



Sisaldab värvilisi
lehekülgi

Avaldatud eesti keeles: aprill 2019
Jõustunud Eesti standardina: aprill 2019

JÕUTRAFOD

Osa 7: Mineraalõlitäitega jõutrafode koormusjuhend

Power transformers

Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers

(IEC 60076-7:2018, identical)

EESTI STANDARDI EESSÕNA

See Eesti standard on

- rahvusvahelise standardi IEC 60076-7:2018 ingliskeelse teksti sisu poolest identne tõlge eesti keelde ja sellel on sama staatus mis ümbertrüki meetodil vastu võetud originaalversioonil. Tõlgenduserimeelsuste korral tuleb lähtuda ametlikes keeltes avaldatud tekstidest;
- jõustunud Eesti standardina inglise keeles aprillis 2019;
- eesti keeles avaldatud sellekohase teate ilmunisega EVS Teataja 2019. aasta aprillikuu 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 Rein Oidram, standardi on heaks kiitnud EVS/TK 19 ekspertkomisjon koosseisus:

Jako Kilter Eesti Elektroenergeetika Selts;
Raivo Rebane Elektrilevi OÜ;
Ülo Treufeldt Tallinna Tehnikaülikool;
Tarmo Riit OBO Bettermann OÜ;
Erti Suurtalu Päästeamet.

Standardi mõnele 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 värviprinteriga.

See standard on rahvusvahelise standardi IEC 60076-7:2018 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 International Standard IEC 60076-7:2018. 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 29.180

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.....	VI
SISSEJUHATUS.....	VIII
1 KÄSITLUSALA.....	1
2 NORMIVIITED	1
3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED	1
4 TÄHISED JA LÜHENDID	5
5 NIMESILDI ANDMEID ÜLETAVATE KOORMUSTE MÕJU	7
5.1 Üldist.....	7
5.2 Üldised järeldused.....	7
5.3 Lühiajalise erakorralise koormuse mõjud ja ohud.....	8
5.4 Pikaajalise erakorralise koormuse mõjud.....	8
5.5 Trafo gabariit.....	9
6 SUHTELINE VANANEMISKIIRUS JA TRAFIO ISOLATSIOONI ELUIGA.....	9
6.1 Üldist.....	9
6.2 Isolatsiooni eluiga.....	10
6.3 Vananemise suhteline kiirus.....	14
6.4 Eluea kulumi arvutamine	15
7 PIIRANGUD.....	16
7.1 Temperatuuri piirangud.....	16
7.2 Voolupiirangud	16
7.3 Eripiirangud väikestele trafodele	17
7.3.1 Voolutugevuse ja temperatuuri piirangud.....	17
7.3.2 Manused ja teised kaalutlused	17
7.3.3 Sisepaigaldustrafod	17
7.3.4 Väliskeskkonna tingimused.....	17
7.4 Keskmiste jõutrafode eripiirangud	17
7.4.1 Voolutugevuse ja temperatuuri piirangud.....	17
7.4.2 Manused, lisaseadmed ja teised kaalutlused.....	18
7.4.3 Lühisetaluvusnõuded.....	18
7.4.4 Pingepiirangud.....	18
7.5 Eripiirangud suurtele jõutrafodele.....	18
7.5.1 Üldist.....	18
7.5.2 Voolutugevuse ja temperatuuri piirangud.....	19
7.5.3 Manused, lisaseadmed ja muud kaalutlused.....	19
7.5.4 Lühisetaluvusnõuded.....	19
7.5.5 Pingepiirangud.....	19
8 TEMPERATUURIDE MÄÄRAMINE.....	19
8.1 Kuuma punkti ületemperatuur püsitalitluses	19
8.1.1 Üldist.....	19
8.1.2 Kuuma punkti ületemperatuuri arvutamine üleskuumenemise normaalkatse andmetest.....	19
8.1.3 Kuuma punkti ületemperatuuri otsene mõõtmine.....	21
8.1.4 Kuuma punkti tegur.....	24
8.2 Õli ülakehtide ja kuuma punkti temperatuur erineval ümbruse temperatuuril ja koormusoludes	25
8.2.1 Üldist.....	25
8.2.2 Eksponentvõrrandiga lahend	27
8.2.3 Diferentsvõrrandiga lahend	31
8.3 Ümbruse temperatuur	32

8.3.1	Välispaigaldusega õhkjahutusega trafod	32
8.3.2	Ümbruse temperatuuriparandus trafo ümbrisele	33
8.3.3	Vesijahutusega trafod	34
9	ASTMELÜLITITE MÕJU.....	34
9.1	Üldist.....	34
9.2	Lühiskaod.....	34
9.3	Kadude suhe.....	34
9.4	Koormustegur	35
Lisa A (teatmelisa) Hapniku ja vee mõju arvestav isolatsiooni oodatav eluiga ja suhteline vananemiskiirus.....		36
Lisa B (teatmelisa) Südame temperatuur		41
Lisa C (teatmelisa) Nimivõimsust ületava koormuse määratlemine.....		42
Lisa D (teatmelisa) Q -, S - ja H -tegurite kirjeldus		44
Lisa E (teatmelisa) Mähiste ja õli ajakonstandi arvutamine.....		47
Lisa F (teatmelisa) Soojusmudeli parameetrid.....		49
Lisa G (teatmelisa) Õli ja mähise eksponendid		52
Lisa H (teatmelisa) Eksponentvõrrandi meetodi praktiline näide.....		58
Lisa I (teatmelisa) Diferentsvõrrandiga lahendusmeetodi rakendamine		64
Lisa J (teatmelisa) Lisa H näitel põhinev vooskeem		71
Lisa K (teatmelisa) Ülekoormusandmete arvutus- ja esitusnäide.....		73
Lisa L (teatmelisa) Geomagnetiliselt indutseeritud voolud.....		77
Lisa M (teatmelisa) Alternatiivsed õlid		79
Kirjandus.....		80
Joonised		
Joonis 1 — Tselluloosi struktuurvalem.....		10
Joonis 2 — Tõmbetugevuse ja DP-väärtuse korrelatsioon		11
Joonis 3 — Kiirendatud vanandamine mineraalõlis temperatuuril 140 °C; hapniku- ja niiskusesisaldust on hoitud vastavalt väärtustel < 6000 ppm ja 0,5 %		12
Joonis 4 — Soojuskindlamaks muutmata paberi eluiga ja selle sõltuvus niiskusest, hapnikust ja temperatuurist		13
Joonis 5 — Soojuskindlamaks muudetud paberi eluiga ja selle sõltuvus niiskusest, hapnikust ja temperatuurist		14
Joonis 6 — Soojusdiagramm.....		20
Joonis 7 — Ületemperatuurid, mis ületavad õli ületemperatuuri 65,8 °C (paagi) ülaosas siksakjahutusega 400 MVA ONAF-jahutusega kolmefaasilise trafo ülempingemähises koormusvoolul 1,0 s.ü. ja astmelüliti asendis (-).....		21
Joonis 8 — Pooli ääred, kuhu andurid peab paigaldama kõrgeima arvutatud ületemperatuuriga äärtesse		22
Joonis 9 — Õli ülakihtide temperatuuri ületavad ületemperatuurid 8-tunnise soojusliku tühijooksukatse lõpus 110 % toitepingel.....		23

Joonis 10 — Siksakjahutusega mähis, milles mähiseketaste vaheline kaugus on ühesugune ja voolamist suunavad seibid on paigutatud ketaste vahele	24
Joonis 11 — Pealtvaade ikke all „kokkuvarisenud jahutuskanalite paigutusega“ ristkülikukujulisele mähisele	25
Joonis 12 — Diferentsiaalvõrrandite esitus plokkskeemina.....	26
Joonis 13 — Temperatuurimuutused koormusvoolu astmelisel muutumisel	28
Joonis 14 — Tabelis 4 toodud väärtuste alusel ehitatud funktsioon $\Delta\theta_h(t)/\Delta\theta_{hr}$	30
Joonis 15 — Kadude seaduspärasus funktsioonina väljavõtte asendist.....	34
Joonis A.1 — Vananemisprotsessi Arrheniuse diagramm	37
Joonis F.1 — Kuuma punkti ja õli ülakihtide üldmudel.....	51
Joonis G.1 — Ületemperatuuri laiendatud katse.....	56
Joonis G.2 — Trafo eksponentide hindamise graafikud.....	57
Joonis H.1 — Kuuma punkti temperatuuri sõltuvus koormusvoolu astmelistest muutustest.....	62
Joonis H.2 — Õli ülakihtide temperatuuri sõltuvus koormusvoolu astmelistest muutustest.....	62
Joonis I.1 — Näite sisendandmete väljatrükk	66
Joonis I.2 — Näite väljundandmete graafik.....	69
Joonis K.1 — OF suured jõutrafod: lubatud talitlus normaalse eluea korral	76
Joonis L.1 — Geomagnetiliselt indutseeritud voolu teekond trafosse.....	77

Tabelid

Tabel 1 — Kuuma punkti temperatuuri mõju vananemise suhtelisele kiirusele.....	15
Tabel 2 — Nimiaandmeid ületavatel koormustel rakendatavad suurimad lubatavad temperatuurid.....	16
Tabel 3 — Soovitavad nimiaandmeid ületavatel voolutugevustel rakendatavad piirangud	17
Tabel 4 — Eksponentvõrrandite soovitatavad soojuslikud näitajad	30
Tabel 5 — Ümbruse temperatuuri ümbrise tõttu suurenemise parandused	33
Tabel A.2 — Paberi oodatav eluiga eri tingimustes.....	38
Tabel A.3 — Soojuskindlamaks muutmata paberisolatsiooni suhtelised vananemiskiirused kuuma punkti temperatuuri, hapniku ja niiskuse mõjul	39
Tabel A.4 — Soojuskindlamaks muudetud paberisolatsiooni suhtelised vananemiskiirused kuuma punkti temperatuuri, hapniku ja niiskuse mõjul	40
Tabel H.1 — 250 MVA trafo koormusastmed.....	58
Tabel H.2 — Temperatuur iga koormusastme lõpul.....	63
Tabel I.1 — Näite sisendandmed.....	64
Tabel I.2 — Väljundandmed näitele	68
Tabel K.1 — Trafo koormusvõimega seotud karakteristikute näited.....	73
Tabel K.2 — Lubatud talitluse ning vastava päevase eluea kulumi („normaalpäevades“) ja kuuma punkti koormustsükli aegse suurima ületemperatuuri näidistabel	75

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 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 või 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 publikatsioonid on vajalikud 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 patendiõigus(t)e väljaselgitamise ega selgumise eest.

Rahvusvahelise standardi IEC 60076-7 on koostanud IEC tehnilise komitee 14 „Power transformers“.

See teine väljaanne tühistab ja asendab 2005. aastal välja antud esimest väljaannet. See väljaanne kujutab endast tehnilist uustöötlust. See väljaanne sisaldab eelmise väljaandega võrreldes järgmisi olulisi tehnilisi muudatusi:

- a) pealkiri „õlitäitega jõutrafod“ on ajakohastatud pealkirjaks „mineraalõlitäitega jõutrafod“;
- b) isolatsiooni eluiga on ajakohastatud uusimate uurimistulemuste alusel;
- c) üle on vaadatud temperatuuri piirväärtused ja on soovitatud südamikute suurim temperatuur;
- d) ületemperatuuri katseks on soovitatud kiudoptiliste andurite arv;
- e) arvesse on võetud *Q*-, *S*- ja *H*-tegurid;

- f) üle on vaadatud soojuslikud mudelid ja on ümber kirjutatud üldiselt rakendatavas matemaatilises vormis;
- g) lühidalt on arutletud geomagnetiliselt indutseeritud voolude üle ja on ette pandud vastavad temperatuuri piirväärtused;
- h) tehtud on ulatuslik kirjandusülevaade ja kirjanduse loetelusse on lisatud hulk viiteid.

Standardi tekst põhineb järgmistel dokumentidel:

Lõppkavand	Hääletusaruanne
14/933/FDIS	14/942/RVD

Täieliku teabe selle standardi heakskiiduhääletuse kohta saab ülaltoodud tabelis viidatud hääletusaruandest.

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

Standardisarja IEC 60076 üldpealkirjaga „Power 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 oleva logo „värv“ näitab, et see sisaldab värve, mida peetakse selle sisu õigeks mõistmiseks kasulikuks. Sellepärast peaksid kasutajad printima selle dokumendi värviprinteri abil.

SISSEJUHATUS

See IEC 60076 osa annab jõutrafodele tehniliste nõuete kohaldamise ja koormamise juhiseid, lähtudes talitlustemperatuurist ja soojusvananemisest. Standard annab soovitusi koormamiseks üle nimiaandmete ja projekteerijale juhendeid uutele paigaldistele sobivate nimisuuruste ja koormustingimuste valikuks.

IEC 60076-2 on aluseks lepingute sõlmimisel ja see sisaldab nõudeid ja ületemperatuuri katsete arvvaartusi õlitäitega trafode kestval nimikoormamisel.

See IEC 60076 osa esitab matemaatilised mudelid eri koormuste tagajärgede hindamiseks erinevatel jahutuskeskkonna temperatuuridel ja ajas siirdeprotsessina või tsüklilisel muutumisel. Mudelid võimaldavad talitlustemperatuuride arvutamist trafos, eriti aga temperatuuri leidmist mähise kuumimas osas. Seda kuuma punkti temperatuuri kasutatakse järgnevalt vaadeldaval ajaperioodil soojusvananemise suhtelise kiiruse ja eluea protsentuaalse kulumi arvutamiseks. Modelleerimine vastab väikestele trafodele, mida siin nimetatakse jaotustrafodeks, ja jõutrafodele.

Eelmise väljaandega võrreldes on suurimaks muudatuseks tehtud ulatuslik töö paberi lagunemise alal, mis näitas, et vananemist saab kirjeldada oksüdeerumise, hüdroolüüsi ja püroolüüsi kombinatsiooni kaudu. Samuti pakutakse võimalust hinnata isolatsiooni oodatavat eluiga, arvestades erinevaid vananemist mõjutavaid tegureid, nagu niiskus, hapnik ja temperatuur, ja realistlikumaid talitlusstsenaariume. Pealkirjas on „õlitäitega jõutrafod“ muudetud „mineraalõlitäitega jõutrafodeks“. Läbi on vaadatud temperatuuri ja voolu lubatud piirväärtused ning soovitatakse südamikule suurimat temperatuuri. Kiudoptilised temperatuuriandurid on juurdunud tavapraktikasse, kuid trafosse paigaldatud andurite arv muutub suurtes piirides. See küsimus ning Q -, S - ja H -tegurite kirjeldamist on samuti vaadeldud. Soojuslikud mudelid on üle vaadatud ja asendatud uutega üldiselt kasutataval matemaatilisel kujul. Lühidalt käsitletakse geomagnetiliselt indutseeritud voolusid ja esitatakse vastavad soovitatavad temperatuuri piirväärtused.

See IEC 60076 osa esitab veel temperatuuri arvutustele või -mõõtmistele tuginevad koormuspiirangute soovitusel. Need soovitusel vastavad eri tüüpi koormusolukordadele: pidev koormamine, tavaline häiringuteta tsükliline koormamine ja ajutine erakorraline koormamine. Soovitusel vastavad jaotustrafodele, keskmistele jõutrafodele ja suurtele jõutrafodele. Peatükid 1 kuni 7 sisaldavad määratlusi, üldist taustinformatsiooni ja eri trafokategooriatele talitluse eripiiranguid.

Peatükk 8 sisaldab temperatuuri määramist ning esitab püsitalitluses ja siirdeoludes kuuma punkti temperatuuri hindamise matemaatilisi mudeleid.

Peatükk 9 sisaldab astmelüliti asendi mõju lühikirjeldust.

Lisades A, B, C, D, E, F, G, H, I ja K on toodud rakendusnäited.

1 KÄSITLUSALA

Seda IEC 60076 osa rakendatakse mineraalõlitäitega trafodele. Osa kirjeldab ümbruse muutuva temperatuuri ja muutuvate koormustingimuste mõju trafo elueale.

MÄRKUS Kaarahju trafode kohta peetakse tootjaga nõu koormustingimuste eripära kohta.

2 NORMIVIITED

Allpool nimetatud dokumentidele on tekstis viidatud selliselt, et nende sisu kujutab endast kas osaliselt või terveniisti selle dokumendi nõudeid. Dateeritud viidete korral kehtib üksnes viidatud väljaanne. Dateerimata viidete korral kehtib viidatud dokumendi uusim väljaanne koos võimalike muudatustega.

IEC 60076-2. Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers

IEC 60076-14. Power transformers – Part 14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials

3 TERMINID JA MÄÄRATLUSED

Standardi rakendamisel kasutatakse allpool esitatud termineid ja määratlusi.

3.1

väike jõutrafo (*small power transformer*)

jõutrafo ilma radiaatorite, jahutite või torudeta, kaasa arvatud gofreeritud paagita, olenemata nimiaandmetest

power transformer without attached radiators, coolers or tubes including corrugated tank irrespective of rating

3.2

keskmise jõutrafo (*medium power transformer*)

kolmefaasiline jõutrafo suurima nimivõimsusega 100 MVA või ühefaasiline jõutrafo suurima nimivõimsusega 33,3 MVA

power transformer with a maximum rating of 100 MVA three-phase or 33,3 MVA single-phase

3.3

suur jõutrafo (*large power transformer*)

kolmefaasiline jõutrafo suurima nimivõimsusega üle 100 MVA või ühefaasiline jõutrafo suurima nimivõimsusega üle 33,3 MVA

power transformer with a maximum rating of greater than 100 MVA three-phase or greater than 33,3 MVA single-phase

3.4

tsükliline koormus (*cyclic loading*)

tsükliliselt muutuv koormus (tsükli kestus on tavaliselt 24 h), mida käsitletakse ühe tsükli jooksul akumulatuva vananemise määra kaudu

MÄRKUS Tsükliliseks koormuseks võib olla kas normaalkoormus või pikaajaline erakorraline koormus.

loading with cyclic variations (the duration of the cycle usually being 24 h) which is regarded in terms of the accumulated amount of ageing that occurs during the cycle

Note 1 to entry The cyclic loading may either be a normal loading or a long-time emergency loading.