunt alalisvoolurakenduseks (allikas: Alstom Grid).....	64
Joonis 48 — Kompenseeritud šundi aseskeem.....	65
Joonis 49 — 5 kA/150 mV šundi teoreetiliselt võimalik ribalaius (allikas: Alstom Grid)	65
Joonis 50 — Halli efektil põhinev tajur	67
Joonis 51 — Halli efektil põhinev tajur (allikas: Schneider Electric [38]).....	67
Joonis 52 — Halli efektil põhinev andur (allikas: Schneider Electric [38])	68
Joonis 53 — Katseahel pingemuunduri sageduskaja katsetamiseks.....	70
Joonis 54 — Katseahel pingemuunduri sageduskaja katsetamiseks.....	71
Joonis 55 — Katseahel voolumuunduri sageduskaja katsetamiseks.....	72
Joonis 56 — Katseahel voolumuunduri sageduskaja katsetamiseks.....	72
Joonis 57 — Katse ülesehitus digitaalväljundiga elektroonilistele voolumuunduritele	67
Joonis 58 — Katse ülesehitus analoogväljundiga elektroonilistele voolumuunduritele.....	68
Joonis A.1— Väärlohkude näited, pingetrafo de küllastusest põhjustatud transiendid, mis on salvestatud keskpinge pingetrafo de sekundaarmähisel (allikas: Itaalia jaotusvõrgu seiresüsteem - QuEEN).....	71

TABELID

Tabel 1 — Standardi IEC 61000-4-30:2008 kohased elektri kvaliteedihäiringud ja mõõtmisintervallid... 11	11
Tabel 2 — Elektri kvaliteedi mõõtmist mõjutavad muunduri parameetrid.....	16
Tabel 3 — Induktiivpingetrafo põhikomponendid pingetele üle 1 kV kuni 52 kV	20
Tabel 4 — Induktiivpingetrafo de pingetele üle 1 kV kuni 52 kV: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	21
Tabel 5 — Induktiivpingetrafo de pingetele üle 52 kV kuni 1100 kV: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	24
Tabel 6 — Induktiivvoolutrafo põhikomponendid pingetele üle 1 kV kuni 52 kV	25
Tabel 7 — Induktiivvoolutrafo de pingetele üle 1 kV kuni 52 kV: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	26
Tabel 8 — Induktiivvoolutrafo põhikomponendid pingetele üle 52 kV kuni 1100 kV	27
Tabel 9 — Induktiivvoolutrafo pingetele üle 52 kV kuni 1100 kV: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	29

Tabel 10 — Mahtuvuslikud pingetrafod: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele	33
Tabel 11 — Harmoonikute mõõteklemmiga mahtuvuslik pingetrafo: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele	35
Tabel 12 — Elektri kvaliteedi mõõtmiseks lisaseadmega varustatud mahtuvuslik pingetrafo: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	36
Tabel 13 — Täpsusklassid võimsuse mõõtmiseks	36
Tabel 14 — Täpsusklassid elektri kvaliteedi mõõtmiseks.....	37
Tabel 15 — Optiline pingemuundur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	42
Tabel 16 — Aktiivtakistuslik keskpingejagur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	45
Tabel 17 — Mahtuvuslik pingejagur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele	46
Tabel 18 — Takistusmahtuvuslik pingejagur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	49
Tabel 19 — Optiline voolumuundur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	52
Tabel 20 — Väikese võimsusega voolutrafode põhikomponendid	52
Tabel 21 — Rogowsky tajurite põhikomponendid	55
Tabel 22 — Rogowsky voolutrafo: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele	56
Tabel 23 — Šunt: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	59
Tabel 24 — Halli efektil põhinev tajur: mõju elektri kvaliteedinäitajate mõõtmistele.....	61
Tabel 25 — Elektri kvaliteedinäitajad ning nõuded voolu- ja pingemuunduritele	62
Tabel 26 — Katsevoolud ja -pinged tavatäpsusklassidele	66
Tabel 27 — Katsevoolud ja -pinged eritäpsusklassidele	66
Tabel B.1 — Katsetuste tabeli näide koos võimalike põhinõuetega täpsuskatsete jaoks.....	73

EESSÕNA

- 1) Rahvusvaheline Elektrotehnikakomisjon (International Electrotechnical Commission, IEC) on ülemaailmne standardimisorganisatsioon, mis hõlmab kõiki rahvuslikke elektrotehnikakomiteesid (IEC rahvuslikke komiteesid). IEC ülesanne on arendada rahvusvahelist koostööd kõigis elektri- ja elektroonikaalastes standardimisküsimustes. Selleks avaldab IEC lisaks oma muudele tegevusaladele rahvusvahelisi standardeid, tehnilisi spetsifikatsioone, tehnilisi aruandeid, avalikult kättesaadavaid spetsifikatsioone (*Publicly Available Specifications*, PAS) ja juhendeid (edaspidi IEC publikatsioon(id)). Nende koostamine on usaldatud tehnilistele komiteedele; iga IEC rahvuslik komitee, kes on käsitletavast valdkonnast huvitatud, võib selles koostamistöös osaleda. Publikatsioonide koostamises osalevad käsikäes IEC-ga ka rahvusvahelised, riiklikud ja valitsusvälised organisatsioonid. IEC teeb tihedat koostööd Rahvusvahelise Standardimisorganisatsiooniga (International Organization for Standardization, ISO) nende organisatsioonide vahelises kokkuleppes sätestatud tingimuste kohaselt.
- 2) Kuna IEC igas tehnilises komitees on esindatud kõik asjahuvilised rahvuslikud komiteed, väljendavad IEC otsused või kokkulepped olulistes tehnilistes küsimustes suurimal võimalikul määral rahvusvahelist arvamuskonsensust.
- 3) IEC publikatsioonid kujutavad endast rahvusvaheliseks kasutamiseks mõeldud soovitusi ja on sellistena IEC rahvuslikes komiteedes heaks kiidetud. Kuigi on tehtud kõik, et tagada IEC publikatsioonide tehniline täpsus, ei saa IEC vastutada selle eest, mis viisil neid kasutatakse, ega selle eest, kui lõpptarbija neid valesti mõistab.
- 4) Rahvusvahelise ühtlustamise huvides võtavad IEC rahvuslikud komiteed IEC publikatsioone läbipaistvalt ja suurimal võimalikul määral kasutusele oma rahvuslikes ja regionaalsetes publikatsioonides. Lahknevused IEC publikatsioonide ja vastavate rahvuslike või regionaalsete publikatsioonide vahel peavad olema viimastes selgelt esile toodud.
- 5) IEC ei osuta nõuetele vastavuse tõendamise teenust. Sõltumatud sertifitseerimisasutused osutavad vastavushindamisteenuseid ja mõnes valdkonnas juurdepääsu IEC vastavusmärkidele. IEC ei vastuta sõltumatute sertifitseerimisasutuste osutatud teenuste eest.
- 6) Kõik kasutajad peaksid veenduma, et nad kasutavad selle publikatsiooni uusimat väljaannet.
- 7) IEC-d, selle juhte, töötajaid, teenistujaid ega agente, sealhulgas tehniliste komiteede ja IEC rahvuslike komiteede eksperte ega liikmeid, ei saa pidada vastutavaks mingit liiki otseste ega kaudsete isikuvigastuste, omandi- või muu kahjustuse ega kulude (sealhulgas seaduslike maksude) eest, mis võivad olla tekkinud selle või mõne muu IEC publikatsiooni kasutamisel või sellega seoses.
- 8) Tuleb pöörata tähelepanu selle publikatsiooni normiviidetele. Viidatud publikatsioonide kasutamine on vajalik selle publikatsiooni õigeks rakendamiseks.
- 9) Tuleb pöörata tähelepanu võimalusele, et selle IEC publikatsiooni mõni osa võib olla patendiõiguse objekt. IEC ei vastuta sellis(t)e patendiõiguse(t)e väljaselgitamise ega selgumise eest.

IEC tehniliste komiteede peaülesanne on rahvusvaheliste standardite koostamine. Siiski võib tehniline komitee teha ettepaneku ka tehniliste aruannete avaldamiseks, kui ta on kokku kogunud andmed, mis erinevad tavaliselt rahvusvahelises standardis avaldatutest, nt tehnika taseme ülevaated.

Tehnilise aruande IEC 61869-103 on koostanud IEC tehniline komitee 38 „Instrument transformers“.

Selle tehnilise aruande tekst põhineb järgmistel dokumentidel:

Lõppkavand	Hääletusaruanne
38/402/DTR	38/409/RVC

Täieliku teabe selle tehnilise aruande heakskiiduhääletuse kohta saab üaltoodud tabelis viidatud hääletusaruandest.

See väljaanne on koostatud ISO/IEC direktiivide 2. osa kohaselt.

Standardisarja IEC 61869 üldpealkirjaga „Instrument transformers“ kõikide osade loetelu on leitav IEC veebilehelt.

Komitee on otsustanud, et selle dokumendi sisu jääb muutumatuks kuni alalhoidtähtpäevani, mis on toodud IEC veebilehel <http://webstore.iec.ch> vastava dokumendiga seotud andmetes. Sellel kuupäeval dokument kas

- kinnitatakse uuesti,
- tühistatakse,
- asendatakse uustöötusega või
- muudetakse.

Hiljem avaldatakse arvatavasti selle väljaande kakskeelne versioon.

Oluline! Selle publikatsiooni tiitellehel olev märg „sisaldab värvilisi lehekülgi“ tähendab, et see sisaldab värve, mida peetakse selle sisu õigesti mõistmisel vajalikuks. Seepärast peaksid kasutajad seda dokumenti printima värviprinteriga.

1 KÄSITLUSALA

Seda standardi IEC 61869 osa rakendatakse analoog- või digitaalväljundiga induktiivsetele ja elektroonilistele mõõtemuunduritele nende kasutamisel koos elektrimõõteriistadega elektri kvaliteedinäitajate mõõtmiseks ja tulemuste tõlgendamiseks 50/60 Hz vahelduvvoolu elektrivarustus-süsteemides.

Selle standardi IEC 61869 osa eesmärgiks on anda abi kõrgepingeliste mõõtemuundurite kasutamisel elektri kvaliteedinäitajate mõõtmiseks.

Selles dokumendis jälgitavateks elektri kvaliteedinäitajateks on võrgusagedus, toitepinge ja voolu amplituud, väreelus, toitepinge lohud ja muhud, toitekatkestused, transientpinged, toitepinge asümmeetria, pinge- ja vooluharmonikud ning vaheharmonikud, toitepingele pealdate võrgusignaale ja kiired pingemuutused.

2 NORMIVIITED

Allpool nimetatud dokumendid on vajalikud selle standardi rakendamiseks. Dateeritud viidete korral kehtib üksnes viidatud väljaanne. Dateerimata viidete korral kehtib viidatud dokumendi uusim väljaanne koos võimalike muudatustega.

IEC 60044-8:2002. Instrument transformers – Part 8: Instrument transformers: Electronic current transformers

IEC 61000-2-1:1990. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-1: Environment – Description of the environment – Electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems

IEC 61000-2-2:2002. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-2: Environment – Compatibility for low frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems

IEC 61000-4-7:2002. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto

IEC 61000-4-15:2010. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measuring techniques – Flickermeter – Functional and design specifications

IEC 61000-4-30:2008. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods

IEC 60359:2001. Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance

IEC 61557-12:2007. Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 12: Performance measuring and monitoring devices (PMD)

3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED

Selle tehnilise aruande rakendamisel kasutatakse standardis IEC 61000-4-30:2008 ning allpool esitatud termineid ja määratlusi.