ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ СТАНДАРТЫ

Өлшегіш трансформаторлар
2-бөлім
ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРЫНА АРНАЛҒАН ҚОСЫМША ТАЛАПТАР

Трансформаторы измерительные
Часть 2
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ТОКОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ҚР СТ IEC 61869-2-2013

IEC 61869-2-2012 «Instrument transformers. Part 2: Additional requirements for current transformers» (IDT)

Ресми басылым

Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар министрлігі Техникалық реттеу және метрология комитеті (Мемстандарт)

Астана

gost.e-ecolog.ru

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ СТАНДАРТЫ

Өлшегіш трансформаторлар

2-бөлім

ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРЫНА АРНАЛҒАН ҚОСЫМША ТАЛАПТАР

ҚР СТ IEC 61869-2-2013

IEC 61869-2-2012 «Instrument transformers. Part 2: Additional requirements for current transformers» (IDT)

Ресми басылым

Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар министрлігі Техникалық реттеу және метрология комитеті (Мемстандарт)

Астана

Алғы сөз

1 «Қазақстан метрология институты» Республикалық Мемлекеттік Кәсіпорны, «Техностандарт-НС» ЖШС негізіндегі «Инфрақұрылымның инновациялық технологиялары» № 69 стандарттау жөніндегі техникалық комитеті **ӘЗІРЛЕП ЕНГІЗДІ**

2 Қазақстан Республикасы Индустрия және технологиялар министрлігінің Техникалық реттеу және метрология комитеті Төрағасының 2013 жылғы 25 қазандағы № 502-од бұйрығымен **БЕКІТІЛІП ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛДІ**

3 Осы стандарт IEC 61869-2-2012 «Instrument transformers. Part 2: Additional requirements for current transformers» (Өлшегіш трансформаторлар. 2-бөлім. Ток трансформаторларына арналған қосымша талаптар) стандартымен үйлестірілген.

Халықаралық стандартты ТК 38 «Өлшегіш трансформаторлары» техникалық комитеті дайындады.

Негізінде осы ұлттық стандарт дайындалған және сілтемелер берілген халықаралық стандарттың ресми данасы Бірыңғай мемлекеттік нормативтік техникалық құжаттар қорында бар.

Ағылшын тілінен аударма (en)

Сәйкестік дәрежесі – бірдей, IDT

4 АЛҒАШҚЫ ТЕКСЕРУ МЕРЗІМІ 2018 жыл

ТЕКСЕРУ МЕРЗІМДІЛІГІ 5 жыл

5 АЛҒАШ РЕТ ЕНГІЗІЛГЕН

Осы стандартқа өзгерістер туралы ақпарат жыл сайын шығарылатын «Стандарттау жөніндегі нормативтік құжаттар» ақпараттық көрсеткішінде, ал өзгерістер мен түзетулер мәтіні – ай сайын шығарылатын «Ұлттық стандарттар» ақпараттық көрсеткішінде жарияланады. Осы стандартты қайта қарау (ауыстыру) немесе алып тастау жағдайында, тиісті хабарлама ай сайын шығарылатын «Ұлттық стандарттар» ақпараттық көрсеткішінде жарияланады

Осы стандарт Қазақстан Республикасы Индустрия және жаңа технологиялар министрлігінің Техникалық реттеу және метрология комитетінің рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе жартылай жаңғыртыла, таралымға шығарыла және таратыла алмайды.

Мазмұны

1	Қолданылу саласы	1
2	Нормативтік сілтемелер	1
3	Терминдер мен анықтамалар	1
4	Нақты мәндері	15
5	Жобалау және жабдықтау	25
6	Сынақтар	29
7	2A қосымшасы *(міндетті)*	44
8	2B қосымшасы *(міндетті)*	50
9	2C қосымшасы *(міндетті)*	68
10	2D қосымшасы *(ақпараттық)*	69
11	2E қосымшасы *(ақпараттық)*	71
12	2F қосымшасы *(міндетті)*	74

Кіріспе

ХЭК 61869-2 халықаралық стандарты, Бірінші басылым, ТК 38 «Өлшегіш трансформаторлары» техникалық комитеті дайындады.

IEC 61869-2-2012 ИСО/ХЭК директивасының 2-бөліміне сәйкес құрастырылды.

«Өлшегіш трансформаторлар» деген жалпы атаумен басылып шығарылған ХЭК 61869 топтамасының барлық бөліктерінің тізімін ХЭК веб-сайтынан табуға болады.

Осы стандарт, 2-бөлім, өзі негізделген ХЭК 61869-1:2007 «Жалпы талаптар» стандартымен бірге пайдаланылу керек, алайда пайдаланушының аталған құжаттың жаңа шығарылымын пайдаланғаны дұрыс болады.

Осы стандарт, 2-бөлім, ХЭК 61869-1:2007 стандартының құрылымын ұстану керек; ол соңғысының тиісті бөлімшелерін толықтырады немесе өзгертеді.

Егер 1-бөлімнің нақты тармағы/тармақшасы осы 2-бөлімде аталмаса, онда сол тармақ/тармақша мақсатқа сәйкес қолданылады.

Қосымша тарақтар, тармақшалар, суреттер, кестелер, қосымшалар немесе ескертулер үшін мынадай нөмірлеу жүйесі пайдаланылады:

- 201-ден бастап нөмірленген тармақтар, тармақшалар, кестелер, суреттер және ескертулер 1-бөлімнің тармақтарына, кестелері мен суреттеріне қатысты қосымша болып табылады;
- толықтырылған қосымшалар былайша нөмірленеді: 2A, 2B және т.б.

ХЭК ТК 38 Техникалық комитеті шығарған стандарттардың жаңартылған тізімі мына веб-сайтта қолжетімді: gost.e-ecolog.ru

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ СТАНДАРТЫ

Өлшегіш трансформаторлар
2-бөлім
ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРЫНА АРНАЛҒАН ҚОСЫМША ТАЛАПТАР

Енгізілген күні 2014-07-01

1 Қолданылу саласы

Осы стандарт 15 Гц бастап 100 Гц дейінгі нақтылы жиіліктері бар электрлік өлшеу құралдарымен және/немесе электрлік қорғаныс құрылғыларымен бірге пайдалануға арналған жаңадан дайындалған индукциялы ток трансформаторларына таралады.

2 Нормативтік сілтемелер

Осы стандартты қолдану үшін келесі сілтемелік құжаттар қажет. Күні қойылған стандарттар үшін аталған сілтемелік құжаттың басылымы ғана, ал күні қойылмаған стандарттар үшін сілтемелік құжаттың соңғы басылымы ғана (барлық өзгертулерімен бірге) қолданады.

IEC 61869-1:2007 Instrument transformers. Part 1: General requirements (Өлшегіш трансформаторлар. 1-бөлім. Жалпы талаптар).

ЕСКЕРТПЕ Осы стандарты пайдаланған кезде сілтемелік стандарттардың ағымдағы жылдағы күйіне қатысты әрекет етуін жыл сайын жарияланатын «Стандарттау жөніндегі нормативтік құжаттар» ақпараттық көрсеткіші бойынша және ағымдағы жылы басып шығарылған ай сайын жарияланатын ақпараттық көрсеткіш бойынша тексерген жөн. Егер сілтемелік құжат ауыстырылған (өзгертілген) болса, онда осы стандартты пайдаланған кезде ауыстырылған (өзгертілген) құжатты басшылыққа алған жөн. Егер сілтемелік құжат ауыстырылмай күші жойылған болса, онда осы сілтеме берілген ереженің осы сілтемеге қатысты емес бөлігі ғана қолданылады.

3 Терминдер мен анықтамалар

Осы стандартта IEC 61869-1 бойынша терминдер, сондай-ақ келесі терминдер анықтамаларына сәйкес қолданылады:

3.1 Жалпы анықтамалар

3.1.201 **Ток трансформаторы** (Current transformer): Қалыпты пайдалану кезінде қайталама орамның тоғы бастапқы орамның тоғына іс жүзінде мөлшерлес және байланыстың тиісті бағыты үшін шамамен нөлге тең бұрышқа қатысты фаза бойынша одан айрықшаланады.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-01)

3.1.202 **Өлшегіш ток трансформаторы** (Measuring current transformer): Өлшеу құралдары мен есептегіштеріне ақпараттық дабылды таратуға арналған ток трансформаторы.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-18)

3.1.203 **Қорғаныс ток трансформаторы** (Protective current transformer): Ақпараттық дабылды қорғаныс және басқару құрылғыларына таратуға арналған ток трансформаторы.

(Дереккөз: IEC 60050-321: 1986, 321-02-19)

3.1.204 **P класты қорғаныс ток трансформаторы** (Class P protective current transformer): Симметриялық қысқа тұйықталу орын алған жағдайда қанығу серпіні анықталған магниттік ағыстың шегі жоқ қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.205 **PR класты қорғаныс ток трансформаторы** (Class PR protective current transformer): Симметриялық қысқа тұйықталу орын алған жағдайда қанығу серпіні анықталған магниттік ағыстың шегі бар қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.206 **PX класты қорғаныс ток трансформаторы** (Class PX protective current transformer): Қайталама орамның қоздыру және кедергі сипаттамаларын, қайталама жүктеменің кедергісін және трансформация коэффициентін білу ол алдағы уақытта пайдаланылатын релелік қорғаныс жүйесіне қатысты әрекет етуі үшін жеткілікті болатын қалған магниттік ағысқа қатысты шексіз төмен реактивтік шашырау кедергісі бар қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.207 **PXR класты қорғаныс ток трансформаторы** (Class PXR protective current transformer): Қайталама орамының қоздыру және кедергі сипаттамаларын, қайталама жүктеменің кедергісін және трансформация коэффициентін білу ол алдағы уақытта пайдаланылатын релелік қорғаныс жүйесіне қатысты әрекет етуі үшін жеткілікті болатын қалған магниттік ағысқа қатысты шексіз төмен реактивтік шашырау кедергісі бар қорғаныс ток трансформаторы.

1 ЕСКЕРТПЕ Әлсіз тұрақты токтар ток трансформаторлар арқылы үздіксіз өтетін жағдай туындаған кезде ток трансформаторының шамадан тыс қанығуына жол бермеу үшін ауа саңылауы бар трансформаторлар пайдаланылады, бірақ олардың сипаттамалары PX класының сипаттамаларынан өзгеше болу керек.

2 ЕСКЕРТПЕ Қалдық магнетизмді төмендетуге арналған ауа саңылаулары жоғары реактивтік кедергісі бар трансформаторларды шашыратуға міндетті түрде әкеп соқпауы мүмкін (2С қосымшасын қараңыз).

3.1.208 **TPX класты айнымалы сипаттамаларға арналған қорғаныс ток трансформаторы** (Class TPX protective current transformer for transient performance): Қысқа тұйықталудың айнымалы тоғы болған жағдайда қанығу серпіні лездік кемшіліктің амплитудалық мәнімен анықталатын қалдық магниттік ағысқа қатысты шегі жоқ қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.209 **TPY класты айнымалы сипаттамаларға арналған қорғаныс ток трансформаторы** (Class TPY protective current transformer for transient performance): Қысқа тұйықталудың айнымалы тоғы болған жағдайда қанығу серпіні лездік кемшіліктің амплитудалық мәнімен анықталатын қалдық магниттік ағысқа қатысты шегі бар қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.210 **TPZ класты айнымалы мәндерге арналған қорғаныс ток трансформаторы** (Class TPZ protective current transformer for transient performance): Қысқа тұйықталудың айнымалы тоғы болған жағдайда қанығу серпіні кемшіліктің айнымалы құрамдас бөлігінің амплитудалық мәнінен анықталатын белгіленген қайталама орамның тұрақты уақыты бар қорғаныс ток трансформаторы.

3.1.211 **Дірілдеу коэффициенті бар ток трансформаторы** (Selectable-ratio current transformer): Бастапқы орамның секцияларын ауыстырып-қосу жолымен және/немесе қайталама орамда тарамдалу арқылы трансформацияның бірнеше коэффициенті алынатын ток трансформаторы.

3.3 Нақтылы токпен байланысты анықтамалар

3.3.201 **Бастапқы орамның нақтылы тоғы** (Rated primary current) I_{pr}**:** Трансформатордың жұмыс сипаттамалары негізделген бастапқы орам тоғының мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-01-11, түрлендірілген атау, синоним және анықтама)

3.3.202 **Қайталама орамның нақтылы тоғы** (Rated secondary current) I_{sr}: Трансформатордың жұмыс сипаттамалары негізделген қайталама орам тоғының мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-01-15, түрлендірілген атау, синоним және анықтама)

3.3.203 **Жылуға төзімділіктің нақтылы тоғы** (Rated short-time thermal current) I_{sr}**:** Белгіленген қысқа уақыт ішінде трансформатор қайталама орамның өте қысқа тұйықталуының салдарынан орын алатын зиянды әсерлерден зақымдалмай, шыдайтын бастапқы орамның максималды мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-22)

3.3.204 **Нақтылы жұмыс тоғы** (Rated dynamic current) I_{dyn}**:** Қайталама орам өте қысқа тұйықталған кезде электромагниттік күштердің нәтижесінде трансформатор электрлік немесе механикалық зақымдалмай, шыдайтын бастапқы орам тоғының максималды амплитудалық мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-24)

3.3.205 **Үздіксіз жылу тоғы** (Continuous thermal current) I_{cth}: Бастапқы орамда, нақтылы жүктемемен жалғасқан қайталама орамда, белгіленген мәндерден аспайтын температурадан аспай, үздіксіз өтуге рұқсат етілген токтың мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-25)

3.3.206 **Бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғы** (Rated primary short-circuit current) I_{psc}: Ток трансформаторының дәлдік сипаттамалары негізделген бастапқы орамның қысқа тұйықталуының айнымалы тоғының айнымалы құрамдас бөліктерінің орташа квадраттық мәні.

1 ЕСКЕРТПЕ I_{th} жылу шегімен байланысты болған кезде I_{psc} дәлдік шегімен байланысты, Әдетте, I_{th} қарағанда I_{psc} азырақ.

3.3.207 **Қамтушы ток** (Exciting current) I_e: Бастапқы және қайталама орамда өте қысқа тұйықталған кезде нақтылы жиіліктің синусоидалдық кернеуі ток трансформаторының қайталама орамынан алынған токтың орташа квадраттық мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-32)

3.4 Дәлдікпен байланысты анықтамалар

3.4.3 **Трансформация коэффициентінің кемшілігі** (Ratio error) ε: IEC 61869-1 бойынша 3.4.3 анықтамалары Ескертпеге сәйкес қолданылады:

ЕСКЕРТПЕ: Пайызбен берілген ток бойынша беріліс коэффициентінің кемшілігі мына формуламен анықталады:

$$\varepsilon = \frac{k_r I_S - I_p}{I_p} \times 100\ \%$$

мұндағы, k_r – трансформацияның нақтылы коэффициенті;

I_p – бастапқы орамның нақтылы тоғы;

I_ε – өлшеу шартында I_p өткен кездегі қайталама орамның нақтылы тоғы.

Түсіндірме векторлық диаграмма 2A.1 берілген.

3.4.4 **Фазаның ығысуы** (Phase displacement) $\Delta\varphi$: IEC 61869-1 бойынша 3.4.4 анықтама қосымшаға сәйкес қолданылады:

1 ЕСКЕРТПЕ Түсіндірме векторлық диаграмма 2A.1 берілген.

3.4.201 **Нақтылы резистивтік жүктеме** (Rated resistive burden) R_b: Қайталама орамға жалғанған резистивтік жүктеменің нақтылы мәні, Оммен өлшенеді.

3.4.202 **Қайталама орамның кедергісі** (Secondary winding resistance) R_{ct}: қайталама орамның 75°С-ге немесе анықталғандай, басқа температураға түзетілген, Оммен өлшенетін тұрақты токқа қатысты нақты кедергісі.

1 ЕСКЕРТПЕ Сөздік мақалада: R_{ct} – нақтылы мәні. Оны R_{ct} арналған жоғарғы шекпен шатастырмаған жөн, себебі оған басқа тәсілмен белгіленуі мүмкін.

3.4.203 **Толық кемшілік** (Composite error) εC: Белгіленген шарттарда орташа квадраттық мәні төмендегілердің айырмашылығымен белгіленеді:

а) бастапқы орам тоғының лездік мәндері;

б) трансформацияның нақтылы коэффициентіне көбейтілген қайталама орамның нақтылы тоғының лездік мәндері, бастапқы және қайталама орам токтарының оң мәндері клеммаларды таңбалау жөніндегі келісімге сәйкес келеді.

1-ЕСКЕРТПЕ Жалпы жағдайда толық кемшілік ε_C бастапқы орам тоғының орташа квадраттық мәнінің пайызы ретінде айқындалады:

$$\varepsilon_c = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (k_r i_S - i_p)^2 dt}}{I_p} \times 100\%$$

ұндағы, k_r - трансформацияның нақтылы коэффициенті;

I_p - бастапқы орам тоғының орташа квадраттық мәні;

i_p - бастапқы орам тоғының лездік мәні;

i_p – қайталама орам тоғының лездік мәні;

T- бір циклдің ұзақтығы.

Қосымша түсініктерді 2А.4 қараңыз.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-26, сөздік мақалаға қатысты өзгертілген қосымша)

3.4.204 **Аспаптың бастапқы орамының нақтылы шекті тоғы** (Rated instrument limit primary current) I_{PL}**:** Өлшеуші трансформатордың толық кемшілігі 10 %-ға тең немесе артық болатын бастапқы орамның минималды тоғының мәні, бұл арада қайталама жүктеме нақтылы жүктемеге тең.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-27)

3.4.205 **Аспаптың қауіпсіздік коэффициенті** (Instrument security factor) *FS*: Аспаптың бастапқы орамының нақтылы шекті тоғының бастапқы орамның нақтылы тоғына қатынасы.

1 ЕСКЕРТПЕ Аспаптың нақтылы қауіпсіздік коэффициентіне жүктеме әсер етеді. Егер жүктеменің мәні нақтылы мәнінен айтарлықтай кем болса, онда қысқа тұйықталу тоғы болған жағдайда қайталама жақта токтың үлкен мәндері туындайтын болады.

2 ЕСКЕРТПЕ Жүйенің қысқа тұйықталу токтары ток трансформаторының бастапқы орамы арқылы өткен жағдайда аспаптың нақтылы қауіпсіздік коэффициенті (*FS*) өзінің ең төменгі деңгейінде болған кезде трансформатордан қуаттанатын аспаптың қауіпсіздігі өзінің ең жоғарғы деңгейінде болады.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-28, сөздік мақалаға қатысты өзгертілген қосымшалар)

3.4.206 **Өлшеуші ток трансформаторларына арналған қайталама орамның шекті ЭҚК** (Secondary limiting e.m.f. for measuring current transformers) E_{FS}: Аспаптың қауіпсіздік коэффициентінің *FS,* қайталама орамның нақтылы тоғының және нақтылы жүктеменің векторлар сомасының және қайталама орамның импедансының туындысы.

1-ЕСКЕРТПЕ Өлшеуші ток трансформаторларына E_{FS} арналған қайталама орамның шекті ЭҚК келесі тәсілмен есептеледі:

$$E_{FS} = FS \times I_{Sr} \times \sqrt{(R_{ct} + R_b)^2 + X_b^2}$$

мұндағы, R_b- нақтылы жүктеменің резистивтік бөлігі;

X_b – нақтылы жүктеменің индукциялық бөлігі.

Осы тәсіл шынайы мәнінен асатын мәні береді. Ол қорғаныс ток трансформаторлары үшін пайдаланылатын сынау тәсілдеріне қолдану үшін таңдалды. 7.2.6.202 және 7.2.6.203 қараңыз.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-31, сөздік мақалаға қатысты өзгертілген атау, синоним және ЕСКЕРТПЕ)

3.4.207 **Шекті дәлдіктің бастапқы орамының нақтылы тоғы** (Rated accuracy limit primary current): Оған дейін ток трансформаторы толық кемшілік талаптарына сәйкес келетін бастапқы орам тоғының мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-29)

3.4.208 **Дәлдік бойынша шекті еселік** (Accuracy limit factor) *ALF:* Шекті дәлдіктің бастапқы орамының нақтылы тоғының бастапқы орамның нақтылы тоғына қатынасы.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-30)

3.4.209 **Қорғаныс ток трансформаторларына арналған қайталама орамның шекті ЭҚК** (Secondary limiting e.m.f. for protective current transformers) E_{ALF}: Дәлдік бойынша шекті еселіктің, қайталама орамның нақтылы тоғының және нақтылы жүктеме мен қайталама орам импедансының векторлық сомасының туындысы.

ЕСКЕРТПЕ P және PR, E_{ALF} класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған векторлық орамның шекті ЭҚК келесі тәсілмен есептеледі:

$$E_{ALF} = ALF \times I_{Sr} \times \sqrt{(R_{ct} + R_b)^2 + X_b^2}$$

мұндағы, R_b – нақтылы жүктеменің резистивтік бөлігі;

X_b – нақтылы жүктеменің индукциялы бөлігі.

3.4.210 **Қанығу ағысы** (Saturation flux) Ψ_{sat}: Ток трансформаторындағы өзекше материалының магниттік қанығуына сәйкес келетін ток трансформаторындағы қайталама орамның ағысымен байланысты максималды мәні.

1 ЕСКЕРТПЕ Қанығу ағысын Ψ_{sat} анықтау бойынша ең сай келетін рәсім 2B.2.3 сипатталған тұрақты токпен қанығу тәсілі шегінде берілген.

2 ЕСКЕРТПЕ Бұрынғы IEC 60044-6 стандартында Ψ_s бүгілу нүктесінің мәні ретінде анықталған, ол өзекшенің қанықпаған күйден толықтай қанықкан күйге ауысуымен сипатталған. Бұл анықтама қабылданған жоқ, себебі қанығу дәрежесі тым төмен болды, бұл түсініспеушілікке және кедергілерге әкеп соқты, осыған байланысты толық қанығу шарттарын анықтайтын Ψ_{sat} алмастырылды.

3.4.211 **Қалдық ағыс** (Remanent flux) Ψ_r: Қанығу ағысын (Ψ_{sat}) тудыру үшін жеткілікті магниттеу шамасының тоғы үзілгеннен кейінгі 3 минуттен соң өзекшеде қалатын қайталама орамның ағысымен байланысты мәні.

3.4.212 **Тік бұрыштық коэффициенті** (Remanence factor) K_R: Қалдық магниттік ағыстың пайызбен берілген қанығу ағысына қатынасы.

3.4.213 **Екіншілік ілмек уақытының тұрақты мәні** (Secondary loop time constant) T_s: Магниттелу мен шашырау (L_s) индукциялығының және қайталама орамның кедергісінің (R_s) сомасынан алынған ток трансформаторының қайталама ілмек уақытының тұрақты мәні.

$$T_S = L_S / R_S$$

3.4.214 **Қоздыру сипаттамасы** (Excitation characteristic): Қоздыру тоғының орташа квадраттық мәні мен ток трансформаторының қайталама орамының клеммаларына қосымша ретінде берілген, синусоидалдық кернеу арасындағы графикалық немесе кестелік көрініс, олардың бастапқы және басқа да орамдары мәндер өрісі бойынша қоздырудың төменгі деңгейінен ЭҚК бүгілу нүктесіне көбейтілген 1.1 дейін анықтауға мүмкіндік береді.

3.4.215 **Бүгілу нүктесінің кернеуі** (Knee point voltage): 10 %-ға ұлғайтылу арқылы қоздыру тоғының орташа квадраттық мәнінің 50 %-ға ұлғаюына ықпал ететін барлық қалған клеммалары ажыратылған трансформатордың қайталама орам клеммаларына жалғанған нақты кернеу кезіндегі синусоидалдық кернеудің орташа квадраттық мәні.

(Дереккөз: IEC 60050-321:1986, 321-02-34)

3.4.216 **Бүгілу нүктесінің ЭҚК** (Knee point e.m.f.): 10 %-ға ұлғайтылу арқылы қоздыру тоғының орташа квадраттық мәнінің 50 %-ға ұлғаюына ықпал ететін нақтылы кернеу кезіндегі ток трансформаторының ЭҚК.

ЕСКЕРТПЕ Бүгілу нүктесінің кернеуі ток трансформаторының қайталама орамының клеммаларына жалғануы мүмкін болған кезде бүгілу нүктесінің ЭҚК тікелей қолжетімді болып табылмайды. Кернеу төмендеуінің қайталама орамның кедергісіне болмашы әсер еткендігінен кернеудің мағынасы мен бүгілу нүктесінің ЭҚК тең болып есептеледі.

3.4.217 **Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК** (Rated knee point e.m.f.) E_k: Бүгілу нүктесі ЭҚК-ң төменгі шегі.

ЕСКЕРТПЕ Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК PX және PXR класты қорғаныс ток трансформаторларының айрықшаларында пайда болады. Оны мынадай тәсілмен есептеуге болады:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{Sr}$$

3.4.218 **Байламдардың арақатынасы бойынша трансформацияның нақтылы коэффициенті** (Rated turns ratio): Негізгі контур байламдарының қайталама контур байламдарының санына белгіленген қатынасы.

1 МЫСАЛ 1/600 (қайталама контурдың 600 орамына қатысты негізге контурдың 1 байламын білдіреді).

2 МЫСАЛ 2/1200 (қайталама контурдың 1200 орамына қатысты негізге контурдың 2 байламын білдіреді).

1 ЕСКЕРТПЕ Байламдардың арақатынасы бойынша трансформацияның нақтылы коэффициенті PX және PXR класты қорғаныс ток трансформаторларының айрықшаларында пайда болады.

2 ЕСКЕРТПЕ Байламдардың арақатынасы бойынша трансформацияның нақтылы коэффициенті және нақтылы трансформация коэффициенті бастапқы нысандардың қайталама нысандарға қатынасы ретінде анықталды. Егер оларды салыстыру қажет болса, онда нақтылы трансформация коэффициентін интервациялау қажет.

3.4.219 **Трансформация коэффициентінің кемшілігі** (Turns ratio error): Нақтылы трансформация коэффициентінің байламдарға арақатынасы бойынша пайызымен айқындалған байламдардың арақатынасы бойынша нақтылы трансформация коэффициенті мен байламдардың арақатынасы бойынша нақтылы коэффициенті арасындағы айырмашылық.

3.4.220 **Өлшемді коэффициент** (Dimensioning factor) K_X: Қуат жүйесінде жаңылыстар, соның ішінде беріктік қорларындағы жаңылыстар болған жағдайда, сондай-ақ трансформатордан пайдалану талаптарына сәйкестігі талап етілетінге дейінгі жағдайлар орын алған кезде туындайтын қайталама орамның нақтылы тоғын (I_{sr}) көбейткішті көрсетуге арналған коэффициент.

ЕСКЕРТПЕ 3.4.217 формуласын қараңыз.

3.4.221 **Лездік айырмашылық тоғы** (Instantaneous error current): Нақтылы трансформация коэффициенті ($k_т$) мен бастапқы орам тоғына ($i_р$) көбейтілген қайталама орам тоғының лездік мәндері арасындағы айырмашылық:

$$i_\varepsilon = k_r \times i_S - i_p$$

ЕСКЕРТПЕ Айнымалы токтың құрамдас бөліктері де (i_{sac}, i_{pac}), тұрақты токтың құрамдас бөліктері де ($i_{\varepsilon ac}$, $i_{\varepsilon dc}$) болған кезде құрылымындағы құрамдас бөліктер келесі тәсілмен анықталады:

$$i_\varepsilon = i_{\varepsilon ac} + i_{\varepsilon dc} = (k_r \times i_{sac} - i_{pac}) + (k_r \times i_{sdc} - i_{pdc})$$

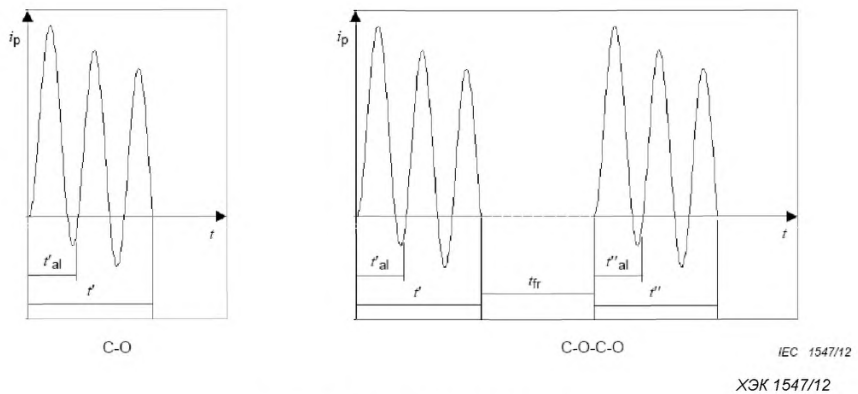
3.4.222 **Лездік кемшіліктің амплитудалық мәні** (Peak instantaneous error) $\hat{\varepsilon}$**:** Бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғының амплитудалық мәнінің пайызы ретінде айқындалған белгілі жұмыс циклінің лездік кемшілік тоғының (3.4.221 қараңыз) амплитудалық мәні ($\hat{i}_\varepsilon$):

$$\hat{\varepsilon} = \frac{\hat{i}_\varepsilon}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100\ \%$$

3.4.223 **Кемшіліктің айнымалы құрамдас бөлігінің амплитудалық мәні** (Peak alternating error component) $\hat{\varepsilon}_{ac}$: Бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғының амплитудалық мәнінің пайызы ретінде айқындалған лездік кемшілік тоғының айнымалы құрамдас бөлігінің амплитудалық мәні $\hat{\imath}_{sac}$:

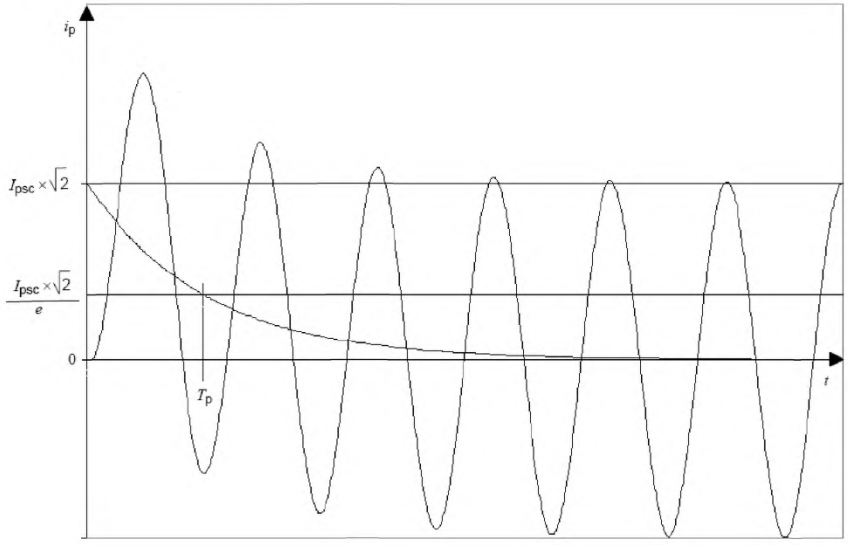
$$\hat{\varepsilon}_{ac} = \frac{\hat{I}_{sac}}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100\ \%$$

3.4.224 **Белгіленген жұмыс циклі (С-О және/немесе С-О-С-О)** (Specified duty cycle (C-O and / or C-O-C-O)): Қуат берілісінің әр белгіленген уақытында бастапқы орамның қысқа тұйықталу тоғының анағұрлым қолайлы бастапқы бұрышы бар деп болжанатын жұмыс циклі (201-суретті қараңыз).



1 Сурет 201 – Жұмыс циклдері

3.4.225 **Бастапқы контур уақытының белгіленген тұрақты мәні** (Specified primary time constant) T_P: Ток трансформаторының айнымалы жұмыс сипаттамалары негізделген бастапқы орамның қысқа тұйықталу тоғының тұрақты құрамдас бөлігінің белгіленген тұрақты мәні (202-суретті қараңыз).



ХЭК 1548/12

2 Сурет 202 – Бастапқы контур уақытының T_P тұрақты мәні

3.4.226 **Бірінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы** (Duration of the first fault) t': С-О жұмыс циклінің немесе С-О-С-О жұмыс цикліндегі бірінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы.

ЕСКЕРТПЕ 201-суретті қараңыз.

3.4.227 **Екінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы** (Duration of the second fault) t'': С-О-С-О жұмыс циклінде екінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы.

ЕСКЕРТПЕ 201-суретті қараңыз.

3.4.228 **Бірінші қысқа тұйықталудағы шекті дәлдікке дейінгі белгіленген уақыт** (Specified time to accuracy limit in the first fault) t'_{al}\: **Белгіленген дәлдік ұсталуы тиіс** С-О жұмыс циклінің немесе С-О-С-О жұмыс циклінің қуат алғаш рет берілген кезеңі**.**

ЕСКЕРТПЕ 201-суретті қараңыз. Осы уақыт аралығы байланысқан қорғаныс сызбасының сыни уақыт өлшемімен анықталады.

3.4.229 **Екінші қысқа тұйықталу кезінде шекті дәлдікке дейін белгіленген уақыт** (Specified time to accuracy limit in the second fault) t''_{al}: Белгіленген дәлдік ұсталуы тиіс С-О-С-О жұмыс циклінің екінші қуат берілісінің кезеңі.

ЕСКЕРТПЕ 201-суретті қараңыз. Осы уақыт аралығы байланысқан қорғаныс сызбасының сыни уақыт өлшемімен анықталады.

3.4.230 **Қысқа тұйықталудың қайталану уақыты** (Fault repetition time) t_{fr}: Ақауды сәтсіз жойған жағдайда автоматты сөндіргішті автоматты түрде қайталап сөндірудің жұмыс циклі кезінде бастапқы орамның қысқа тұйықталу тоғының үзілуі мен қайтадан жалғануы арасындағы уақыт аралығы.

ЕСКЕРТПЕ 201-суретті қараңыз.

3.4.231 **Қайталама ілмектің кедергісі** (Secondary loop resistance) R_s: Қайталама контурдың толық кедергісі

$$R_s = R_b + R_{ct}$$

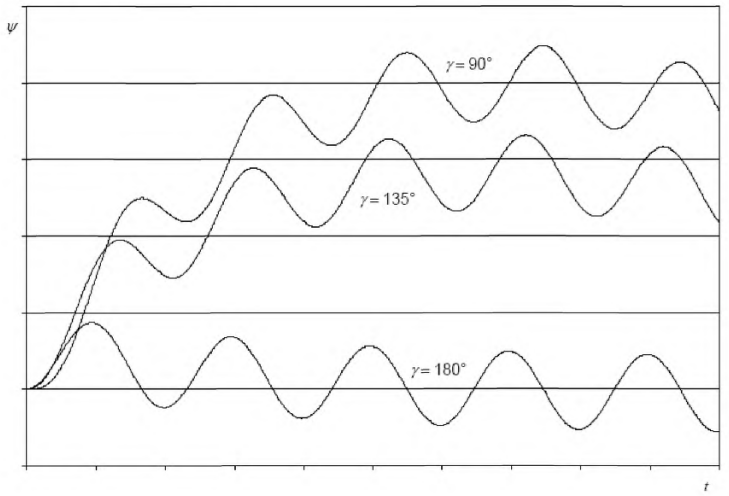
3.4.232 **Қысқа тұйықталу тоғының нақтылы симметриялық коэффициенті** (Rated symmetrical short-circuit current factor) K_{ssc}: Бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғының бастапқы орамның нақтылы тоғына қатынасы

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pr}}$$

3.4.233 **Айнымалы коэффициент** (Transient factor) *K*tf**:** Жұмыс цикліндегі белгіленген уақыт сәтінде қайталама орамның байланысқан ағысының оның тұрақты құрамдас бөлігінің амплитудалық мәніне қатынасы.

1 ЕСКЕРТПЕ K_{tf} қысқы тұйықталу пайда болған сәттегі T_P, T_S, жұмыс цикліне және бұрышқа байланысты әр түрлі формулалардың көмегімен талдау арқылы есептеледі. K_{tf} анықтамасы 2В.1 қосымшасында берілген.

2 ЕСКЕРТПЕ 203-суретте қысқа тұйықталу пайда болған сәтте γ әр түрлі бұрыштары үшін қайталама байланысқан ағыстың ықтимал траекториялары көрсетілген.



ХЭК 1549/12

3 Сурет 203 - Қысқа тұйықталу пайда болған сәтте γ әр түрлі бұрыштары үшін қайталама байланысқан ағыс

3.4.234 **Айнымалы өлшемдік коэффициент** (Transient dimensioning factor) K_{td}: Бастапқы орамның қысқа тұйықталу тоғының тұрақты құрамдас бөліктерінің салдарынан қайталама байланысқа токтың ұлғаюын есепке алуға арналған өлшемдік коэффициент.

ЕСКЕРТПЕ Коэффициент K_{tf} уақыт атқарымы анықталған кезде K_{td} дефинитивтік өлшемдік параметр болып табылады, K_{td} реле өндірушісі тағайындаған (реленің төзімділік типтерін сынау бойынша алынған) немесе K_{tf} қисықтарына негізделген ең нашар шарттардан қарастырылған ток трансформаторына қойылатын талаптардан туындайды (2B.1 қараңыз).

3.4.235 **Төмен реактивтік шашырау кедергісі бар ток трансформаторы** (Low-leakage reactance current transformer): Қайталама орамның клеммаларында (бастапқы орамның клеммалары ажыратылған кезде) жасалған сынаулар оның қажетті дәлдік шектеріне дейінгі қорғаныс сипаттамаларын бағалау үшін жеткілікті болатын ток трансформаторы.

3.4.236 **Жоғары реактивтік шашырау кедергісі бар трансформатор** (High-leakage reactance current transformer): 3.4.235 анықтаманың талаптарына сай келмейтін және өндіруші токтың қосымша шашырауына әкеп соғатын әсерлерді ескеретін қосымша шарттар жасаған ток трансформаторы.

3.4.237 **Қайталама контурдың нақтылы баламалы шекті ЭҚК** (Rated equivalent limiting secondary e.m.f.) E_{al}: Белгіленген жұмыс циклінің талаптарын орындау үшін қажет нақтылы жиілік кезінде қайталама контурдың баламалы ЭҚК-ң орташа квадраттық мәні:

$$E_{al} = K_{ssc} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

3.4.238 E_{al} **кезіндегі қайталама орамның қоздыру тоғының амплитудалық мәні** (Peak value of the exciting secondary current at E_{al}) $\hat{I}_{al}$: Бастапқы орам ажыратылған кезде E_{al} сәйкес келетін кернеу қайталама орамның клеммаларына жалғанған кездегі токтың амплитудалық мәні.

3.4.239 **Құрылым коэффициенті** (Factor of construction) F_c: Тікелей сынаулар мен жанама сынаулар арасындағы шекті шарттар кезінде өлшенген нәтижелердегі ықтимал айырмашылықтарды бейнелейтін коэффициент.

ЕСКЕРТПЕ Өлшеу рәсімі 2B.3.3 сәйкес.

Қысқартулар индексі

IEC 61869-1 стандартының 3.7 тармағы келесі кестемен алмастырылды.

AIS	- ауа оқшаулағышы бар үлестіргіш құрал
ALF	- дәлдік бойынша шекті еселік
CT	- ток трансформаторы
CVT	- сыйымдықты кернеу трансформаторы
E_{al}	- қайталама контурдың нақтылы баламалы шекті ЭҚК
E_{ALF}	- P және PR класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған қайталама орамның шекті ЭҚК
E_{FS}	- өлшегіш ток трансформаторларына арналған қайталама орамның шекті ЭҚК
E_k	- бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК
F	- механикалық жүктеме
F_C	- құрылым коэффициенті
f_R	- нақтылы жиілік
F_{rel}	- жылыстаудың салыстырмалы жылдамдығы
FS	- аспап қауіпсіздігінің коэффициенті
GIS	- газды оқшаулағышы бар үлестіргіш құрылғы
$\hat{I}_{al}$	- E_{al} қайталама орамы кезіндегі қоздыру тоғының амплитудалық мәні
I_{cth}	- нақтылы үздіксіз жылу тоғы

Кесте *(жалғасы)*

I_{dyn}	- нақтылы жұмыс тоғы
I_e	- қоздыру тоғы
I_{PL}	- аспаптың бастапқы орамының нақтылы шекті тоғы
I_{pr}	- бастапқы орамның нақтылы тоғы
I_{psc}	- бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғы
I_{sr}	- қайталама орамның нақтылы тоғы
IT	- өлшегіш трансформатор
I_{th}	- жылуға төзімді нақтылы ток
i_ε	- лездік айырмашылық тоғы
k	- трансформацияның деректі коэффициенті
k_r	- трансформацияның нақтылы коэффициенті
K_R	- тік бұрыштық коэффициенті
K_{ssc}	- қысқа тұйықталу тоғының нақтылы симметриялық коэффициенті
K_{td}	- айнымалы өлшемдік коэффициент
K_{tf}	- айнымалы коэффициент
K_x	- өлшемдік коэффициент
L_m	- магниттелу индукциялығы
R_b	- нақтылы резистивтік жүктеме
R_{ct}	- қайталама орамның кедергісі
R_s	- қайталама орамның кедергісі
S_r	- нақтылы қуаттылық
t'	- бірінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы
t''	- екінші қысқа тұйықталудың ұзақтығы
t'_{al}	- бірінші қысқа тұйықталу кезіндегі шекті дәлдікке дейін белгіленген уақыт
t''_{al}	- екінші қысқа тұйықталу кезіндегі шекті дәлдікке дейін белгіленген уақыт
t_{fr}	- қысқа тұйықталудың қайталану уақыты
T_p	- бастапқы контур уақытының белгіленген тұрақты мәні
T_s	- қайталама орам уақытының тұрақты мәні

Кесте *(жалғасы)*

U_m	- жабдыққа арналған ең жоғары кернеу
U_{sys}	- жүйеге арналған ең жоғары кернеу
VT	- кернеу трансформаторы
$\Delta\varphi$	- фазалардың ығысуы
ε	- трансформация коэффициентінің кемшілігі
ε_C	- толық кемшілік
$\hat{\varepsilon}$	- лездік кемшіліктің амплитудалық мәні
$\hat{\varepsilon}_{ac}$	- кемшіліктің айнымалы құрамдас бөлігінің амплитудалық мәні
ψ_r	- қалған ағыс
ψ_{sat}	- қанығу ағысы

4 Нақтылы мәндер

4.3 Оқшаулаудың нақтылы деңгейлері

4.3.2 Бастапқы орам клеммаларының оқшауланууының нақтылы деңгейі

4.3.2 IEC 61869-1 сәйкес мыналарды ескере отырып:

Бастапқы орамсыз және бастапқы орамның өзіндік оқшаулауы жоқ ток трансформаторы үшін $U_m = 0{,}72$ кВ мәні қабылданады.

4.3.5 Қайталама орамның клеммаларына қойылатын талаптар

4.3.5 IEC 61869-1 сәйкес мыналарды ескере отырып:

Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК $E_k \geq 2$ кВ болатын, PX класы мен PXR класының ток трансформаторларының қайталама орамының оқшауланууы орташа квадраттық мәні 5 кВ болатын сызықтың нақтылы жиілікті кернеуі кезінде 60 с бойы шыдай алатындай болу керек.

4.3.201 Байламаралық оқшаулауға қойылатын талаптар

Байламаралық оқшаулау үшін нақтылы шыдайтын кернеу амплитудалық мәнінің 4,5 кВ болу керек.

Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК 450 В болатын PX класты және PXR класты ток трансформаторлары үшін байламаралық оқшаулау үшін нақтылы шыдайтын кернеу белгіленген бүгілу нүктесінің 10-еселік орташа квадраттық мәнінің амплитудалық кернеуі немесе қайсысы азырақ екендігіне байланысты, 10 кВ амплитудалық мәні болу керек.

1-ЕСКЕРТПЕ Сынау рәсімі толқынның пішінін қатты өзгертуі мүмкін.

2-ЕСКЕРТПЕ 7.3.204 сынау рәсімінің мәндері анағұрлым төмен кернеу мәндерін беруі мүмкін.

4.5 Нақтылы қуаттылық

4.5.201 Қуаттылықтың нақтылы мәндері

Өлшегіш кластар, Р класы мен PR класы үшін нақтылы қуаттылықтың стандартты мәндері:

2,5 - 5,0 - 10 - 15 және 30 ВА.

Қосымшаның мақсатына жету үшін 30 ВА-дан асатын мәніне таңдауға болады.

ЕСКЕРТПЕ Егер нақтылы қуаттылық мәндерінің бірі стандартты болса және стандартты дәлдік класымен байланысты болса, осы трансформатор үшін стандартты емес мәндері болуы мүмкін, бірақ басқа стандартты дәлдік кластарымен байланысқан басқа нақтылы қуаттылықтардың мәлімдемелері алынып тасталмайды.

4.5.202 Резистивтік жүктеменің нақтылы мәндері

TPX, TPY және TPZ класты ток трансформаторлары үшін Оммен есептелетін нақтылы резистивтік жүктемеге арналған стандартты мәндер:

0,5 - 1 - 2 - 5 Ом

Ұнамды мәндердің асты сызылған. Мәндер 1 А нақтылы қайталама токқа негізделген. 1 А-дан айрықшаланатын қайталама орамның нақтылы тоғы бар ток трансформаторлары үшін жоғарыда аталған мәндерді ток шаршысына кері мөлшерлес түрде түзету қажет.

ЕСКЕРТПЕ Егер нақтылы қуаттылық мәндерінің бірі стандартты болса және стандартты дәлдік класымен байланысты болса, осы трансформатор үшін стандартты емес мәндері болуы мүмкін, бірақ басқа стандартты дәлдік кластарымен айланысқан басқа нақтылы қуаттылықтардың мәлімдемелері алынып тасталмайды.

4.6 Нақтылы дәлдік класы

4.6.201 Өлшегіш ток трансформаторлары

4.6.201.1 Өлшегіш ток трансформаторларына арналған дәлдік класын белгілеу

Өлшегіш ток трансформаторлары үшін дәлдік класы бастапқы контурдың нақтылы тоғы мен нақтылы қуаттылығы кезінде трансформация коэффициентінің (ε) кемшілігінің ең жоғарғы рұқсат етілген пайызымен анықталады.

4.6.201.2 Стандартты дәлдік кластары

Өлшегіш ток трансформаторларына арналған стандартты дәлдік кластары мынадай:

0,1 - 0,2 - 0,2S - 0,5 - 0,5S - 1 - 3 – 5 дәлдік кластары

4.6.201.3 Трансформация коэффициенті кемшілігінің (ε) және өлшегіш ток трансформаторларына арналған фазалар ығысуының шектері

0,1 - 0,2 - 0,5 және 1 кластары үшін, трансформация коэффициентінің кемшілігі және нақтылы жиілік кезіндегі фазаның ығысуы 201-кестеде келтірілген мәндерден аспау керек, мұндағы жүктеме нақтылы қуаттылықтың 25 %-дан 100 %-ға дейінгі кез келген мәнін қабылдай алады.

0,2S және 0,5S кластары үшін трансформация коэффициентінің кемшілігі мен нақтылы жиілік кезінде фазаның ығысуы 202-кестеде келтірілген мәндерден аспау керек, мұндағы жүктеме нақтылы қуаттылықтың 25 %-дан 100 %-ға дейінгі кез келген мәнін қабылдай алады.

3-ші және 5-ші кластар үшін нақтылы жиілік кезінде трансформация коэффициентінің кемшілігі 203-кестеде келтірілген мәндерден аспау керек, мұндағы жүктеме нақтылы қуаттылықтың 25 %-дан 100 %-ға дейінгі кез келген мәнін қабылдай алады. 3-ші және 5-ші кластар үшін фазалар ығысуының ешқандай шектері жоқ.

Барлық кластар үшін жүктеменің 0,8 қалған қуаттылық коэффициенті болу керек, жүктеме 5 ВА-дан кем болатын жағдай ескерілмейді, себебі бұл кезде минималды мәні 1 ВА болатын 1,0 қуаттылық коэффициенті пайдаланылу керек.

ЕСКЕРТПЕ Трансформация коэффициентінің кемшіліктері мен фазалар ығысуының ұйғарынды шектері жабдық (U_m) үшін ең жоғары кернеу кезінде ауада оқшаулау үшін талап етілетін арақашықтықтағы ауада кейбір қашықтықта орналасқан сыртқы өткізгіштің осы күйі үшін шынайы.

201-кесте. Өлшегіш ток трансформаторларына арналған трансформация коэффициенттері кемшілігінің және фазалар ығысуының шектері (0,1-ден 1-ге дейінгі кластар)

Дәлдік класы	Трансформация коэффициентінің кемшілігі ± %				Фазалар ығысуы							
					± Минуттер				± Сантирадиандар			
	ток кезінде (нақты %)				ток кезінде (нақты %)				ток кезінде (нақты %)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

202-кесте. Өлшегіш ток трансформаторларына арналған трансформация коэффициентінің кемшіліктерінің және фазалар ығысуының шектері (0,2S және 0,5S кластары)

Дәлдік класы	Трансформация коэффициентінің кемшілігі ± %					Фазалар ығысуы									
						± Минуттер					± Сантирадиандар				
	ток кезінде (нақты %)					ток кезінде (нақты %)					ток кезінде (нақты %)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

203-кесте. Өлшегіш ток трансформаторларына арналған трансформация коэффициенті кемшілігінің шектері

(3 және 5 кластар)

Класы	Трансформация коэффициентінің кемшілігі ± %	
	ток кезінде (нақты %)	
	50	10
3	3	3
5	5	5

4.6.201.4 Жүктеменің кеңейтілген өрісі

Барлық өлшегіш кластар үшін жүктеменің кеңейтілген өрісі анықталуы мүмкін. Трансформация коэффициентінің кемшілігі мен фазалардың ығысуы 1 ВА-дан нақтылы қуаттылыққа дейінші қайталама орамның жүктеме өрісі үшін 201-кестеде, 202-кестеде және 203-кестеде берілген тиісті кластың шектерінен асып кетпеу керек. Қуаттылық коэффициенті жүктеменің толық өрісі бойынша 1,0 болу керек. Максималды нақтылы қуаттылық 15 ВА-ға дейін шектелген.

4.6.201.5 Ұлғайтылған нақтылы токтар

Дәлдік кластары 0.1-ден 1-ге дейінгі ток трансформаторлары келесі талаптарға сай келген жағдайда ұлғайтылған нақтылы тоғы бар ретінде таңбалануы мүмкін:

a) нақтылы үздіксіз жылу тоғы бастапқы орамның нақтылы ұлғайтылған тоғы болу керек;

b) 201-кестеде келтірілген бастапқы орамның нақылы тоғының 120 % үшін трансформация коэффициентінің кемшілігі мен фазалар ығысуының

шектері бастапқы орамның нақтылы ұлғайтылған токтарына дейін сақталу керек.

Бастапқы орамның нақтылы кеңейтілген тоғы бастапқы орамның нақтылы тоғының пайызы ретінде айқындалу керек.

4.6.201.6 Аспаптың қауіпсіздік коэффициенті

Аспаптың қауіпсіздік коэффициентін белгілеуге болады.

Стандартты мәндер мынадай: FS 5 және FS 10

4.6.202 Қорғаныс ток трансформаторлары

4.6.202.1 Жалпы ережелер

Қорғаныс ток трансформаторларының анықтамасына қатысты үш түрлі тәсіл белгіленген (204-кестені қараңыз). Іс жүзінде, үшін анықтаманың әрқайсысы бірдей физикалық шынайылықты бере алады.

204-кесте. Қорғаныс класстарының сипаттамасы

Белгіленуі	Қалдық ағысқа арналған шек	Түсіндірме
P PR	жоқ [a] ия	Ток трансформаторы симметриялық стационарлық күйде қысқа тұйықталу тоғының толық кемшілігінің талаптарына сай келетіндей етіп ток трансформаторын анықтау
PX PXR	жоқ [a), b)] ия [b)]	Магниттелу сипаттамаларын белгілеу арқылы ток трансформаторын анықтау
TPX TPY TPZ	жоқ [a] ия ия	Қысқа тұйықталудың айнымалы үрдістермен шартталған асимметриялық тоғы шартында кемшілікке қойылатын талаптарға сай келетін ток трансформаторларын анықтау

a) Қалдық ағыстың ешқандай шегі болмаса да, ауа саңылауларының болуына рұқсат етіледі, мысалы, ажыратқыш өзекшесі бар ток трансформаторлары.

b) PX және PXR ажырату үшін қалдық ағыстың критерийлері пайдаланылады.

4.6.202.2 P класты қорғаныс ток трансформаторлары

4.6.202.2.1 Дәлдік бойынша еселік шегінің стандартты коэффициенттері (*ALF*)

ALF стандартты мәндері:

5 - 10 - 15 - 20 - 30

4.6.202.2.2 Дәлдік класын белгілеу

Дәлдік класы толық кемшіліктің ең жоғары қолжетімді пайызын пайдалана отырып белгіленеді, одан кейін «Р» әрпі («қорғаныстық» білдіреді) және *ALF* мәні келеді.

4.6.202.2.3 Стандартты дәлдік кластары

Қорғаныс ток трансформаторларына арналған стандартты дәлдік кластары:

5Р және 10Р

4.6.202.2.4 Р класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған кемшіліктің шектері

Нақтылы жиілік кезінде және жалғанған нақтылы жүктеме кезінде трансформация коэффициентінің шегі және фазаның ығысуы мен толық кемшілік 205-кестеде келтірілген шектерден асып кетпеу керек.

Нақтылы жүктеменің 0,8 индукциялы қуаттылық коэффициенті болу керек, нақтылы қуаттылық 5 ВА-дан кем болған жағдай ескерілмейді, бұл кезде 1,0 қуаттылық коэффициентін пайдалану қажет.

205-кесте. Р және PR класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған кемшіліктің шектері

Дәлдік класы	Бастапқы орамның нақтылы тоғы кезіндегі трансформация коэффициентінің кемшілігі ± %	Бастапқы орамның нақтылы тоғы кезінде фазаның ығысуы		Шекті дәлдіктің бастапқы орамының нақтылы тоғы кезіндегі толық кемшілік %
		± Минуттер	± Сантирадиандар	
5Р және 5PR	1	60	1,8	5
10Р және 10PR	3	-	-	10

4.6.202.3 PR класты қорғаныс ток трансформаторлары

4.6.202.3.1 Дәлдік шегінің стандартты коэффициенттері (*ALF*)

ALF мәнінің стандарты:

5 - 10 - 15 - 20 - 30

4.6.202.3.2 Дәлдік класының белгіленуі

Дәлдік класы толық кемшіліктің ең жоғары рұқсат етілген пайызымен белгіленеді, одан кейін «PR» әрпі (қорғаныстың төмен қалдық магниттік индукциясын білдіреді) және *ALF* мәні келтіріледі.

4.6.202.3.3 Стандартты дәлдік кластары

Төмен қалдық магниттік индукциясы бар қорғаныс ток трансформаторларына арналған стандартты дәлдік кластары:

5PR және 10PR

4.6.202.3.4 PR класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған кемшіліктің шектері

Нақтылы жиілік кезінде және жалғанған нақтылы жүктеме кезінде трансформация коэффициентінің кемшілігі және фазаның ығысуы мен толық кемшілік 205-кестеде көрсетілген шектерден аспау керек.

Нақтылы жүктеменің 0,8 индукциялы қуаттылық коэффициенті болу керек, нақтылы қуаттылық 5 ВА-дан кем болған жағдай ескерілмейді, бұл кезде 1,0 қуаттылық коэффициентін пайдалану қажет.

4.6.202.3.5 Тік бұрыштық коэффициенті (K_R)

Тік бұрыштық коэффициенті (K_R) 10 %-дан аспау керек.

ЕСКЕРТПЕ Өзекшеге бір немесе бірнеше саңылауды кіріктіру – тік бұрыштық коэффициентін шектеу тәсілі.

4.6.202.3.6 Қайталама ілмек уақытының тұрақты мәні (T_s)

Қайталама ілмек уақытының тұрақты мәнін белгілеуге болады.

4.6.202.3.7 Қайталама орамның кедергісі (R_{ct})

Қайталама орам кедергісінің жоғарғы шегін белгілеуге болады.

4.6.202.4 PX класты және PXR класты қорғаныс ток трансформаторлары

PX класты қорғаныс ток трансформаторларының жұмыс сипаттамалары келесі шамалардың терминдерінде белгілену керек:

- бастапқы орамның нақтылы тоғы (I_{pr});
- қайталама орамның нақтылы тоғы (I_{sr});
- байламдардың арақатынасы бойынша нақтылы трансформация коэффициенті;
- бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК (E_k);
- бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК кезінде қоздыру тоғының (I_e) жоғарғы шегі және/немесе осы шаманың белгіленген пайызы;
- қайталама орам кедергісінің жоғарғы шегі (R_{ct}).

Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК (E_k) белгілеудің орнына E_k мынадай тәсілмен есептеуге болады:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

Бұл жағдайда нақтылы резистивтік жүктемені (R_b) және өлшемдік коэффициентті (K_x) белгілеуге болады, ал R_{ct} дайындаушы таңдайды.

PX класы үшін трансформация коэффициентінің кемшілігі ± 0,25 %-дан аспау керек.

PXR класы трансформация коэффициентінің кемшілігі ± 1 %-дан аспау керек.

PXR класы үшін тік бұрыштық коэффициенті 10 %-дан аспау керек.

201 ЕСКЕРТПЕ Тік бұрыштық коэффициентін < = 10 % кепілдеу үшін PXR класты ток трансформаторлардың ауа саңылаулары болуы мүмкін.

202 ЕСКЕРТПЕ Кішкентай ампер-байламдары бар PXR класты үлкен өзекшелер үшін тік бұрыштық коэффициентіне қойылатын талаптарды орындау қиынға соғуы мүмкін. Бұл жағдайда тік бұрыштық коэффициентін 10 %-дан артық болатындай етіп келісуге болады.

4.6.202.5 Айнымалы сипаттамаларға арналған қорғаныс ток трансформаторлары

4.6.202.5.1 TPX, TPY және TPZ класты ток трансформаторларына арналған кемшілік шектері

Нақтылы резистивтік жүктеме ток трансформаторына жалғанған кезде трансформация коэффициентінің кемшілік пен нақтылы жиілік кезіндегі фазаның ығысуы 206-кестеде көрсетілген кемшіліктер шектерінен асып кетпеу керек.

Белгіленген жұмыс циклі (немесе белгіленген айнымалы өлшемдік коэффициентке K_{td} сәйкес келетін жұмыс циклі) нақтылы резистивтік жүктемеге жалғанған ток трансформаторына қатысты қолданылған кезде $\hat{\varepsilon}$ (TPX және TPY үшін) немесе $\hat{\varepsilon}_{ac}$ (TPZ үшін) айнымалы үрдістермен байланысты кемшіліктер 206-кеседе көрсетілген шектерден асып кетпеу керек.

Кемшіліктің барлық шектері қайталама орамның 75°C температурасына негізделген.

206-кесте. ТРХ, ТРҮ және TPZ ток трансформаторларына арналған кемшіліктер шектері

Класы	Бастапқы контурдың нақтылы тоғы кезінде			Белгіленген жұмыс циклі шартында айнымалы үрдістермен шартталған кемшілік шектері
	Трансформация коэффициентінің кемшілігі ± %	Фазаның ығысуы		
		±Минуттер	±Сантирадиандар	
ТРХ	0,5	±30	±0,9	$\hat{\varepsilon}$ =10 %
ТРҮ	1,0	±60	±1,8	$\hat{\varepsilon}$ =10 %
TPZ	1,0	180±18	5,3±0,6	$\hat{\varepsilon}_{ac}$ =10 %

1-ЕСКЕРТПЕ Кейбір жағдайларда, фаза ығысуының абсолюттік шамасы осы өндірістік топтаманың орташа мәнінің минималды кемшілігіне жетуге қарағанда анағұрлым маңызды болуы мүмкін.

2-ЕСКЕРТПЕ E_{al} тиісті мәні магниттелу қисығының сызықтық бөлігінен аспаған жағдайда ТРҮ өзекшелері үшін келесі формуланы пайдалануға болады:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{K_{td}}{2\pi \int_R \times T_s} \times 100\ \%$$

4.6.202.5.2 Тік бұрыштық коэффициенттің (K_R) шегі

ТРХ: шегі жоқ

ТРҮ: $K_R \leq 10$ %

TPZ: $K_R \leq 10$ %.

ЕСКЕРТПЕ TPZ өзекшелері үшін тік бұрыштық коэффициентін <<10 % құрылым белгілейді, осыған байланысты қалдық магниттік ағысты шамадан тыс асыруға болады.

4.6.202.5.3 Айрықша тәсілдері

Екі айрықша тәсілі 207-кестеде көрсетілген.

Кейбір жағдайларда бір белгілі жұмыс циклін таңдау қорғаныстың барлық талаптарын сипаттай алмайды, осыған байланысты баламалы анықтама әр түрлі жұмыс циклдерінің талаптарын қамтитын «толық талаптарды» анықтау мүмкіндігін ұсынады. Айрықшаларды араластыруға болмайды; кері жағдайда ток трансформаторын қайта анықтауға турал келеді.

207-кесте. TPX, TPY және TPZ ток трансформаторларын арналған айрықша тәсілдері

Стандартты айрықша	Баламалы айрықша
Кластың белгіленуі (TPX, TPY немесе TPZ)	Кластың белгіленуі (TPX, TPY немесе TPZ)
Қысқа тұйықталу тогының нақтылы симметриялық коэффициенті, K_{ssc}	Қысқа тұйықталу тогының нақтылы симметриялық коэффициенті, K_{ssc}
Жұмыс циклі, мыналардан тұрады: С-О циклі үшін: $t'al$ С-О-С-О циклі үшін: t'_{al}, t', t_{fr}, t''_{al}	Айнымалы өлшемдік коэффициенттің нақтылы мәні, K_{td} Қайталама ілмектің тұрақты уақытының нақтылы мәні T_S (TPY өзекшелеріне ғана арналған)
Бастапқы контур уақытының нақтылы тұрақты мәні, T_P	
Нақтылы резистивтік жүктеме, R_b	Нақтылы резистивтік жүктеме, R_b

1 ЕСКЕРТПЕ Қайталама орамдарының бұрмалары бар ток трансформаторлары үшін дәлдікке қойылатын осы талаптар тек бір коэффициент үшін орындала алады.

2 ЕСКЕРТПЕ Бастапқы орам ауыстырып-қосылатын ток трансформаторлары үшін дәлдік талаптары әр түрлі коэффициенттер үшін орындала алады. Бұл жағдайда бастапқы орам сымдарының пішім үйлесімдігі әсер ете алатын F_c құрылым коэффициентіне назар аударған жөн.

3 ЕСКЕРТПЕ Баламалы айрықшада K_{td} әдетте қорғаныс құрылғыларының жеткізушісі белгілейді. T_S мәні белгіленуі мүмкін, себебі бұл K_{td} есептеу кезінде қолданылатын ток трансформаторының жалғыз параметрі болып табылады.

4.6.203 Коэффициенті таңдалатын ток трансформаторы класының тағайындалуы

4.6.203.1 Бастапқы орамы ауыстырып-қосылатын ток трансформаторларына арналған дәлдік сипаттамалары

Барлық дәлдік кластары үшін дәлдікке қойылатын талаптар барлық қорғаныс ауыстырып-қосуларына қатысты болады.

4.6.203.2 Бұрмалары бар қайталама орамдары бар ток трансформаторларына арналған дәлдік сипаттамалары

Барлық дәлдік кластары үшін дәлдік талаптары трансформацияның ең жоғарғы коэффициентіне қатысты болады, егер басқасы белгіленбесе.

Сатып алушының талабы бойынша, дайындаушы анағұрлым төмен коэффициенттер кезіндегі дәлдік сипаттамалары туралы ақпаратты беру керек.

5.201 Бастапқы орамның нақтылы тогының стандартты мәндері

Бастапқы орамның нақтылы тогына арналған стандартты мәндер:

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 А,

және олардың ондық еселіктері немесе үлестері. Ұнамды мәндердің асты сызылған.

4.202 Қайталама орамның нақтылы тоғының стандартты мәндері

Қайталама орамның нақтылы тоғының стандартты мәндері - 1 А және 5 А.

Айнымалы сипаттамалары бар қорғаныс ток трансформаторлары үшін қайталама орамның нақтылы тоғының стандартты мәні - 1 А.

4.203 Нақтылы үздіксіз жылу тоғының стандартты мәндері

Нақтылы үздіксіз жылу тоғының стандартты мағынасы – бастапқы орамның нақтылы тоғы.

Бастапқы орамның нақтылы тоғынан асатын нақтылы үздіксіз жылу тоғы белгіленген кездегі ұнамды мәндер – бастапқы орамның нақтылы тоғының 120 %, 150 % және 200 %.

4.204 Қысқа мерзімді токтың нақтылы мәндері

4.204.1 Жылу төзімділігінің нақтылы тоғы (I_{th})

Трансформаторға жылу төзімділігінің (I_{th}) нақтылы тоғы тағайындалу керек.

Нақтылы қысқа мерзімді жылу тоғының стандартты мәні - 1 с.

4.204.2 Нақтылы жұмыс тоғы (I_{dyn})

Нақтылы динамикалық токтың (I_{dyn}) стандартты мәні – нақтылы қысқа мерзімді жылу тоғына (I_{th}) 2,5 көбейту керек.

5 Жобалау және жабдықтау

5.4 Бөлшектер мен құрамдас бөліктер температураларының ұлғаюына қойылатын талаптар

5.4.1 Қосымша талаптар

Осы тарауда келесі толықтырулар келтірілген:

Нақтылы үздіксіз жылу тоғына тең бастапқы орамның тоғын қуаттылығы бірге тең және тиісті нақтылы қуаттылыққа сәйкес келетін жүктемемен өткізген кезде ток трансформаторындағы ток температурасының ұлғаюы IEC 61869-1 стандартындағы 5-кестеде көрсетілген мәндерден аспау керек. Осы мәндер 4-тарауда келтірілген пайдалану шарттарына негізделген.

5.13 Таңбалау

5.13.201 Клеммаларды таңбалау

5.13.201.1 Жалпы ережелер

Клеммаларды таңбалау мыналарды сәйкестендіру керек:

a) бастапқы және қайталама орамдар;

b) орамның секциялар, егер болса;

c) орамдардың және орамдар секцияларының салыстырмалы кереғарлықтары;

d) аралық бұрмалар, егер болса.

5.13.201.2 Таңбалау тәсілі

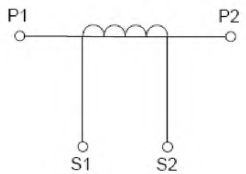
Таңбалама әріптерден тұру керек, олардың алдында немесе олардан кейін қажет болса сандар қойылады. Әріптер баспалы болу керек.

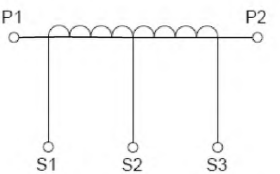
5.13.201.3 Пайдалану қажет болатын таңбалар

Ток трансформаторлары клеммаларының таңбалануы 208-кестеде көрсетілгендей болу керек.

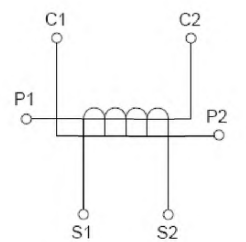
208-кесте. Клеммалардың таңбалануы

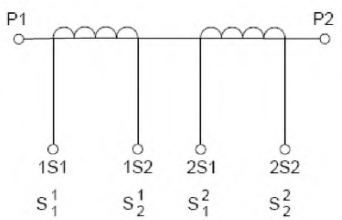
<table>
<tr>
<td>Бастапқы орамның клеммалары

Қайталама орамның клеммалары</td>
<td>

Бір коэффициент</td>
<td>

Қайталама орамында аралық бұрмалары бар трансформатор</td>
</tr>
<tr>
<td>Бастапқы орамның клеммалары

Қайталама орамның клеммалары</td>
<td>

Тізбекті немесе қатарлас байланыстыруға арналған 2 секциялы бастапқы орамы бар трансформатор</td>
<td>

2 қайталама орамдары бар трансформатор; әрқайсының өзіндік магниттік өзекшесі бар (қайталама клеммаларға арналған екі баламалы таңбалау)</td>
</tr>
</table>

5.13.201.4 Салыстырмалы кереғарлықтарды белгілеу

P1, S1 және C1 болып таңбаланған барлық клеммалардың бір сәтте бірдей кереғарлығы болу керек.

5.13.202 Техникалық деректер келтірілген тақтайшаның таңбалануы

5.13.202.1 Жалпы ережелер

IEC 61869-1 стандартының 6.13-тарауында анықталған таңбалануларға қосымша ретінде барлық ток трансформаторларының осы тарауда анықталғандай жалпы түрдегі техникалық деректер келтірілген

тақтайшаларының таңбасы болу керек. Нақты дәлдік кластарымен байланысты таңбалаулар 6.13.202.2 - 6.13.202.6 берілген.

a) бастапқы және қайталама орамның нақтылы тоғы (мысалы, 100/1 А);

b) жылуға төзімділіктің нақтылы тоғы (I_{th}), (мысалы, I_{th} = 40 kA);

c) нақтылы жұмыс тоғы (I_{dyn}), егер ол 2,5 × I_{th} өзгеше болса (мысалы, I_{dyn} = 85 кА);

d) екі немесе одан артық қайталама орамдары бар ток трансформаторларында әр орамды және оның тиісті клеммасын пайдалану;

e) нақтылы үздіксіз жылу тоғы, егер ол бастапқы орамның нақтылы тоғынан өзгеше болса.

1 МЫСАЛ

Қайталама орам тарамдалған бір өзекшесі бар бір ток трансформаторының үшін: I_{cth} = 150 % (әр тарамдалу үшін бастапқы орамның нақтылы тоғының 150 % мәні)

2 МЫСАЛ

Әр түрлі коэффициенттері бар бірнеше өзекшелері бар ток трансформаторлары үшін (мысалы, 300/5 А және 4000/1 А): I_{cth} = 450 А (ток трансформаторының барлық өзекшелері арқылы өтетін максималды үздіксіз жылу тоғы ретіндегі 450 А мәні)

3 МЫСАЛ

Бастапқы орамның ауыстырып-қосылатын ток трансформаторлары үшін (4х300/1 А): I_{cth} = 4×450 А(бастапқы орамның ауыстырылып-қосылуына байланысты үздіксіз жылу тоғының 450, 900 немесе 1800 мәні)

Қуаттылық пен дәлдік класының бірнеше қисындастырылуының талаптарына сай келетін ток трансформаторы солардың барлығына сәйкес таңбалануы мүмкін.

4-МЫСАЛ 5 VA cl. 0,5; 10 VA cl. 5P20

5-МЫСАЛ 15 VA cl. 1; 7 VA cl. 0,5

6-МЫСАЛ 5 VA cl.1 & 5P20

5.13.202.2 Өлшегіш ток трансформаторының техникалық деректері келтірілген тақтайшаның арнайы таңбасы

Аспаптың дәлдік класы мен қауіпсіздік коэффициенті (егер болса) тиісті нақтылы қуаттылықты көрсеткеннен кейін көрсетілу керек.

1 МЫСАЛ 15 VA cl. 0,5

2 МЫСАЛ 15 VA cl. 0,5 FS 10

Ұлғайтылған нақтылы тоғы бар ток трансформаторларында (5.6.201.5 қараңыз) нақты мәні класты көрсеткеннен кейін бірден көрсетілу керек.

3 МЫСАЛ 15 VA cl. 0,5 ext.150 % FS 10

Кеңейтілген жүктеме өрісі бар ток трансформаторлары үшін (5.6.201.4 қараңыз) осы нақты мәні кластың белгіленуінің тікелей алдында келтірілу керек.

4 МЫСАЛ 1-10 VA class 0,2 (0,2 класындағы 1-ден 10 ВА-ға дейінгі жүктеме өрісін білдіреді).

ЕСКЕРТПЕ Техникалық деректер келтірілген тақтайшада трансформацияның бірдей коэффициенті кезінде трансформатор сай келетін коэффициенттердің, жүктемелер мен дәлдік класстарының бірнеше қисындастырылуы бойынша ақпарат берілуі мүмкін.

15 МЫСАЛ VA class 1; 7 VA class 0,5

5.13.202.3 P класты қорғаныс ток трансформаторларының техникалық деректері келтірілген тақтайшаның арнайы таңбасы

Дәлдік бойынша нақтылы шекті еселік тиісті нақтылы қуаттылық пен дәлдік класынан кейін көрсетілу керек.

30 МЫСАЛ VA class 5P10

5.13.202.4 PR класты қорғаныс ток трансформаторларының техникалық деректері келтірілген тақтайшаның арнайы таңбасы

Дәлдік бойынша нақтылы шекті еселік тиісті нақтылы қуаттылық пен дәлдік класынан кейін көрсетілу керек.

1 МЫСАЛ 10 VA class 5PR10

Егер анықталған болса, онда сондай-ақ келесі параметрлер көрсетілу керек:

- қайталама ілмек уақытының тұрақты мәні (T_s);
- қайталама орам кедергісінің жоғарғы шегі (R_{ct}).

2 МЫСАЛ 10 VA class 5PR10, Ts = 200 ms, Rct <= 2,4 Ω

5.13.202.5 PX және PXR класты қорғаныс ток трансформаторларының техникалық деректері келтірілген тақтайшаның арнайы таңбасы

Класс талаптары келесі тәсілмен көрсетілуі мүмкін:

- байламдардың арақатынасы бойынша нақтылы трансформация коэффициенті;
- бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК (E_k);
- бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК кезіндегі қоздыру тоғының (I_e) жоғарғы шегі немесе осы мәнінің мәлімделген пайызы;
- қайталама орам кедергісінің жоғарғы шегі (R_{ct}).

1 МЫСАЛ Class PX, Ek = 200 V, Ie <= 0,2A, Rct <= 2,0 Ω.

Егер анықталған болса, онда келесі параметрлер көрсетілу керек:

- өлшемдік коэффициент (K_x);
- нақтылы резиститвтік жүктеме (R_b).

2 МЫСАЛ Ek = 200 V, Ie <= 0,2 A, Rct <= 2,0 Ω, Kx = 40, Rb = 3,0 Ω.

5.13.202.6 Айнымалы сипаттамаларға арналған ток трансформаторларының техникалық деректері келтірілген тақтайшалардың арнайы таңбасы

Кластың таңбалануы келесі 2 элементтен тұрады:

a) Анықтаманың бөлімі (міндетті)

Анықтаманың бөлімі арнайы маңызды ақпараттан тұрады, ол ток трансформаторының талаптар деректеріне сәйкес келетіндігін анықтау үшін қажет (жұмыс циклінен және T_p тұрады).

1 МЫСАЛ K_{SSC} = 20 және K_{td} = 12,5 қолдана отырып:
*R*b = 5 Ом, класы TPX 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом;
*R*b = 5 Ом, класы TPY 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом, *T*s = 900 миллисекунд;
*R*b = 5 Ом, класы TPZ 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом.

ЕСКЕРТПЕ R_{ct} үшін топтаманың шегінде оның максималды мәнін көрсетуге болады.

b) Қосымша бөлім (тапсырыс беруші жұмыс циклін белгілеген кезде міндетті)

Қосымша бөлім көптеген ықтимал жұмыс циклдерін білдіреді, олар белгіленген K_{td} мәніне келтіреді).

2 МЫСАЛ
100 мс, T_p = 100 мс циклі t'_{al} =100 мс, T_p =100 мс білдіреді

(40-100)-300-40 мс, T_p = 100 мс циклі t'_{al}=40 мс, t' =100 мс, t_{fr}=300 мса,
t''_{al} =40 мс, T_p =100 мс білдіреді

(100-100)-300-40 мс, T_p = 75 мс циклі $t' = t'_{al}$=100 мс, t_{fr}=300 мса,
t''_{al} =40 мс, T_p = 75 мс білдіреді

6 Сынаулар

6.1 Жалпы ережелер

6.1.2 Сынаулар тізімдері

IEC 61869-1 стандартындағы 10-кесте жаңа 10-кестемен алмастырылды.

10-кесте. Сынаулар тізімі

Сынаулар	Тармақша
Сынаулар типі	7.2
Жылытып сынау	7.2.2
Бастапқы орам клеммаларындағы шыдайтын импульстік кернеуді сынау	7.2.3
Ашық типті трансформаторларының ылғалдылығын сынау	7.2.4
Электромагниттік сыйымдылықты сынау	7.2.5
Дәлдікті сынау	7.2.6
Қаптаманың қорғаныс дәрежесін тексеру	7.2.7
Қоршаған ортаның температурасы кезінде қаптаманың саңылаусыздығын сынау	7.2.8
Қаптаманы қысым астында сынау	7.2.9
Қысқа мерзімді токпен сынау	7.2.201
Стандартты сынау	**7.3**
Бастапқы орамның клеммаларында шыдайтын өнеркәсіптік жиілік кернеуін сынау	7.3.1
Ішінара қуатсыздануды өлшеу	7.3.2
Секциялар арасындағы өнеркәсіптік жиіліктің шыдайтын кернеуін сынау	7.3.3
Қайталама орамның клеммаларында шыдайтын өнеркәсіптік жиілік кернеуін сынау	7.3.4
Дәлдікті сынау	7.3.5
Таңбаларды тексеру	7.3.6
Қоршаған ортаның температурасында қаптаманың саңылаусыздығын сынау	7.3.7
Қаптаманы қысым астында сынау	7.3.8
Қайталама орамның кедергісін сынау	7.3.201
Қайталама ілмек уақытының тұрақты мәнін анықтау	7.3.202
Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК кезінде бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК және қоздыру тоғын сынау	7.3.203
Байламаралық күштің артуын сынау	7.3.204
Арнайы сынаулар	**7.4**
Бастапқы орам клеммаларының кесілген импульсінің шыдайтын кернеуін сынау	7.4.1
Бастапқы орамның клеммаларында көптеген кесілген импульсті сынау	7.4.2
Сыйымдықты және диэлектрлік шығындар коэффициентін өлшеу	7.4.3
Ауыстырылатын шамадан тыс күштің түсуін сынау	7.4.4
Механикалық сынаулар	7.4.5
Ішкі доғаның әсері кезінде істен шыққанға дейін сынау	7.4.6
Төмен және жоғары температуралар кезінде қаптаманың саңылаусыздығын сынау	7.4.7

10-кесте *(жалғасы)*

Сынаулар	Тармақша
Газдың шық нүктесін сынау	7.4.8
Тоттануды сынау	7.4.9
Өртену қаупін сынау	7.4.10
Үлгілерде сынаулар жүргізу	**7.5**
Тік бұрыштық коэффициентін анықтау	7.5.1
Өлшегіш ток трансформаторлар аспабының (*FS*) қауіпсіздік коэффициентін анықтау	7.5.2

IEC 61869-1 стандартындағы 11-кесте келесі қосымшалармен бірге қолданылады:

GIS ток трансформаторлары үшін газды оқшауламай, дәлдікті сынауға болады.

6.2 Типті сынау

6.2.2 Жылытуды сынау

IEC 61869-1, 7.2.2 келесі қосымшалармен бірге қолданылады

6.2.2.201 Сынау сызбасы

Ток трансформаторы пайдалану кезінде монтаждау тәсілдері үшін толымды болып табылатын тәсілмен орнатылу керек, ал қайталама орам 6.4.1 сәйкес жүктелу керек. Ток трансформаторының күйі үлестіргіш құрылғының әр қондырғысында айрықшалана алғандықтан, сынау сызбасының құрылғысы дайындаушының пайымдауы бойынша қалады.

Ток трансформаторлары металлды қаптамадағы үш фазалы үлестіргіш құрылғыда қалған жағдайда барлық үш фаза бірге сыналу керек.

6.2.2.202 Қоршаған ортаның температурасын өлшеу

Қоршаған ортаның температурасын өлшеуге арналған қадағалар ток трансформаторының нақтылы мәндеріне сәйкес арақашықтықта және шамамен трансформатор биіктігінің жартысында ток трансформаторының айналасында үлестірілу керек; олар тікелей жылу сәулесінен қорғалу керек.

Салқындатылған ауаның температурасын минимумге жеткізу үшін, әсіресе сынаудың соңғы кезеңінде, температуралық қадағалар үшін трансформатор уақытының шамамен тең тұрақты уақыты бар жылу шығарғыштар сияқты тиісті құралдарды пайдаланған жөн.

Сынау үшін екі қадағаның орташа көрсеткіштерін пайдалану қажет.

6.2.2.203 Сынаудың ұзақтығы

Мынадай екі шарт орындалған кезде сынау тоқтатылуы мүмкін:

- сынаудың ұзақтығы ток трансформатор уақытының үш еселік жылу тұрақты мәніне тең;
- орам температурасының ұлғаю жылдамдығы (ток трансформаторларының май трансформаторы бөгінің жоғарғы бөлігіндегі

май) температура ұлғаюының үш бірізді көрсеткіштерін алған кезде 1 К-дан аспайды.

Дайындаушы уақыттың жылулық тұрақты мәнін келесі тәсілдердің бірімен бағалау керек:

- осындай құрылымға жүргізілетін алдыңғы сынаулардың нәтижелеріне негізделген сынаулардың алдында. Уақыттың жылулық тұрақты мәні жылытуды сынау кезінде расталу керек;

- сынау кезінде, температура ұлғаюының қисығынан (қисықтарынан) немесе температура төмендеуінің қисығынан (қисықтарынан), сынау кезінде жазылған және 2D қосымшасына сәйкес есептелген;

- сынау кезінде, 0 арқылы өтетін температура ұлғаюының қисығы мен температураның максималды ұлғаюы арасындағы қиылысу нүктесінде;

- сынау кезінде, уақыт температураның болжалды максималды ұлғаюының 63 % дейін жоғалған кезде.

6.2.2.204 Температуралар және температураның ұлғаюы

Сынау мақсаты орам температурасының орташа ұлғаюын анықтауға негізделеді және ток трансформаторлары үшін ток трансформаторында пайдаланудың белгіленген шартының нәтижелері болып табылатын шығындар генерацияланған кезде тұрақты күйде болатын трансформатор бәгінің жоғарғы бөлігіндегі май температурасының ұлғаюы.

Орамның орташа температурасы кедергінің өзгеруі тәсілімен анықталу керек, бірақ кедергісі өте төмен орамдар үшін термометрлерді, термобуларды немесе басқа да тиісті температуралық қадағаларды пайдалануға болады.

Термометрлер немесе термобулар орамдардан басқа, бөлшектер температурасының ұлғаюын өлшеу керек. Ток трансформаторының жоғарғы бөлігіндегі майдың температурасын майға тікелей жанасатын металды бастың жоғарғы бөлігіне қосымша жалғанған қадағалармен өлшеу қажет.

Температура ұлғаюының мәндерін 7.2.2.202 сәйкес өлшенген қоршаған орта температурасына қатысты айырмашылық бойынша анықтау қажет.

6.2.2.205 U_m <550 кВ мәні бар ток трансформаторларына арналған сынау тәсілдері

Сынау нақтылы үздіксіз жылу тоғының бастапқы орамға жалғану жолымен орындалу керек.

Дайындаушы мен сатып алушы арасындағы келісім бойынша, егер өзекшелердің қайталама клеммаларындағы кернеу олар нақтылы кернеумен жалғанғандай жоғары болғанда бір немесе бірнеше қайталама орамға қуат беру арқылы жалғауға болса, ал қуатсыз қалған қайталама орам (орамдар) нақтылы жүктемемен (жүктемелермен) байланысқан сынау тоғы.

6.2.2.206 Мәні U_m> 550 кВ болатын майлы ток трансформаторларына арналған сынау тәсілдері

Сынауды ток трансформаторына бір мезгілде мыналарды жалғау арқылы орындаған жөн:

- бастапқы орамға нақтылы үздіксіз жылу тоғын;

Егер қоздыру өзекшелерінің қайталама клеммаларындағы кернеу жоғары болса, сынау тоғы сондай-ақ бір қайталама орамға немесе бірнеше қайталама орамға қуатты беру арқылы жалғануы мүмкін. Бұл арада бастапқы орам ажыратылған, ал қуатсыз қалған қайталама орам (орамдар) нақтылы жүктемемен (жүктемелермен) жалғанған.

- бастапқы орам мен жер арасындағы $\sqrt{3}$ бөлінген жабдықтың ең жоғары кернеуі.

Әрбір қайталама орамның бір клеммасы жерге жалғану керек.

6.2.3 Бастапқы орам клеммаларында шыдайтын импульстік кернеуді сынау

6.2.3.1 Жалпы ережелер

IEC 61869-1, 7.2.3.1 сәйкес келесі қосымшалар келтірілген:

Сынау кернеуін бастапқы орам клеммалары (бірге жалғанған) және жер арасындағы клеммалар арасында жалғау қажет. Рама, корпус (егер болса) және өзекше (егер ол жерге тұйықталу үшін арналса) және қайталама орамның (орамдардың) барлық клеммалар жерге жалғану керек.

Үш фазалы ток трансформаторлары болған жағдайда газды оқшаулағышы бар қосалқы станция үшін әр фазаны жеке-жеке тексеру қажет. Әр фазада сынаған кезде басқа фазалар жерге тұйықталу керек.

Металлды қаптамадағы трансформаторларды қабылдау критерийлерін IEC 62271-203 стандартының 6.2.4 тармақ мәнін қараңыз.

6.2.6 Дәлдікті сынау

6.2.6.201 Трансформация коэффициентінің кемшілігін және өлшегіш ток трансформаторлар фазаларының ығысуын сынау

5.6.201.3, 5.6.201.4 және 5.6.201.5 тармақтарына сәйкестікті дәлелдеу үшін 201-кестеде, 202-кестеде және 203-кестеде көрсетілген токтың әр мәні кезінде жүктеменің белгіленген өрісінің сәйкесінше ең жоғары және ең төмен мәндерінің дәлдігін өлшеу қажет.

Ұлғайтылған анықталған тоғы бар трансформаторларды 120 % нақтылы токтың орнына бастапқы контурдың нақтылы кеңейтілген тоғы кезінде сынау қажет.

6.2.6.202 Өлшегіш ток трансформаторлары аспаптарының (*FS*) қауіпсіздік коэффициентін анықтау

Осы сынау келесі жанама тәсілді пайдалану арқылы орындалуы мүмкін:

Бастапқы орам ажыратылған кезде нақтылы жиілік кезінде іс жүзінде синусоидалдық кернеу арқылы қайталама орамға қуат беріледі. Кернеуді I_e қоздыру тоғы $I_{sr} \times FS \times 10$ % мәніне жеткенге дейін ұлғайту қажет.

Алынған шекті кернеудің орташа квадраттық мәні қайталама орамның шекті ЭҚК-нен E_{FS} кем болу керек (3.4.206 қараңыз).

Қоздыру кернеуін түзетілген дабылдың орташа дабылына мөлшерлес, бірақ орташа квадраттық мәндерде калибрленген аспаппен өлшеу қажет. Қоздыру тоғын орташа квадраттық мәндері бар, амплитудасының

минималды коэффициенті 3 болатын аспапты пайдалана отырып, өлшеу қажет.

Егер өлшеу нәтижесі күмәнді болса, онда тікелей сынау арқылы қосымша өлшеу қажет (2A.5, 2A.6 қараңыз), сондай тікелей сынау нәтижесі эталондық болады.

ЕСКЕРТПЕ Жанама сынаудың үлкен артықшылығы болып жоғары кернеу токтары қажетті болып табылмайтындығы (мысалы, бастапқы контурдың нақтылы тоғы 3 000 А және аспаптың қауіпсіздік коэффициенті 10 болған кездегі 30 000 А) және сондай-ақ 50 А үшін ешқандай жүктемелерді ұсынбау жөн екендігі табылады. Бастапқы орамның кері сымдарының әсері жанама сынау кезінде физикалық тұрғыдан тиімді болып табылмайды. Пайдалану шарттарында, әсер күрделі қатені ұлғайтуы мүмкін, бұл өлшегіш ток трансформаторы беретін аспаптың қауіпсіздігі үшін ұнамды болып табылады.

6.2.6.203 P және PR классты қорғаныс ток трансформаторларының толық кемшілігін сынау

Келесі екі сынау рәсімдеріне сәйкес:

a) 205-кестеде келтірілген толық кемшілік шектеріне сәйкестік тікелей сынау арқылы көрсетілу керек, онда іс жүзінде шекті дәлдіктің бастапқы орамының нақтылы тоғына тең синусоидалдық ток бастапқы орам арқылы өтеді; бұл арада қайталама орам шамасы нақтылы жүктемеге тең, бірақ дайындаушының пайымдауы бойынша 0,8 индукциялы және бірлік арасындағы қуаттылық коэффициенті бар жүктемемен байланысқан (2A.4, 2A.5, 2A.6, 2A.7 қараңыз).

Сынау жеткізілетінге ұқсас трансформаторларды жүргізілуі мүмкін, дәл сол геометриялық үлестіру сақталған кезде төмендетілген пайдалануға болатындығы ескерілмегенде.

Мәселе бастапқы контур мен бір өзекті бастапқы орамы бар ток трансформаторлары туралы болған кезде бастапқы контурдың кері сымы мен ток трансформаторы арасындағы арақашықтықты пайдалану шарттарының туындауын ескерген жөн.

b) 2C қосымшаға сәйкес төмен реактивтік шашырау кедергісі бар ток трансформаторлары үшін тікелей сынауды жанама сынаулармен алмастыруға болады.

Ажыратылған бастапқы орам кезінде қайталама контурдың E_{ALF} шекті ЭҚК тең орташа квадраттық мәні бар іс жүзіндегі синусоидалдық мәні бар нақтылы жиілік кезінде қайталама орамға қуат беріледі.

$I_{sr} \times ALF$ пайызы ретінде айқындалған алынған қоздыру тоғы 205-кестеде келтірілген толық кемшілік шегінен аспау керек.

Қоздыру кернеуін дыбысы түзетілген дабылдың орташа мәніне мөлшерлес, бірақ орташа квадраттық мәндерде калибрленген аспаппен өлшеу қажет. Қоздыру тоғын амплитудасының минималды коэффициенті 3

болатын орташа квадраттық мәндерді өлшейтін аспапты пайдаланып өлшеу қажет.

Толық кемшілікті жанама тәсілмен анықтаған кезде трансформация коэффициентінің байламдардың қатынасы бойынша ықтимал түзетуін ескерудің қажеті жоқ.

6.2.6.204 TPX, TPY және TPZ класты қорғаныс ток трансформаторлары үшін шарттар шектелген кездегі қатені сынау

Типті сынау мақсаты шекті шарттар кезінде талаптарға сәйкестікті дәлелдеуден тұрады, сынау тәсілдерін 2B қосымшасынан қараңыз.

Егер ток трансформаторы – 2C қосымшасына сәйкес шашыраудың реактивтік кедергісі төмен типті трансформатор болса, 2B.2 сәйкес типті жанама сынауға болады, кері жағдайда 2B.3 сәйкес кері сынауды орындау қажет болады.

Сынауды ток трансформаторы түйінінің белсенді бөлігінің соның ішінде оқшауланбаған металды корпустың толық масштабы үлгісінде орындау қажет.

6.2.6.205 PX және PXR класты қорғаныс ток трансформаторларына арналған шашыраудың реактивтік кедергісі төмен типті сынау

Шашыраудың төмен реактивтік кедергісін тексеруді 2C қосымшасына сәйкес орындау қажет.

6.2.6.206 PR, TPY және PXR класты қорғаныс ток трансформаторларының тік бұрыштық коэффициентін анықтау

- PR үшін 5.6.202.3.5 талаптарына;
- TPY үшін 5.6.202.5.2 талаптарына;
- PXR класы үшін 5.6.202.4 талаптарына сәйкестігін дәлелдеу үшін тік бұрыштық коэффициентін (K_R) анықтау қажет. Сынау тәсілдерін 2B.2 қараңыз.

6.2.201 Қысқа мерзімді токпен сынау

Нақтылы қысқа мерзімді жылулық токтың және 5.204 көрсетілген нақтылы динамикалық токтың талаптарын тексеру үшін келесі екі сынау белгіленген.

Жылулық сынауды ажыратылған қайталама орам (орамдар) кезінде және I' тоғы кезінде t' уақыты ішінде мынадай формуладағыдай орындау қажет:

$$I'^2 \times t' \geq I_{th}^2 \times t$$

мұндағы, t – қысқа мерзімді жылулық токтың белгіленген ұзақтығы,

t' шамасының 0,5 с және 5 с арасындағы мәндері болу керек.

Динамикалық сынауды ажыратылған қайталама орамы (орамдары) кезінде және амплитудалық мәні бір шың үшін нақтылы жұмыс тоғынан (I_{dyn}) кем емес бастапқы орамның тоғымен орындалу керек.

Сол сынаудың бірінші негізгі шыңының тоғы нақтылы жұмыс тоғынан (I_{dyn}) кем болмаған жағдайда, динамикалық сынауды жоғарыда сипатталған жылыту сынауымен біріктіруге болады.

Егер қоршаған ортаның температурасына (10°С және 40°С аралығында) дейін салқындатқаннан кейін төмендегі талаптарға сай келсе, трансформатор осы сынаулар өтті деп есептелу керек:

a) айқын зақымдар жоқ;

b) магнитсіздендіргеннен кейінгі кемшіліктер сынаулар алдында тіркелгендерден оның дәлдік класына сәйкес келетін кемшіліктер шектерінің жартысынан астамына артық айрықшаланбаса;

c) 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 және 7.3.4 анықталған, бірақ аталған мәндердің 90 %-на дейін төмендетілген сынау кернеулерімен немесе токтарымен анықталған диэлектрлік сынауларға шыдайды;

d) зерттеу кезінде өткізгіштің беткі қабатының жанындағы оқшаулау күйінің айтарлықтай нашарлануы байқалмаса (мысалы, көмірлену).

Нақтылы қысқа мерзімді жылулық тоғына (I_{th}) сәйкес келетін бастапқы орамдағы токтың тығыздығы келесі мәндерден асып кетпесе, d) зерттеуі талап етілмейді:

- орам IEC 60028 көрсетілген өткізгіштігі мәнінің кем дегенде 97% құрайтын мыстан жасалған кезде 180 А/мм^2;
- орам IEC 60121 көрсетілген өткізгіштігі мәнінің кем дегенде 97% құрайтын алюминийден жасалған кезде 120 А/мм^2.

ЕСКЕРТПЕ Тәжірибе көрсететіндей, нақылы қысқа мерзімді жылулық тоғына сәйкес келетін бастапқы орам тоғының тығыздығы жоғарыда аталған мәндерден асып кетпеген кезде пайдаланғанда жылыту бойынша талаптар жалпы жағдайда А класы оқшауланатындай орындалады.

6.3 Стандартты сынаулар

6.3.1 Бастапқы орам клеммаларында шыдайтын өнеркәсіптік жиіліктің шыдайтын кернеуін сынау

IEC 61689-1 сәйкес келесі қосымшалармен бірге:

Сынау кернеуін ажыратылған негізгі орам мен жер арасынан өткізу қажет. Ажыратылған қайталама орам (орамдар), рама, корпус (егер болса) және өзекше (егер арнайы жер клеммасы болса) жермен байланысу керек.

6.3.5 Дәлдікті сынау

6.3.5.201 Трансформация коэффициентінің кемшілігін және өлшегіш ток трансформаторларының фазаларының ығысуын сынау

Дәлдікті стандартты сынау – 7.2.6.201 тармақтағы типті сынау сияқты, осындай трансформаторлардағы сынаулар сынаулардың осыншама азайтылған саны 5.6.201.3 тармақ мәні сәйкестігін дәлелдеу үшін жеткілікті екендігін көрсеткен жағдайда токтардың және/немесе жүктемелердің саны азайған кезде стандартты сынаулар жүргізуге рұқсат етілгендігін ескермеген жағдайда.

6.3.5.202 P және PR класты қорғаныс ток трансформаторларының трансформация коэффициентінің кемшілігін және фазаларының ығысуын сынау

Трансформация коэффициентінің кемшіліктері мен фазалардың ығысуына қатысты сәйкесінше 5.6.202.2 және 5.6.202.3 тармақтарына сәйкестігін дәлелдеу үшін сынауларды бастапқы орамның нақтылы тоғы мен нақтылы жүктемесі кезінде орындау қажет.

6.3.5.203 P және PR класты қорғаныс ток трансформаторларының толық кемшілігін сынау

Шашыраудың реактивтік кедергісі төмен ток трансформаторлары үшін (2С қосымшаны қараңыз), стандартты сынау – 7.2.6.203 қосымша тараудың b) тармағында сипатталған типтің жанама сынауы тәрізді.

Басқа трансформаторлар үшін 7.2.6.203 қосымша тарауының b) тармағында сипатталған жанама сынауды пайдалануға болады, бірақ нәтижелеріне қоздыру тоғына қатысты түзету коэффициентін қолдану қажет. Бұл коэффициент қарастырылатын типке ұқсас трансформаторға қатысты тура және жанама сынаулардың нәтижелері арасындағы салыстырмадан алынады, бұл арада дәлдік пен жүктеме шарты бойынша шекті еселік бірдей болу керек. Мұндай жағдайларда дайындаушы қолжетімді болу үшін есеп-қисаптарды өзінде ұстағаны жөн.

1-ЕСКЕРТПЕ Түзету коэффициенті тікелей тәсілмен алынған толық кемшілік пен жанама тәсілмен анықталған $I_{sr} \times ALF$ пайыз ретінде айқындалған қоздыру тоғының қатынасына тең.

2-ЕСКЕРТПЕ «Дәл сондай типті трансформатор» деген анықтама қатынастарына қарамастан, ампер-байламдар ұқсас, материалдар және темір өзекшелер мен қайталама орамдар геометриялық үлестірімі бірдей екендігін білдіреді.

6.3.5.204 TPX, TPY және TPZ класты қорғаныс ток трансформаторларының трансформация коэффициентінің кемшілігін және фазаларының ығысуын сынау

5.6.202.5.1 сәйкестігін дәлелдеу үшін трансформация коэффициентінің кемшілігін және фазалардың ығысуын нақтылы ток кезінде өлшеу қажет.

Нәтижелер қайталама орамның 75°C температурасына сәйкес келу керек.

Осыған байланысты, қайталама орам температурасының нақтылы мәнін өлшеу және оның 75°C-ге түзетілген мәні арасындағы айырмашылықты анықтау қажет. Кемшілікті өлшеуді орам кедергісінің жоғарыда аталған айырмашылығына ұлғайтылған R_b жүктемесімен орындау қажет.

TPY және TPZ өзекшелері үшін баламалы түрде 75°C ($\Delta\varphi_{75}$) кезінде фазалардың ығысуын қоршаған ортаның температурасы ($\Delta\varphi_{\text{amb}}$) кезінде өлшеу және келесі тәсілмен есептеу арқылы орындауға болады:

$$\Delta\varphi_{75} = \Delta\varphi_{amb}\,\frac{R_{ct} + R_b}{R_{ctamb} + R_b}$$

мұндағы, R_{ctamb} – қоршаған ортаның температурасы кезінде орамның кедергісі. Трансформация коэффициентінің кемшілігіне кедергіні осылайша түзетудің әсерін асыруға болады.

Типті сынау үшін және стандартты сынаулар үшін тікелей сынау тәсілін қолдануға туралы келеді (бастапқы орамның ток көзін және эталондық ток трансформаторын пайдалану арқылы). Шашыраудың реактивтік кедергісі төмен ток трансформаторлары үшін 2E қосымшасында жанама сынау тәсілі келтірілді. Оны жергілікті өлшеулер үшін және тұрақты бақылау мақсаты үшін қолдануға болады.

6.3.5.205 TPX, TPY және TPZ класты қорғаныс ток трансформаторлары үшін шарттарды шектеген кездегі қатені сынау

Стандартты сынаудың мақсаты шектелген шарттарда талаптарға сәйкестікті дәлелдеуден тұрады.

Егер ток трансформаторы – 2C қосымшасына сәйкес шашыраудың реактивтік кемшілігі төмен трансформатор болса, онда 2B.2 сәйкес жанама сынауды орындау қажет.

Егер шашыраудың реактивтік кедергісі төмен құрылымының талаптарына сәйкестік орнатылмаса, бірақ дәл сол типті ток трансформаторының типін сынау хаттамасы қолжетімді болмаса, онда 2B.2 сәйкес жанама сынауды орындау қажет. Бұл жағдайда егер коэффицент 1,1-ден артық болса, құрылымның ықтимал қолжетімді коэффициентін F_c қарастыру қажет. Егер типті осылай сынау қолжетімді болмаса, онда топтаманың бір аспабын сынау қажет және оның нәтижелерін қалған аспаптарды жанама сынау кезінде эталондық ретінде пайдалану қажет.

1-ЕСКЕРТПЕ Құрылымның коэффицентін F_c анықтаған кезде ЭҚК интеграциялау қажеттілігінен және дәлдіктің шекті шарттары кезінде сызықтық емес параметрлердің салдарынан зертханалар өлшемнің жоғары белгісіздігін анықтау керек. Сонымен қатар, аздаған зертханалар ғана қажетті жұмыс циклдерін шектелген дәлдікпен қамтамасыз ете алады, осыған байланысты тікелей және жанама сынаулардың нәтижелері тиісті түрде келісілмеген, соның нәтижесінде F_c сенімсіз мәндері алынуы мүмкін, сондықтан осы саладағы тәжірибе (сынауларды жүргізу) көп емес.

2-ЕСКЕРТПЕ «Дәл сондай типті трансформатор» деген анықтама қатынастарына қарамастан, ампер-байламдар ұқсас, материалдар және темір өзекшелер мен қайталама орамдар геометриялық үлестірімі бірдей екендігін білдіреді.

6.3.5.206 PX және PXR қорғаныс ток трансформаторлары үшін трансформация коэффициентінің кемшілігін сынау

PX класы мен PXR класы үшін трансформация коэффициентінің кемшілігін 2F қосымшасына сәйкес анықтау қажет.

Сынауды дайындаушы мен сатып алушы арасындағы келісім бойынша жалғанған нөл-Ом жүктемесімен трансформация коэффициентінің кемшілігін өлшеу арқылы алмастыруға болады.

Трансформация коэффициентінің кемшілігі 5.6.202.4 келтірілген шектерден аспау керек.

7.3.201 Қайталама орамның (R_{ct}) кедергісін анықтау

Келесі тармақтарға сәйкестікті дәлелдеу үшін қайталама орамның (R_{ct}) кедергісі келесі класты ток трансформаторлары үшін өлшену керек:

PR класы: 5.6.202.3.7 және 6.13.202.4 тармақтар (егер параметрі белгіленсе);

PX, PXR класы: 5.6.202.4 және 6.13.202.5 тармақтар;

TPX, TPY, TPZ класы: 6.13.202.6 тармағы.

Нәтиже 75°C-ге немесе белгіленуі мүмкін басқа температураға сәйкес келу үшін тиісті түзетуді енгізу қажет.

PR, PX және PXR кластары үшін 75°C-ге түзетілген алынған мәні белгіленген жоғарғы шектен аспау керек (егер ондай болса).

6.3.202 Қайталама ілмек уақытының (T_s) тұрақты мәнін анықтау

Келесі тармақтарға сәйкестікті дәлелдеу үшін қайталама ілмек уақытының (T_s) тұрақты мәні мынадай класстары бар ток трансформаторларында анықталу керек:

- PR класы: 5.6.202.3.6 тармағы (егер параметрі белгіленсе);
- TPY класы: 5.6.202.5.3 тармағы.

Өлшенген мәні кез келген белгіленген мәнінен ±30 %-ға аспау керек.

T_s анықтау үшін келесі формула пайдаланылу керек (2B.2 L_m анықтауды қараңыз):

$$T_S = \frac{L_m}{(R_{ct} + R_b)}$$

Жүктеме ВА-мен белгіленген нақтылы қуаттылық ретінде анықталған жағдайда R_b жүктеменің тең резистивтік бөлігі ретінде алынады.

Баламалы түрде, T_s келесі формуламен анықтауға болады:

$$T_S = \frac{1}{2\pi \int_R \times \tan(\Delta\varphi)}$$

Егер фазалардың ығысуы $\Delta\varphi$ минутпен берілсе, онда келесі болжамды формуланы қолдануға болады:

$$T_S[c] = \frac{3438}{2\pi f_R \times \Delta\varphi[мин]}$$

1 ЕСКЕРТПЕ Фазалардың азғантай ығысуын өлшеудің белгісіздігі салдарынан $\Delta\varphi$ пайдаланатын тәсіл трансформация коэффициенті жоғары және фазаларының ығысуы аз ток трансформаторлары үшін қиындықтар туғызуы мүмкін.

2 ЕСКЕРТПЕ TPZ класты өзекшелер үшін T_s айқын көрсетудің қажеттілігі жоқ. $\Delta\varphi$ = (180 ± 18) мин дәлдігін талап етуді тексеруі стандартты сынау ретінде жүзеге асырылады. Бұл жағдайда T_s жоғарыда аталған формуламен анықталады.

6.3.203 Бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК (E_k) және E_k кезінде қоздыру тоғын сынау

Тиісті тармаққа сәйкестікті дәлелдеу үшін тиісті кластары бар ток трансформаторлары үшін бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК E_k кезінде бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК өлшеу және қоздыру тоғын I_e өлшеу қажет:

PX, PXR класы: 5.6.202.4 тармағы.

Қоздырудың нақтылы жиілігі бар сай келетін синусоидалдық кернеуін трансформатордың толық орамынан қайталама орамының клеммаларына жалғау қажет, бұл арада барлық қалған клеммалар ажыратылған болу керек және қоздыру тоғы өлшену керек.

Қоздыру кернеуін дыбысы түзетілген дабылдың орташа мәніне мөлшерлес, бірақ орташа квадраттық мәндерде калибрленген аспаппен өлшеу қажет. Қоздыру тоғын орташа квадраттық мәндерін өлшейтін, амплитудасының минималды коэффициенті 3 болатын аспапты пайдалана отырып, өлшеу қажет.

Қоздыру сипаттамасын 1.1 × E_k тең кернеуге дейінгі графикте бейнелеу қажет.

E_k тең кернеу кезінде 3.4.215 сәйкес бүгілу нүктесінің шарты орындалу керек.

E_k тең кернеу кезінде (немесе кез келген мәлімделген пайыз кезінде) қоздыру тоғы I_e белгіленген шектен аспау керек.

1 ЕСКЕРТПЕ Таңдалған трансформация коэффициенті бар, тарамдалған қайталама орамдары бар ток трансформаторлары үшін қоздыру сипаттамасын есептеп шығаруға болады, максималды трансформация коэффициентін ескермегенде. Әрбір өлшеу нүктесі үшін келесі формулаларды қолдануға болады:

$$E_2 = E_1 \times \frac{k_{r2}}{k_{r1}}$$

$$I_{e2} = I_{e1} \times \frac{k_{r1}}{k_{r2}}$$

мұндағы, k_{r1}, k_{r2} – трансформацияның екі нақтылы коэффициенті;

E_1, E_2 – қайталама орам ЭҚК-н екі тиісті мәндері;

I_{e1}, I_{e2} – қоздыру тоғының екі тиісті мәні.

2 ЕСКЕРТПЕ Өлшеу нүктелерінің саны дайындаушы мен сатып алушы арасында келісілу керек.

3 ЕСКЕРТПЕ Әдетте бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК E_k қарағанда артығырақ болуға тиіс бүгілу нүктесінің нақтылы ЭҚК анықталады.

6.3.204 Байламаралық күш түсуді сынау

5.3.201 сәйкестігін көрсету үшін сынаулар орындалу керек.

Байламаралық күш түсуді сынауды келесі рәсімдердің біріне сәйкес келетін толық орам кезінде орындау қажет. Егер басқасы келісілмесе, онда рәсімді дайындаушы таңдайды.

А рәсімі: ажыратылған қайталама орамдар кезінде (амплитудалық кернеуді есептейтін жоғары импедансты құрылғымен жалғанған қайталама орамдар) жиілігі 40 Гц пен 60 Гц аралығындағы және нақтылы негізгі токқа тең орташа квадраттық мәні бар (немесе бастапқы токтың нақтылы ұлғайтылған тоғы, егер ондайлар болса) синусоидалдық токты 60 с ішінде негізгі орамға жалғау қажет.

Егер 5.3.201 көрсетілген сынау кернеуі бастапқы орамның нақтылы тоғына (немесе бастапқы орамның нақтылы ұлғайтылған тоғына) жеткенге дейін ертерек алынса, жалғанған токты шектеу қажет.

Егер 5.3.201 көрсетілген сынау кернеуі бастапқы контурдың максималды тоғы кезінде қолжетімді болмаса, онда алынған кернеуді сынау кернеуі ретінде сынау қажет.

В рәсімі: Ажыратылған бастапқы орам кезінде 5.3.201 көрсетілген сынау кернеуін (кейбір сай келетін сынау жиілігі кезінде) 60 с ішінде әрбір қайталама орамның клеммаларына жалғау қажет.

Қайталама орам тоғының орташа квадраттық мәні қайталама орамның нақтылы тоғынан (немесе егер болса, тиісті ұлғайтылған мәнінен) аспау керек.

Сынау жиілігі сынау кернеуіне жететіндей етіп таңдалу керек, бірақ ол 400 Гц-тен аспау керек.

Егер 5.3.201 көрсетілген сынау кернеуі қайталама орамның максималды тоғы және максималды сынау жиілігі кезінде қолжетімді болмаса, онда алынған кернеу сынау кернеуі ретінде есептелу керек.

Сынау жиілігі нақтылы жиіліктен екі есе асып кетсе, сынаудың ұзақтығын t төменде көрсетілгендей азайту қажет:

$$T = 120\ s \times \frac{f_R}{f_T}$$

мұндағы, f_R – нақтылы жиілік;

f_T – сынау жиілігі;

бұл арада t минималды мәні 15 с құрайды.

ЕСКЕРТПЕ Байламаралық күш түсуді сынау ток трансформаторын ажыратылған қайталама ораммен жұмыс істеуге жарамдылығын тексеру мақсатында орындалатын сынау болып табылмайды. Шамадан тыс күш түсу мен қызып кетуді болдырмау үшін ток трансформаторларын ажыратылған қайталама орамымен пайдаланбаған жөн.

6.4 Арнайы сынаулар

6.4.3 Сыйымдықты және диэлектрлік шығындар коэффициентін өлшеу

IEC 61869-1 сәйкес келесі қосымшалармен бірге:

Сынау кернеуін ажыратылған бастапқы орам клеммалары мен жер арасынан өткізу қажет. Жалпы жағдайда, ажыратылған қайталама орам (орамдар), кез келген экран, сондай-ақ оқшауланған металлды қаптама өлшеу құралымен жалғану керек. Егер ток трансформаторында осы өлшем үшін сай келетін арнайы клеммасы болса, онда басқа да төмен вольтты клеммалар ажыратылу керек және металлды қаптамамен бірге жерге немесе өлшеу құралының экранынан жалғану керек.

Сынауды трансформатор қоршаған ортаның температурасында болған кезде және оның мәнін тіркеу мүмкін болған кезде жүргізу керек.

6.4.6 Ішкі доғаның әсері кезінде істен шыққанға дейін сынау

IEC 61869-1 сәйкес мынадай қосымшаларымен бірге ЕСКЕРТПЕ беріледі:

ЕСКЕРТПЕ Жоғарғы өзекшесі бар майлы трансформаторлар үшін істен шығу орын алған аймақ көптеген жағдайларда басты оқшаулағыштың жоғарғы бөлігінде орналасқан. U-тәрізді орамы бар майлы ток трансформаторлары үшін бұл аймақ жалпы жағдайда басты оқшаулағыштың төменгі бөлігінде орналасқан.

6.5 Үлгілерде сынау

6.5.1 Тік бұрыштық коэффициентін анықтау

Әдетте, үлгілерде сынау үшін әрбір өндірістік топтама үшін 7.2.6.206 анықталған типтік сынау қайталанады.

6.5.2 Өлшегіш ток трансформаторларының аспабының (*F*S) қауіпсіздік коэффициентін анықтау

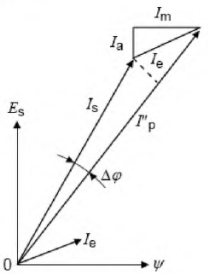
Әдетте, үлгілерде сынау ретінде әрбір өндірістік орта үшін 7.2.6.202 анықталған типтік сынау жанама тәсілді пайдалану арқылы қайталанады.

2А қосымшасы
(міндетті)

Р, PR класты қорғаныс ток трансформаторлары

2А.1 Векторлық диаграмма

Егер құрамында және жүктемесінде сызықтық және магниттік құрамдас бөліктерден тұратын ток трансформаторы қарастырылса, онда бастапқы контурдың синусоидалды тогы туралы қосымша ұйғарым берілген кезде барлық токтар, кернеулер мен магниттік ағыстар синусоидалдық болады және пайдалану сипаттамаларын 2А.1 суретте келтірілген векторлық диаграммамен көрсетуге болады.



ХЭК 1550/12

2А.1 сурет - Векторлық диаграмма

2А.1 суретіндегі I_s шамасы қайталама орамның импедансы арқылы өтетін қайталама орамның тогын және қажетті индукцияланатын E_s ЭҚК және ЖҚК векторына перпендикулярлы ψ қайталама орамының байланысқан ағысының шамасы мен бағытын анықтайтын жүктемені білдіреді. Осы ағыс бастапқы орамның ψ байланысқан ағысына қарама-қарсы магниттелмейтін құрамдас бөлігі I_m бар қоздыру тогын I_e қолдайды, ал шығындардың құрамдас бөлігі (немесе белсенді құрамдас бөлігі) I_a ЭҚК-ге қарама-қарсы. Қайталама орам тогы I_s мен қоздыру тогының I_e векторлық сомасы – байламдардың қатынасы бойынша (бастапқы орам байламдарының санының қайталама орам байламдарының санына қатынасы) трансформацияның нақтылы коэффициентіне көбейтілген бастапқы орамның тогын білдіретін I''_p вектор.

Трансформацияның нақтылы коэффициентіне тең байламдардың саны бойынша трансформацияның нақтылы коэффициентінің инверсиясы бар трансформатор үшін I_s және I''_p векторларының ұзындықтарының айырмашылығы - 3.4.3 анықтамасына сәйкес трансформация коэффициентінің (ε) айырмашылығы, ал $\Delta\varphi$ бұрыштарының айырмашылығы – 3.4.4 сәйкес фазалардың ығысу бұрыштарының айырмашылығы.

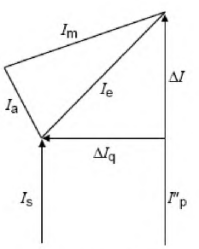
2А.2 Байламдық түзету

Егер трансформацияның нақтылы коэффициентінің инверсиясы трансформацияның нақтылы коэффициентінен өзгеше (әдетте кем) болса, онда ток трансформаторының байламды түзеткіші бар. Пайдалану сипаттамаларын бағалаған кезде байламдарға қатысты трансформацияның нақтылы коэффициентіне көбейтілген бастапқы орам тоғын I''_p және трансформацияның нақтылы коэффициентіне бөлінген бастапқы орам тоғын I'_p ажырата білу керек. Байламдық түзетудің болмауы $I'_p = I''_p$ білдіреді. Егер байламдық түзету болса, онда I''_p-ге қарағанда I'_p өзгеше болады, ал I'_p трансформация коэффициентінің (ε) кемшілігін анықтау үшін пайдаланылады, сол кезде байламдық түзету трансформация коэффициентінің (ε) кемшілігіне әсер ететіндігін байқауға болады (және осы мақсат үшін саналы түрде пайдаланыла алады). Алайда, I'_p және I''_p векторларының бірдей бағыты бар, осыған байланысты байламды түзету фазалардың ығысуына әсер етпейді.

Сондай-ақ байламды түзетудің толық түзетуге әсері оның трансформация коэффициентінің (ε) кемшілігіне әсерінен төмен екендігі де байқалады.

2А.3 Кемшіліктер үшбұрышы

2А.2 суретінде 2А.1 суретінің жоғарғы бөлігі үлкенірек масштабта және фазалар ығысуының аздығы соншалықты, тәжірибелік мақсаттар үшін I_s және I''_p векторларын қарама-қарсы деп есептеуге болады деген қосымша ұйғарыммен көрсетілген. Қайтадан қандай да бір байламдық түзетудің болмауын болжай отырып, I_e-ді I_p-ге жобалау арқылы трансформация коэффициентінің кемшілігін (ε) алу үшін токтың I_e өте жақындасқан синфазалық құрамдас (ΔI) бөлігі I''_p и I_s арасындағы арифметикалық айырмашылықтың орнына пайдалануы мүмкін. Осыған ұқсас токтың I_e шаршылық құрамдас бөлігі (ΔI_q) фазалардың ығысуын айқындау үшін пайдаланылуы мүмкін.



ХЭК 1551/12

2А.2 сурет – Кемшіліктер үшбұрышы

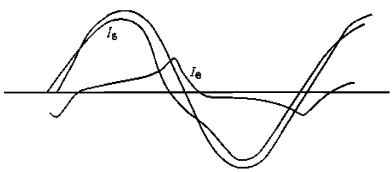
Осындай болжамдар кезінде I''_p бөлінген қоздыру тоғы I_e 3.4.203 сәйкес толық кемшілікке тең.

Байламды түзетуі жоқ ток трансформаторы үшін және векторлық ұғым рұқсат етілген жағдайда трансформация коэффициентінің кемшілігі (ε), фазалардың ығысуы және толық кемшілік тікбұрышты үшбұрыш қалыптастырады.

Осы үшбұрышта толық кемшілікті білдіретін гипотенуза жүктеме мен қайталама орамнан тұратын жүктеменің толық импедансының шамасына тәуелденеді, бұл арада трансформация коэффициентінің кемшілігі (ε) мен фазалардың ығысуы арасындағы уақыт мөлшері жүктеме мен қоздыру тоғының толық импедансы қуаттылығының коэффициентіне тәуелденеді. Осы екі қуаттылық коэффициенттері тең болған кезде, яғни I_s мен I_e фазада орналасқан кезде фазалардың нөлдік ығысуы орын алады.

2А.4 Толық кемшілік

Толық кемшілік түсінігін қолдану векторлық ұғым негізделмеген жағдайда туындайды, себебі сызықтық емес шарттар қоздыру тоғы мен қайталама тоғына жоғары үйлесімдік береді (2А.3 суретті қараңыз).



ХЭК 1552/12

Р2А.3 сурет – Токтың типтік пішіндері

Дәл осы себеп бойынша толық кемшілік 3.4.203 сәйкес, трансформация коэффициентінің кемшілігі (ε) мен фазалар ығысуының векторлық сомасы ретінде айтарлықтай қарапайым емес тәсілмен 2А.2 суретте көрсетілгендей анықталды.

Жалпы жағдайда толық кемшілік те бастапқы орамда жоқ жоғары үйлесімдерінің қайталама орамда қатысуымен туындаған мінсіз ток трансформаторларынан ауытқуды білдіреді (Осы стандартта бастапқы орам тоғы әрдайым синусоидалдық болып есептеледі).

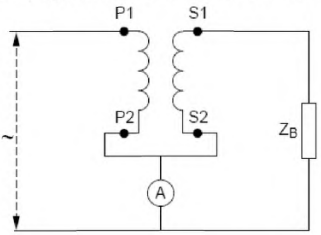
2А.5 Толық кемшілікті тікелей сынау

Стандартты тәсіл бастапқы орам тоғы мен қайталама орам тоғының дабылдарының пішініне жазуға және санмен көрсетуге және 3.4.203 анықтамаға сәйкес сандық интеграциялауды пайдалану арқылы толық кемшілікті есептеп шығаруға негізделеді.

Алайда, осы қосымшада ұқсас аспаптармен толық кемшілікті анықтаудың дәстүрлі тәсілдері сипатталған.

2А.4 суретте байламдардың 1:1 арақатынасы бойынша трансформация коэффициенті бар ток трансформаторы көрсетілген, ол бастапқы орам тоғының көзімен (синусоидалдық), сызықтық сипаттамалары бар қайталама

орамның жүктемесімен Z_B амперметрмен бастапқы орамның да, қайталама орамның да токтары амперметр арқылы, бірақ қарама-қарсы бағыттарда өтетіндей болып жалғанады. Амперметр арқылы өтетін нәтижелендіргіш ток бастапқы орамның синусоидалдық тоғының басым жағдайларында қоздыру тоғына тең болады, ал бастапқы орам тоғының орташа квадраттық мәнімен байланысқан осы токтың орташа квадраттық мәні 3.4.203 сәйкес толық кемшілік болып табылады; арақатынасы пайызбен айқындалады.

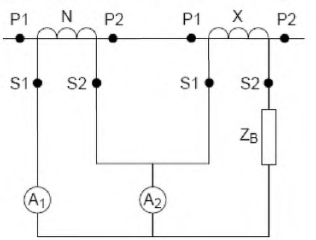


ХЭК 1553/12

2А.4 сурет - 1:1 ток трансформаторына арналған негізгі контур

2А.4 суретте толық кемшілікті тікелей өлшеуге арналған негізгі контур көрсетілген.

2А.5 суретте бірліктен өзгеше нақтылы трансформация коэффициенті бар ток трансформаторлары үшін толық кемшілікті тікелей өлшеуге арналған негізгі контурды білдіреді. 2А.5 суретте бірдей нақтылы трансформация коэффициенттері бар екі ток трансформаторы көрсетілген. N әрпімен белгіленген ток трансформаторында басым шарттарда болмашы толық кемшілігі (минималды жүктеме) бар, бұл кезде X әрпімен белгіленген сыналатын ток трансформаторы өзінің нақтылы жүктемесімен байланысқан.



ХЭК 1554/12

2А.5 сурет – Туынды трансформация коэффициенті бар ток трансформаторына арналған негізгі контур

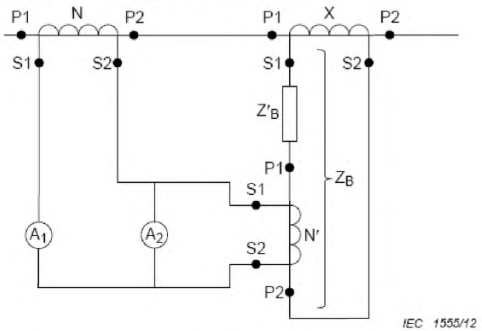
Екі трансформатор да бастапқы орамның синусоидалдық тоғының бірдей көзінен қуаттандырылады, ал амперметр қайталама орамның екі

токтары арасындағы айырмашылықты өлшеу үшін жалғанған. Бұл жағдайларда A_1 амперметріндегі токтың орташа квадраттық мәнімен байланысты A_2 амперметрдегі токтың орташа квадраттық мәні – X трансформаторының толық кемшілігі; арақатынасы пайызбен айқындалады.

Осы тәсіл үшін N трансформаторының толық кемшілігі пайдаланған кезде болмашы болуы қажет. N трансформаторында белгілі толық кемшіліктің болуы жеткіліксіз, себебі анағұрлым күрделі табиғатының кесірінен (толқын пішінің бұрмалануы) N эталондық трансформаторының ешқандай толық кемшілігін сынау нәтижелерін түзету үшін пайдалануға болмайды.

2А.6 Толық кемшілікті тікелей өлшеудің баламалы тәсілі

Толық кемшілікті өлшеу үшін баламалы құралдарды пайдалануға болады және бір тәсілі 2А.6 суретте көрсетілген.



2А.6 сурет – Баламалы сынау контуры

2А.5 суретте көрсетілген тәсіл X трансформаторындағыдай нақтылы трансформация коэффициенті бар және шекті дәлдіктің бастапқы орамының тоғы кезінде болмашы толық кедергісі бар «арнайы» эталондық N трансформаторын талап етеді. Сонымен қатар, 2А.6 суретте көрсетілген тәсіл N және N′ стандартты эталондық трансформаторларды олардың бастапқы орамдарының нақтылы токтары кезінде пайдалануға мүмкіндік береді, осы эталондық трансформаторлардың болмашы толық кемшіліктері болу керек, бірақ (осы жағдайда) талапты жеңілірек орындау керек.

2А.6 суретіндегі X – сыналатын трансформатор. N – X трансформаторының шекті дәлдігінің бастапқы орамының нақтылы тоғы сияқты дәл сондай шаманың бастапқы орамының нақтылы тоғы бар стандартты эталондық трансформатор (сынауды орындау қажет болатын ток). N′ – X трансформаторының шекті дәлдігінің бастапқы орамының нақтылы тоғына сәйкес келетін қайталама орам тоғының шамасы тәртібінің бастапқы орамының нақтылы тоғы бар стандартты эталондық трансформатор. N′ трансформаторы X трансформаторының Z_B жүктемесінің

бір бөлігін құрайды, оны сәйкесінше Z_B жүктемесінің мәнін анықтаған кезде ескерген жөн. A_1 және A_2 – екі амперметр және A_2 амперметрі N және N′ трансформаторларының қайталама орамдары арасындағы айырмашылықты өлшеуін ойластыру қажет.

Егер N – $k_т$ трансформаторының, X – $k_{тх}$ трансформаторының, N′ – $k'_т$ трансформаторының нақтылы трансформация коэффициенті болса, онда $k_т$ трансформация коэффициенті $k'_т$ және $k_{тх}$ туындысына тең болу керек:

$$k_т = k'_т \times k_{тх}$$

Бұл жағдайда A_1 амперметріндегі токпен байланысқан A_2 амперметріндегі токтың орташа квадраттық мәні X трансформаторының толық кемшілігі болып табылады; арақатынас пайызбен айқындалады.

ЕСКЕРТПЕ 2А.5 және 2А.6 суреттерінде көрсетілген тәсілдерді пайдаланған кезде А2 үшін төмен импедансты аспапты пайдалануды ойластыру керек, себебі осы амперметрдің ұштарындағы кернеу (2А.6 суретіндегідей жағдайда N′ трансформаторының коэффициентіне бөлінген) X трансформаторының жүктемесінің бір бөлігін құрайды және осы трансформатордағы жүктемені азайту беталысы бар, Осыған ұқсас, амперметрдің осы кернеуі N трансформаторындағы жүктемені ұлғайтады.

2А.7 Толық кемшілікті пайдалану

Толық кемшіліктің сандық мәні трансформация коэффициентінің кемшілігі (ε) мен фазалардың ығысуының векторлық сомасынан ешқашан кем болмайды (соңғысы сантирадиандармен берілген кезде).

Осының салдарынан, толық кемшілік трансформация коэффициентінің кемшілігінің (ε) немесе фазалардың ығысуының анағұрлым жоғары ықтимал мәніне көрсетеді.

Трансформация коэффициентінің кемшілігі (ε) максималды ток релесінің жұмысы үшін, ал фазалардың ығысуы – фазалық сезімтал реленің (мысалы, бағытталған реле) жұмысы үшін ерекше мүддені білдіреді.

Дифференциалды реле болған жағдайда қолданылатын ток трансформаторларының толық кемшіліктерінің қисындастырылуын ескерген жөн.

Толық кемшілікті шектеудің қосымша артықшылығы – бастапқы орам тоғының үйлесімді құрамдас бөлігінің шектелуі, ол реленің белгілі типтерінің дұрыс жұмысы үшін қажет.

2В қосымшасы
(міндетті)

Айнымалы сипаттамаларға арналған қорғаныс ток трансформаторларының кластары

2В.1 Айнымалы сипаттамалардың өлшемдерін белгілеуге арналған негізгі теориялық есептер

2В.1.1 Қысқа тұйықталу

Келесі есептеулер С-О жұмыс цикліне қатысты. С-О-С-О жұмыс циклдері 2В.1.3 қарастырылады.

Қысқа тұйықталу тогының лездік мәніне арналған жалпы айқындаманы келесі тәсілмен анықтауға болады:

$$i_k(t) = \sqrt{2}\, I_{psc} \left[e^{-t/Tp} \cos(\gamma - \varphi) - \cos(\omega t + \gamma - \varphi)\right] \qquad (2В.)$$

мұндағы

I_{psc} - $I_{psc} = K_{ssc} \times I_{pr}$ қысқа тұйықталуының симметриялық тогының орташа квадраттық мәні;

$T_p = \frac{L_p}{R_p}$ - бастапқы орам уақытының тұрақты мәні;

γ - ауыстырып-қосу немесе қысқа тұйықталу бұрышы;

$\varphi = arctan \frac{X_p}{R_p} = arctan(\omega T_p)$ - жүйенің қысқа тұйықталу импедансының фазалық бұрышы;

ω - $2\pi f_R$ бұрыштық жиілігі;

R_p және X_p қысқа тұйықталу кезінде баламалы дереккөз мына формулаға тең болған кезде:

$$u(t) = -U_{max} \cos(\omega t + \gamma) \qquad (2В.2)$$

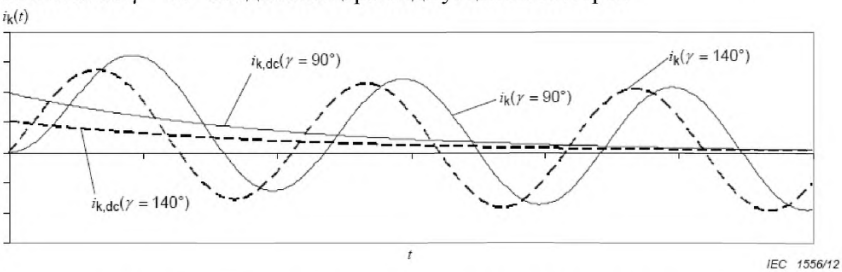
Ықшамдау үшін жүйенің қысқа тұйықталу бұрышы мен импеданс бұрышын бір бұрышқа дейін сомалауға болады, бұл математикалық тұрғыдан түсіну үшін есептеуді жеңілдетеді

$$\theta = \gamma - \omega \qquad (2В.3)$$

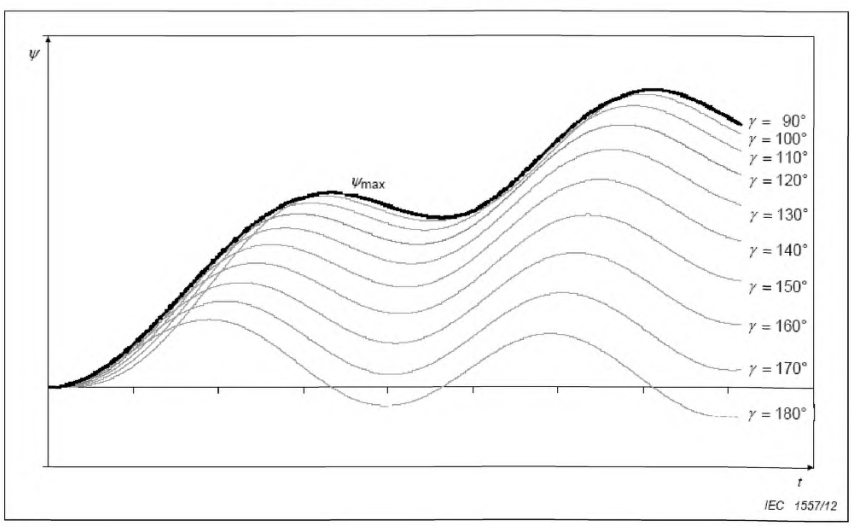
$$i_k(t) = \sqrt{2}\, I_{psc} \left[e^{-t/Tp} \cos(\theta) - \cos(\omega t + \theta)\right] \qquad (2В.4)$$

Екі бұрыш θ және γ қысқа тұйықталу бұрышының өзгеру ықтималдығын сипаттайды, сәйкесінше, оларды баламалы түрде, жағдайлар бойынша, бірақ оларың анықтамаларына сәйкес қолдануға болады.

2В.1 суретте бастапқы орамның қысқа тұйықталудың екі типтік тоғы көрсетілген. Бастапқы ток қысқа тұйықталудың γ = 90° бұрышы кезінде туындайды, бұл ұзақ уақыт t'_{al} ішінде қайталама орамның ең жоғары амплитудалық тоғына және байланысқан ағыстың ең жоғары шыңына келтіреді (2В.2 сурет), бұл арада екінші ток γ = 140° бұрышында пайда болады, бұл төмен асимметрияға әкеп соғады. Соңғы көрсетілген жағдайлар қысқа кезеңдер t'_{al} үшін маңызды, себебі циклдің бірінші жартысы кезінде ток пен ағыс γ = 90° жағдайына қарағанда уақытша жоғары.



2В.1 сурет – Қысқа тұйықталудың екі әр түрлі бұрыштарына арналған қысқа тұйықталу тоғы



ХЭК 1557/12

2В.2 сурет - γ қысқа тұйықталуының барлық сай келетін бұрыштарын ескеретін ағыстың ең жоғары мәндерінің ψ_{max} (t) қисығы ретінде

Қысқа тұйықталу бұрышының ықтимал азайтылған өрісін кейбір ерекше жағдайларда K_{td} азайтылған коэффициентіне келтіре алатын азайтылған асимметрияны анықтау үшін пайдалануға болады.

ЕСКЕРТПЕ IEC 61869-100 сәйкес ток бұрышын шектеу мүмкіндігі осы стандартпен қамтылмаған.

2В.1.2 Айнымалы өлшемдік коэффициент K_{td}

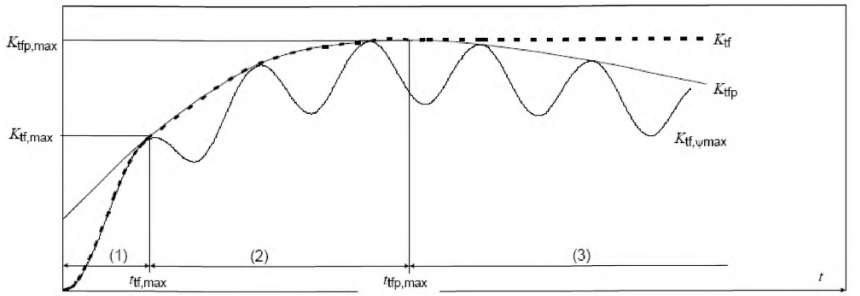
Айнымалы өлшемдік коэффициент K_{td} – өзекшенің өлшемдерін белгілеуге арналған кесімді параметр; ол техникалық деректер келтірілген тақтайшада көрсетілген, оны K_{tf} айнымалы коэффициентінің әр түрлі атқарымдарынан, төменде көрсетілген формулалар бойынша 2В.3 суретіне сәйкес есептеп шығаруға болады.

Кейбір жағдайларда қорғаныс жүйесі t'_{al}, мәнін талап етуі мүмкін, бұл тұрақты мәні болып табылмайды және қысқа тұйықталу тоғының әр түрлі параметрлеріне тәуелденеді, осыған байланысты айнымалы өлшемдік коэффициент K_{td} реле төзімдігінің типін сынаудан алынуы және қорғаныс жүйесін дайындаушымен белгіленуі мүмкін.

Осы тарауда белгіленген айнымалы коэффициент K_{tf} ток трансформаторының тұрақты индукциялығы, омдық жүктемесі бар және тік бұрыштық есепке алынбаған баламалы контурдың дифференциалдық теңдеуінен алынады. Осы қосымшада дифференциалдық теңдеулердің шешімдері не болмаса қисықтардың диаграммалары ретінде, не болмаса ықшамдатылған формулалар ретінде берілген.

ЕСКЕРТПЕ Дифференциалдық теңдеулер мен нақты шешімдер IEC 61869-100 TR келтірілген.

Қайталама орамның коэффициенті K_{tf} мен байланысқан ағыс уақытқа тәуелденеді, яғни қорғаныс жүйесі талап ететін дәлдік шегіне дейінгі уақытқа t'_{al} тәуелденеді. Сызықтық индукциямен есептеген кезде шешім ток трансформаторының алғашқы қанығуына дейін жарамды.



ХЭК 1558/12

2В.3 сурет – Айнымалы коэффициентті есептеуге арналған тиісті уақыт өрістері

2В.3 суретіндегі $K_{tf,\psi max}$ қисығы мынадай түрде құрылған:

ψ_{max} қисығының әрбір сәті үшін (2В.2) K_{tf} мәні оның 3.4.233 анықтамасына сәйкес есептеледі. K_{tfp} – тиісті бүгілетін қисық. K_{tf} үш атқарымымен анықталған үш өрісті ажырауын білу керек.

1: $0 \le t_{al} < t_{tf,max}$ өрісі:

Бірінші уақыт өрісінде K_{tf} қисығы $K_{tf,\psi max}$ қисығынан кейін келеді.

Уақыт өрісі уақыт нөл болған сәтте басталады және $K_{tf,\psi max}$ қисығы белгілі уақыт сәтінде K_{tfp} шыңдардың бүгілетін қисығына жанасады

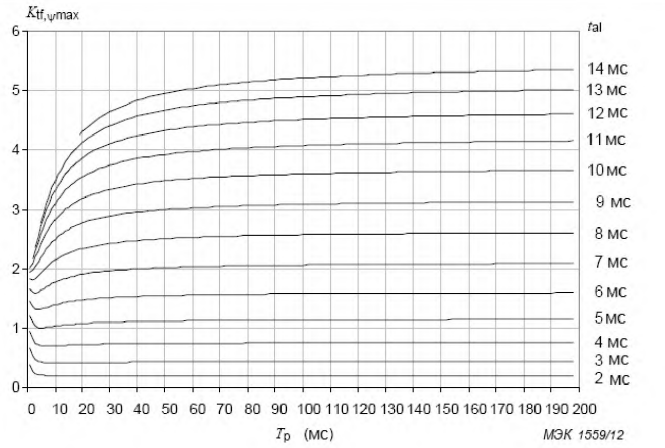
$$t_{tf,max} = \frac{\pi + \varphi}{\omega} \qquad (2В.5)$$

γ = 90° болған кезде формула (2В.5) анағұрлым ортақ формуладан оңайлатады, бұл барлық дерлік қолдану үшін сай келеді.

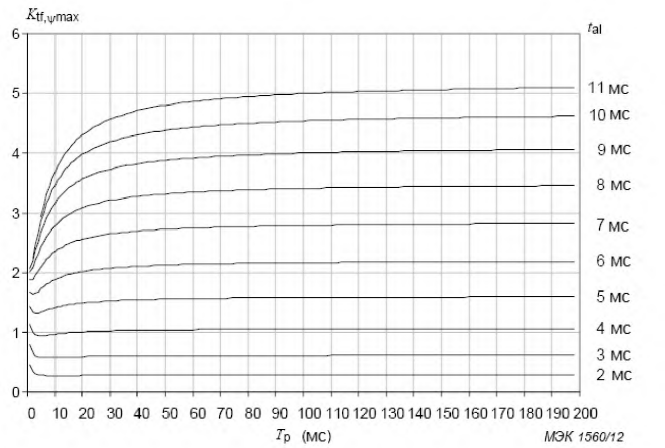
Жоғарыда көрсетілген уақыт өрісінің шегінде $K_{tf,\psi max}$ анағұрлым нашар жағдайда ауытқырып-қосу бұрышын θ (t'_{al}) ескереді, бұл дәлдікті шектеу уақытының t'_{al} сәтінде ең күшті ағысқа әкеп соғады. 2В.4 - 2В.6 суреттерінде t'_{al} әр түрлі мәндері үшін T_p бастапқы орамының тұрақты уақытынан K_{tf} тәуелділік қисықтары көрсетілген. Есептеу кезінде T_s қайталама орамы уақытының үлкен тұрақты мәні таңдалды. Анағұрлым төмен мәндер T_s біршама төмен мәндерге K_{tf} әкеп соғады.

ЕСКЕРТПЕ IEC 61869-100 TR көбірек қисықтар берілген.

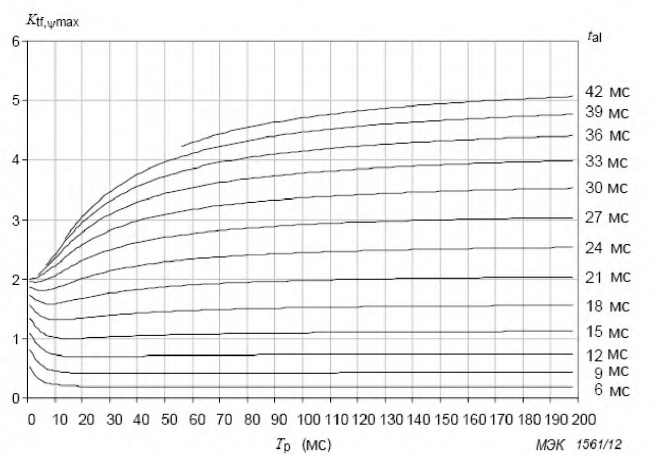
2В.4 сурет – T_s = 1,8 с үшін 50 Гц болған кездегі 1 уақыт өрісінде K_{tf} анықтау



2В.5 сурет – T_s = 1,5 с үшін 60 Гц болған кездегі 1 уақыт өрісінде K_{tf} анықтау



2В.6 сурет – T_s = 5,5 с үшін 16,7 Гц болған кездегі 1 уақыт өрісінде K_{tf} анықтау



2-өріс: $t_{tf,max} \leq t_{al} < t_{tfp,max}$

Екінші уақыт өрісінде $\gamma = 90°$ үшін K_{tf} қисығы K_{tfp} бүгілу қисығынан кейін келеді, бұл ең жоғары шың тоғына әкеп соғады, сондықтан $\theta = 90° - \varphi$

$$K_{tfp} = \frac{\omega T_S T_p}{T_p - T_S}\cos(\theta)\left(e^{-t_{al}/Tp} - e^{-t_{al}/T_S}\right) + \sin(\theta)e^{-t_{al}/T_S} + 1 \quad (2B.6)$$

Уақыт өрісі төмендегідей сәтте K_{tfp} қисығының максимумында аяқталады

$$t_{tfp,max} = \frac{T_p T_S}{T_p - T_S} In \frac{\frac{T_p}{T_S}\cos(\theta) + \frac{T_S - T_p}{\omega T_S^2}\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \quad (2B.7)$$

3-өріс: $t_{tfp,max} \le t_{al}$

K_{tf} үшінші уақыт өрісінде $K_{tfp,max}$ формулада (2B.8) берілген тұрақты мағынаны қабылдайды, ол K_{tfp} қисығының максималды мәні ретінде анықталады

$$K_{tfp,max} = \left(\omega T_p \cos(\theta) + \frac{T_p + T_S}{T_S}\sin(\theta)\right) \times \left[\frac{\frac{T_p}{T_S}\cos(\theta) + \frac{T_S - T_p}{\omega T_S^2}\sin(\theta)}{\cos(\theta)}\right]^{\frac{T_p}{T_S - T_p}} + 1 \quad (2B.8)$$

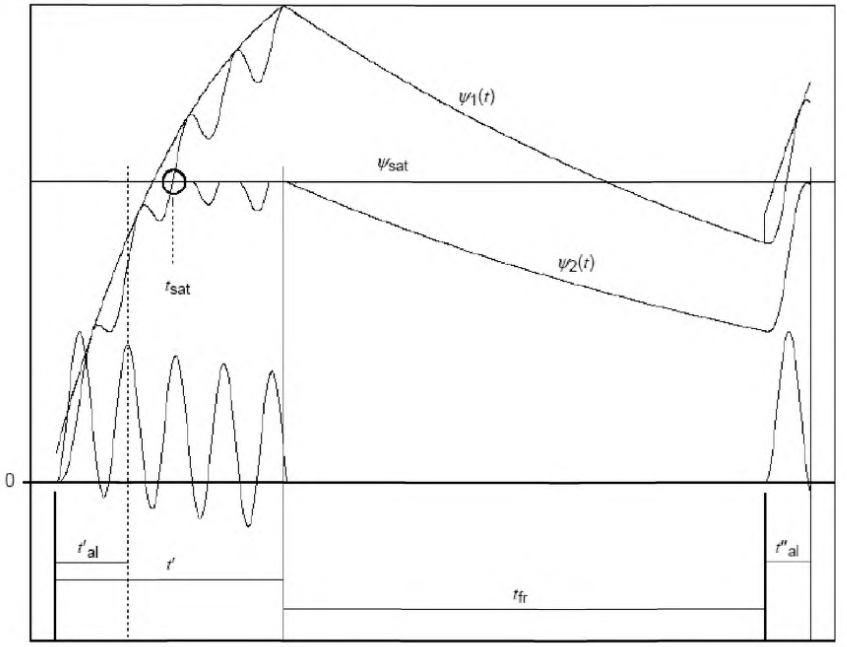
2B.1.3 C-O-C-O жұмыс циклдері

Автожабылатын жұмыс циклдеріне арналған айнымалы параметрлерді белгілеуді жоғарыда келтірілген формулаға сәйкес жекелеп орындау қажет.

Қайталама орамы уақытының көбірек тұрақты мәні бар өзекшелер үшін (TPX өзекшелері) t' кейін ешқандай айтарлықтай құлдырау байқалмайды

$$K_{td(C\text{-}O\text{-}C\text{-}O)} = K_{td}(t') + K_{td}(t''_{al}) \quad (2B.9)$$

Қайталама орамы уақытының азғантай тұрақты мәні бар өзекшелер үшін (TPY және TPZ өзекшелері), қайталама орамның байланысқан ағысы t_{fr} қатені қайталау уақыты ішінде T_S қайталама орамы уақытының тұрақты мәнімен экспоненциалды түрде азаяды. Бұл жағдайда бірінші циклдегі мүшелік кезінде t уақыт аргументі үшін ешқандай талдау формуласы жоқ және бірнеше жағдайлардың шектелуі талап етілуі мүмкін.



ХЭК 1562/12

2В.7 сурет – Өзекшені қанықтыруды есепке алу арқылы магниттік өрісті шектеу

2В.7 суретте типтік жағдай көрсетілді, онда қанығу t'_{al} кейін орын алады. Ағын ($\psi_2(t)$) t мәніне жеткенге дейін қанығу ағысымен (ψ_{sat}) шектеледі. Белгілі уақыт t_{fr} ішінде ол t'_{al} дейін қанығудан төмен болып қалу үшін жеткілікті болып табылатын мәніне жетеді. Қанығуды елемеу арқылы (кесіп өткен қисық $\psi_1(t)$) азайтылған ағыс екінші циклдің басында анағұрлым жоғары деңгейден басталады. Осы мысал бірінші және екінші циклде өзекше параметрлерінің негізгі белгіленуі мен K_{td} анықтамасы арасындағы өзара байланысты көрсетеді.

1 ЕСКЕРТПЕ С-О-С-О циклінің формуласы (IEC 60044-6 қараңыз) бірінші цикл шеңберіндегі қанығуды елемейді және көптеген жағдайда шамадан асатын жоғары мәндерге K_{td} әкеп соғады (2В.7 сурет).

Сондықтан 2В.7 суретте көрсетілген графикке ұқсайтын график сызуды ұсынамыз. Формула (2В.1) K_{td} үшін жоғары шекті береді:

$$K_{td,(C\text{-}O\text{-}C\text{-}O)max} = max\{ K_{td}(t'_{al}),\ K_{td}(t')e^{-(t_{fr}+t''_{al})/T_S} + K_{td}(t''_{al})\} \qquad (2В.1)$$

2 ЕСКЕРТПЕ IEC 61869-100 TR есептеу тәсілдері берілген, оларды K_{td} мәнін анықтау үшін пайдалануға болады

2В.2 Өзекшенің магниттелу сипаттамаларын өлшеу

2В.2.1 Жалпы ережелер

Өзекшенің магниттелу сипаттамаларын өлшеу мынаны білдіреді:

- L_m магниттелу индукциялығын өлшеу;
- K_R тік бұрыштық коэффициентін өлшеу;
- шекті жағдайлар кезінде жанама тәсілді пайдалану арқылы кемшілікті анықтау.

Бұл келесі арақатынасқа негізделген. Егер туынды кернеу $u(t)$ қайталама орамның клеммаларына жалғанса (2В.8 суретті қараңыз), онда белгілі уақыт t кезінде қайталама орам арқылы байланысқан ағыс $\psi(t)$ осы кернеумен келесі тәсіл арқылы салыстырылады:

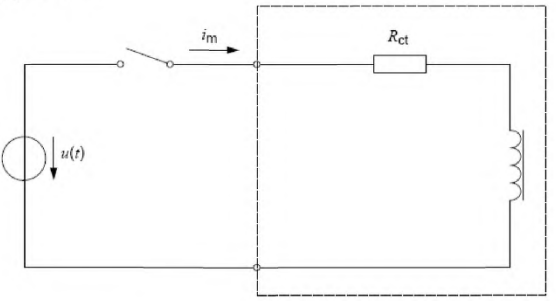
$$\psi(t) = \int_{o}^{t} (u(t) - R_{ct} \times i_m(t))dt \qquad (2В.11)$$

мұндағы, i_m – магниттелу тоғының лездік мәні.

ЕСКЕРТПЕ «Қоздыру тоғы» термині айнымалы токтың шамаларын (3.3.207 қараңыз), пайдаланатын орташа квадраттық мәні резервтелгендіктен, i_m және «магниттелу тоғы» термині тұрақты ток тәсілінде және конденсаторлық разряд тәсілінде лездік мәндер үшін пайдаланылады.

Осы арақатынас тарауларда сипатталған тәсілдерде пайдаланылады.

Қайталама орам кедергісінің ұшында кернеудің төмендеу әсерін бағалау қажет. Егер осындай төмендеу 2 %-дан асып кетсе, онда оны өлшенген кернеуден шығару қажет.



ХЭК 1563/12

2В.8 сурет - Негізгі контур

Тік бұрыштықтың жоғары коэффициентінің салдарынан ТРХ ток трансформаторлары үшін өзекшені әрбір сынаудың алдында магнитсіздендіру қажет. ТРУ ток трансформаторлары үшін қалған ток жиі төмен болады. Магнитсіздендіру қосымша қаражатты талап етеді, оның көмегімен гистерезистің баяу төмендейтін ілмектерінің қаныгудан

басталатын әсеріне ұшырауға болады. Тұрақты токты сынау тәсілін пайдалану қажет болған кезде әдетте тұрақты ток көзі қамтамасыз етілу керек.

Осы үш тәсілдің кез келгенін қолдануға болады (айнымалы ток тәсілі, тұрақты ток тәсілі, конденсаторлық разряд тәсілі).

2В.2.2 Айнымалы ток тәсілі

2В.2.2.1 Магниттелу индукциялығын L_m анықтау

Іс жүзінде айнымалы токтың синусоидалдық кернеуі қайталама орамның клеммаларына жалғанады және қоздыру тоғының тиісті мәні өлшенеді. Орамның және қайталама орам клеммалары кернеуінің рұқсат етілмеген жалғануына жол бермеу үшін сынауды f' жиілігі төмен болған кезде орындауға болады. Шамадан тыс ток ұйытқыма шығындарының әсерлері орамның қабаттары арасындағы осындай өзекшелерде және сыйымдықты токтарда анағұрлым төмен жиіліктер кезінде жалған көрсеткіштерді тудыру әсерлері төмен. Нәтижесін қанығудың қисығы ретінде бейнелеу қажет.

Қоздыру кернеуін дыбысы түзетілген дабылдың орташа мәнін мөлшерлес, бірақ орташа квадраттық мәніне калибрленген аспаппен өлшеу қажет. Қоздыру тоғын амплитуданы өлшейтін аспапты пайдалана отырып, өлшеу қажет.

Қайталама байланысқан ағыстың ψ амплитудалық мәнін f' жиілік кезінде U жалғанған кернеудің орташа квадраттық мәніне келесі тәсілмен алуға болады:

$$\hat{\psi} = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi f'}$$

Сәйкесінше, қанығу кернеуі U_{sat} қанығу ағысымен ψ мынадай тәсілмен арақатынасқа түседі:

$$\hat{\psi}_{sat} = \frac{\sqrt{2}U_{sat}}{2\pi f'}$$

201 ЕСКЕРТПЕ U_{sat} мәнін қисық іс жүзінде көлденең болған жерде кернеудің мәні ретінде бағалауға болады. U_{sat}-дан L_m дейінгі анықтамаларда дерексіздіктің әсері іс жүзінде болмашы.

Осы есептеуді қарастыра отырып, қисық қоздыру тоғының амплитудалық мәні мен қайталама орамның ψ байланысқан ағысының амплитудалық мәні арасында талап етілетін қисықты береді. Магниттелу индукциялығы L_m ағыстың 20 % және 70 % арасында осы қисықтың орташа бүгілуін білдіреді, бұл мынадай тәсілмен есептеледі:

$$L_m = \frac{0{,}5 \times U_{sat} \times \sqrt{2}}{(\hat{\imath}_{70} - \hat{\imath}_{20}) \times 2\pi f}$$

мұндағы, $\hat{\imath}_{20}$ - U_{sat} 20 % кезіндегі қоздыру тоғының амплитудалық мәні;
$\hat{\imath}_{70}$ - U_{sat} 70 % кезіндегі қоздыру тоғының амплитудалық мәні.

202 ЕСКЕРТПЕ Осы формула IEC 60044-6 (B4) берілген формуладан қанығуды жақсырақ анықтау салдарынан айрықшаланады.

2B.2.2.2 Шекті жағдайлардағы кемшілікті анықтау

2B.2.2.1 сәйкес жабдықты сынау жиынтығын пайдалану қажет.

Кернеу мынадай тәсілмен белгіленген E_{al} тең кернеуге дейін ұлғайтылу керек:

$$E_{al} = K_{SSC} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

Тиісті қоздыру тоғы $\hat{I}_{al}$ мынадай параметрлерден асып кетпеу керек:

TPX және TPY кластары үшін: $\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{SSC} \times \hat{\varepsilon}$

TPZ класы үшін: $\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{SSC} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi f_R \div T_S} \right) + \hat{\varepsilon}_{ac}$

ЕСКЕРТПЕ TPZ ток трансформаторлары үшін дәлдік айнымалы құрамдас бөлік үшін белгіленген, ал рұқсат етілетін I_{al} анықтау кезінде жанама сынаулар уақытының мәндерін қоздыру тоғының тұрақты құрамдас бөлігі ретінде ескеру қажет. Жоғарыда келтірілген формулада тұрақты құрамдас бөлік мүше ретінде ұсынылған ($K_{td} - 1$).

2B.2.2.3 Тік бұрыштың коэффициентін K_R анықтау

2B.2.2.1 және 2B.2.2.2 қарағанда, айнымалы ток дабылдарының пішіндері байқалу керек. Айнымалы ток тәсілімен тік бұрыштық коэффициентін K_R анықтаған кезде 2B.2.1 берілген формулаға (1) сәйкес қоздыру кернеуін интеграциялау қажет. Тиісті тоғы i_e бар интеграцияланған кернеу қанығу ағысын ψ_{sat} көрсететін гистерезис ілмегін көрсетеді. Нөл арқылы өту нүктесіндегі қайталама орамның байланысқан ағысының мәні қалдық ағысты ψ_r білдіреді деп есептеледі (2B.9 суретті қараңыз).

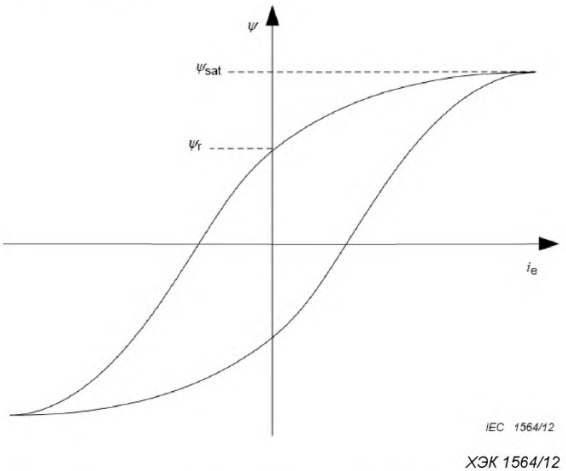
Бұл жағдайда тік бұрыштық коэффициент K_R келесі тәсілмен есептеледі:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}} \qquad (2B.12)$$

Анағұрлым төмен жиіліктер кезінде өзекше орам қабаттары арасындағы токтары мен сыйымдықты токтардағы шамадан тыс токты ұйытқыма

шығындардың әсерлері анағұрлым төмен жиіліктер кезінде жалған төмен көрсеткіштерді тудыру ықтималдығы бар.

ЕСКЕРТПЕ ψ_{sat} мәнін қисық іс жүзінде көлденең болған жерде қайталама орам ағысының мәнін бағалау қажет.



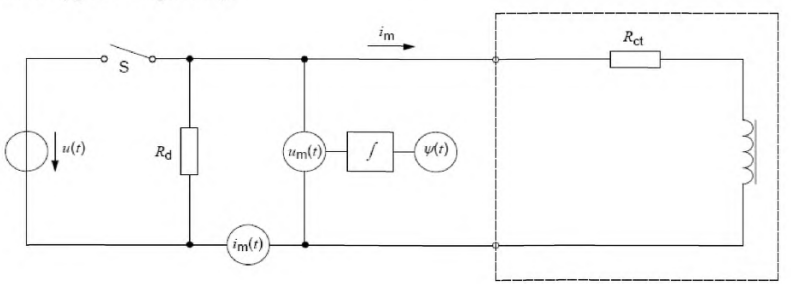
ХЭК 1564/12

2В.9 сурет – Гистерезис ілмегі бойынша тік бұрыштық коэффициентін анықтау

2В.2.3 Тұрақты ток тәсілі

2В.2.3.1 Жалпы ережелер

Тұрақты токпен қанығу тәсілі қанығу ағысына жететіндей ұзындығы бар тұрақты ток кернеуін $u(t)$ пайдаланады. Ағысты өлшеу 2В.2.1 берілген формулаға (2В.11) сәйкес өлшенеді, мұндағы $u(t)$ – клеммалардағы кернеу (2В.10 суретті қараңыз).



ХЭК 1565/12

2В.10 сурет – Тұрақты ток тәсіліне арналған контур

Ауыстырылатын кернеудің көзі ток трансформаторын қанығу күйіне енгізуге сай болу керек.

R_d разрядтық резисторы жалғану керек, кері жағдайда S сөндірушісі ажыратылған кезде, ал индукциялы ток үзілген кезде өзекшенің магниттелу индукциялығы өте жоғары кернеуді туғызуы мүмкін.

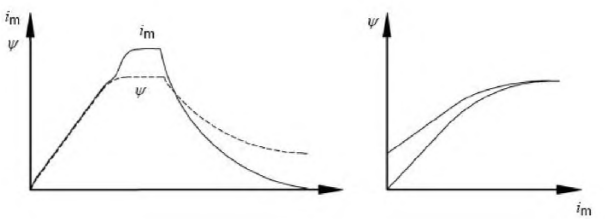
2В.2.3.2 Тік бұрыштық коэффициентті K_R анықтау

Сынау контурын 2В.2.3.1 сәйкес пайдалану қажет.

Сөндіргіш S тұйықталғаннан кейінгі біршама уақыт өткен соң магниттелу тогы максималды мәніне ($\hat{i}_m$) жетеді деп есептеледі, ондай ток кезінде қайталама орамның байланысқан ағысы тұрақты болып қалады. Тұрақты шамаға жеткенге дейін i_m қисығы қанығуды көрсететін градиенттің айтарлықтай ұлғаюын көрсету керек. Тұрақты ток көзі трансформатор өзекшесін өзінің шектеулерінің кесірінен сынау нәтижелеріне әсер етпей, қанығу күйіне енгізуге қабілетті болу керек. Егер қайталама орамның байланысқан ағысы магниттелу тогына қарағанда тұрақты мәніне ертерек жетсе, осы шарт орындалады.

Магниттелу тогы мен ағыстың ұлғаятын мәнін мәні тұрақты болған уақытқа дейін тіркеу қажет, содан кейін сөндіргіш S ажыратылады.

Ағыстың ψ және магниттелу тогының i_m типтік сынау жазбалары 2В.11 суретте көрсетілген.



ХЭК 1566/12

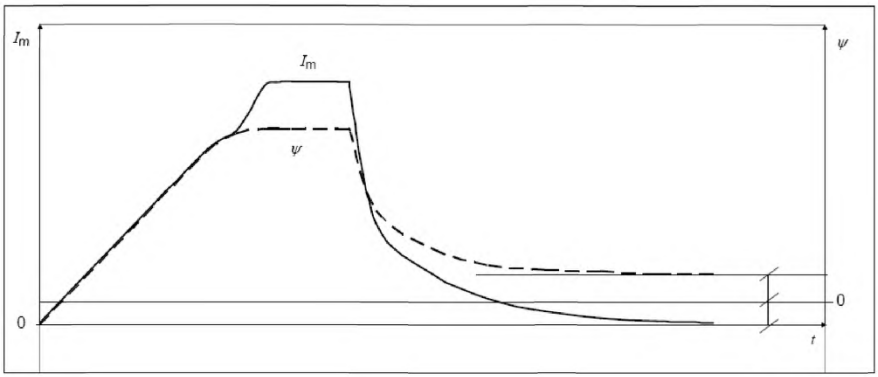
2В.11 сурет – Амплитуданың уақыт пен ток ағысына тәуелділік диаграммасы

S сөндіргіші ажыратылған кезде азайтылатын ток қайталама орам мен R_d разрядтау резисторы арқылы өтеді. Тиісті ағыстың мәні азаяды, бірақ нөлге дейін түсе алмайды.

Қанығу ағысына ψ_{sat} жету үшін сай келетін магниттеу тогы i_m таңдалғаннан кейін нөлдік ток кезінде қалдық токтың мәні қалған магниттік өріс ψ_r болып есептеледі.

Өзекшесі ертеректе магнитсіздендірілген ток трансформаторы үшін қанығу ағысы мен қалдық ағысты қосымша сынау арқылы анықтауға болады, онда қайталама клеммалардың орны ауыстырылған. Осындай тәсіл арқылы алынған қайталама орамның байланысқан ағысына қалған токтың айқын

өлшенген мәнінің жартысы енеді, осыған байланысты нөлдік сызықты тиісті түрде жылжыту керек, бұл қанығу ағысы мен қалдық ағыстың түзетілген мәнін береді (2В.12 суретті қараңыз).



ХЭК 1567/12

2В.12 сурет – Ағыстың жылжытылған нөлдік сызығымен жазу

Тік бұрыштық коэффициент K_R келесі тәсілмен анықталады:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}}$$

2В.2.3.3 Магниттелу индукциялығын L_m анықтау

2В.2.3.2 сынау рәсімін пайдалану қажет.

Магниттелу индукциялығын (L_m) келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$L_m = \frac{0{,}5 \times \psi_{sat}}{i_{70} - i_{20}}$$

мұндағы, $\hat{i}_{20}$ - 20 % ψ_{sat} кезіндегі магниттелу тоғының амплитудалық мәні;

$\hat{i}_{70}$ - 70 % ψ_{sat} кезіндегі магниттелудің амплитудалық мәні.

ЕСКЕРТПЕ Қанығудың жақсартылған анықтамасының нәтижесінде осы формула алдыңғы IEC 60044-6 (В4) стандартында берілген формулаға қарағанда өзгеше.

2В.2.3.4 Шекті жағдайларда кемшілікті анықтау

Сынау контурын 2В.2.3.1 сәйкес пайдалану қажет.

Қайталама орамның ψ_{al} байланысқан ағысы кезінде i_m магниттелу тоғының шекті шарттарын анықтау үшін токты ұлғайту арқылы өлшеу қажет.

ψ_{al} шамасы келесі формулада келтірілген:

$$\Psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi \int_R} =$$

Магниттеу тоғы i_m келесі шектерден аспау керек:
ТРХ және ТРҮ кластары үшін: $i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssr} \times \hat{\varepsilon}$

$$i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssr} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi \int_R \times T_S} + \hat{\varepsilon}_{ac} \right)$$

TPZ класы үшін:

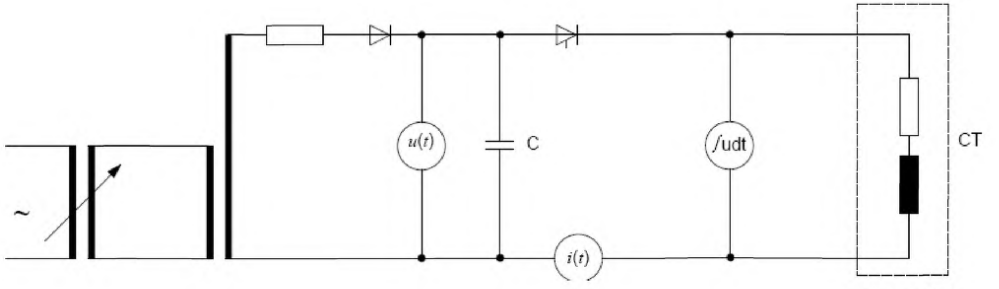
ЕСКЕРТПЕ TPZ ток трансформаторлары үшін дәлдік айнымалы мәні үшін ғана анықталған, ал бұл кезде жанама сынаулар кезінде рұқсат етілген мәнін i_m анықтау барысында қоздыру тоғының тұрақты құрамдас бөлігін де ЕСКЕРТПЕ қажет. Жоғарыда келтірілген формулада тұрақты құрамдас бөлік мүшемен келтірілген ($K_{td} - 1$).

2В.2.4 Конденсаторлық разрядтау тәсілі

Конденсаторлық разряд тәсілінде конденсатордың заряды ток трансформаторы өзекшесінің қайталама орамнан қоздырылуы үшін пайдаланылады. Ток 2В.2.1 келтірілген формулаға (1) сәйкес өлшенеді, мұндағы $u(t)$ – клеммалардағы кернеу (2В.13 суретті қараңыз).

Конденсатор тиісті E_{al} ағысына ψ_{al} тең немесе осы ағыстың мәнінен асатын қайталама орамның байланысқан ағысының генерациялау үшін жеткілікті жоғары кернеумен қуаттандырылады, 2В.13 суретті және 2В.14 суретті қараңыз.

$$\Psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi \int_R}$$



ХЭК 1568/12

2В.13 сурет – Конденсаторлық разряд тәсіліне арналған контур

ψ_{al} жеткен сәтте қоздырудың i_m қайталама тоғының амплитудалық мәнін өлшеу қажет; ол қайталама орамның $\hat{I}_{al}$ қоздыру тоғының амплитудалық мәнін асып кетпеу керек.

Қайталама орам T_s уақытының тұрақты мәні 90 % E_{al} сәйкес келетін кернеу-уақыт аралығымен кернеуді жалғау арқылы анықталу керек. Тиісті қоздыру тоғы i'_m мен қайталама орам уақытының тұрақты мәні мынадай тәсілмен өлшенеді:

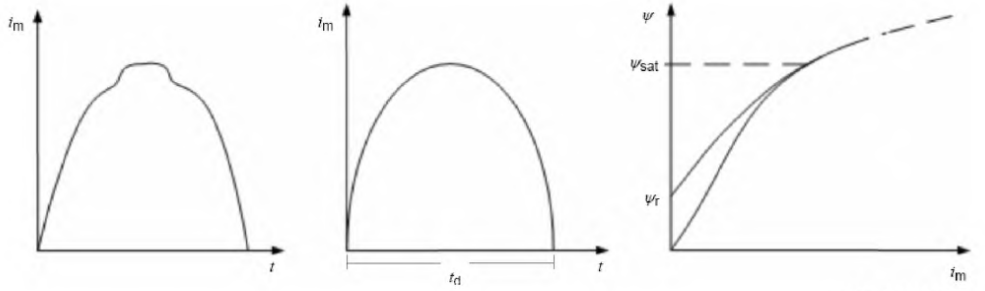
$$T_S = \frac{\sqrt{2} \times 0{,}9 \times E_{al}}{2\pi \int_R \times (R_{ct} + R_b) \times i`_m}$$

ЕСКЕРТПЕ Осы анықтама T_s тұрақты ток пен айнымалы токтың жоғарыда сипатталған анықтамасына сәйкес келеді.

Тік бұрыштық коэффициентін K_R анықтаған кезде тиісті ағыспен интеграцияланған кернеу гетерезис ілмегін анықтайды. Егер қоздыру тоғы қанығу ағысына жету мүмкін болғандай болса, онда токтың нөл арқылы өту нүктесіндегі ағыстың мәні қалдық ағысты ψ_r білдіреді.

Тік бұрыштық коэффициенті K_R мынадай тәсілмен анықталған:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}}$$



ХЭК 1569/12

2В.14 сурет – Конденсаторлық разряд тәсіліне арналған типтік жазбалар

2В.3 Шекті шарттарда кемшіліктерді анықтау үшін тікелей сынау

2В.3.1 Жалпы ережелер

Лездік айырмашылық тоғын әр түрлі өлшеуге болады. Барлық жағдайда өлшеу жүйесінің кемшілігі жұмыс циклі кезінде сыналатын ток трансформаторының класына сәйкес келетін кемшілік шегінің 10 %-нан аспау керек.

2B.3.2 Тікелей сынау

Тік бұрыштық коэффициенті жоғары болғандықтан, TPX класты ток трансформаторын тікелей сынау алдында магнитсіздендіру керек. Егер тік бұрыштық коэффициенті K_R өте аз болмаса, TPY класты ток трансформаторын магнитсіздендіру қажет.

Қайталама орамның нақтылы жиілігі және нақтылы жүктемесі кезінде екі тікелей сынауды жүргізу қажет:

a) бастапқы орамның қысқа тұйықталуының нақтылы тоғы нақтылы жиілік кезінде еш жылжытусыз жалғанады. Лездік кемшіліктің айнымалы кемшілігі өлшенеді; ол теориялық мәніне $1/\omega T_s$ сай болу керек;

b) ток трансформаторы белгіленген жұмыс циклінің дәлдік талаптарына сәйкес келетіндігін тексеру үшін мынадай сынауды жүргізу қажет:

Бастапқы орам қысқа тұйықталған кездегі нақтылы ток нақтылы жиілік кезінде қажетті жылжу арқылы жалғанады. Бастапқы орам уақытының белгіленген тұрақты мәні 80 мс болғанда сынау дәлдіктің белгіленген шекті шарттары (белгіленген жұмыс циклі) кезінде орындалады. Бастапқы орам уақытының тұрақты мәні белгіленген мәнінен 10 %-ға ауытқымау керек.

Бастапқы орам уақытының тұрақты мәні үшін 80 мс-ден артық болса, дайындаушы мен сатып алушының келісім бойынша, сынаулар дәлдік (жұмыс циклі және/немесе жүктеменің алынған түрленімі) бойынша баламалы шекті жағдайларда орындалуы мүмкін.

Қуат беру кезеңінде бастапқы орам тоғының алғашқы шыңы белгіленген шарттарға сәйкес келетін мәнінен кем болмау керек.

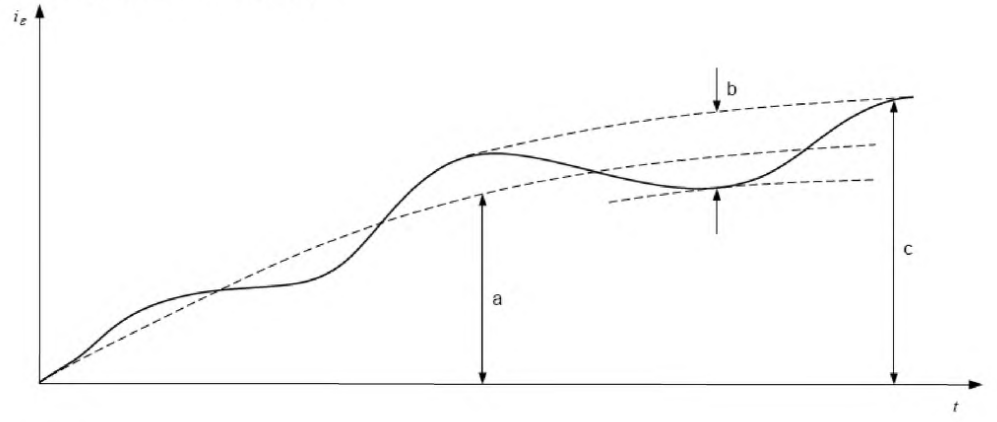
Зертханалық тәжірибеде жұмыс циклінің нақты айрықшасын туындату қиын болуы мүмкін. Бұл жағдайда қолданылған жұмыс циклінің есептелген мәні K_{td} белгіленген жұмыс циклінің есептелген мәнінен K_{td} кем болмау керек. Осы талапты орындау үшін қуат берілісінің және/немесе қайталама жүктеме кезеңінің (кезеңдерінің) ұзақтығын реттеуге болады.

ЕСКЕРТПЕ Есептеу K_{td} ең нашар шарттарға арналған формулаларға негізделгендіктен (2B.1.2 көрсетілген 6-формула талап етілетін мәніне 30%-ға жоғары мәнін K_{td} бере алатындықтан), ток трансформаторы есептелген мәніне K_{td}.сәйкес келетін ағысқа жетпей, жұмыс циклінің талаптарына сай бола алады.

TPX және TPY класының ток трансформаторлары үшін i_ε лездік айырмашылық тоғы $i_\varepsilon = i_s \times k_r - i$ ретінде өлшенеді. $\hat{\varepsilon}$ мәнін 3.4.222 сәйкес анықтау қажет, мәні 206-кестеде келтірілген шектен аспау керек.

TPZ класының ток трансформаторы үшін айырмашылық токтың айнымалы құрамдасы екі еселенген амплитуданың жартысы ретінде өлшенеді (2B.15 суретті қараңыз). $\hat{\varepsilon}_{ac}$ кемшілік мәнін 3.4.223 сәйкес өлшеу қажет. Бұл мәні 206-кестеде келтірілген шектен аспау керек.

ЕСКЕРТПЕ Класты анықтау жұмыс циклінен тұрмауы мүмкін. Бұл жағдайда сынаудың мақсаттар үшін осы мәніне K_{td} әкеп соғатын жұмыс циклі дайындаушы мен сатып алушы арасында келісілу керек.



мұндағы,

$a = \hat{i}_{\varepsilon dc}$

$b = 2\hat{i}_{\varepsilon ac}$

$c = \hat{i}_{\varepsilon ac} + \hat{i}_{\varepsilon dc}$

TPY үшін: $\hat{i}_\varepsilon = c$

TPZ: $\hat{i}_\varepsilon = \hat{i}_{\varepsilon ac} = \frac{b}{2}$

2B.15 сурет – Айырмашылық токтарды өлшеу

Егер ток трансформаторының шынайы мәнін K_{td} анықтау қажет болса, онда қуат берілісінің және/немесе қайталама жүктеменің кезеңінің ұзақтығын өлшенген лездік айырмашылық тоғы қарастырылатын дәлдік мәні үшін шекті мәніне жететіндей етіп анықтау қажет (206-кесте). TPZ класы үшін, айырмашылық токтың айнымалы құрамдасының шекті мәніне жеткен сәтті анықтау үшін сызықтық интерполяция пайдаланылады.

Қайталама орамның ψ_{dir} байланысқан тоғы келесі тәсілмен анықталады:

$$\Psi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \times \int_o^t R_b \times i_s(t)dt$$

мұндағы, $t - \hat{\varepsilon}$ немесе $\hat{\varepsilon}_{\text{ac}}$ кемшілік шегіне жету уақытындағы сәт.

Ток трансформаторының толық өлшемдік коэффициенті K_{td} – белгіленген шарттарда ψ_{dir}-ң айнымалы құрамдастың ψ амплитудалық мәніне қатынасы. Осы айнымалы құрамдасты қайталама орамның байланысқан ағысын өлшеуден алуға болады; ол қысқа тұйықталудың $K_{ssc} \times I_{sr}$ нақты

(теориялық) мәнімен байланысу керек. Өлшеуді жоғарыда келтірілген формуланы пайдалана отырып, жүргізу қажет.

Ағыс өлшемінің кемшілігі 5 %-дан аспау керек.

2В.3.3 Құрылым коэффициентін анықтау

Егер шашыраудың реактивтік кедергісі төмен құрылымға қойылатын талаптарға сәйкестік сызбаларға сілтеме жасау арқылы дайындаушы мен сатып алушының өзара қанағаттылығына келтіре алмаса, онда құрылым коэффициентіне F_c келесі тәсілмен анықтау қажет.

Қайталама орамның байланысқан ағыстарының мәндерін тікелей және жанама сынаулар кезінде анықтау қажет, екі жағдайда магниттеу тоғы дәлдік бойынша шекті жағдайда болу керек. Егер айнымалы сипаттамалардың класы баламалы анықтамамен белгіленсе, онда тиісті жұмыс циклі мен жүктеме $K_{ssc} \times K_{td}$ белгіленген мәніне жететіндей етіп таңдау қажет.

2В.3.2 сәйкес тікелей сынау кезінде алынатын қайталама орамның ψ_{dir} байланысқан ағысын анықтау қажет.

Жанама сынау кезінде қайталама орамның $\hat{\psi}_{ind}$ байланысқан ағысын келесі тәсілдердің біреуімен анықтау қажет:

Айнымалы ток тәсілі:

2В.2.2.1 сәйкес жабдықтардың сынау кешенін пайдалану қажет.

Кернеуді 2В.2.2.2 белгіленген қоздыру тоғының $\hat{I}_{al}$ тиісті шегіне жеткенге дейін ұлғайту қажет.

Дәл осы сәтте алынған кернеуді U белгілеу керек. Қайталама орамның $\hat{\psi}_{ind}$ байланысқан тоғы мына формуламен белгіленген:

$$\hat{\psi}_{ind} = \frac{\sqrt{2} \times U}{2\pi f}$$

мұндағы, f – қосымша берілген жиілік.

Тұрақты ток немесе конденсаторлық разряд тәсілі:

2В.2.3.1 (тұрақты ток тәсілі) немесе 2В.2.4 (конденсаторлық разряд тәсілі) сәйкес сынау контурын пайдалану қажет.

$\hat{\psi}_{ind}$ тоғы – қайталама орамның байланысқан тоғы, ол 2В.2.3.4 белгіленген i_m магниттеу тоғының шегіне сәйкес келеді.

Бұл жағдайда F_c мәнін келесі тәсілмен анықталады:

$$F_c = \frac{\psi_{ind}}{\hat{\psi}_{dir}}$$

Сынаулар кезінде ағысты өлшеу кезіндегі кемшілік 5 %-дан аспау керек.

Егер F_c коэффициенті 1,1 артығырақ болса, онда оны өзекшенің өлшемдерін анықтаған кезде ескерген жөн.

ЕСКЕРТПЕ Трансформаторлардың тиісті типтерінде тікелей сынауларды орындау үшін талап етілетін бастапқы орам тоғының мәні әдетте дайындаушылар ұсынатын қабілеттердің шегінен шығуы мүмкін. Бастапқы орам тоғының анағұрлым төмен деңгейлеріндегі сынаулар дайындаушы мен сатып алушы арасында келісілу керек.

2С қосымшасы
(міндетті)

Шашыраудың төмен реактивтік кедергісі бар типті трансформаторлардың сәйкестігін растау

Мыналарды көрсету қажет:

- ток трансформаторының біркелкі орналасқан ауа саңылауы бар іс жүзінде үздіксіз сақиналы өзекшесі бар, егер болса;
- ток трансформаторың біркелкі орналасқан қайталама орамы бар;
- ток трансформаторының айналуға қатысты симметриялық бастапқы орам сымы бар;
- аралас фаза сымдарының әсері трансформаторлық дүңгіршектен тыс орналасқан және көршілес фазалар аса өте әсер етеді.

Егер шашыраудың реактивтік кедергісі төмен құрылымның талаптарына сәйкестік сызбаларға сілтеме жасау арқылы дайындаушы мен сатып алушыны қанағаттандыра алмаса, онда тікелей сынау мен жанама сынаудың нәтижелерін мынадай тәсіл арқылы салыстыру қажет:

TPX, TPY және TPZ класты ток трансформаторлары үшін F_c құрылым коэффициентін 2В.3.3 сәйкес анықтау қажет. Егер F_c 1,1-ден төмен болса, онда ток трансформаторы төмен реактивтік шашырау кедергісі бар ток трансформаторы ретінде қарастыру қажет.

Басқа барлық қорғаныс кластары үшін тікелей сынау тәсілі және жанама сынау тәсілі арқылы алынған толық орамның толық кемшіліктерін салыстыру қажет.

Тікелей сынау үшін 2А.5 және 2А.6 келтірілген тәсілдердің кез келгенін қолдануға болады. Бастапқы орамның сынау тогы мынадай болу керек:

P класы мен PR класы үшін $ALF \times I_{pr}$;

PX класы мен PXR класы үшін $K_x \times I_{pr}$.

Жанама сынау үшін 7.2.6.203 (b) келтірілген тәсілді қолдану қажет. қайталама орамның клеммаларына жалғанған кернеу мынаған тең болады:

P класы мен PR класы үшін E_{ALF};

PX класы мен PXR класы үшін E_k.

Егер тікелей тәсіл арқылы алынған толық кемшіліктің мәні 1,1-ден кем болса, жанама тәсілмен шығарылған толық кемшіліктің мәнін көбейту арқылы шашыраудың реактивтік кедергісі төмен құрымның сәйкестігі орнатылатын болады.

ЕСКЕРТПЕ Анықтамаға (3.4.235) сәйкес «шашыраудың реактивтік кедергісі төмен ток трансформаторы» деген термин әмбебап емес, ол қорғаныс сипаттамаларымен, мысалы, қорғаныс класымен байланысқан.

2D қосымшасы
(міндетті)

Тәжірибелік баға бойынша жылудың тұрақты мәнін анықтау мақсатымен майлы трансформаторлардың ысуын сынау үшін пайдаланылатын әдістеме

Белгілер тізімі:

θ - °С-мен белгіленетін температура;

$\theta(t)$ – майдың уақыт өте келе өзгеретін температурасы (жоғарыдағы майдың температурасы немесе майдың орташа температурасы болуы мүмкін);

θ_a – сыртқы салқындату ортасының температурасы (атмосфералық ауа немесе су), тұрақты деп болжанады;

$\Delta\theta$ – май температураның θ_a-нан артуы;

θ_u, $\Delta\theta_u$ - белгіленген күйдегі шекті мәндер;

$\varepsilon(t)$ - θ_u белгіленген мәнінің қалған ауытқуы;

T_0 – сыйымдықтағы май температурасы ауытқуының экспоненциалды құбылуына арналған уақыттың тұрақты мәні;

h – көрсеткіштерді алу арасындағы уақыт аралығы;

θ_1, θ_2, θ_3 – температураның үш бірізді көрсеткіші және олардың арасындағы уақыт h аралығы.

Сынауды температураның (майдың) белгіленген ұлғаюы қуәландырылғанға дейін жалғастырған жөн:

$$\theta_u = \theta_a + \Delta\theta_u \qquad (2D.1)$$

$$\theta_t = \theta_a + \Delta\theta_u (1-e^{-t/To}) \qquad (2D.2)$$

Осы жағдайдағы тұрақты күйден ауытқудың қалғаны:

$$\varepsilon(t) = \theta_u - \theta(t) = \Delta\theta_u \times e^{-t/To} \qquad (2D.3)$$

Былайша есептеледі:

- қоршаған ортаның температурасы ықтимал болғанға дейін сақталады;
- майдың температурасы $\theta(t)$ уақыттың тұрақты мәні T_0 бар экспонциалдық атқарымның бойымен шекті мәніне θu жетеді;
- Формула (2D.2) температуралық қисыққа айтарлықтай жақындайды (2D.1).

Үш кезекті көрсеткіштерді $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$ және $\Delta\theta_3$ ескере отырып, Формуланың (2D.2) экспоненциалды қатынасы температуралық қисыққа айтарлықтай жақындайды: бұл жағдайда көрсеткіштер арасында мынадай қатынас болады:

$$\frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2} = e^{h/T_o} \qquad (2D.4)$$

$$T_o = \frac{h}{\ln \dfrac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}}$$

Көрсеткіштер сондай-ақ кесімді температураның ұлғайғандығын болжап көрсете алады:

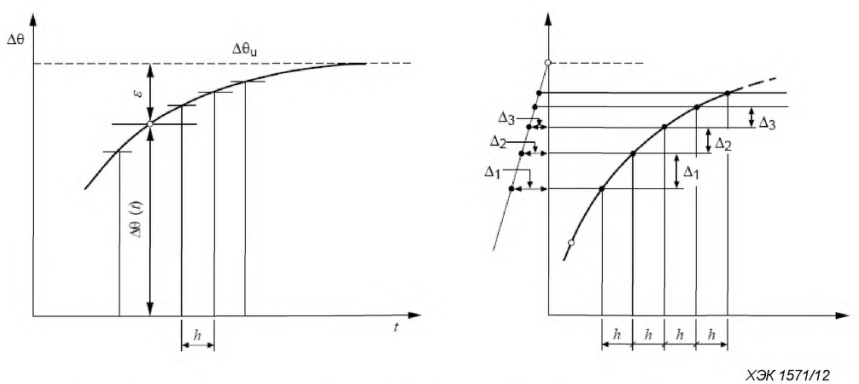
$$\Delta\,\theta_u = \frac{(\Delta\theta_2)^2 - \Delta\theta_1\Delta\theta_3}{2\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 - \Delta\theta_3} \qquad (2D.5)$$

Бірізді бағалауды жүргізу қажет және олар бір-біріне ұқсас болу керек. Үлкен кездейсоқ сандық қателерге жол бермеу үшін h уақыт аралығының T_0-ға тең болғаны, ал $\Delta\theta_3/\Delta\theta_u$ қатынасы 0,95-тен кем болмағаны жөн.

Температураның тұрақты артуының анағұрлым дәл мәні барлық өлшенген нүктелердің экстраполяциясы кезінде ең аз квадраттардың тәсілімен алынады және шамамен 60 % $\Delta\theta_u$ болады ($\Delta\theta_u$ үш нүкте тәсілімен анықталады).

Басқа сандық тұжырымдама:

$$\Delta\theta_u = \Delta\theta_2 + \frac{\sqrt{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1) - (\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2)}}{In\dfrac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \qquad (2D.6)$$



2D.1 сурет – Шекті температура ұлғайғанға дейінгі графикалық экстраполяция

2Е қосымшасы
(ақпараттық)

Трансформация коэффициентінің (ε) кемшілігін баламалы өлшеу

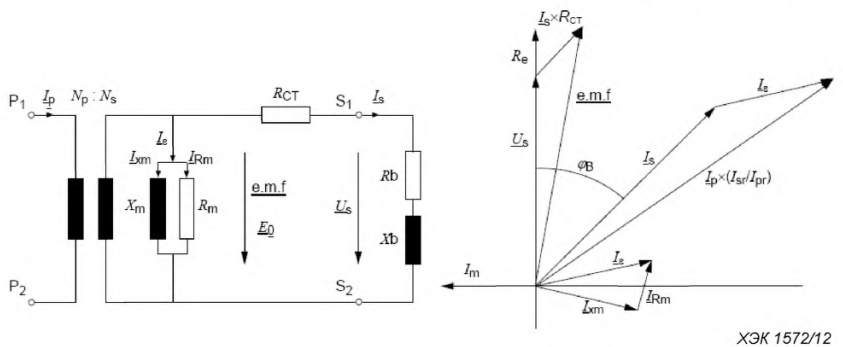
Төмен реактивтік шашырау кедергісі бар ток трансформаторлары үшін келесі жанама сынау тікелей сынау арқылы алынған нәтижелерге жақын нәтижелерге жеткізеді.

Алайда, трансформация коэффициентінің кедергісін кәдімгі сынау тікелей сынау ретінде орындалады, себебі аталмыш тәсіл өзекшенің «төмен реактивтік шашырау қасиетін», соның ішінде темір өзекшенің магниттік біртектігін анағұрлым жақсы куәландырады. Екінші жағынан, баламалы тәсіл пайдаланылатын жерде өлшеу үшін, сондай-ақ тұрақты бақылау мақсаттары үшін сай келеді.

Бұл жағдайда, электр тоғының ток трансформаторымен көршілес ағысын осы тәсіл ешқашан қарастырмайды.

Трансформация коэффициентінің кедергісін анықтау үшін 2Е.1 суретте көрсетілген тізбектің жеңілдетілген баламалы диаграммасын пайдаланылады:

$$\underline{I}_p \times N_p / N_s = \underline{I}_s + \underline{I}_e$$



ХЭК 1572/12

2Е.1 сурет – Ток трансформаторының жеңілдетілген баламалы контуры

Синусоидалдық кернеу ток трансформаторының S_1 – S_2 қайталама орамының клеммаларына жалғанады. Сынау кернеуі $\underline{U}_{S\,Test}$ клеммаларында және $\underline{I}_{S\,Test}$ тоғында өлшенеді. Жалғанған кернеу басты индукциялықтың ұштарындағы ЭҚК белгілі токпен және шынайы жүктемемен жұмыс жасау кезіндегі амплитудамен генерациялау керек. S_1 – S_2 клеммаларындағы $U_{S\,Test}$ сынау кернеуінен орамның R_{ct} кедергі ететін ұштарында кернеудің азаюын есептеу арқылы сынаудың нәтижелерінен ЭҚК есептеп шығаруға болады. Осы есептеуді кешенді біртектілікпен орындау қажет.

Трансформация коэффициентінің кемшілігін мынадай тәсілмен есептеп шығаруға болады:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_S - \underline{I}_P \frac{I_{sr}}{I_{pr}}}{\underline{I}_P \frac{I_{sr}}{I_{pr}}} = \frac{\underline{I}_S I_{pr}}{\underline{I}_P I_{sr}} - 1 \qquad (2E.1)$$

мұндағы:

$$\frac{\underline{I}_p N_P}{N_S} = \underline{I}_e + \underline{I}_s \rightarrow \underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_e + \underline{I}_S) N_S}{N_P} \qquad (2E.2)$$

Трансформация коэффициентінің кемшілігін мынадай тәсілмен есептеп шығаруға болады:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_S \times N_p \times I_{pr}}{(\underline{I}_e + \underline{I}_S) \times N_S \times I_{sr}} - 1 \qquad (2E.3)$$

Қайталама орамның I_s кейбір тоғы үшін трансформация коэффициентін анықтау үшін келесі сынау рәсімі ұсынылады:

- $S_1 – S_2$ клеммаларында қайталама кернеуді есептеп шығару:

$$\underline{U}_S = \underline{I}_S \times (R_b + jX_b)$$

- R қайталама орамның кедергісін өлшеу (шынайы температура кезіндегі мәні)

- тиісті ЭҚК есептеп шығару

$$\underline{E}_o = \underline{I}_S R + \underline{U}_S$$

- $S_1 – S_2$ қайталама орамның клеммаларына кернеуді жалғау:

$$\underline{U}_{STest} = \underline{E}_O + \underline{I}_{STest} R \quad (\text{мұнда } I_{S\,Test} = I_S)$$

- $P_1 – P_2$ клеммаларындағы кернеуді $U_{p\,Test}$ өлшеу

- трансформация коэффициентін байламдардың арақатынасы бойынша есептеп шығару

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_{pTest}}{|\underline{E}_O|}$$

- I_p тиісті мәнін есептеп шығару

$$\underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_s + \underline{I}_{sTest}) N_s}{N_p}$$

Трансформация коэффициентінің кемшілігін келесі тәсілмен есептеу:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_s N_p I_{pr}}{(\underline{I}_{sTest} + \underline{I}_s) \times I_{sr}} - 1$$

2F қосымшасы
(міндетті)

Байламдардың саны бойынша трансформация коэффициентінің кемшілігін анықтау

Нақтылы трансформация коэффициентіне үш көрсеткіштен тұратын кемшіліктер әсер етеді:

a) трансформация коэффициентінің инверсиясы мен трансформацияның нақтылы коэффициенті арасындағы айырмашылық;

b) өзекшені қоздыру тоғы (I_e);

c) орамдармен жалғанған паразиттік сыйымдықтарда ағатын ағыстар.

Көптеген жағдайларда, қайталама орамның (E_s) осы индукцияланған ЭҚК үшін паразиттік сыйымдықтардан және өзекшенің магниттелуінен туындайтын әр түрлі ағыстар бастапқы орамның қоздыру тоғының мәніне қарамастан, тұрақты шаманы қолдайды деген болжам бар. Теория жүзінде, қайталама орамның импедансын тиісті түрде реттеуге болатын жағдайда қоздыру тоғының кейбір өрісінде E_s тұрақты мәніне қолдауға болады. Төмен реактивтік шашырау кедергісі болатындай құрастырылған ток трансформаторлары үшін қайталама орамның реактивтік кедергісін байқамауға болады және қайталама орамның кедергісін ғана ескеру қажет болады. Ағыстардың кез келген екі I'_s және I''_s токтары үшін сынау талабын анықтайтын негізгі есеп келесі формула арқылы шығарылады:

$$I'_s = (R + R'_b) = E_s = I''_s (R + R''_b)$$

мұндағы, R – қайталама орамның нақтылы кедергісі.

Трансформация коэффициентінің өлшенген кемшілігі – ε'_c және ε''_c деп болжай отырып, трансформация коэффициентінің кемшілігі байламдарының саны бойынша ε_t болып белгіленеді, ал магниттендірудің қисындастырылған токтары мен адасқан токтары I_x шамасымен беріледі. Тиісті айырмашылық токтары мынадай формуламен берілетін болады:

$$(\varepsilon_c' - \varepsilon_t) \times k_r I'_s = I_x = (\varepsilon''_c - \varepsilon_t) \times k_r I''_s$$

осы жерде шығатын мән:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon'_c \times I'_s - \varepsilon''_c \times I''_s}{I'_s - I''_s}$$

Егер $I'_S = 2I''_S$, онда байламдардың саны бойынша трансформация коэффициентінің кедергісі $2\varepsilon'_c - \varepsilon''_c$ мәнімен анықталады.

Қайталама орамға жалғанған минималды жүктемесі бар нақтылы ток кезіндегі сынау, содан кейін нақтылы токтың жартысы болған кезде және қайталама ілмектік кедергісі тиісті түрді ұлғайтылған кезде сынау әдетте оң нәтиже береді.

ӘОЖ 629.4.016.15 **МСЖ 17.220.20**

Түйін сөздер: өлшегіш трансформаторлар, кемшілік шектері, нақтылы ток, импульстік кернеу, қорғаныс трансформаторлары, баламалы өлшеу, жұмыс циклдері, қысқа тұйықталу тоғы, фазалардың ығысуы, қысқа мерзімді ток

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Трансформаторы измерительные

Часть 2

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ТОКОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

СТ РК IEC 61869-2-2013

IEC 61869-2-2012 «Instrument transformers.
Part 2: Additional requirements for current transformers» (IDT)

Издание официальное

Комитет технического регулирования и метрологии
Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан
(Госстандарт)

Астана

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН И ВНЕСЕН Республиканским государственным предприятием «Казахстанский институт метрологии», Техническим комитетом по стандартизации № 69 «Инновационные технологии инфраструктуры» на базе ТОО «Техностандарт-НС»

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан от 25 октября 2013 года № 502-од

3 Настоящий стандарт идентичен IEC 61869-2-2012 «Instrument transformers. Part 2: Additional requirements for current transformers» (Трансформаторы измерительные. Часть 2. Дополнительные требования для трансформаторов тока)

Международный стандарт подготовлен Техническим комитетом 38 «Измерительные трансформаторы»

Официальный экземпляр международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий национальный стандарт и на которые даны ссылки, имеется в Едином государственном фонде нормативных технических документов

Перевод с английского языка (en)

Степень соответствия – идентичная, IDT

4 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ 2018 год
ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ 5 лет

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Нормативные документы по стандартизации», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты»

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Комитета технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины и определения	1
4	Номинальные значения	15
5	Проектирование и сооружение	25
6	Испытания	29
7	Приложение 2A *(обязательное)*	44
8	Приложение 2B *(обязательное)*	51
9	Приложение 2C *(обязательное)*	71
10	Приложение 2D *(информационное)*	73
11	Приложение 2E *(информационное)*	76
12	Приложение 2F *(обязательное)*	79

Введение

Международный стандарт МЭК 61869-2, Первое издание, подготовлен комитетом 38: Измерительные трансформаторы

IEC 61869-2-2012 составлен в соответствии с Директивами ИСО/МЭК, Часть 2.

Список всех частей в серии МЭК 61869, изданных под общим названием «Измерительные трансформаторы», можно найти на веб-сайте МЭК.

Настоящий стандарт, Часть 2, должен использоваться в вместе с МЭК 61869-1:2007 «Общие Требования», на которой он основан, однако приветствуется использование пользователем нового выпуска указанного документа.

Настоящий стандарт, Часть 2, придерживается структуры МЭК 61869-1:2007; он дополняет или изменяет соответствующие пункты последнего.

Если конкретный пункт/подпункт Части 1 не упомянут в настоящей Части 2, то тот пункт/подпункт применяется настолько, насколько это целесообразно.

Для дополнительных пунктов, подпунктов, рисунков, таблиц, приложений или примечаний используется следующая система нумерации:

- пункты, подпункты, таблицы, рисунки и примечания, которые пронумерованы, начиная с 201, являются дополнительными по отношению к пунктам, таблицам и рисункам части 1;
- дополнительные приложения пронумерованы так: 2A, 2B, и т.д.

Обновлённый список стандартов, выпущенных Техническим комитетом МЭК ТК 38, доступен на веб-сайте: gost.e-ecolog.ru

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Трансформаторы измерительные

Часть 2

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ТОКОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Дата введения 2014-07-01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вновь изготовленные индуктивные трансформаторы тока для использования с электрическими средствами измерений и/или электрическими защитными устройствами, имеющими номинальные частоты от 15 Гц до 100 Гц.

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные нормативные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

IEC 61869-1:2007 Instrument transformers. Part 1: General requirements (Трансформаторы измерительные. Часть 1. Общие требования).

ПРИМЕЧАНИЕ При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по ежегодно издаваемому информационному указателю «Указатель нормативных документов по стандартизации» по состоянию на текущий год и соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяются термины по IEC 61869-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

Издание официальное

3.1 Общие определения

3.1.201 **Трансформатор тока** (Current transformer): Измерительный трансформатор, в котором ток вторичной обмотки при нормальных условиях использования практически пропорционален току первичной обмотки и отличается от него по фазе на угол, который приблизительно равен нулю для соответствующего направления соединений.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-01)

3.1.202 **Измерительный трансформатор тока** (Measuring current transformer): Трансформатор тока, предназначенный для передачи информационного сигнала в средства измерений и счётчики.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-18)

3.1.203 **Защитный трансформатор тока** (Protective current transformer): Трансформатор тока, предназначенный для передачи информационного сигнала к защитным и управляющим устройствам.

(Источник: IEC 60050-321: 1986, 321-02-19)

3.1.204 **Защитный трансформатор тока класса P** (Class P protective current transformer): Защитный трансформатор тока без предела на остаточный магнитный поток, для которого определена динамика насыщения в случае симметрического короткого замыкания.

3.1.205 **Защитный трансформатор тока класса PR** (Class PR protective current transformer): Защитный трансформатор тока с пределом на остаточный магнитный поток, для которого определена динамика насыщения в случае симметрического короткого замыкания.

3.1.206 **Защитный трансформатор тока класса PX** (Class PX protective current transformer): Защитный трансформатор тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния без предела на остаточный магнитный поток, для которого знание характеристики возбуждения и сопротивления вторичной обмотки, сопротивления вторичной нагрузки и коэффициента трансформации достаточно для оценки его функционирования по отношению к системе релейной защиты, с которой его предстоит использовать.

3.1.207 **Защитный трансформатор тока класса PXR** (Class PXR protective current transformer): Защитный трансформатор тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния, для которого знание характеристики возбуждения и сопротивления вторичной обмотки, сопротивления вторичной нагрузки и коэффициента трансформации достаточно для оценки его функционирования по отношению к системе релейной защиты, с которой его предстоит использовать.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 При возникновении ситуации, когда слабые постоянные токи непрерывно текут через трансформаторы тока, для того, чтобы предотвратить насыщение трансформатора тока, используются трансформаторы тока с воздушными зазорами, но с теми же самыми характеристиками, что и для Класса PX.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Воздушные зазоры для снижения остаточного магнетизма не обязательно приводят к трансформатору с высоким реактивным сопротивлением рассеяния (см. Приложение 2С).

3.1.208 **Защитный трансформатор тока для переходных характеристик класса TPX** (Class TPX protective current transformer for transient performance): Защитный трансформатор тока без предела на остаточный магнитный поток, для которого динамика насыщения в случае переходного тока короткого замыкания определяется амплитудным значением мгновенной погрешности.

3.1.209 **Защитный трансформатор тока для переходных характеристик класса TPY** (Class TPY protective current transformer for transient performance): Защитный трансформатор тока с пределом на остаточный магнитный поток, для которого динамика насыщения в случае переходного тока короткого замыкания определяется амплитудным значением мгновенной погрешности.

3.1.210 **Защитный трансформатор тока для переходных характеристик класса TPZ** (Class TPZ protective current transformer for transient performance): Защитный трансформатор тока с заданной вторичной постоянной времени, для которого динамика насыщения в случае переходного тока короткого замыкания определяется амплитудным значением переменной составляющей погрешности.

3.1.211 **Трансформатор тока с выбираемым коэффициентом** (Selectable-ratio current transformer): Трансформатор тока, на котором несколько коэффициентов трансформации получаются путём переключения секций первичной обмотки и/или посредством ответвлений на вторичной обмотке.

3.3 Определения, связанные с номинальным током

3.3.201 **Номинальный ток первичной обмотки** (Rated primary current) I_{pr}**:** Значение тока первичной обмотки, на котором основаны рабочие характеристики трансформатора.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-01-11, модифицированное название, синоним и определение)

3.3.202 **Номинальный ток вторичной обмотки** (Rated secondary current) I_{sr}: Значение тока вторичной обмотки, на котором основаны рабочие характеристики трансформатора.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-01-15, модифицированное название, синоним и определение)

3.3.203 **Номинальный ток термической стойкости** (Rated short-time thermal current) I_{sr}**:** Максимальное значение тока первичной обмотки, который трансформатор выдержит в течение заданного короткого промежутка времени, не пострадав от вредных эффектов, при замкнутой накоротко вторичной обмотке.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-22)

3.3.204 **Номинальный рабочий ток** (Rated dynamic current)I_{dyn}**:** Максимальное амплитудное значение тока первичной обмотки, который трансформатор выдержит, не получив электрические или механические повреждения результирующими электромагнитными силами, при замкнутой накоротко вторичной обмотке.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-24)

3.3.205 **Непрерывный тепловой ток** (Continuous thermal current) I_{cth}: Значение тока, которому можно разрешить непрерывно течь в первичной обмотке, вторичной обмотке, соединённой с номинальной нагрузкой, без повышения температуры, превышающей заданные значения.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-25)

3.3.206 **Номинальный ток короткого замыкания первичной обмотки** (Rated primary short-circuit current) I_{psc}: Среднеквадратическое значение переменной компоненты переходного тока короткого замыкания первичной обмотки, на котором основаны характеристики точности трансформатора тока.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В то время как I_{th} связан с тепловым пределом, I_{psc} связан с пределом точности. Обычно, I_{psc} меньше, чем I_{th}.

3.3.207 **Захватывающий ток** (Exciting current) I_e: Среднеквадратическое значение тока, снятого вторичной обмоткой трансформатора тока, когда синусоидальное напряжение номинальной частоты приложено к клеммам вторичной обмотки, при этом первичная и вторичная обмотки замкнуты накоротко.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-32)

3.4 Определения, связанные с точностью

3.4.3 **Погрешность коэффициента трансформации** (Ratio error) ε: Определение 3.4.3 IEC 61869-1 применимо согласно примечания:

ПРИМЕЧАНИЕ: Погрешность коэффициента передачи по току, выраженная в процентах, выражается формулой:

$$\varepsilon = \frac{k_r I_S - I_p}{I_p} \times 100\ \%$$

где, k_r - номинальный коэффициент трансформации;

I_p - фактический ток первичной обмотки;

I_ε - фактический ток вторичной обмотки, когда течет I_p, в условиях измерения.

Объяснительная векторная диаграмма дана в 2А.1.

3.4.4 **Смещение фазы** (Phase displacement) $\Delta\varphi$**:** Определение 3.4.4 IEC 61869-1 применимо согласно примечания:

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Объяснительная векторная диаграмма дана в 2А.1.

3.4.201 **Номинальная резистивная нагрузка** (Rated resistive burden) R_b: Номинальное значение резистивной нагрузки, присоединённой к вторичной обмотке, в Омах.

3.4.202 **Сопротивление вторичной обмотки** (Secondary winding resistance) R_{ct}: Фактическое сопротивление вторичной обмотки постоянному току в Омах, скорректированное на 75 °С или на другую температуру, как определено.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к словарной статье: R_{ct} –фактическое значение. Не следует путать его с верхним пределом для R_{ct}, которое может быть задано иным образом.

3.4.203 **Полная погрешность** (Composite error) εC**:**При установившихся условиях, среднеквадратическое значение разницы между

а) мгновенными значения тока первичной обмотки;

б) мгновенными значениями фактического тока вторичной обмотки, умноженными на номинальный коэффициент трансформации, положительные знаки токов первичной и вторичной обмотки соответствуют соглашению по маркировке клемм.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Полная погрешность ε_C в общем случае выражается как процент среднеквадратических значений тока первичной обмотки:

$$\varepsilon_c = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (k_r i_S - i_p)^2 dt}}{I_p} \times 100\%$$

где, k_r - номинальный коэффициент трансформации;
I_p - среднеквадратическое значение тока первичной обмотки;
i_p - мгновенное значение тока первичной обмотки;
i_p - мгновенное значение тока вторичной обмотки;
T- продолжительность одного цикла.
За дополнительными объяснениями обратитесь к 2А.4.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-26, изменённое примечание к словарной статье)

3.4.204 **Номинальный предельный ток первичной обмотки прибора** (Rated instrument limit primary current) I_{PL}**:** Значение минимального тока первичной обмотки, при котором полная погрешность измерительного трансформатора тока равна или больше 10 %, при этом вторичная нагрузка равна номинальной нагрузке.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-27)

3.4.205 **Коэффициент безопасности прибора** (Instrument security factor) *FS*: Отношение номинального предельного тока первичной обмотки прибора к номинальному току первичной обмотки.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 На фактический коэффициент безопасности прибора влияет нагрузка. Если значение нагрузки значительно меньше номинального, то в случае тока короткого замыкания на вторичной стороне будут произведены большие значения тока.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В случае, когда токи короткого замыкания системы текут через первичную обмотку трансформатора тока, безопасность прибора, питаемого трансформатором, находится на своём самом высоком уровне, когда значение номинального коэффициента безопасности прибора (*FS*) находится на своём самом низком уровне.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-28, изменённые примечания к словарной статье)

3.4.206 **Предельная ЭДС вторичной обмотки для измерительных трансформаторов тока** (Secondary limiting e.m.f. for measuring current transformers) E_{FS}: Произведение коэффициента безопасности прибора *FS*, номинального тока вторичной обмотки и векторной суммы номинальной нагрузки и импеданса вторичной обмотки.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Предельная ЭДС вторичной обмотки для измерительных трансформаторов тока E_{FS} вычисляется следующим образом:

$$E_{FS} = FS \times I_{Sr} \times \sqrt{\left(R_{ct} + R_b\right)^2 + X_b^2}$$

где, R_b- резистивная часть номинальной нагрузки;

X_b - индуктивная часть номинальной нагрузки.

Данный метод даст более высокое значение, чем реальное. Он был выбран для того, чтобы применить тот же самый метод испытаний, как тот, который используется для защитных трансформаторов тока. См. 7.2.6.202 и 7.2.6.203.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-31, изменённое название, синоним и примечание к словарной статье)

3.4.207 **Номинальный ток первичной обмотки предельной точности** (Rated accuracy limit primary current): Значение тока первичной обмотки, до которого трансформатор тока будет соответствовать требованиям к полной погрешности.

(ИСТОЧНИК: IEC 60050-321:1986, 321-02-29)

3.4.208 **Предельная кратность по точности** (Accuracy limit factor) *ALF*: Отношение номинального тока первичной обмотки предельной точности к номинальному току первичной обмотки.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-30)

3.4.209 **Предельная ЭДС вторичной обмотки для защитных трансформаторов тока** (Secondary limiting e.m.f. for protective current transformers) E_{ALF}: Произведение предельной кратности по точности, номинального тока вторичной обмотки и векторной суммы номинальной нагрузки и импеданса вторичной обмотки.

ПРИМЕЧАНИЕ Предельная ЭДС вторичной обмотки для защитных трансформаторов тока класса P и PR, E_{ALF}, вычисляется следующим образом:

$$E_{ALF} = ALF \times I_{Sr} \times \sqrt{(R_{ct} + R_b)^2 + X_b^2}$$

где, R_b - резистивная часть номинальной нагрузки;

X_b - индуктивная часть номинальной нагрузки.

3.4.210 **Поток насыщения** (Saturation flux) Ψ_{sat}: Максимальное значение связанного потока вторичной обмотки в трансформаторе тока, которое соответствует магнитному насыщению материала сердечника.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Самая подходящая процедура по определению потока насыщения Ψ_{sat} дана в рамках метода насыщения с постоянным током, описанного в 2B.2.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В прежнем стандарте IEC 60044-6, Ψ_s был определён как значение точки загиба, которая характеризовала переход от ненасыщенного к полностью насыщенному состоянию сердечника. Данное определение не принято, так как степень насыщения была слишком низкая, что приводило к недоразумениям и противоречиям, в связи с чем заменён на Ψ_{sat}, который определяет условие полного насыщения.

3.4.211 **Остаточный поток** (Remanent flux) Ψ_r: Значение связанного потока вторичной обмотки, который остался бы в сердечнике через 3 минуты после прерывания тока намагничивания величины, достаточной для того, чтобы вызывать поток насыщения (Ψ_{sat}).

3.4.212 **Коэффициент прямоугольности** (Remanence factor) K_R: Отношение остаточного магнитного потока к потоку насыщения, выраженное в процентах.

3.4.213 **Постоянная времени вторичной петли** (Secondary loop time constant) T_s:Значение постоянной времени вторичной петли трансформатора тока, полученное из суммы индуктивности намагничивания и рассеяния (L_s) и сопротивления вторичной петли (R_s)

$$T_S = L_S / R_S$$

3.4.214 **Характеристика возбуждения** (Excitation characteristic): Графическое или табличное представление соотношения между среднеквадратическим значением тока возбуждения и синусоидальным напряжением, приложенным к клеммам вторичной обмотки трансформатора тока, с разомкнутыми первичной и другими обмотками, по диапазону значений, достаточных для того, чтобы определить характеристики от низких уровней возбуждения вплоть до 1.1 умножить на точку загиба ЭДС.

3.4.215 **Напряжение точки загиба** (Knee point voltage): Среднеквадратическое значение синусоидального напряжения при номинальной частоте, приложенного к клеммам вторичной обмотки трансформатора, с разомкнутыми всеми остальными клеммами, которое, будучи увеличено на 10 %, вызывает увеличение среднеквадратического значения тока возбуждения на 50 %.

(Источник: IEC 60050-321:1986, 321-02-34)

3.4.216 **ЭДС точки загиба** (Knee point e.m.f.): ЭДС трансформатора тока при номинальной частоте, которая, будучи увеличена на 10 %, приводит к увеличению среднеквадратического значения тока возбуждения на 50 %.

ПРИМЕЧАНИЕ В то время как напряжение точки загиба может быть приложено к клеммам вторичной обмотки трансформатора тока, ЭДС точки загиба не является непосредственно доступной. Значения напряжения и ЭДС точки загиба считаются равными из-за незначительного влияния падения напряжения на сопротивлении вторичной обмотки.

3.4.217 **Номинальная ЭДС точки загиба** (Rated knee point e.m.f.) E_k: Нижний предел ЭДС точки загиба.

ПРИМЕЧАНИЕ Номинальная ЭДС точки загиба появляется в спецификациях защитных трансформаторов тока класса PX и PXR. Её можно вычислить следующим образом:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{Sr}$$

3.4.218 **Номинальный коэффициент трансформации по соотношению витков** (Rated turns ratio): Заданное отношение числа витков основного контура к числу витков вторичного контура.

ПРИМЕР 1 1/600 (означает 1 виток основного контура к 600 виткам вторичного контура).

ПРИМЕР 2 2/1200 (означает 2 витка основного контура к 1200 виткам вторичного контура).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Номинальный коэффициент трансформации по соотношению витков появляется в спецификациях на защитные трансформаторы тока класса PX и PXR.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Номинальный коэффициент трансформации по соотношению витков, и номинальный коэффициент трансформации определены как отношения первичных объектов к вторичным. Если их необходимо сравнить, то значение номинального коэффициента трансформации необходимо инвертировать.

3.4.219 **Погрешность коэффициента трансформации** (Turns ratio error): Разность между фактическим коэффициентом трансформации по соотношению витков и номинальным коэффициентом трансформации по соотношению витков, выраженная как процент номинального коэффициента трансформации по соотношению витков.

3.4.220 **Размерный коэффициент** (Dimensioning factor) K_x: Коэффициент для указания множителя номинального тока вторичной обмотки (I_{sr}), возникающего в условиях сбоя в системе питания, включая запасы прочности, вплоть до которых от трансформатора требуется соответствовать эксплуатационным требованиям.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Формулу в 3.4.217.

3.4.221 **Мгновенный разностный ток** (Instantaneous error current): Разность между мгновенными значениями тока вторичной обмотки умноженная на номинальный коэффициент трансформации (k_r) и ток первичной обмотки (i_p):

$$i_\varepsilon = k_r \times i_S - i_p$$

ПРИМЕЧАНИЕ Когда и компоненты переменного тока (i_{sac}, i_{pac}), и компоненты постоянного тока (i_{sdc}, i_{pdc}) присутствуют, составляющие компоненты ($i_{\varepsilon ac}$, $i_{\varepsilon dc}$) отдельно определяются следующим образом:

$$i_\varepsilon = i_{\varepsilon ac} + i_{\varepsilon dc} = (k_r \times i_{sac} - i_{pac}) + (k_r \times i_{sdc} - i_{pdc})$$

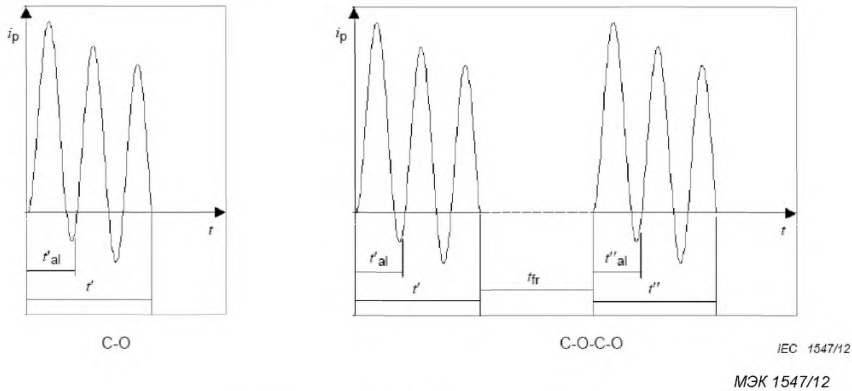
3.4.222 **Амплитудное значение мгновенной погрешности** (Peak instantaneous error) $\hat{\varepsilon}$**:** Амплитудное значение ($\hat{i}_\varepsilon$) мгновенного тока ошибки (см. 3.4.221) для заданного рабочего цикла, выраженное как процент амплитудного значения номинального тока короткого замыкания первичной обмотки:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{\hat{i}_\varepsilon}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100\ \%$$

3.4.223 **Амплитудное значение переменной составляющей погрешности** (Peak alternating error component) $\hat{\varepsilon}_{ac}$: Амплитудное значение $\hat{i}_{\varepsilon ac}$ переменной составляющей мгновенного тока ошибки, выраженное как процент амплитудного значения номинального тока короткого замыкания первичной обмотки:

$$\hat{\varepsilon}_{ac} = \frac{\hat{i}_{sac}}{\sqrt{2} \times I_{psc}} \times 100\ \%$$

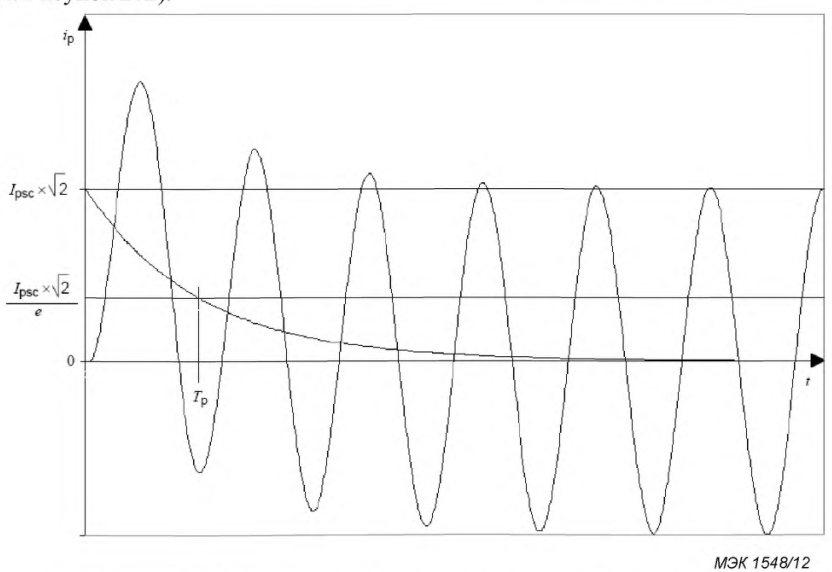
3.4.224 **Заданный рабочий цикл (C-O и/или C-O-C-O)** (Specified duty cycle (C-O and / or C-O-C-O)): Рабочий цикл, при котором во время каждой заданной подачи питания ток короткого замыкания первичной обмотки, как предполагается, имеет наиболее неблагоприятный начальный угол (см. Рисунок 201).



МЭК 1547/12

1 Рисунок 201 - Рабочие циклы

3.4.225 **Заданная постоянная времени первичного контура** (Specified primary time constant) T_P: Заданное значение постойной времени постоянной составляющей тока короткого замыкания первичной обмотки, на котором основаны переходные рабочие характеристики трансформатора тока (см. Рисунок 202).



МЭК 1548/12

2 Рисунок 202 - Постоянная времени первичного контура T_P

3.4.226 **Продолжительность первого короткого замыкания** (Duration of the first fault) t': Продолжительность короткого замыкания в рабочем цикле С-О, или первого короткого замыкания в рабочем цикле С-О-С-О.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Рисунок 201.

3.4.227 **Продолжительность второго короткого замыкания** (Duration of the second fault) t'': Продолжительность второго короткого замыкания в рабочем цикле С-О-С-О.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Рисунок 201.

3.4.228 **Заданное время до предельной точности в первом коротком замыкании** (Specified time to accuracy limit in the first fault) t'_{al}\: Период в рабочем цикле С-О, или при первой подаче питания рабочего цикла С-О-С-О, в течение которого должна поддерживаться заданная точность.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Рисунок 201. Данный временной интервал определяется критическим временем измерения связанной схемы защиты.

3.4.229 **Заданное время до предельной точности во втором коротком замыкании** (Specified time to accuracy limit in the second fault) t''_{al}: Период при второй подаче питания рабочего цикла С-О-С-О, в течение которого должна поддерживаться заданная точность.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Рисунок 201. Данный временной интервал определяется критическим временем измерения связанной схемы защиты.

3.4.230 **Время повторения короткого замыкания** (Fault repetition time) t_{fr}: Временной интервал между прерыванием и повторным приложением тока короткого замыкания первичной обмотки во время рабочего цикла автоматического повторного выключения автоматического выключателя в случае неуспешного устранения неисправности.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Рисунок 201.

3.4.231 **Сопротивление вторичной петли** (Secondary loop resistance) R_s: Полное сопротивление вторичного контура

$$R_s = R_b + R_{ct}$$

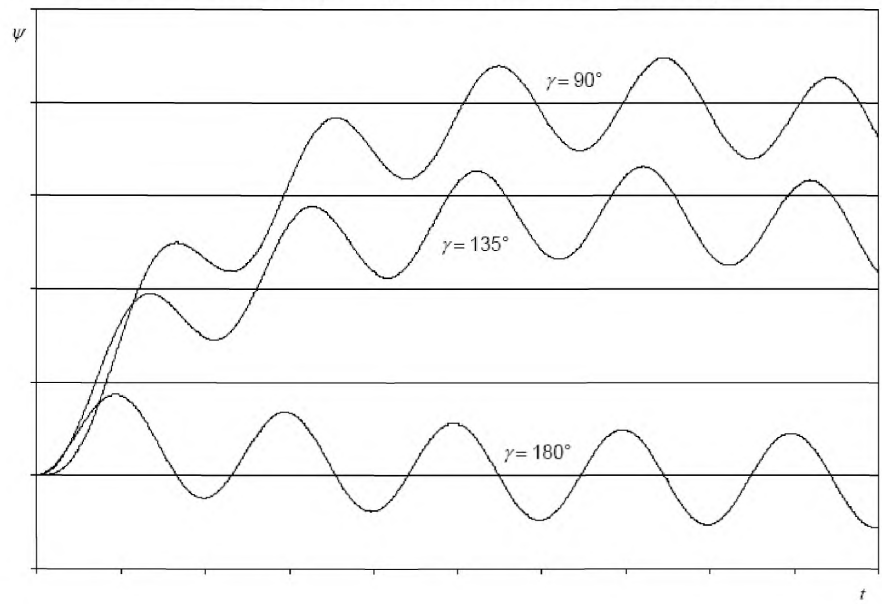
3.4.232 **Номинальный симметричный коэффициент тока короткого замыкания** (Rated symmetrical short-circuit current factor) K_{ssc}: Отношение номинального тока короткого замыкания первичной обмотки к номинальному току первичной обмотки

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pr}}$$

3.4.233 **Переходный коэффициент** (Transient factor) *K*tf**:** Отношение связанного потока вторичной обмотки в заданный момент времени в рабочем цикле к амплитудному значению его постоянной составляющей.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 K_{tf} вычисляется аналитически при помощи различных формул в зависимости от T_P, T_S, рабочего цикла и угла в момент возникновения короткого замыкания. Определение K_{tf} дано в Приложении 2B.1.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 На Рисунке 203 показаны возможные траектории вторичного связанного потока для различных углов γ в момент возникновения короткого замыкания.



МЭК 1549/12

3 Рисунок 203 - Связанный поток вторичной обмотки для различных углов γ в момент возникновения короткого замыкания

3.4.234 **Переходный размерный коэффициент** (Transient dimensioning factor) K_{td}: Размерный коэффициент для учёта увеличения вторичного связанного тока из-за постоянной составляющей тока короткого замыкания первичной обмотки.

ПРИМЕЧАНИЕ В то время как коэффициент K_{tf} определен как функция времени, K_{td} является дефинитивным размерным параметром, K_{td} получается из требований к трансформатору тока, заданных производителем реле (полученных по испытаниям типа стабильности реле) или из рассмотрений наихудших условий, основанных на кривых K_{tf} (см. 2B.1).

3.4.235 **Трансформатор тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния** (Low-leakage reactance current transformer): Трансформатор тока, для которого измерения, сделанные на клеммах вторичной обмотки (при разомкнутых клеммах первичной обмотки), достаточны для оценки его защитных характеристик до необходимого предела точности.

3.4.236 **Трансформатор тока с высоким реактивным сопротивлением рассеяния** (High-leakage reactance current transformer): Трансформатор тока, который не удовлетворяет требованиям определения 3.4.235, и для которого производитель сделал дополнительное припуски, чтобы учесть влияющие на эффекты, которые приводят к дополнительному току рассеяния.

3.4.237 **Номинальная эквивалентная предельная ЭДС вторичного контура** (Rated equivalent limiting secondary e.m.f.) E_{al}: То среднеквадратическое значение эквивалентной ЭДС вторичного контура при номинальной частоте, которое необходимо, чтобы выполнить требования заданного рабочего цикла:

$$E_{al} = K_{ssc} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

3.4.238 **Амплитудное значение тока возбуждения вторичной обмотки при E_{al}** (Peak value of the exciting secondary current at E_{al}) $\hat{I}_{al}$: Амплитудное значение тока возбуждения, когда напряжение, соответствующее E_{al}, приложено к клеммам вторичной обмотки, в то время как первичная обмотка разомкнута.

3.4.239 **Коэффициент конструкции** (Factor of construction) F_c: Коэффициент, отражающий возможные разности в измеренных результатах при предельных условиях между методами прямых испытаний и косвенных испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ Процедура измерения согласно 2B.3.3.

Индекс сокращений

Пункт 3.7 IEC 61869-1 заменен следующей таблицей.

AIS	- распределительное устройство с воздушной изоляцией
ALF	- предельная кратность по точности
CT	- трансформатор тока
CVT	- емкостный трансформатор напряжения
E_{al}	- номинальная эквивалентная предельная ЭДС вторичного контура
E_{ALF}	- предельная ЭДС вторичной обмотки для защитных трансформаторов тока класса P и PR

Таблица *(продолжение)*

E_{FS}	- предельная ЭДС вторичной обмотки для измерительных трансформаторов тока
E_k	- номинальная ЭДС точки загиба
F	- механическая нагрузка
F_C	- коэффициент конструкции
f_R	- номинальная частота
F_{rel}	- относительная скорость утечки
FS	- коэффициент безопасности прибора
GIS	- распределительное устройство с газовой изоляцией
$\hat{I}_{al}$	- амплитудное значение тока возбуждения вторичной обмотки при E_{al}
I_{cth}	- номинальный непрерывный тепловой ток
I_{dyn}	- номинальный рабочий ток
I_e	- ток возбуждения
I_{PL}	- номинальный предельный ток первичной обмотки прибора
I_{pr}	- номинальный ток первичной обмотки
I_{psc}	- номинальный ток короткого замыкания первичной обмотки
I_{sr}	- номинальный ток вторичной обмотки
IT	- измерительный трансформатор
I_{th}	- номинальный ток термической стойкости
i_ε	- мгновенный разностный ток
k	- фактический коэффициент трансформации
k_r	- номинальный коэффициент трансформации
K_R	- коэффициент прямоугольности
K_{ssc}	- номинальный симметричный коэффициент тока короткого замыкания
K_{td}	- переходный размерный коэффициент
K_{tf}	- переходный коэффициент
K_x	- размерный коэффициент
L_m	- индуктивность намагничивания
R_b	- номинальная резистивная нагрузка

Таблица *(продолжение)*

R_{ct}	- сопротивление вторичной обмотки
R_s	- сопротивление вторичной петли
S_r	- номинальная мощность
t'	- продолжительность первого короткого замыкания
t''	- продолжительность второго короткого замыкания
t'_{al}	- заданное время до предельной точности в первом коротком замыкании
t''_{al}	- заданное время до предельной точности во втором коротком замыкании
t_{fr}	- время повторения короткого замыкания
T_p	- заданная постоянная времени первичного контура
T_s	- постоянная времени вторичной петли
U_m	- самое высокое напряжение для оборудования
U_{sys}	- самое высокое напряжение для системы
VT	- трансформатор напряжения
$\Delta\varphi$	- смещение фазы
ε	- погрешность коэффициента трансформации
ε_C	- полная погрешность
$\hat{\varepsilon}$	- амплитудное значение мгновенной погрешности
$\hat{\varepsilon}_{ac}$	- амплитудное значение переменной составляющей погрешности
ψ_r	- остаточный поток
ψ_{sat}	- поток насыщения

4 Номинальные значения

4.3 Номинальные уровни изоляции

4.3.2 Номинальный уровень изоляции клемм первичной обмотки

4.3.2 В соответствии с IEC 61869-1 с учетом следующего:

Для трансформатора тока без первичной обмотки и без собственной изоляции первичной обмотки, принимается значение U_m = 0,72 кВ.

4.3.5 Требования к изоляции для клемм вторичной обмотки

4.3.5 В соответствии с IEC 61869-1 с учетом следующего:

Изоляция вторичной обмотки трансформаторов тока класса PX и класс PXR, имеющая номинальную ЭДС точки загиба $E_k \geq 2$ кВ, должна быть

способна устоять при выдерживаемом напряжении номинальной частоты сети со среднеквадратическим значением 5 кВ в течение 60 с.

4.3.201 Требования к межвитковой изоляции

Номинальные выдерживаемое напряжение для межвитковой изоляции должно быть 4,5 кВ амплитудного значения.

Для трансформаторов тока класса PX и класс PXR, имеющих номинальную ЭДС точки загиба больше 450 В, номинальные выдерживаемое напряжение для межвитковой изоляции должно быть амплитудным напряжением 10-кратного среднеквадратического значения ЭДС заданной точки загиба или 10 кВ амплитудного значения, смотря по тому, что меньше.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Процедура испытания может сильно исказить форму волны.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Процедура испытания 7.3.204 может дать более низкие значения напряжения.

4.5 Номинальная мощность

4.5.201 Номинальные значения мощности

Стандартные значения номинальной мощности для измерительных классов, класса P и класса PR:

2,5 - 5,0 - 10 - 15 и 30 ВА.

Для удовлетворения целей приложения можно выбрать значения выше 30 ВА.

ПРИМЕЧАНИЕ Для данного трансформатора, если одно из значений номинальной мощности является стандартным и связанным со стандартным классом точности, заявление других номинальных мощностей, которые могут быть нестандартными значениями, но связанными с другими стандартными классами точности, не исключается.

4.5.202 Номинальные значения резистивной нагрузки

Стандартные значения для номинальной резистивной нагрузки в Ом для трансформаторов тока класса TPX, TPY и TPZ:

0,5 - 1 - 2 - 5 Ом

Предпочтительные значения подчеркнуты. Значения основаны на номинальном вторичном токе 1 А. Для трансформаторов тока, имеющих номинальный ток вторичной обмотки, отличающийся от 1 А, вышеуказанные значения необходимо скорректировать обратно пропорционально квадрату тока.

ПРИМЕЧАНИЕ Для данного трансформатора, если одно из значений номинальной мощности является стандартным и связанным со стандартным классом точности, заявление других номинальных мощностей, которые могут быть нестандартными значениями, но связанными с другими стандартными классами точности, не исключается.

4.6 Номинальный класс точности

4.6.201 Измерительные трансформаторы тока

4.6.201.1 Обозначение класса точности для измерительных трансформаторов тока

Для измерительных трансформаторов тока, класс точности определяется наивысшим допустимым процентом погрешности коэффициента трансформации (ε) при номинальном токе первичного контура и номинальной мощности.

4.6.201.2 Стандартные классы точности

Стандартные классы точности для измерительных трансформаторов тока таковы:

0,1 - 0,2 - 0,2S - 0,5 - 0,5S - 1 - 3 – 5 классы точности

4.6.201.3 Пределы погрешности коэффициента трансформации (ε) и смещения фазы для измерительных трансформаторов тока

Для классов 0,1 - 0,2 - 0,5 и 1, погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы при номинальной частоте не должны превышать значения, указанные в Таблице 201, где нагрузка может принимать любое значение от 25 % до 100 % номинальной мощности.

Для классов 0,2S и 0,5S погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы при номинальной частоте не должны превышать значения, указанные в Таблице 202, где нагрузка может принимать любое значение от 25 % и 100 % номинальной мощности.

Для класса 3 и класса 5, погрешность коэффициента трансформации при номинальной частоте не должна превышать значения, указанные в Таблице 203, где нагрузка может принимать любое значение от 50 % до 100 % номинальной мощности. Нет никаких заданных пределов смещения фазы для класса 3 и класса 5.

Для всех классов, нагрузка должна иметь коэффициент мощности 0,8 отстающего, за исключением случая, когда нагрузка меньше 5 ВА – тогда должен использоваться коэффициент мощности 1,0, с минимальным значением 1 ВА.

ПРИМЕЧАНИЕ Предписанные пределы погрешности коэффициента трансформации и смещения фазы действительны для любого данного положения внешнего проводника, расположенного на некотором расстоянии в воздухе не меньше расстояния, требуемого для изоляции в воздухе при самом высоком напряжении для оборудования (U_m).

Таблица 201 - Пределы погрешности коэффициента трансформации и смещения фазы для измерительных трансформаторов тока (классы с 0,1 по 1)

Класс точности	Погрешность коэффициента трансформации ± %				Смещение фазы							
					± Минуты				± Сантирадианы			
	при токе (% номинального)				при токе (% номинального)				при токе (% номинального)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Таблица 202 - Пределы погрешности коэффициента трансформации и смещения фазы для измерительных трансформаторов тока (классы 0,2S и 0,5S)

Класс точности	Погрешность коэффициента трансформации ± %					Смещение фазы									
						± Минуты					± Сантирадианы				
	при токе (% номинального)					при токе (% номинального)					при токе (% номинального)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Таблица 203 - Пределы погрешности коэффициента трансформации для измерительных трансформаторов тока (классы 3 и 5)

Класс	Погрешность коэффициента трансформации ± %	
	при токе (% номинального)	
	50	10
3	3	3
5	5	5

4.6.201.4 Расширенный диапазон нагрузки

Для всех измерительных классов может быть определен расширенный диапазон нагрузки. Погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы не должны превышать пределы соответствующего класса, данного в Таблице 201, Таблице 202 и Таблице 203 для диапазона нагрузки вторичной обмотки от 1 ВА до номинальной мощности. Коэффициент мощности должен быть 1,0 по полному диапазону нагрузки. Максимальная номинальная мощность ограничена 15 ВА.

4.6.201.5 Увеличенные номинальные токи

Трансформаторы тока классов точности от 0.1 до 1 могут быть маркированы как имеющие увеличенный номинальный ток, при условии, что они соответствуют следующим двум требованиям:

a) номинальный непрерывный тепловой ток должен быть номинальным увеличенным током первичной обмотки;

b) пределы погрешности коэффициента трансформации и смещения фазы, предписанные для 120 % номинального тока первичной обмотки в Таблице 201, должны быть сохранены вплоть до номинального увеличенного тока первичной обмотки.

Номинальный расширенный ток первичной обмотки должен быть выражен как процент номинального тока первичной обмотки.

4.6.201.6 Коэффициент безопасности прибора

Можно задать коэффициент безопасности прибора.

Стандартные значения таковы: FS 5 и FS 10

4.6.202 Защитные трансформаторы тока

4.6.202.1 Общие положения

Обозначены три разных подхода к определению защитных трансформаторов тока (см. Таблицу 204). На практике, каждое из этих трех определений может дать одну и ту же физическую реализацию.

Таблица 204 - Характеристика защитных классов

Обозначение	Предел для остаточного потока	Объяснение
P PR	нет [a)] да	Определение трансформатора тока так, чтобы он соответствовал требованиям к полной погрешности тока короткого замыкания в симметричном стационарном состоянии
PX PXR	нет [a), b)] да [b)]	Определение трансформатора тока посредством задания его характеристик намагничивания
TPX TPY TPZ	нет [a)] да да	Определение трансформатора тока так, чтобы он соответствовал требованиям к погрешности, обусловленной переходными процессами, в условиях асимметричного тока короткого замыкания

a) Хотя нет никакого предела остаточного потока, воздушные зазоры разрешены, например, в трансформаторах тока с разъёмным сердечником.

b) Для того, чтобы различать PX и PXR, используются критерии остаточного потока.

4.6.202.2 Защитные трансформаторы тока класса P

4.6.202.2.1 Стандартные коэффициенты предела кратности по точности (*ALF*)

Стандартные значения *ALF*:

5 - 10 - 15 - 20 - 30

4.6.202.2.2 Обозначение класса точности

Класс точности обозначается, используя самый высокий допустимый процент полной погрешности, за которым следует буква «P» (означающая «защита») и значение *ALF*.

4.6.202.2.3 Стандартные классы точности

Стандартные классы точности для защитных трансформаторов тока:

5P и 10P

4.6.202.2.4 Пределы погрешности для защитных трансформаторов тока класса P

При номинальной частоте и с присоединённой номинальной нагрузкой, погрешность коэффициента трансформации, смещение фазы и полная погрешность не должны превышать пределы, указанные в Таблице 205.

Номинальная нагрузка должна иметь коэффициент мощности 0,8 индуктивного за исключением того, что когда номинальная мощность меньше 5 ВА, необходимо использовать коэффициент мощности 1,0.

Таблица 205 - Пределы погрешности для защитных трансформаторов тока класса P и PR

Класс точности	Погрешность коэффициента трансформации при номинальном токе первичной обмотки ± %	Смещение фазы при номинальном токе первичной обмотки		Полная погрешность при номинальном токе первичной обмотки предельной точности %
		± Минуты	± Сантирадианы	
5P и 5PR	1	60	1,8	5
10P и 10PR	3	-	-	10

4.6.202.3 Защитные трансформаторы тока класса PR

4.6.202.3.1 Стандартные коэффициенты предела точности (*ALF*)

Стандарт значения *ALF*:

5 - 10 - 15 - 20 - 30

4.6.202.3.2 Обозначение класса точности

Класс точности обозначается самым высоким допустимым процентом полной погрешности, за которым следуют буквы «PR» (обозначающие низкую остаточную магнитную индукцию защиты) и значение *ALF*.

4.6.202.3.3 Стандартные классы точности

Стандартные классы точности для защитных трансформаторов тока с низкой остаточной магнитной индукцией:

5PR и 10PR

4.6.202.3.4 Пределы погрешности для защитных трансформаторов тока класса PR

При номинальной частоте и с присоединённой номинальной нагрузкой, погрешность коэффициента трансформации, смещение фазы и полная погрешность не должны превышать пределы, указанные в Таблице 205.

Номинальная нагрузка должна иметь коэффициент мощности 0,8 индуктивного за исключением того, что когда номинальная мощность меньше 5 ВА, необходимо использовать коэффициент мощности 1,0.

4.6.202.3.5 Коэффициент прямоугольности (K_R)

Коэффициент прямоугольности (K_R) не должен превышать 10 %.

ПРИМЕЧАНИЕ Вставка одного или нескольких воздушных зазоров в сердечник – метод ограничения коэффициента прямоугольности.

4.6.202.3.6 Постоянная времени вторичной петли (T_s)

Можно задать постоянную времени вторичной петли.

4.6.202.3.7 Вторичной обмотки сопротивление (R_{ct})

Можно задать верхний предел сопротивления вторичной обмотки.

4.6.202.4 Защитные трансформаторы тока класса PX и класса PXR

Рабочие характеристики защитных трансформаторов тока класса PX должно быть заданы в терминах следующих величин:

- номинальный ток первичной обмотки (I_{pr});
- номинальный ток вторичной обмотки (I_{sr});
- номинальный коэффициент трансформации по соотношению витков;
- номинальная ЭДС точки загиба (E_k);
- верхний предел тока возбуждения (I_e) при номинальной ЭДС точки загиба и/или на установленный процент данный величины;
- верхний предел сопротивления вторичной обмотки (R_{ct}).

Вместо того, чтобы задавать номинальную ЭДС точки загиба (E_k), E_k можно вычислить следующим образом:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

В данном случае необходимо задать номинальную резистивную нагрузку (R_b) и размерный коэффициент (K_x), а выбор R_{ct} остаётся за изготовителем.

Для класса PX погрешность коэффициента трансформации не должна превышать ± 0,25 %.

Для класса PXR погрешность коэффициента трансформации не должна превышать ± 1 %.

Для класса PXR коэффициент прямоугольности не должен превышать 10 %.

ПРИМЕЧАНИЕ 201 Для того чтобы гарантировать коэффициент прямоугольности < = 10 %, трансформаторы тока класса PXR могут включать воздушные зазоры.

ПРИМЕЧАНИЕ 202 Для больших сердечников класса PXR с маленькими ампер-витками, может быть трудно выполнить требование к коэффициенту прямоугольности. В таких случаях можно согласовать коэффициент прямоугольности больше, чем 10 %.

4.6.202.5 Защитные трансформаторы тока для переходных характеристик

4.6.202.5.1 Пределы погрешности для трансформаторов тока TPX, TPY и TPZ

Когда номинальная резистивная нагрузка присоединена к трансформатору тока, погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы при номинальной частоте не должны превышать пределы погрешности, указанные в Таблице 206.

Когда заданный рабочий цикл (или рабочий цикл, соответствующий заданному переходному размерному коэффициенту K_{td}), применены к трансформатору тока, соединённому с номинальной резистивной нагрузкой,

погрешности, связанные с переходными процессами, $\hat{\varepsilon}$ (для TPX и TPY) или $\hat{\varepsilon}_{ac}$ (для TPZ) не должны превышать пределы, указанные в Таблице 206.

Все пределы погрешности основаны на температуре вторичной обмотки 75°C.

Таблица 206 - Пределы погрешности для трансформаторов тока TPX, TPY и TPZ

Класс	При номинальном токе первичного контура			Пределы погрешности, обусловленной переходными процессами, при заданных условиях рабочего цикла
	Погрешность коэффициента трансформации ± %	Смещение фазы		
		±Минуты	±Сантирадианы	
TPX	0,5	±30	±0,9	$\hat{\varepsilon}$ =10 %
TPY	1,0	±60	±1,8	$\hat{\varepsilon}$ =10 %
TPZ	1,0	180±18	5,3±0,6	$\hat{\varepsilon}_{ac}$ =10 %

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В некоторых случаях, абсолютная величина смещения фазы может быть менее важна, чем достижение минимального отклонения от среднего значения данной производственной серии.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для сердечников TPY, можно использовать следующую формулу при условии, что соответствующее значение E_{al} не превышает линейную часть кривой намагничивания:

$$\hat{\varepsilon} = \frac{K_{td}}{2\pi \int_R \times T_s} \times 100\ \%$$

4.6.202.5.2 Пределы для коэффициента прямоугольности (K_R)

TPX: нет предела

TPY: $K_R \leq 10$ %

TPZ: $K_R \leq 10$ %.

ПРИМЕЧАНИЕ Для сердечников TPZ, коэффициент прямоугольности <<10 % задаётся конструкцией, в связи с чем, остаточным магнитным потоком можно пренебречь.

4.6.202.5.3 Методы спецификации

Два метода спецификации показаны в Таблице 207.

В некоторых случаях, выбор одного определенного рабочего цикла не может описать все требования защиты, в связи с чем, альтернативное определение предлагает возможность определить «полные требования», которые охватывают требования различных рабочих циклов. Спецификации

нельзя смешивать; в противном случае трансформатор тока может оказаться переопределен.

Таблица 207 - Методы спецификации для трансформаторов тока TPX, TPY и TPZ

Стандартная спецификация	Альтернативная спецификация
Обозначение класса (TPX, TPY или TPZ)	Обозначение класса (TPX, TPY или TPZ)
Номинальный симметричный коэффициент тока короткого замыкания K_{ssc}	Номинальный симметричный коэффициент тока короткого замыкания K_{ssc}
Рабочий цикл, состоящий из для цикла С-О: $t'al$ для цикла С-О-С-О: t'_{al}, t', t_{fr}, t''_{al}	Номинальное значение переходного размерного коэффициента K_{td} Номинальное значение постойной времени вторичной петли T_S (только для сердечников TPY)
Номинальная постоянная времени первичного контура T_P	
Номинальная резистивная нагрузка R_b	Номинальная резистивная нагрузка R_b

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для трансформаторов тока, вторичные обмотки которых имеют отводы, данные требования к точности могут быть выполнены только для одного коэффициента.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для трансформаторов тока с переключением первичной обмотки, требования точности могут быть выполнены для разных коэффициентов. В данном случае следует обратить внимание на коэффициент конструкции F_c, на который может влиять конфигурация проводников первичной обмотки.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В альтернативной спецификации, K_{td} обычно задает поставщик защитных устройств. Значение T_S также должно быть задано, потому что это единственный параметр трансформатора тока, который используется в вычислении K_{td}.

4.6.203 Назначения класса на трансформаторы тока с выбираемым коэффициентом

4.6.203.1 Характеристики точности для трансформаторов тока с переключением первичной обмотки

Для всех классов точности, требования к точности относятся ко всем заданным переключениям.

4.6.203.2 Характеристики точности для трансформаторов тока с вторичными обмотками с отводами

Для всех классов точности, требования точности относятся к самому высокому коэффициенту трансформации, если не определено иное.

По требованию покупателя, изготовитель должен предоставить информацию о характеристиках точности при более низких коэффициентах.

4.201 Стандартные значения для номинального тока первичной обмотки

Стандартные значения для номинального тока первичной обмотки:

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 А,

и их десятичные кратные или доли. Предпочтительными являются подчеркнутые значения.

4.202 Стандартные значения для номинального тока вторичной обмотки

Стандартные значения для номинального тока вторичной обмотки - 1 А и 5 А.

Для защитных трансформаторов тока для переходных характеристик, стандартное значение номинального тока вторичной обмотки - 1 А.

4.203 Стандартные значения для номинального непрерывного теплового тока

Стандартное значение для номинального непрерывного теплового тока - номинальный ток первичной обмотки.

Когда задан номинальный непрерывный тепловой ток, превышающий номинальный ток первичной обмотки, предпочтительные значения - 120 %, 150 % и 200 % номинального тока первичной обмотки.

4.204 Номинальные значения кратковременного тока

4.204.1 Номинальный ток термической стойкости (I_{th})

Трансформатору должен быть назначен номинальный ток термической стойкости (I_{th}).

Стандартное значение для продолжительности номинального кратковременного теплового тока - 1 с.

4.204.2 Номинальный рабочий ток (I_{dyn})

Стандартное значение номинального динамического тока (I_{dyn}) - 2,5 умножить на номинальный кратковременный тепловой ток (I_{th}).

5 Проектирование и сооружение

5.4 Требования для повышения температуры деталей и компонентов

5.4.1 Общие требования

Настоящий раздел применим со следующим дополнением:

Повышение температуры в трансформаторе тока при пропускании тока первичной обмотки, равного номинальному непрерывному тепловому току, с нагрузкой, коэффициент мощности которой равен единице и которая соответствует соответствующей номинальной мощности, не должно превышать соответствующего значения, указанного Таблице 5 IEC 61869-1. Данные значения основаны на условиях эксплуатации, приведённых в Разделе 4.

5.13 Маркировка

5.13.201 Маркировка клемм

5.13.201.1 Общие правила

Маркировки клемм должны идентифицировать следующее:

a) первичная и вторичная обмотки;

b) секции обмотки, при наличии;

c) относительные полярности обмоток и секций обмоток;

d) промежуточные отводы, при наличии.

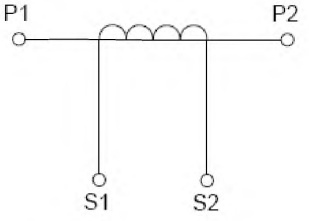
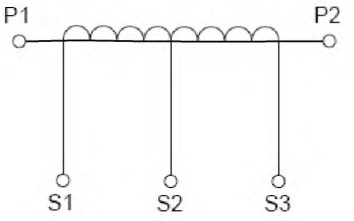
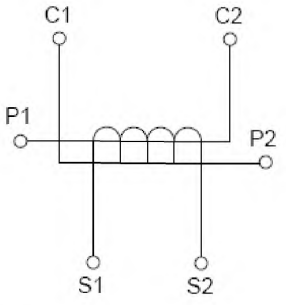
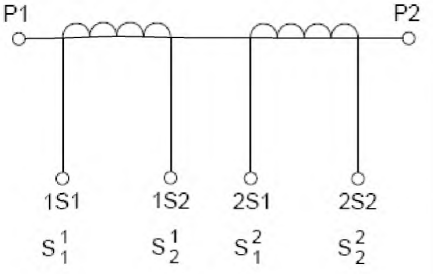
5.13.201.2 Метод маркировки

Маркировка должна состоять из букв, за которыми или перед которыми, где необходимо, идут числа. Буквы должны быть печатными.

5.13.201.3 Маркировки, которые необходимо использовать

Маркировки клемм трансформаторов тока должны быть такими, как указано в Таблице 208.

Таблица 208 - Маркировка клемм

Клеммы первичной обмотки Клеммы вторичной обмотки	 Трансформатор с одним коэффициентом	 Трансформатор с промежуточными отводами на вторичной обмотке
Клеммы первичной обмотки Клеммы вторичной обмотки	 Трансформатор с первичной обмоткой в 2 секции, предназначенные для соединения либо последовательно, либо параллельно	 Трансформатор с 2 вторичными обмотками; каждая имеет свой собственный магнитный сердечник (два альтернативные маркировки для вторичных клемм)

5.13.201.4 Обозначение относительных полярностей

Все клеммы, маркированные P1, S1 и C1, должны иметь одну и ту же полярность в один и тот же момент.

5.13.202 Маркировка таблички с техническими данными

5.13.202.1 Общие положения

В дополнение к тем маркировкам, которые определены в IEC 61869-1, Раздел 6.13, все трансформаторы тока должны иметь маркировку таблички с техническими данными общего вида, как определено в данном разделе. Маркировки, связанные с конкретными классами точности, даны в 6.13.202.2 - 6.13.202.6.

a) номинальный ток первичной и вторичной обмотки (например, 100/1 A);

b) номинальный ток термической стойкости (I_{th}), (например, I_{th} = 40 kA);

c) номинальный рабочий ток (I_{dyn}), если он отличается от 2,5 × I_{th}, (например, I_{dyn} = 85 кА);

d) на трансформаторах тока с двумя или больше вторичными обмотки, использование каждой обмотки и её соответствующих клемм;

e) номинальный непрерывный тепловой ток, если он отличается от номинального тока первичной обмотки.

ПРИМЕР 1

Для трансформатора тока с одним сердечником с ответвлениями вторичной обмотки: I_{cth} = 150 % (значение 150 % номинального тока первичной обмотки для каждого ответвления)

ПРИМЕР 2

Для трансформаторов тока с несколькими сердечниками, имеющими разные коэффициенты (например, 300/5 A и 4000/1 A): I_{cth} = 450 A (значение 450 A как максимальный непрерывный тепловой ток через все сердечники трансформатора тока)

ПРИМЕР 3

Для трансформаторов тока с переключением первичной обмотки (4x300/1 A): I_{cth} = 4×450 A(значение непрерывного теплового тока 450, 900 или 1800, в зависимости от переключения первичной обмотки)

Трансформатор тока, удовлетворяющий требованиям нескольких комбинаций мощности и класса точности, может быть маркирован в соответствии с ними всеми.

ПРИМЕР 4 5 VA cl. 0,5; 10 VA cl. 5P20

ПРИМЕР 5 15 VA cl. 1; 7 VA cl. 0,5

ПРИМЕР 6 5 VA cl.1 & 5P20

5.13.202.2 Специальная маркировка таблички с техническими данными измерительного трансформатора тока

Класс точности и коэффициент безопасности прибора (при наличии) должны быть указаны вслед за указанием соответствующей номинальной мощности.

ПРИМЕР 1 15 VA cl. 0,5

ПРИМЕР 2 15 VA cl. 0,5 FS 10

На трансформаторах тока, имеющих увеличенный номинальный ток (см. 5.6.201.5), данное номинальное значение должно быть указано сразу же после обозначения класса.

ПРИМЕР 3 15 VA cl. 0,5 ext.150 % FS 10

Для трансформаторов тока, имеющих расширенный диапазон нагрузки (см. 5.6.201.4), данное номинальное значение должно непосредственно предшествовать обозначению класса.

ПРИМЕР 4 1-10 VA class 0,2 (означает диапазон нагрузки от 1 до 10 ВА в классе 0,2),

ПРИМЕЧАНИЕ Табличка с техническими данными может содержать информацию по нескольким комбинациям коэффициентов, нагрузок и классов точности, которым трансформатор может удовлетворять при одном и том же коэффициенте трансформации. В данном случае можно использовать нестандартные значения нагрузки.

ПРИМЕР 15 VA class 1; 7 VA class 0,5

5.13.202.3 Специальная маркировка таблички с техническими данными защитного трансформатора тока класса P

Номинальная предельная кратность по точности должна быть указана после соответствующей номинальной мощности и класса точности.

ПРИМЕР 30 VA class 5P10

5.13.202.4 Специальная маркировка таблички с техническими данными защитного трансформатора тока класса PR

Номинальная предельная кратность по точности должна быть указана после соответствующей номинальной мощности и класса точности.

ПРИМЕР 1 10 VA class 5PR10

Если определено, то также должны быть указаны следующие параметры:

- постоянная времени вторичной петли (T_s);
- верхний предел сопротивления вторичной обмотки (R_{ct}).

ПРИМЕР 2 10 VA class 5PR10, Ts = 200 ms, Rct <= 2,4 Ω

5.13.202.5 Специальная маркировка таблички с техническими данными защитного трансформатора тока класса PX и PXR

Требования класса могут быть указаны следующим образом:

- номинальный коэффициент трансформации по соотношению витков;
- номинальная ЭДС точки загиба (E_k);
- верхний предел тока возбуждения (I_e) при номинальной ЭДС точки загиба и/или заявленный процент данного значения;
- верхний предел сопротивления вторичной обмотки (R_{ct}).

ПРИМЕР 1 Class PX, Ek = 200 V, Ie <= 0,2A, Rct <= 2,0 Ω.
Если задано, то также должны быть указаны следующие параметры:
- размерный коэффициент (K_x);
- номинальная резистивная нагрузка (R_b).
ПРИМЕР 2 Ek = 200 V, Ie <= 0,2 A, Rct <= 2,0 Ω, Kx = 40, Rb = 3,0 Ω.

5.13.202.6 Специальная маркировка таблички с техническими данными трансформаторов тока для переходных характеристик

Маркировка класса состоит из следующих 2 элементов:

a) Часть определений (обязательная)

Часть определения содержит существенную информацию, которая необходима для определения того, соответствует ли трансформатор тока данным требованиям (состоящим из рабочего цикла и T_p).

ПРИМЕР 1 Применяя K_{SSC} = 20 и K_{td} = 12,5:
Rb = 5 Ом, класс TPX 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом;
Rb = 5 Ом, класс TPY 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом, Ts = 900 миллисекунд;
Rb = 5 Ом, класс TPZ 20x12,5; R_{ct} <= 2,8 Ом.

ПРИМЕЧАНИЕ Для R_{ct} можно указать его максимальное значение в пределах партии.

b) Дополнительная часть (обязательна, только если рабочий цикл задан клиентом)

Дополнительная часть представляет один из многих возможных рабочих циклов, которые приводят к значению K_{td} определённому в a).

ПРИМЕР 2
Цикл 100 мс, T_p = 100 мс означает t'_{al} =100 мс, T_p =100 мс

Цикл (40-100)-300-40 мс, T_p = 100 мс означает t'_{al}=40 мс, t' =100 мс, t_{fr}=300 мса, t''_{al} =40 мс, T_p =100 мс

Цикл (100-100)-300-40 мс, T_p = 75 мс означает t' = t'_{al}=100 мс, t_{fr}=300 мса, t''_{al} =40 мс, T_p = 75 мс.

6 Испытания

6.1 Общие положения

6.1.2 Списки испытаний

Таблица 10 IEC 61869-1 заменена новой Таблицей 10

Таблица 10 - Список испытаний

Испытания	Подпункт
Испытания типа	7.2
Испытание на нагрев	7.2.2
Испытание на выдерживаемое импульсное напряжение на клеммах первичной обмотки	7.2.3
Испытание влажностью для трансформаторов открытого типа	7.2.4
Испытания на электромагнитную совместимость	7.2.5
Испытания на точность	7.2.6
Проверка степени защиты кожухами	7.2.7
Испытание на герметичность кожуха при температуре окружающей среды	7.2.8
Испытание под давлением для кожуха	7.2.9
Испытания кратковременным током	7.2.201
Стандартные испытания	**7.3**
Испытания на выдерживаемое напряжение промышленной частоты на клеммах первичной обмотки	7.3.1
Измерение частичного разряда	7.3.2
Испытания на выдерживаемое напряжение промышленной частоты между секциями	7.3.3
Испытания на выдерживаемое напряжение промышленной частоты на клеммах вторичной обмотки	7.3.4
Испытания на точность	7.3.5
Проверка маркировок	7.3.6
Испытание на герметичность кожуха при температуре окружающей среды	7.3.7
Испытание под давлением для кожуха	7.3.8
Определение сопротивления вторичной обмотки	7.3.201
Определение постоянной времени вторичной петли	7.3.202
Испытание на номинальную ЭДС точки загиба и ток возбуждения при номинальной ЭДС точки загиба	7.3.203
Испытание на межвитковое перенапряжение	7.3.204
Специальные испытания	**7.4**
Испытания на выдерживаемое напряжение срезанного импульса на клеммах первичной обмотки	7.4.1
Испытания на множественный срезанный импульс на клеммах первичной обмотки	7.4.2
Измерение ёмкости и коэффициента диэлектрических потерь	7.4.3
Испытание на переданное перенапряжение	7.4.4
Механические испытания	7.4.5
Испытание до отказа при воздействии внутренней дуги	7.4.6
Испытание на герметичность кожуха при низких и высоких температурах	7.4.7

Таблица 10 *(продолжение)*

Испытания	Подпункт
Испытание на точку росы газа	7.4.8
Испытание на коррозию	7.4.9
Испытание на пожароопасность	7.4.10
Испытания на образцах	**7.5**
Определение коэффициента прямоугольности	7.5.1
Определение коэффициента безопасности прибора (*FS*) измерительных трансформаторов тока	7.5.2

Таблица 11 IEC 61869-1 применима со следующим дополнением:

Для GIS трансформаторов тока, испытания на точность можно выполнить, не изолируя газ.

6.2 Испытания типа

6.2.2 Испытание на нагрев

IEC 61869-1, 7.2.2 применим со следующими дополнениями:

6.2.2.201 Схема испытания

Трансформатор тока должен быть установлен способом, являющимся представительным для способов монтажа при эксплуатации, а вторичная обмотка должна быть нагружена согласно 6.4.1. Поскольку положение трансформатора тока в каждой установке распределительного устройства может отличаться, то устройство схемы испытания остаётся на усмотрение изготовителя.

В случае трансформаторов тока в трёхфазном распределительном устройстве в металлическом кожухе с газовой изоляцией все три фазы должны испытываться вместе.

6.2.2.202 Измерение окружающей температуры

Датчики для измерения окружающей температуру должны быть распределены вокруг трансформатора тока на соответствующем расстоянии в соответствии с номинальными значениями трансформатора тока и приблизительно на половине высоты трансформатора; они должны быть защищены от прямого теплового излучения.

Для того, чтобы минимизировать влияние температуры охлаждающего воздуха, особенно во время последнего периода испытания, для температурных датчиков следует использовать соответствующие средства, такие как теплоотводы с постоянной времени, приблизительно равной постоянной времени трансформатора.

Для испытания необходимо использовать средние показания двух датчиков.

6.2.2.203 Продолжительность испытания

Испытание может быть остановлено, когда выполнены оба следующих условия:

- продолжительность испытания равна трёхкратной тепловой постоянной времени трансформатора тока;
- скорость повышения температуры обмотки (и масла в верхней части бака трансформатора масляных трансформаторов тока) не превышает 1 К в час во время трёх последовательных снятий показаний повышения температуры.

Изготовитель должен оценить тепловую постоянную времени одним из следующих методов:

- перед испытанием, основанным на результатах предыдущих испытаний на подобной конструкции. Тепловая постоянная времени должна быть подтверждена во время испытания на нагрев;
- во время испытания, из кривой (кривых) повышения температуры или кривой (кривых) понижения температуры, записанных в ходе испытания и вычисленных в соответствии с Приложением 2D;
- во время испытания, в точке пересечения между касательной к кривой повышения температуры, проходящей через 0, и максимальным предполагаемым повышением температуры;
- во время испытания, когда время истечёт до 63 % максимального предполагаемого повышения температуры.

6.2.2.204 Температуры и повышения температуры

Цель испытания состоит в том, чтобы определить среднее повышение температуры обмотки и, для масляных трансформаторов, повышение температуры масла в верхней части бака трансформатора, в стабильном состоянии, когда в трансформаторе тока генерируются потери, являющиеся результатом заданных условий эксплуатации.

Средняя температура обмотки должна, когда это целесообразно, быть определена методом изменения сопротивления, но для обмоток очень низкого сопротивления можно использовать термометры, термопары или другие соответствующие температурные датчики.

Термометры или термопары должны измерять повышение температуры деталей, кроме обмоток. Температуру масла в верхней части бака трансформатора необходимо измерить датчиками, приложенными к верху металлической головки, непосредственно соприкасающейся с маслом.

Значения повышения температуры необходимо определить по разности относительно температуры окружающей среды, измеренной согласно 7.2.2.202.

6.2.2.205 Способы испытаний для трансформаторов тока, имеющих U_m <550 кВ

Испытание должно быть выполнено путём приложения номинального непрерывного теплового тока к первичной обмотке.

По соглашению между изготовителем и покупателем, испытательный ток также можно приложить, подавая питание на одну или несколько вторичных обмоток, если напряжения на вторичных клеммах сердечников возбуждения, высоки настолько, как будто они соединены с номинальным нагрузкой, при этом первичная обмотка разомкнута, а находящаяся без питания вторичная обмотка (обмотки) соединена (соединены) с номинальной нагрузкой (нагрузками).

6.2.2.206 Способы испытания для масляных трансформаторов тока, имеющих U_m> 550 кВ

Испытание необходимо выполнить, одновременно приложив к трансформатору тока следующее:

- номинальный непрерывный тепловой ток к первичной обмотке;

Испытательный ток также может быть приложен путём подачи питания на одну вторичную обмотку или на несколько вторичных обмоток, если напряжения на вторичных клеммах сердечников возбуждения высоки настолько, как будто они соединены с номинальным нагрузкой. При этом первичная обмотка разомкнута, а находящаяся без питания вторичная обмотка (обмотки) соединена с номинальной нагрузкой (нагрузками).

- самое высокое напряжение оборудования, делённое на √3 между первичной обмоткой и землей.

Одна клемма каждой вторичной обмотки должна быть соединена с землей.

6.2.3 Испытание на выдерживаемое импульсное напряжение на клеммах первичной обмотки

6.2.3.1 Общие положения

Согласно IEC 61869-1, 7.2.3.1 со следующим дополнением:

Испытательное напряжение необходимо приложить между клеммами первичной обмотки (соединёнными вместе) и землёй. Рама, корпус (при наличии), и сердечник (если он предназначен для заземления) и все клеммы вторичной обмотки (обмоток) должны быть соединены с землей.

В случае трёхфазных трансформаторов тока для подстанций с газовой изоляцией необходимо проверить каждую фазу по одной. Во время испытаний на каждой фазе другие фазы должны быть заземлены.

Критерии приёмки трансформаторов в металлическом кожухе с газовой изоляцией, см. IEC 62271-203, пункт 6.2.4.

6.2.6 Испытания на точность

6.2.6.201 Испытание на погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы измерительных трансформаторов тока

Для того чтобы доказать соответствие пунктам 5.6.201.3, 5.6.201.4 и 5.6.201.5, необходимо выполнить измерения точности при каждом значении тока, указанном в Таблице 201, Таблице 202 и Таблице 203, соответственно, при самом высоком и при самом низком значении заданного диапазона нагрузки.

Трансформаторы, имеющие увеличенный номинальный ток, необходимо испытывать при номинальном расширенном токе первичного контура вместо 120 % номинального тока.

6.2.6.202 Определение коэффициента безопасности прибора (*FS*) измерительных трансформаторов тока

Данное испытание может быть выполнено, используя следующий косвенный метод испытаний:

При разомкнутой первичной обмотке подаётся питание на вторичную обмотку при номинальной частоте посредством практически синусоидального напряжения. Напряжение необходимо увеличивать до тех пор, пока тока возбуждения I_e не достигает значения $I_{sr} \times FS \times 10$ %.

Среднеквадратическое значение полученного предельного напряжения должно быть меньше предельной ЭДС вторичной обмотки E_{FS} (см. 3.4.206).

Напряжение возбуждения необходимо измерять прибором, отклик которого пропорционален среднему значению выпрямленного сигнала, но калиброванный в среднеквадратических значениях. Ток возбуждения необходимо измерить, используя прибор, измеряющий среднеквадратические значения, имеющий минимальный коэффициент амплитуды 3.

Если результат измерения будет сомнительным, то необходимо выполнить дополнительное измерение посредством прямого испытания (см. 2A.5, 2A.6), тогда результат прямого испытания будет эталонным.

ПРИМЕЧАНИЕ Большим преимуществом косвенного испытания является то, что токи высокого напряжения не являются необходимыми (например, 30 000 А при номинальном токе первичного контура 3 000 А и коэффициенте безопасности прибора 10) и также то, что не следует предоставлять никаких нагрузок для 50 А. Эффект обратных проводов первичной обмотки не является физически эффективен во время косвенного испытания. В условиях эксплуатации, эффект может только увеличить сложную ошибку, что является желательным для безопасности прибора, подаваемого измерительным трансформатором тока.

6.2.6.203 Испытание на полную погрешность защитных трансформаторов тока класса P и PR

Согласно следующим двум процедурам испытания:

а) Соответствие пределам полной погрешности, указанным в Таблице 205, должно быть продемонстрировано прямым испытанием, в котором практически синусоидальный ток, равный номинальному току первичной обмотки предельной точности, проходит через первичную обмотку; вторичная обмотка при этом соединена с нагрузкой, величина которой равна номинальной нагрузке, но имеющая, по усмотрению изготовителя, коэффициент мощности между 0,8 индуктивной и единицей (см. 2A.4, 2A.5, 2A.6, 2A.7).

Испытание может быть выполнено на трансформаторе, подобном поставляемому, за исключением того, что можно использовать уменьшенную

изоляцию, при условии сохранения того же самого геометрического распределения.

Когда речь идёт об очень сильных токах первичного контура и трансформаторах тока с одностержневой первичной обмоткой, расстояние обратным проводом первичного контура и трансформатором тока следует учитывать с точки зрения воспроизведения условий эксплуатации.

b) Для трансформаторов тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния согласно Приложению 2C, прямое испытание можно заменить следующим косвенным испытанием.

При разомкнутой первичной обмотке подаётся питание на вторичную обмотку при номинальной частоте посредством практически синусоидального напряжения, имеющего среднеквадратическое значение, равное предельной ЭДС вторичного контура E_{ALF}.

Получающийся ток возбуждения, выраженный как процент $I_{sr} \times ALF$, не должен превышать предел полной погрешности, указанный в Таблице 205.

Напряжение возбуждения необходимо измерять прибором, отклик которого пропорционален среднему значению выпрямленного сигнала, но калиброванный в среднеквадратических значениях. Ток возбуждения необходимо измерить, используя прибор, измеряющий среднеквадратические значения, имеющий минимальный коэффициент амплитуды 3.

При определении полной погрешности косвенным методом нет необходимости учитывать возможную поправку коэффициента трансформации по соотношению витков.

6.2.6.204 Испытание на ошибку при ограничении условий для защитных трансформаторов тока класса TPX, TPY и TPZ

Цель испытания типа состоит в том, чтобы доказать соответствие требованиям при предельных условиях, методы испытаний см. Приложение 2B.

Если трансформатор тока – трансформатор типа с низким реактивным сопротивлением рассеяния согласно Приложению 2C, то можно выполнить косвенное испытание типа согласно 2B.2, в ином случае необходимо выполнить прямое испытание в соответствии с 2B.3.

Испытание можно выполнить на полномасштабной модели активной части узла трансформатора тока, включая весь металлический корпус, но без изоляции.

6.2.6.205 Испытание типа с низким реактивным сопротивлением рассеяния для защитных трансформаторов тока класса PX и PXR

Проверку низкого реактивного сопротивления рассеяния необходимо сделать в соответствии с Приложением 2C.

6.2.6.206 Определение коэффициента прямоугольности защитных трансформаторов тока класса PR, TPY, и PXR

Для того, чтобы доказать соответствие требованиям:

- 5.6.202.3.5 для класса PR;

- 5.6.202.5.2 для класса TPY;
- 5.6.202.4 для класса PXR,

необходимо определить коэффициент прямоугольности (K_R). Методы испытаний см. в 2B.2.

6.2.201 Испытания кратковременным током

Для того чтобы проверить требования номинального кратковременного теплового тока и номинального динамического тока, указанные в 5.204, заданы два последующих испытания.

Тепловое испытание необходимо выполнять при разомкнутой вторичной обмотке (обмотках), и при токе I' в течение времени t', так, чтобы

$$I'^2 \times t' \geq I_{th}^2 \times t$$

где, t - заданная продолжительность кратковременного теплового тока,

величина t' должна иметь значения между 0,5 с и 5 с.

Динамическое испытание необходимо выполнять при разомкнутой вторичной обмотке (обмотках), и с током первичной обмотки, амплитудное значение которого не меньше номинального рабочего тока (I_{dyn}) для одного пика.

Динамическое испытание можно объединить с описанным выше испытанием на нагрев, при условии, что ток первого основного пика того испытания не меньше номинального рабочего тока (I_{dyn}).

Трансформатор должен считаться прошедшим эти испытания, если, после охлаждения до температуры окружающей среды (между 10 °C и 40 °C), удовлетворяет следующим требованиям:

a) нет явных повреждений;

b) погрешности после размагничивания не отличаются от тех, которые были зарегистрированы перед испытаниями, больше чем на половину пределов погрешности, соответствующих его классу точности;

c) выдерживает диэлектрические испытания, определённые в 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 и 7.3.4, но с испытательными напряжениями или токами, уменьшенными до 90 % указанных значений;

d) при исследовании не обнаруживается какого-либо значительного ухудшения состояния изоляция рядом с поверхностью проводника (например, обугливание).

Обследование d) не требуется, если плотность тока в первичной обмотке, соответствующая номинальному кратковременному тепловому току (I_{th}), не превышает следующих значений:

- 180 А/мм^2, когда обмотка сделана из меди проводимости не менее 97 % значения, указанного в IEC 60028;
- 120 А/мм^2, когда обмотка сделана из алюминия проводимости не менее 97 % значения, указанного в IEC 60121.

ПРИМЕЧАНИЕ Опыт показал, что при эксплуатации требования к стойкости по нагреву в общем случае выполнены в случае изоляции класса A, при условии, что

плотность тока в первичной обмотке, соответствующая номинальному кратковременному тепловому току, не превышает вышеупомянутые значения.

6.3 Стандартные испытания

6.3.1 Испытания на выдерживаемое напряжение промышленной частоты на клеммах первичной обмотки

Согласно IEC 61689-1 со следующим дополнением:

Испытательное напряжение необходимо приложить между разомкнутой основной обмоткой и землей. Разомкнутая вторичная обмотка (обмотки), рама, корпус (при наличии) и сердечник (если есть специальная земляная клемма) должны быть соединены с землей.

6.3.5 Испытания на точность

6.3.5.201 Испытания на погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы измерительных трансформаторов тока

Стандартное испытание на точность – то же самое как испытание типа из пункта 7.2.6.201, за исключением того, что разрешены стандартные испытания на сокращенном числе токов, и/или нагрузок, при условии, что испытания типа на подобном трансформаторе показали, что такое сокращенное количество испытаний достаточно для доказательства соответствия пункту 5.6.201.3.

6.3.5.202 Испытания на погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы защитных трансформаторов тока класса P и PR

Испытания необходимо выполнить при номинальном токе первичной обмотки и номинальной нагрузке, чтобы доказать соответствие пунктам 5.6.202.2 и 5.6.202.3, соответственно, в том, что касается погрешности коэффициента трансформации и смещения фазы.

6.3.5.203 Испытание на полную погрешность защитных трансформаторов тока класса P и PR

Для трансформаторов тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния (см. Приложение 2C), стандартное испытание – то же самое, что косвенное испытание типа, описанное в пункте b) подраздела 7.2.6.203.

Для других трансформаторов тоже можно использовать косвенное испытание, описанное в пункте b) 7.2.6.203, но к результатам необходимо применить поправочный коэффициент на ток возбуждения. Данный коэффициент получается из сравнения между результатами прямых и косвенных испытаний применительно к трансформатору того же самого типа, что и рассматриваемый, при этом предельная кратность по точности и условия нагрузки должны быть одинаковыми. В таких случаях изготовителю следует сохранять у себя испытательные отчеты, чтобы они были доступными.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Поправочный коэффициент равен отношению полной погрешности, полученной прямым методом, и током возбуждения, выраженным как процент $I_{sr} \times ALF$, как определено косвенным методом.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Выражение «трансформатор того же самого типа» означает, что ампер-витки подобны, независимо от отношения, и что материалы и геометрические распределения железного сердечники и вторичных обмоток идентичны.

6.3.5.204 Испытание на погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы для защитных трансформаторов тока класса TPX, TPY и TPZ

Погрешность коэффициента трансформации и смещение фазы необходимо измерять при номинальном токе, чтобы доказать соответствие 5.6.202.5.1.

Результаты должны соответствовать температуре вторичной обмотки 75 °C.

В связи с чем, необходимо измерить фактическое значение температуры вторичной обмотки и определить разницу с ее значением, скорректированным на 75 °C. Измерение погрешности необходимо выполнять с нагрузкой R_b, увеличенной на вышеуказанную разность сопротивления обмотки.

Альтернативно, для сердечников TPY и TPZ, смещение фазы при 75 °C ($\Delta\varphi_{75}$) можно определить, выполняя измерения при температуре окружающей среды ($\Delta\varphi_{amb}$) и вычисления следующим образом:

$$\Delta\varphi_{75} = \Delta\varphi_{amb}\,\frac{R_{ct} + R_b}{R_{ctamb} + R_b}$$

где, R_{ctamb} – сопротивление обмотки при температуре окружающей среды. Влиянием данной поправки на сопротивление на погрешность коэффициента трансформации можно пренебречь.

Для испытаний типа и стандартных испытаний приходится применять прямой метод испытаний (используя источник тока первичной обмотки и эталонный трансформатор тока). Для трансформаторов тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния в Приложении 2E приведён косвенный метод испытаний. Его можно применять для локальных измерений и для целей постоянного контроля.

6.3.5.205 Испытание на ошибку при ограничении условий для защитных трансформаторов тока класса TPX, TPY и TPZ

Цель стандартного испытания состоит в том, чтобы доказать соответствие требованиям при предельных условиях.

Если трансформатор тока – трансформатор с низким реактивным сопротивлением рассеяния согласно Приложению 2C, то необходимо выполнить косвенное испытание согласно 2B.2.

Если соответствие требованиям конструкции с низким реактивным сопротивлением рассеяния не может быть установлено, но доступен протокол испытания типа трансформатора тока того же самого типа, то

необходимо выполнить косвенный испытание согласно 2B.2. В данном случае необходимо рассмотреть возможный доступный коэффициент конструкции F_c, если коэффициент будет больше чем 1,1. Если такое испытание типа не доступно, то необходимо провести испытание типа одного прибора из партии и использовать его результаты в качестве эталонных для косвенного испытания остальных приборов.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 При определении коэффициента конструкции F_c, лаборатории должны справиться с высокой неопределённостью измерения из-за необходимости интегрирования ЭДС и вследствие нелинейных параметров при предельных условиях точности. Кроме того, лишь немногие лаборатории способны обеспечить необходимые рабочие циклы, и то только с ограниченной точностью, в связи с чем, нет соответствующего согласования результатов прямых и косвенных испытаний, в результате чего могут получиться ненадежные значения F_c, поэтому опыт (проведения испытаний) в данной области небольшой.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Выражение «трансформатор того же самого типа» означает, что ампер-витки подобны, независимо от отношения, и что материалы и геометрические распределения железного сердечники и вторичных обмоток идентичны.

6.3.5.206 Испытание на погрешность коэффициента трансформации для защитных трансформаторов тока класса PX и PXR

Для класса PX и класс PXR, погрешность коэффициента трансформации необходимо определять в соответствии с Приложением 2F.

Испытание можно заменить, выполняя измерение погрешности коэффициента трансформации с присоединённой нагрузкой ноль-Ом, по соглашению между изготовителем и покупателем.

Погрешность коэффициента трансформации не должна превышать пределы, указанные в 5.6.202.4.

6.3.201 Определение сопротивления вторичной обмотки (R_{ct})

Сопротивление вторичной обмотки (R_{ct}) должно быть измерено для трансформаторов тока следующих классов, чтобы доказать соответствие соответствующим пунктам:

класс PR:	пункты 5.6.202.3.7 и 6.13.202.4 (если задан параметр);
класс PX, PXR:	пункты 5.6.202.4 и 6.13.202.5;
класс TPX, TPY, TPZ:	пункт 6.13.202.6.

Необходимо внести соответствующую поправку, чтобы результат соответствовал 75°C или другой температуре, которая может быть задана.

Для классов PR, PX и PXR, полученное значение, скорректированное на 75 °C, не должно превышать заданный верхний предел (при наличии такового).

6.3.202 Определение постоянной времени вторичной петли (T_s)

Постоянная времени вторичной петли (T_s), должна быть определена в трансформаторах тока со следующими классами, чтобы доказать соответствие соответствующим пунктам:

- класса PR: пункт 5.6.202.3.6 (если задан параметр);
- класс TPY: пункт 5.6.202.5.3.

Измеренное значение не должно отличаться от любого заданного значения больше, чем на ±30 %.

Для определения T_s должна использоваться следующая формула (Определение L_m см. в 2B.2):

$$T_S = \frac{L_m}{(R_{ct} + R_b)}$$

В случаях, где нагрузка определена как номинальная мощность, заданная в ВА, R_b берётся равным резистивной части нагрузки.

Альтернативно, T_s может определить следующей формулой:

$$T_S = \frac{1}{2\pi \int_R \times \tan(\Delta\varphi)}$$

Если смещение фазы $\Delta\varphi$ выражено в минутах, то можно применить следующую приблизительную формулу:

$$T_S[c] = \frac{3438}{2\pi \int_R \times \Delta\varphi[мин]}$$

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Метод, использующий $\Delta\varphi$, может вызвать трудности для трансформаторов тока с высоким коэффициентом трансформации и маленьким смещением фазы из-за неопределённости измерения маленького смещения фазы.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для сердечников класса TPZ нет необходимости явно указывать T_s. Проверка требования точности $\Delta\varphi$ = (180 ± 18) мин осуществляется как стандартное испытание. В данном случае T_s даётся вышеупомянутой формулой.

6.3.203 Испытание на номинальную ЭДС точки загиба (E_k) и ток возбуждения при E_k

Необходимо проверить номинальную ЭДС точки загиба и измерить ток возбуждения, I_e при номинальной ЭДС точки загиба E_k для трансформаторов тока со следующими классами, чтобы доказать соответствие соответствующему пункту:

класс PX, PXR: пункт 5.6.202.4.

Подходящее синусоидальное напряжение возбуждения с номинальной частотой необходимо приложить к клеммам вторичной обмотки полной

обмотки трансформатора, при этом всем остальные клеммы должны быть разомкнуты, и измерить ток возбуждения.

Напряжение возбуждения необходимо измерить прибором, отклик которого пропорционален среднему значению выпрямленного сигнала, но калиброванный в среднеквадратических значениях. Ток возбуждения необходимо измерить, используя прибор, измеряющий среднеквадратические значения, имеющий минимальный коэффициент амплитуды 3.

Характеристику возбуждения необходимо отобразить на графике до напряжения, равного $1.1 \times E_k$.

При напряжении, равном E_k, должно быть выполнено условие точки загиба согласно 3.4.215.

Ток возбуждения I_e при напряжении, равном E_k (или при любом заявленном проценте), не должен превышать заданный предел.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для трансформаторов тока с выбираемым коэффициентом трансформации, с вторичными обмотками, имеющими ответвления, можно вычислить характеристику возбуждения, за исключением максимального коэффициента трансформации. Для каждой точки измерения можно применить следующие формулы:

$$E_2 = E_1 \times \frac{k_{r2}}{k_{r1}}$$

$$I_{e2} = I_{e1} \times \frac{k_{r1}}{k_{r2}}$$

где, k_{r1}, k_{r2} - два номинальных коэффициента трансформации;

E_1, E_2 - два соответствующих значения ЭДС вторичной обмотки;

I_{e1}, I_{e2} - два соответствующих значения тока возбуждения.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Число точек измерения может быть согласовано между изготовителем и покупателем.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Обычно определяется фактическая ЭДС точки загиба, которая должна быть выше, чем номинальная ЭДС точки загиба E_k.

6.3.204 Испытание на межвитковое перенапряжение

Испытания должны быть выполнены, чтобы продемонстрировать соответствие 5.3.201.

Испытание на межвитковое перенапряжение необходимо выполнять при полной обмотке в соответствии с одной из следующих процедур. Если не согласовано иное, то выбор процедуры остаётся за изготовителем.

Процедура А: при разомкнутых вторичных обмотках (или вторичных обмотках, соединённых с высокоимпедансным устройством, которое считывает амплитудное напряжение), практически синусоидальный ток при частоте между 40 Гц и 60 Гц и со среднеквадратическим значением, равным номинальному основному току (или номинальному увеличенному току

первичной обмотки, если таковой задан), необходимо прикладывать в течение 60 с к основной обмотке.

Приложенный ток необходимо ограничить, если испытательное напряжение, указанное в 5.3.201, будет получено раньше, чем будет достигнут номинальный ток первичной обмотки (или номинальный увеличенный ток первичной обмотки).

Если испытательное напряжение, указанное в 5.3.201, не будет достигнуто при максимальном токе первичного контура, то полученное напряжение необходимо расценивать как испытательное напряжение.

Процедура В: при разомкнутой первичной обмотке, испытательное напряжение, указанное в 5.3.201 (при некоторой подходящей испытательной частоте), необходимо прикладывать в течение 60 с к клеммам каждой вторичной обмотки.

Среднеквадратическое значение тока вторичной обмотки не должно превышать номинальный ток вторичной обмотки (или соответствующе увеличенное значение, если таковое задано).

Испытательная частота должна быть выбрана так, чтобы достичь испытательного напряжения, но она не должна превышать 400 Гц.

Если испытательное напряжение, указанное в 5.3.201, не будет достигнуто при максимальном токе вторичной обмотки и максимальной испытательной частоте, то полученное напряжение должно расцениваться как испытательное напряжение.

Когда испытательная частота в два раза превышает номинальную частоту, продолжительность испытания t необходимо уменьшить, как указано ниже:

$$T = 120\ s \times \frac{f_R}{f_T}$$

где, f_R - номинальная частота;

f_T - испытательная частота;

при этом минимальное значение t составляет 15 с.

ПРИМЕЧАНИЕ Испытание на межвитковое перенапряжение не является испытанием, выполняемым с целью проверить пригодность трансформатора тока для работы с разомкнутой вторичной обмоткой. Трансформаторы тока не следует эксплуатировать с разомкнутой вторичной обмоткой из-за потенциально опасного перенапряжения и перегревания, которые могут произойти.

6.4 Специальные испытания

6.4.3 Измерение ёмкости и коэффициента диэлектрических потерь

Согласно IEC 61869-1 со следующим дополнением:

Испытательное напряжение необходимо приложить между разомкнутыми клеммами первичной обмотки и землей. В общем случае, разомкнутая вторичная обмотка (обмотки), любой экран, а также изолированный металлический кожух должны быть соединены с средством измерений. Если у трансформатора тока есть специальный клемма, подходящая для данного измерения, то другие низковольтные клеммы должны быть разомкнуты и вместе с металлическим кожухом присоединены к земле или экрану средства измерений.

Испытание необходимо выполнять, когда трансформатор тока находится при температуре окружающей среды, значение которой необходимо зарегистрировать.

6.4.6 Испытание до отказа при воздействии внутренней дуги

Согласно IEC 61869-1 с дополнением следующего примечания:

ПРИМЕЧАНИЕ Для масляных трансформаторов с верхним сердечником, зона, в которой происходит эксплуатационный отказ, во многих случаях расположена в верхней части главной изоляции. Для масляных трансформаторов тока с U-образной обмоткой, эта зона в общем случае расположена в нижней части главной изоляции.

6.5 Испытания на образцах

6.5.1 Определение коэффициента прямоугольности

Обычно в качестве испытания на образцах для каждой производственной серии, повторяется испытание типа, определённое в 7.2.6.206.

6.5.2 Определение коэффициента безопасности прибора (*FS*) измерительных трансформаторов тока

Обычно в качестве испытания на образцах для каждой производственной серии, повторяется определённое в 7.2.6.202 испытание типа с использованием косвенного метода.

Приложение 2А
(обязательное)

Защитные трансформаторы тока классов P, PR

2А.1 Векторная диаграмма

Если рассматривается трансформатор тока, который, как предполагается, содержит только линейные электрические и магнитные составляющие в себе и в своей нагрузке, то при дополнительном предположении о синусоидальном токе первичного контура, все токи, напряжения и магнитные потоки будут синусоидальными, и эксплуатационные характеристики можно проиллюстрировать векторной диаграммой, как показано на Рисунке 2А.1.

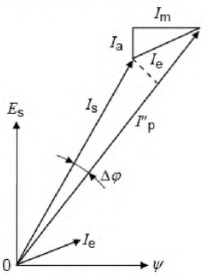


Рисунок 2А.1 - Векторная диаграмма

На Рисунке 2А.1, величина I_s представляет собой ток вторичной обмотки, которая течёт через импеданс вторичной обмотки и нагрузку, которая определяет величину и направление необходимой индуцируемой ЭДС E_s и связанного потока вторичной обмотки ψ, который перпендикулярен вектору ЭДС. Данный поток поддерживается током возбуждения I_e, имеющим намагничивающую составляющую I_m, параллельную связанному потоку вторичной обмотки ψ, а составляющая потерь (или активная составляющая) I_a параллельна ЭДС. Векторная сумма тока вторичной обмотки I_s и тока возбуждения I_e – вектор I''_p, представляющий собой ток первичной обмотки, умноженный на фактический коэффициент трансформации по соотношению витков (отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки).

Для трансформатора тока с инверсией фактического коэффициента трансформации по числу витков, равной номинальному коэффициенту трансформации, разность в длинах векторов I_s и I''_p – погрешность коэффициента трансформации (ε) согласно определению 3.4.3, а разность углов $\Delta\varphi$ – смещение фазы согласно 3.4.4.

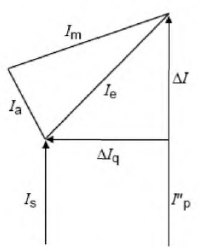
2А.2 Витковая коррекция

Если инверсия фактического коэффициента трансформации отличается от номинального коэффициента трансформации (обычно она меньше), то трансформатор тока имеет витковую коррекцию. При оценке эксплуатационных характеристик, необходимо различать I''_p, ток первичной обмотки, умноженный на фактический коэффициент трансформации по соотношению витков, и I'_p, ток первичной обмотки, делённый на номинальный коэффициент трансформации. Отсутствие витковой коррекции означает $I'_p = I''_p$. Если витковая коррекция присутствует, то I'_p отличается от I''_p, и, поскольку I''_p используется на векторной диаграмме, а I'_p используется для определения погрешности коэффициента трансформации (ε), то можно заметить, что витковая коррекция влияет на погрешность коэффициента трансформации (ε) (и может использоваться сознательно для данной цели). Однако, векторы I'_p и I''_p имеют одно и то же направление, в связи с чем, витковая коррекция никак не влияет на смещение фазы.

Также будет очевидно, что влияние витковой коррекции на полную погрешность меньше, чем её влияние на погрешность коэффициента трансформации (ε).

2А.3 Треугольник погрешностей

На Рисунке 2А.2, верхняя часть Рисунка 2А.1 показана в большем масштабе и с дополнительным предположением о том, что смещение фазы настолько мало, что для практических целей два вектора, I_s и I''_p, можно считать параллельными. Снова предположив отсутствие какой-либо витковой коррекции, проектируя I_e на I_p, заметим, что с хорошим приближением синфазная составляющая (ΔI) тока I_e может использоваться вместо арифметической разницы между I''_p и I_s для получения погрешности коэффициента трансформации (ε). Аналогично, квадратурная составляющая (ΔI_q) тока I_e может использоваться для выражения смещения фазы.



МЭК 1551/12

Рисунок 2А.2 - Треугольник погрешностей

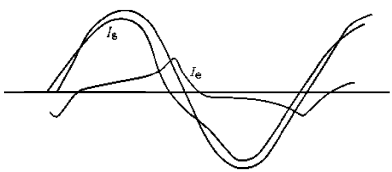
При данных предположениях ток возбуждения I_e, делённый на I''_p, равен полной погрешности согласно 3.4.203.

Для трансформатора тока без витковой коррекции и в условиях, когда допустимо векторное представление, погрешность коэффициента трансформации (ε), смещение фазы и полная погрешность образуют прямоугольный треугольник.

В данном треугольнике гипотенуза, представляющая полную погрешность, зависит от величины полного импеданса нагрузки, состоящего из нагрузки и вторичной обмотки, в то время как отрезок между коэффициентом погрешности трансформации (ε) и смещением фазы зависит от коэффициентов мощности полного импеданса нагрузки и тока возбуждения. Нулевое смещение фазы получится, когда эти два коэффициента мощности будут равны, то есть когда I_s и I_e будут находиться в фазе.

2А.4 Полная погрешность

Применение понятия полной погрешности возникает в условиях, где векторное представление не может быть обосновано, потому что нелинейные условия вводят высшие гармоники в ток возбуждения и во вторичный ток (см. Рисунок 2А.3).



МЭК 1552/12

Рисунок 2А.3 - Типичные формы тока

Именно по данной причине полная погрешность определена согласно 3.4.203, а не намного более простым способом в качестве векторной суммы погрешности коэффициента трансформации (ε) и смещения фазы, как показано в Рисунке 2А.2.

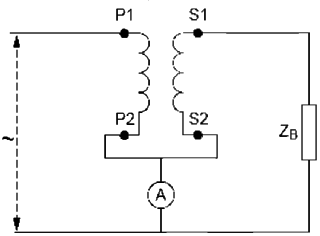
В общем случае полная погрешность также представляет собой отклонения от идеального трансформатора тока, вызванные присутствием во вторичной обмотке высших гармоник, которых нет в первичной обмотке (Ток первичной обмотки всегда считается синусоидальным в настоящем стандарте).

2А.5 Прямое испытание на полную погрешность

Стандартный метод заключается в том, чтобы записать и оцифровать форму сигнала тока первичной обмотки и тока вторичной обмотки, и вычислить полную погрешность, используя числовое интегрирование в соответствии с определением 3.4.203.

Однако в данном приложении описаны традиционные методы определения полной погрешности аналоговыми приборами.

На Рисунке 2А.4 показан трансформатор тока, имеющий коэффициент трансформации по соотношению витков 1:1, который соединён с источником (синусоидального) тока первичной обмотки, нагрузкой вторичной обмотки Z_B с линейными характеристиками и с амперметром так, что токи и первичной, и вторичной обмотки проходят через амперметр, но в противоположных направлениях. Результирующий ток через амперметр будет равен току возбуждения в преобладающих условиях синусоидального тока первичной обмотки, а среднеквадратическое значение данного тока, связанное со среднеквадратическим значением тока первичной обмотки, есть полная погрешность согласно 3.4.203; соотношение выражается в процентах.



МЭК 1553/12

Рисунок 2А.4 - Основной контур для трансформатора тока 1:1

2А.4, следовательно, представляет основной контур для прямого измерения полной погрешности.

Рисунок 2А.5 представляет основной контур для прямого измерения полной погрешности для трансформаторов тока, имеющих номинальные коэффициенты трансформации, отличающиеся от единицы. На Рисунке 2А.5 показаны два трансформатора тока одного и того же номинального коэффициента трансформации. Предполагается, что у трансформатора тока, отмеченного буквой N, имеется незначительная полная погрешность при преобладающих условиях (минимальная нагрузка), в то время как испытываемый трансформатор тока, отмеченный буквой X, соединён со своей номинальной нагрузкой.

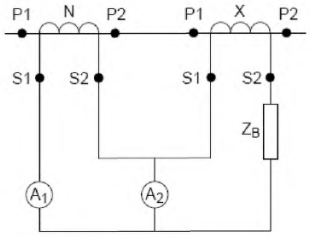


Рисунок 2А.5 - Основной контур для трансформатора тока с произвольным коэффициентом трансформации

Оба трансформатора питаются из одного и того же источника синусоидального тока первичной обмотки, а амперметр присоединён так, чтобы измерять разность между двумя токами вторичной обмотки. В данных условиях среднеквадратическое значение тока в амперметре A_2, связанное со среднеквадратическим значением тока в амперметре A_1 – полная погрешность трансформатора X; соотношение выражается в процентах.

Для данного метода необходимо, чтобы полная погрешность трансформатора N была действительно незначительна в условиях использования. Недостаточно, чтобы у трансформатора N была известная полная погрешность, поскольку, из-за чрезвычайно сложной природы полной погрешности (искаженная форма волны), никакую полную погрешность эталонного трансформатора N нельзя использовать для корректировки результатов испытания.

2А.6 Альтернативный метод прямого измерения полной погрешности

Для измерения полной погрешности можно использовать альтернативные средства, и один метод показан на Рисунке 2А.6.

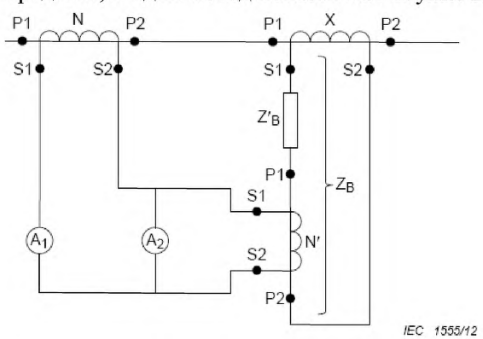


Рисунок 2А.6 - Альтернативный испытательный контур

Метод, показанный на Рисунке 2А.5, требует «специального» эталонного трансформатора N того же самого номинального коэффициента трансформации, что и у трансформатора X, и имеющего незначительную полную погрешность при токе первичной обмотки предельной точности. В то же время метод, показанный в Рисунке 2А.6, позволяет использовать стандартные эталонные трансформаторы тока N и N′ при их номинальных токах первичной обмотки или близких к ним значениях, чтобы эти эталонные трансформаторы имели незначительные полные погрешности, но (в данном случае) требование легче удовлетворить.

На Рисунке 2А.6, X – испытываемый трансформатор. N – стандартный эталонный трансформатор с номинальным током первичной обмотки того же самого порядка величины, что и номинальный ток первичной обмотки предельной точности трансформатора X (ток, при котором необходимо выполнять испытание). N′ – стандартный эталонный трансформатор, имеющий номинальный ток первичной обмотки порядка величины тока вторичной обмотки, соответствующего номинальному току первичной обмотки предельной точности трансформатора X. Трансформатор N′ составляет часть нагрузки Z_B трансформатора X, его, следовательно, необходимо учитывать при определении значения нагрузке Z_B. A_1 и A_2 – два амперметра, и необходимо позаботиться о том, чтобы A_2 измерял разность между токами вторичных обмоток трансформаторов N и N′.

Если номинальный коэффициент трансформации трансформатора N – k_r, трансформатора X – k_{rx}, а трансформатора N′ – k'_r, то коэффициент трансформации k_r должен быть равен произведению k'_r и k_{rx}:

$$k_r = k'_r \times k_{rx}$$

В данных условиях среднеквадратическое значение тока в амперметре A_2, связанного с током в амперметре A_1, является полной погрешностью трансформатора X; соотношение выражается в процентах.

ПРИМЕЧАНИЕ При использовании методов, показанных на Рисунке 2А.5 и Рисунке 2А.6, следует позаботиться о том, чтобы использовать для А2 низкоимпедансный прибор, поскольку напряжение на концах этого амперметра (делённое на коэффициент трансформатора N′ в случае Рисунка 2А.6) составляет часть напряжения нагрузки трансформатора X и имеет тенденцию уменьшать нагрузку на данном трансформаторе. Аналогично, данное напряжение амперметра увеличивает нагрузку на трансформаторе N.

2А.7 Использование полной погрешности

Числовое значение полной погрешности никогда не будет меньше векторной суммы погрешности коэффициента трансформации (ε) и смещения фазы (когда последнее выражено в сантирадианах).

Следовательно, полная погрешность всегда указывает наибольшее возможное значение погрешности коэффициента трансформации (ε) или смещения фазы.

Погрешность коэффициента трансформации (ε) представляет особый интерес для работы реле максимального тока, а смещение фазы – для работы фазочувствительных реле (например, направленных реле).

В случае дифференциальных реле необходимо учитывать комбинацию полных погрешностей задействованных трансформаторов тока.

Дополнительное преимущество ограничения полной погрешности – получающееся ограничение гармонической составляющей тока вторичной обмотки, которое необходимо для правильной работы определённых типов реле.

Приложение 2В
(обязательное)

Классы защитных трансформаторов тока для переходных характеристик

2В.1 Основные теоретические расчеты для задания размеров переходных характеристик

2В.1.1 Короткое замыкание

Следующие расчеты относятся к рабочему циклу С-О. Рабочие циклы С-О-С-О рассматриваются в 2В.1.3.

Общее выражение для мгновенного значения тока короткого замыкания можно определить следующим образом:

$$i_k(t) = \sqrt{2}\, I_{psc} \left[e^{-t/Tp}\cos(\gamma - \varphi) - \cos(\omega t + \gamma - \varphi)\right] \qquad (2В.)$$

где,

I_{psc} - среднеквадратическое значение симметричного тока короткого замыкания первичной обмотки $I_{psc} = K_{ssc} \times I_{pr}$;

$T_p = \frac{L_p}{R_p}$ - постоянная времени первичной обмотки;

γ - угол переключения или короткого замыкания

$\varphi = arctan\ \frac{X_p}{R_p} = arctan(\omega\, T_p)$ - фазовый угол импеданса короткого замыкания системы;

ω - угловая частота $2\pi f_R$;

когда эквивалентный источник напряжения при коротком замыкании с R_p и X_p равен

$$u(t) = -U_{max}\cos(\omega t + \gamma) \qquad (2В.2)$$

Для упрощения, угол короткого замыкания и угол импеданса системы можно суммировать до одного единственного угла, что делает вычисление легче для понимания с математической точки зрения

$$\theta = \gamma - \omega \qquad (2В.3)$$

$$i_k(t) = \sqrt{2}\, I_{psc} \left[e^{-t/Tp}\cos(\theta) - \cos(\omega t + \theta)\right] \qquad (2В.4)$$

Оба угла, θ и γ, описывают вероятность изменения угла короткого замыкания, и, следовательно, их можно применять альтернативно, по обстоятельствам, но в соответствии с их определением.

На Рисунке 2B.1 показаны два типичных тока короткого замыкания первичной обмотки. Первый ток возникает с углом короткого замыкания $\gamma = 90$ °, что приводит к самому высокому амплитудному току и самому высокому пику связанного потока вторичной обмотки в течение длительного времени t'_{al} (Рисунок 2B.2), тогда как второй ток возникает с $\gamma = 140$ °, что приводит к меньшей асимметрии. Такие случаи, как последний, важны для коротких периодов t'_{al}, потому что во время первой половины цикла, ток и поток временно выше, чем в случае $\gamma = 90$ °.

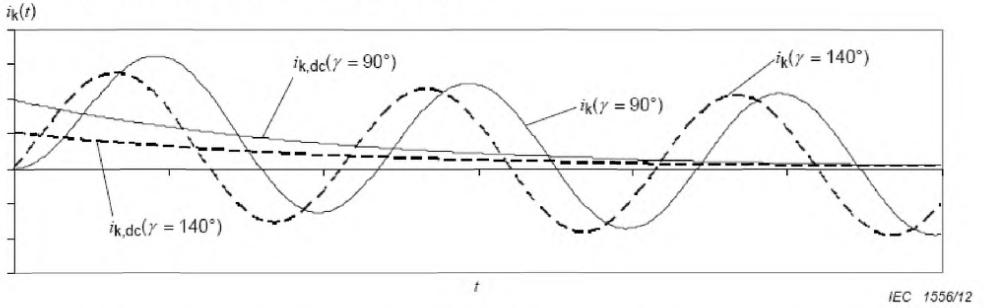
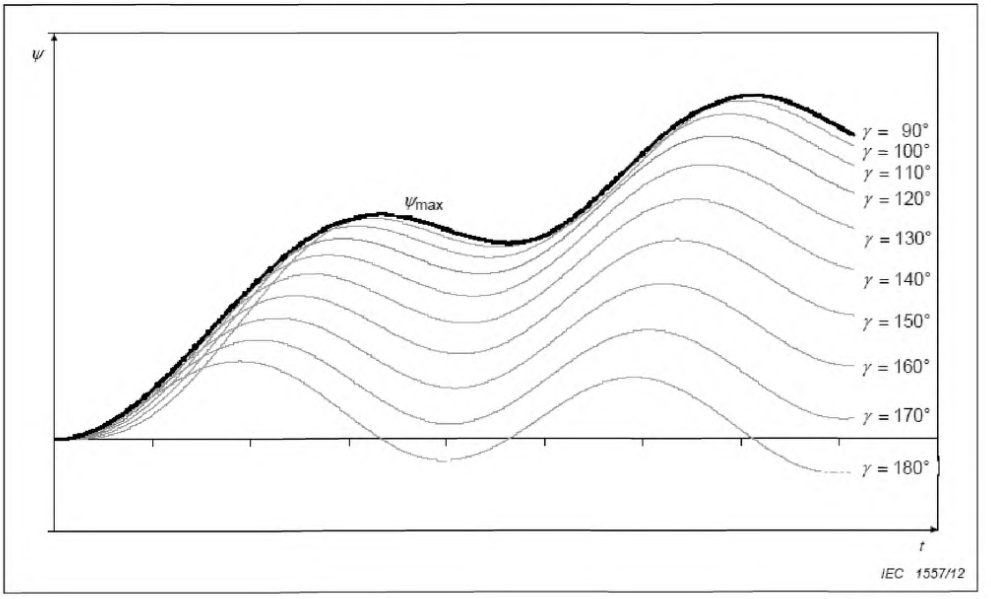


Рисунок 2B.1 - Ток короткого замыкания для двух разных углов короткого замыкания



МЭК 1557/12

Рисунок 2B.2 - ψ_{max} (t) как кривая самых высоких значений потока, учитывающая все подходящие углы короткого замыкания γ

Возможный уменьшенный диапазон угла короткого замыкания можно использовать для определения уменьшенной асимметрии, которая может привести к уменьшенному коэффициенту K_{td} в некоторых особых случаях.

ПРИМЕЧАНИЕ Возможность ограничения угла тока не охвачена настоящим стандартом, в соответствии с IEC 61869-100.

2B.1.2 Переходный размерный коэффициент K_{td}

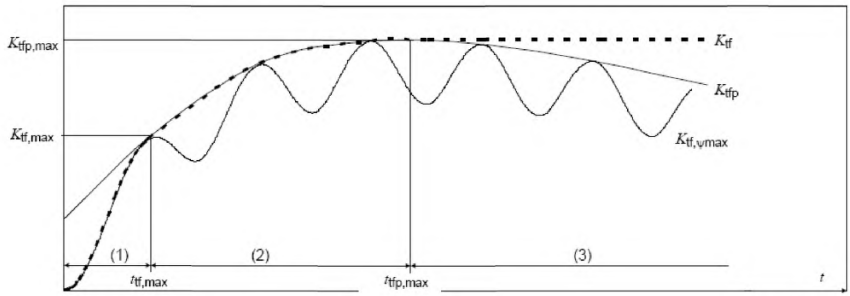
Переходный размерный коэффициент K_{td} – конечный параметр для задания размеров сердечника; он указан на табличке с техническими данными, который можно вычислить из разных функций переходного коэффициента K_{tf}, по формулам, указанным ниже и согласно Рисунку 2B.3.

В некоторых случаях, система защиты может потребовать значения t'_{al}, которое не является постоянным и зависит от различных параметров тока короткого замыкания, в связи с чем, переходный размерный коэффициент K_{td} также может быть получен из испытаний типа на стабильность реле и задан изготовителем системы защиты.

Переходный коэффициент K_{tf}, заданный в данном разделе, получен из дифференциального уравнения эквивалентного контура с постоянной индуктивностью сердечника трансформатора тока, с омической нагрузкой и без учёта прямоугольности. В данном приложении решения дифференциального уравнения даны или как диаграммы кривых, или как упрощенные формулы.

ПРИМЕЧАНИЕ Дифференциальное уравнение и точное решение приведены в IEC 61869-100 TR.

Коэффициент K_{tf} и связанный поток вторичной обмотки аналогичным образом зависят от времени и, в итоге, от времени до предела точности t'_{al}, требуемого системой защиты. При вычислении с линейной индуктивностью решение действительно только до первого насыщения трансформатора тока.



МЭК 1558/12

Рисунок 2В.3 - Соответствующие временные диапазоны для вычисления переходного коэффициента

Кривая $K_{tf,\psi max}$ на Рисунке 2В.3 построена следующим образом:

Для каждого момента времени кривой ψ_{max} (Рисунок 2В.2) значение K_{tf} вычисляется в соответствии с его определением 3.4.233. K_{tfp} – соответствующая огибающая кривая. Необходимо различать три диапазона, определённые тремя функциями K_{tf}:

Диапазон 1: $0 \leq t_{al} < t_{tf,max}$:

В первом временном диапазоне, кривая K_{tf} следует за кривой $K_{tf,\psi max}$.

Диапазон времени начинается в момент времени ноль и заканчивается, когда кривая $K_{tf,\psi max}$ касается своей огибающей кривой пиков K_{tfp} в момент времени

$$t_{tf,max} = \frac{\pi - \varphi}{\omega} \qquad (2В.5)$$

Формула (2В.5) упрощается при γ = 90 ° из более общей формулы, что подходит для практического применения.

В пределах вышеуказанного временного диапазона, $K_{tf,\psi max}$ учитывает угол переключения $\theta\,(t'_{al})$ в наихудших условиях, который приводит к самому сильному потоку в момент времени до предела точности t'_{al}. На Рисунках 2В.4 - 2В.6 показаны кривые зависимости K_{tf} от постоянной времени первичной обмотки T_p для различных значений t'_{al}. При вычислении была выбрана большая постоянная времени вторичной обмотки T_s. Более низкие значения T_s приводят к несколько более низким значениям K_{tf}.

ПРИМЕЧАНИЕ Больше кривых дано в IEC 61869-100 TR.

Рисунок 2B.4 - Определение K_{tf} во временном диапазоне 1 при 50 Гц для T_s = 1,8 с

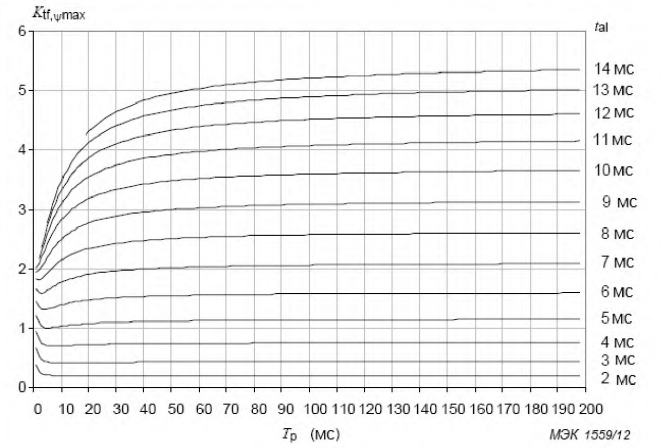


Рисунок 2B.5 - Определение K_{tf} во временном диапазоне 1 при 60 Гц для T_s = 1,5 с

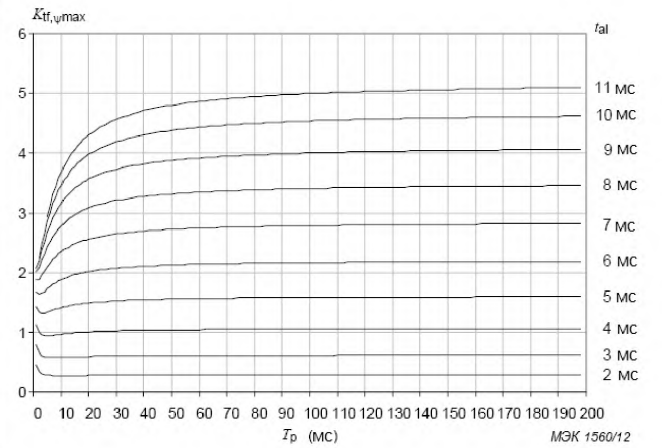
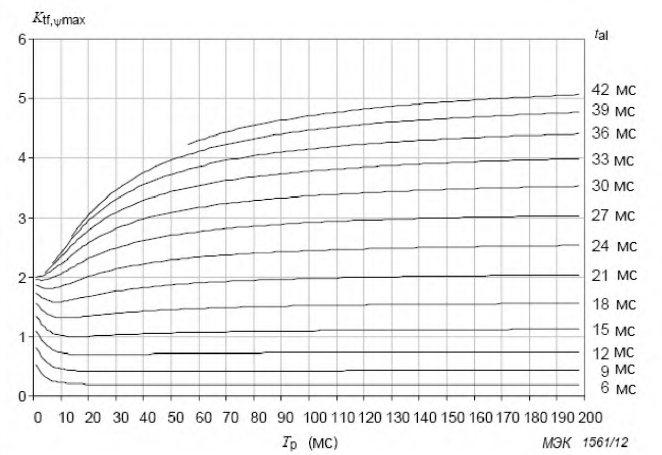


Рисунок 2B.6 - Определение K_{tf} во временном диапазоне 1 при 16,7 Гц для T_s = 5,5 с



Диапазон 2: $t_{tf,max} \leq t_{al} < t_{tfp,max}$

Во втором временном диапазоне, кривая K_{tf} следует за огибающей кривой K_{tfp} для $\gamma = 90\,°$, что приводит к самому высокому пиковому току, поэтому $\theta = 90\,° - \varphi$

$$K_{tfp} = \frac{\omega T_S T_p}{T_p - T_S}\cos(\theta)\left(e^{-t_{al}/Tp} - e^{-t_{al}/T_S}\right) + \sin(\theta)e^{-t_{al}/T_S} + 1 \quad \text{(2B.6)}$$

Диапазон времени заканчивается в максимуме кривой K_{tfp} в момент

$$t_{tfp,max} = \frac{T_p T_S}{T_p - T_S} ln \frac{\frac{T_p}{T_S}\cos(\theta) + \frac{T_S - T_p}{\omega T_S^2}\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \quad \text{(2B.7)}$$

Диапазон 3: $t_{tfp,max} \leq t_{al}$

В третьем временном диапазоне K_{tf} принимает постоянное значение $K_{tfp,max}$, данное в Формуле (2B.8), которое определяется как максимальное значение кривой K_{tfp}.

$$K_{tfp,max} = \left(\omega T_p \cos(\theta) + \frac{T_p + T_S}{T_S}\sin(\theta)\right) \times \left[\frac{\frac{T_p}{T_S}\cos(\theta) + \frac{T_S - T_p}{\omega T_S^2}\sin(\theta)}{\cos(\theta)}\right]^{\frac{T_p}{T_S - T_p}} + 1 \quad \text{(2B.8)}$$

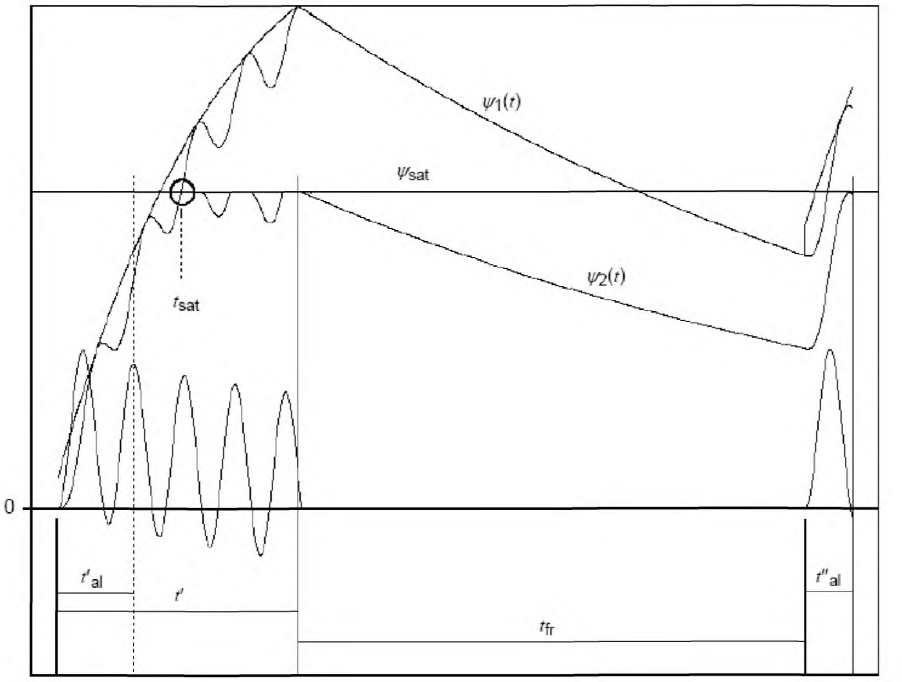
2B.1.3 Рабочие циклы C-O-C-O

Задание переходных параметров для рабочих циклов автозакрытия необходимо выполнять отдельно для каждого цикла согласно вышеприведённым формулам.

Для сердечников, имеющих большую постоянную времени вторичной обмотки (сердечники TPX), нет никакого значительного спада потока после t'

$$K_{td(C\text{-}O\text{-}C\text{-}O)} = K_{td}(t') + K_{td}(t''_{al}) \quad \text{(2B.9)}$$

Для сердечников, имеющих маленькую постоянную времени вторичной обмотки (сердечники TPY и TPZ), связанный поток вторичной обмотки экспоненциально уменьшается с постоянной времени вторичной обмотки T_S в течение времени повторения ошибки t_{fr}. В данном случае нет никакой аналитической формулы для аргумента времени t в члене для первого цикла, и могут потребоваться разграничения нескольких случаев.



МЭК 1562/12

Рисунок 2В.7 - Ограничение магнитного потока посредством учёта насыщения сердечника

На Рисунке 2В.7 показан типичный случай, где насыщение достигается после t'_{al}. Поток ($\psi_2(t)$) ограничен потоком насыщения (ψ_{sat}) до того, как будет достигнуто значение t'. В момент времени t_{fr} он достигает значения, которое является достаточно низким, чтобы оставаться ниже насыщения вплоть до t'_{al}. Игнорируя насыщение (отсекаемое кривой $\psi_1(t)$), уменьшенный поток начинается с более высокого уровня в начале второго цикла. Данный пример демонстрирует взаимозависимость между основным заданием параметров сердечника в первом и во втором цикле, и определением K_{td}.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Формула цикла С-О-С-О (см. IEC 60044-6) игнорирует насыщение в рамках первого цикла и во многих случаях приводит к излишне высоким значениям K_{td} (см. Рисунок 2В.7).

Поэтому рекомендуется начертить график, подобный графику на Рисунке 2В.7. Формула (2В.1) даёт верхний предел для K_{td}:

$$K_{td,(C\text{-}O\text{-}C\text{-}O)max} = max\{ K_{td}(t'_{al}),\ K_{td}(t')e^{-(t_{fr}+t''_{a1})/T_S} + K_{td}(t''_{al})\} \qquad (2В.1)$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В IEC 61869-100 TR даны методы вычисления, которые можно использовать для определения значения K_{td}.

2В.2 Измерение характеристики намагничивания сердечника

2В.2.1 Общие положения

Измерение характеристик намагничивания сердечника подразумевает следующее:

- измерение индуктивности намагничивания L_m;
- измерение коэффициента прямоугольности K_R;
- определение погрешности при предельных условиях, используя косвенный метод,

Что основано на следующем соотношении. Если произвольное напряжение $u(t)$ приложено к клеммам вторичной обмотки (см. Рисунок 2В.8), то поток $\psi(t)$, связанный через вторичную обмотку в момент времени t, соотносится с этим напряжением следующим образом:

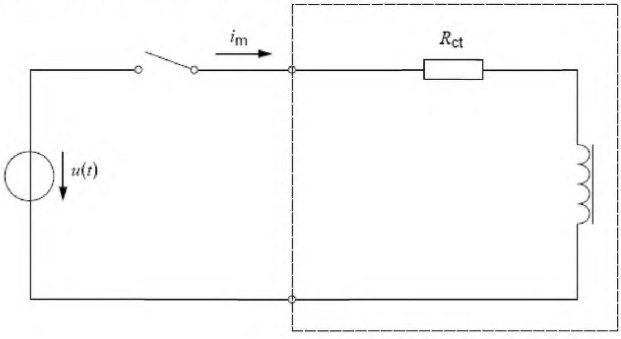
$$\psi(t) = \int_{o}^{t} (u(t) - R_{ct} \times i_m(t))dt \qquad (2В.11)$$

где, i_m - мгновенное значение тока намагничивания.

ПРИМЕЧАНИЕ Поскольку термин «ток возбуждения» зарезервирован за среднеквадратическим значением, использующим величины переменного тока (см. 3.3.207), то i_m и термин «ток намагничивания» используются для мгновенных значений в методе постоянного тока и методе конденсаторного разряда.

Данное соотношение используется в методах, описанных в следующих разделах.

Необходимо оценить эффект падения напряжения на концах сопротивления вторичной обмотки. Если данное падение превышает 2 %, то его необходимо выводить из измеренного напряжения.



МЭК 1563/12

Рисунок 2В.8 - Основной контур

Для трансформаторов тока TPX необходимо размагничивать сердечник перед каждым испытанием, из-за высокого коэффициента прямоугольности. Для трансформаторов тока TPY остаточный поток часто настолько низок, что

им можно пренебречь. Размагничивание требует дополнительных средств, посредством которых сердечник можно подвергнуть воздействию медленно уменьшающихся петель гистерезиса, начинающихся с насыщения. Когда необходимо использовать метод испытания постоянного тока, обычно должен быть обеспечен источник постоянного тока.

Можно применить любой из этих трёх методов (метод переменного тока, метод постоянного тока, метод конденсаторного разряда).

2B.2.2 Метод переменного тока

2B.2.2.1 Определение индуктивности намагничивания L_m

Практически синусоидальное напряжение переменного тока прикладывается к клеммам вторичной обмотки, и измеряется соответствующее значение тока возбуждения. Испытание можно выполнить при уменьшенной частоте f', чтобы избежать недопустимого наложения напряжения обмотки и клемм вторичной обмотки. Вероятность того, что эффекты чрезмерных токовихревых потерь в токах сердечника и ёмкостных токах между слоями обмотки вызовут ложные показания при более низких частотах, меньше. Результат необходимо отобразить как кривую насыщения.

Напряжение возбуждения необходимо измерить прибором, отклик которого пропорционален среднему значению выпрямленного сигнала, но калиброванным в среднеквадратических значениях. Ток возбуждения необходимо измерять, используя прибор, измеряющий амплитуды.

Амплитудное значение вторичного связанного потока ψ можно получить из измеренного среднеквадратического значения приложенного напряжения U при частоте f' следующим образом:

$$\hat{\psi} = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi f'}$$

Соответственно, напряжение насыщения, U_{sat} соотносится с потоком насыщения ψ следующим образом:

$$\hat{\psi}_{sat} = \frac{\sqrt{2}U_{sat}}{2\pi f'}$$

ПРИМЕЧАНИЕ 201 Значение U_{sat} необходимо оценить как значение напряжения там, где кривая практически горизонтальна. Влияние недостоверности в определении U_{sat} на L_m практически незначительно.

Рассматривая данный расчет, кривая дает требуемые соотношения между амплитудным значением тока возбуждения и амплитудным значением связанного потока вторичной обмотки ψ. Индуктивность намагничивания L_m определяется как средний наклон данной кривой между 20 % и 70 % потока насыщения ψ_{sat}, которая вычисляется следующим образом:

$$L_m = \frac{0{,}5 \times U_{sat} \times \sqrt{2}}{(\hat{\imath}_{70} - \hat{\imath}_{20}) \times 2\pi f}$$

где, $\hat{\imath}_{20}$ - амплитудное значение тока возбуждения при 20 % U_{sat};
$\hat{\imath}_{70}$ - амплитудное значение тока возбуждения при 70 % U_{sat}.

ПРИМЕЧАНИЕ 202 Данная формула слегка отличается от формулы, данной в IEC 60044-6 (B4) из-за улучшенного определения насыщения.

2B.2.2.2 Определение погрешности в предельных условиях

Необходимо использовать испытательный комплект оборудования согласно 2B.2.2.1.

Напряжение должно быть увеличено до напряжения, равного E_{al}, заданного следующим образом:

$$E_{al} = K_{SSC} \times K_{td} \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sr}$$

соответствующий ток возбуждения $\hat{I}_{al}$ не должен превышать следующие пределы:

Для классов TPX и TPY: $\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{SSC} \times \hat{\varepsilon}$

Для класса TPZ: $\hat{I}_{al} \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{SSC} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi f_R \div T_s} \right) + \hat{\varepsilon}_{ac}$

ПРИМЕЧАНИЕ Для трансформаторов тока TPZ, точность задана только для переменной составляющей, в то время как в определении допустимого значения I_{al} во время косвенных испытаний также необходимо учесть постоянную составляющую тока возбуждения. В вышеприведённой формуле постоянная составляющая представлена членом ($K_{td} - 1$).

2B.2.2.3 Определение коэффициента прямоугольности K_R

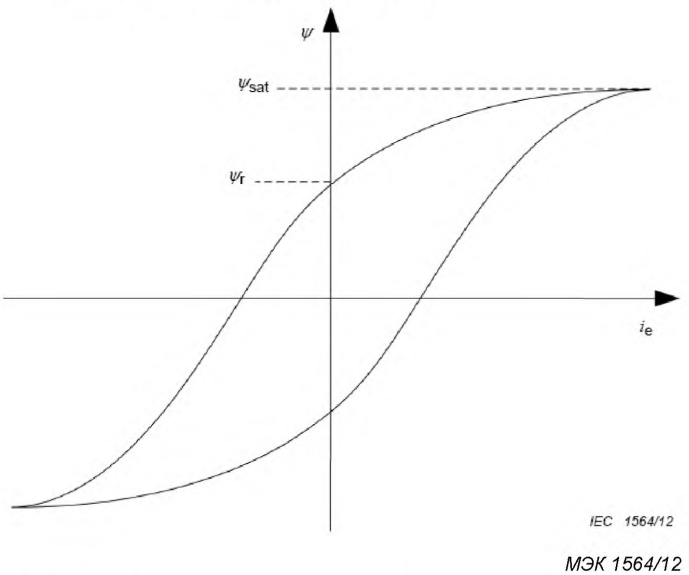
В отличие от 2B.2.2.1 и 2B.2.2.2, должны быть обнаружены формы сигналов переменного тока.

При определении коэффициента прямоугольности K_R методом переменного тока необходимо проинтегрировать напряжение возбуждения согласно Формуле (1), данному в 2B.2.1. Интегрированное напряжение с соответствующим током i_e покажет петлю гистерезиса, демонстрирующую поток насыщения ψ_{sat}. Считается, что значение связанного потока вторичной обмотки в точке перехода тока через ноль представляет остаточный поток ψ_r (см. Рисунок 2B.9). Коэффициент прямоугольности K_R в таком случае вычисляется следующим образом:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}} \qquad (2B.12)$$

При более низких частотах вероятность того, что эффекты чрезмерных токовихревых потерь в токах сердечника и ёмкостных токах между слоями обмотки вызовут ложные показания при более низких частотах, меньше.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение ψ_{sat} необходимо оценить как значение потока вторичной обмотки там, где кривая практически горизонтальна.



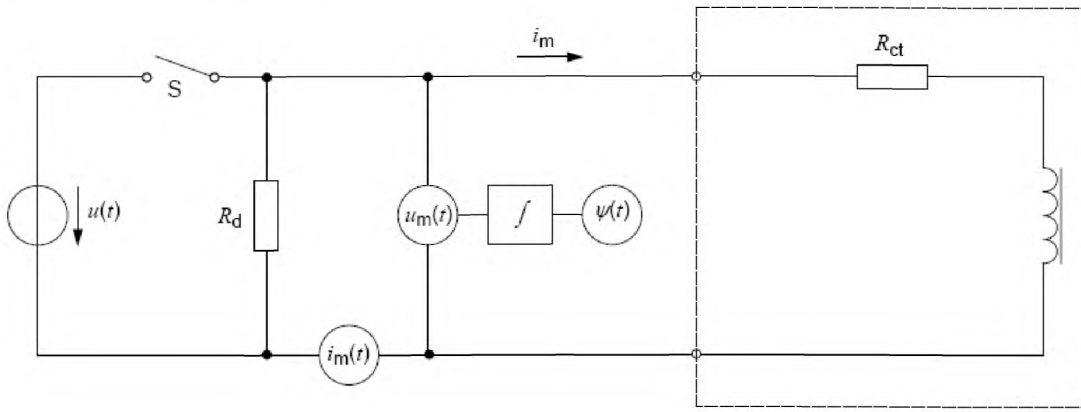
МЭК 1564/12

Рисунок 2B.9 - Определение коэффициента прямоугольности по петле гистерезиса

2B.2.3 Метод постоянного тока

2B.2.3.1 Общие положения

Метод насыщения постоянным током использует напряжение постоянного тока $u(t)$ такой продолжительности, что достигается поток насыщения. Измерение потока производится согласно Формуле (2B.11), данному в 2B.2.1, где $u(t)$ – напряжение на клеммах (см. Рисунок 2B.10).



МЭК 1565/12

Рисунок 2B.10 - Контур для метода постоянного тока

Источник прикладываемого напряжения должен быть подходящим для того, чтобы ввести трансформатор тока в состояние насыщения.

Разрядный резистор R_d должен быть присоединён; в противном случае индуктивность намагничивания сердечника может вызвать очень высокое перенапряжение, когда выключатель S будет разомкнут, а индуктивный ток прерван.

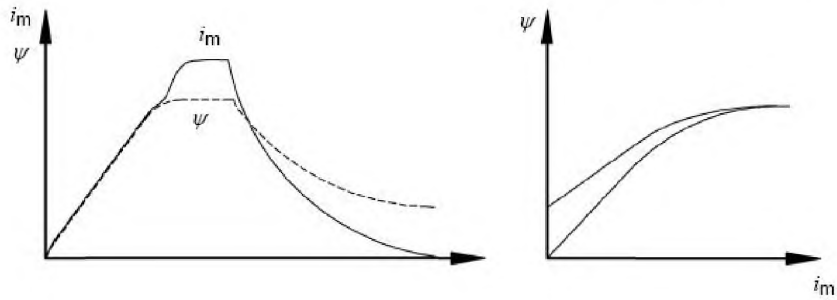
2B.2.3.2 Определение коэффициента прямоугольности K_R

Необходимо использовать испытательный контур в соответствии с 2B.2.3.1.

Считается, что спустя некоторое время после замыкания выключателя S ток намагничивания достигает максимального значения ($\hat{\imath}_m$), при котором связанный поток вторичной обмотки останется постоянным. Прежде, чем достичь постоянной величины, кривая i_m должна продемонстрировать значительное увеличение градиента, указывающее на насыщение. Источник постоянного тока должен быть способен ввести сердечник трансформатора в состояние насыщения, не влияя на результаты испытаний из-за своих ограничений. Данное условие выполнено, если связанный поток вторичной обмотки достигает устойчивого значения раньше, чем ток намагничивания.

Возрастающие значения тока намагничивания и потока необходимо регистрировать до того момента времени, при котором значения становятся постоянными; затем выключатель S размыкается.

Типичные испытательные записи потока ψ и тока намагничивания i_m показаны на Рисунке 2B.11.



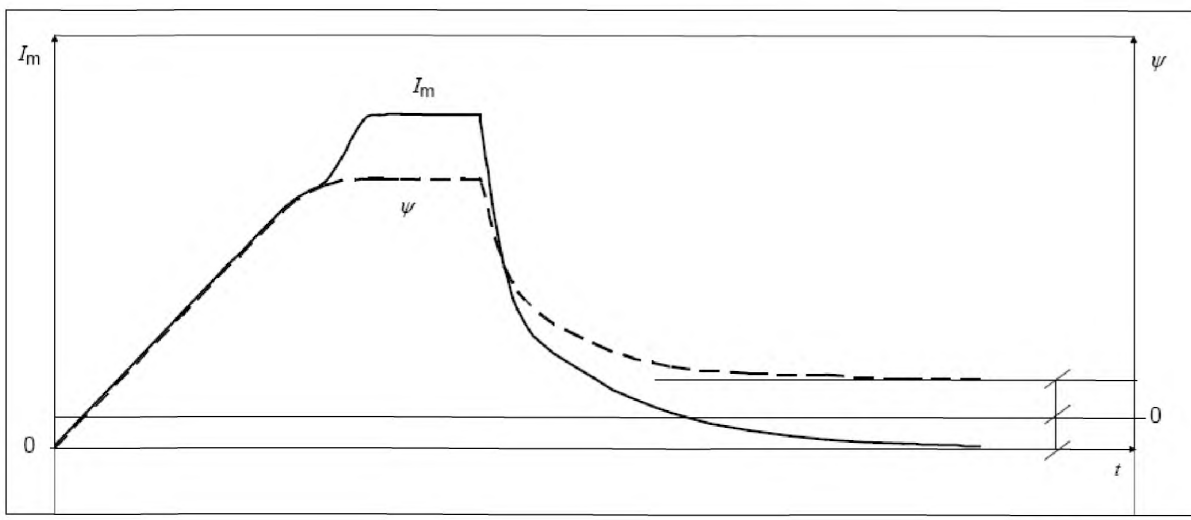
МЭК 1566/12

Рисунок 2B.11 - Диаграммы зависимости амплитуды от времени и потока от тока

При размыкании выключателя S, уменьшающийся ток течёт через вторичную обмотку и разрядный резистор R_d. Значение соответствующего потока уменьшается, но может не упасть до ноля.

После того, как был выбран ток намагничивания i_m, подходящий для достижения потока насыщения ψ_{sat}, значение остаточного потока при нулевом токе должно считаться остаточным магнитным потоком ψ_r.

Для трансформатора тока, сердечник которого не был размагничен ранее, поток насыщения и остаточный поток можно определить дополнительным испытанием, в котором вторичные клеммы поменяны местами. Кривая связанного потока вторичной обмотки, полученная таким образом, содержит смещение половины явно измеренного значения остаточного потока, в связи с чем, нулевую линию необходимо соответственно сдвинуть, что приведёт к скорректированным значениям потока насыщения и остаточного потока (см. Рисунок 2B.12).



МЭК 1567/12

Рисунок 2B.12 - Записывание со сдвинутой нулевой линией потока

Коэффициент прямоугольности K_R определяется следующим образом:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}}$$

2B.2.3.3 Определение индуктивности намагничивания L_m

Необходимо использовать процедуру испытания 2B.2.3.2.

Индуктивность намагничивания (L_m) можно получить по следующей формуле:

$$L_m = \frac{0{,}5 \times \psi_{sat}}{i_{70} - i_{20}}$$

где, $\hat{i}_{20}$ - амплитудное значение тока намагничивания при 20 % ψ_{sat};

$\hat{i}_{70}$ - амплитудное значение тока намагничивания при 70 % ψ_{sat}.

ПРИМЕЧАНИЕ Данная формула слегка отличается от формулы, данной в предыдущем стандарте IEC 60044-6 (B4) из-за улучшенного определения насыщения.

2B.2.3.4 Определение погрешности в предельных условиях

Необходимо использовать испытательный контур в соответствии с 2B.2.3.1.

Для определения погрешности в предельных условиях ток намагничивания i_m при связанном потоке вторичной обмотки ψ_{al} необходимо измерять, увеличивая ток.

Величина ψ_{al} приведена следующей формулой:

$$\Psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi f_R} = \frac{\sqrt{2} \times K_{td} \times K_{ssc} \times I_{sr} \times \left(R_b + R_{ct}\right)}{2\pi f_R}$$

Ток намагничивания i_m не должен превышать следующие пределы:

Для классов TPX и TPY: $i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssr} \times \hat{\varepsilon}$

$$i_m \leq \sqrt{2} \times I_{sr} \times K_{ssr} \times \left(\frac{K_{td} - 1}{2\pi f_R \times T_s} + \hat{\varepsilon}_{ac} \right)$$

Для класса TPZ:

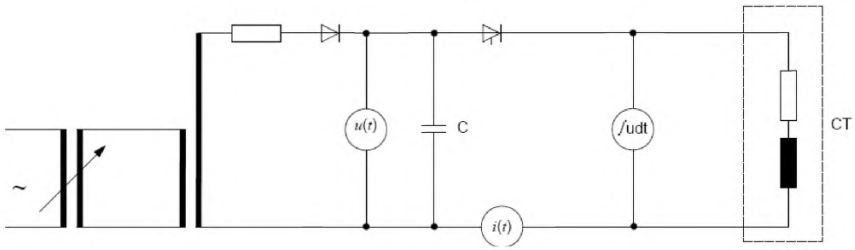
ПРИМЕЧАНИЕ Для трансформаторов тока TPZ, точность определена только для переменной составляющей, в то время как в определении допустимого значения i_m во время косвенных испытаний также необходимо учитывать постоянную составляющую тока возбуждения. В вышеприведённой формуле постоянная составляющая представлена членом ($K_{td} - 1$).

2В.2.4 Метод конденсаторного разряда

В методе конденсаторного разряда заряд конденсатора используется для возбуждения сердечника трансформатора тока от вторичной обмотки. Измерение тока выполняется согласно Формуле (1), данному в 2В.2.1, где $u(t)$ – напряжение на клеммах (см. Рисунок 2В.13).

Конденсатор разряжается с напряжением, достаточно высоким, чтобы сгенерировать соединённый связанный поток вторичной обмотки, равный потоку ψ_{al}, соответствующему E_{al}, или превышающий значение данного потока, см. Рисунок 2В.13 и Рисунок 2В.14

$$\Psi_{al} = \frac{\sqrt{2} \times E_{al}}{2\pi f_R}$$



МЭК 1568/12

Рисунок 2В.13 - Контур для метода конденсаторного разряда

В момент времени, когда достигается ψ_{al}, необходимо измерить амплитудное значение вторичного тока возбуждения i_m; оно не должно превышать амплитудное значение тока возбуждения вторичной обмотки $\hat{I}_{al}$.

Постоянная времени вторичной обмотки T_s должна быть определена путём приложения напряжения с интегралом напряжения-времени, соответствующим 90 % E_{al}. Измеряется соответствующий ток возбуждения i'_m, и постоянная времени вторичной обмотки вычисляется следующим образом:

$$T_S = \frac{\sqrt{2} \times 0{,}9 \times E_{al}}{2\pi f_R \times (R_{ct} + R_b) \times i'_m}$$

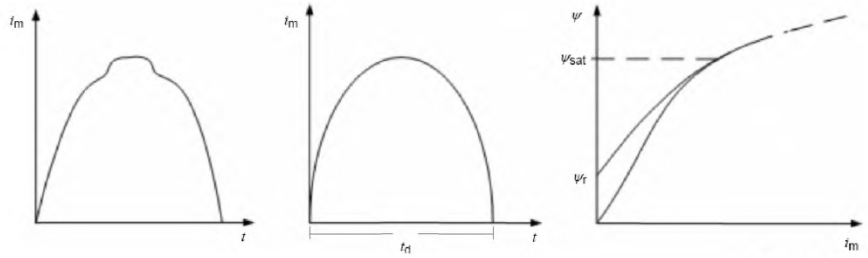
ПРИМЕЧАНИЕ Данное определение T_s не соответствует определению в вышеописанных методах постоянного тока и переменного тока.

При определении коэффициента прямоугольности K_R, интегрированное напряжение с соответствующим потоком определит петлю гистерезиса. Если ток возбуждения был таков, что поток насыщения достигнут, то считается,

что значение потока в точке перехода тока через ноль представляет собой остаточный поток ψ_r.

Коэффициент прямоугольности K_R определён следующим образом:

$$K_R = \frac{\psi_r}{\psi_{sat}}$$



МЭК 1569/12

Рисунок 2B.14 - Типичные записи для метода конденсаторного разряда

2B.3 Прямое испытание на определение погрешности в предельных условиях

2B.3.1 Общие положения

Мгновенный разностный ток можно измерять по-разному. Во всех случаях погрешности системы измерения не должны превышать 10 % предела погрешности, соответствующего классу испытываемого трансформатора тока во время всего рабочего цикла.

2B.3.2 Прямое испытание

Трансформаторы тока класса TPX необходимо размагничивать перед прямым испытанием из-за высокого коэффициента прямоугольности. Может понадобиться размагнитить трансформаторы тока класса TPY, если коэффициент прямоугольности K_R не является пренебрежимо малым.

Два прямых испытания необходимо выполнить при номинальной частоте и с номинальной нагрузкой вторичной обмотки:

a) номинальный ток короткого замыкания первичной обмотки при номинальной частоте прикладывается без какого-либо сдвига. Измеряется переменная составляющая мгновенной погрешности; она должна соответствовать теоретическому значению $1/\omega T_s$;

b) для того чтобы проверить, что трансформатор тока отвечает требованиям точности заданного рабочего цикла, необходимо выполнить следующее испытание:

Номинальный ток короткого замыкания первичной обмотки при номинальной частоте прикладывается с необходимым сдвигом. Для заданных значений постоянной времени первичной обмотки вплоть до 80 мс,

испытание выполняется при заданных предельных условиях точности (заданный рабочий цикл). Постоянная времени первичной обмотки не должна отклоняться больше, чем на 10 % от заданного значения.

Для заданных значений постоянной времени первичной обмотки свыше 80 мс, испытания могут быть выполнены в эквивалентных предельных условиях по точности (полученных модификацией рабочего цикла и/или нагрузки), по соглашению между изготовителем и покупателем.

Во время периода подачи питания, первый пик тока первичной обмотки должен быть не меньше значения, соответствующего заданным условиям.

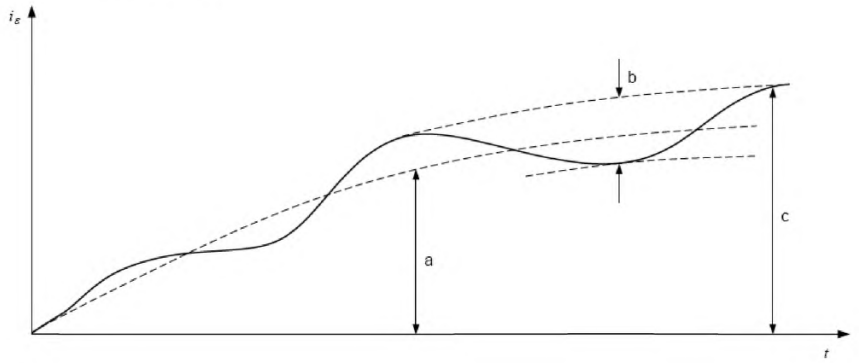
В лабораторной практике может быть трудным воспроизвести точную спецификацию рабочего цикла. В данном случае вычисленное значение K_{td} применённого рабочего цикла должно быть не меньше, чем вычисленное значение K_{td} заданного рабочего цикла. Для того чтобы выполнить это требование, можно отрегулировать продолжительность периода (периодов) подачи питания и/или вторичную нагрузку.

ПРИМЕЧАНИЕ Поскольку вычисление K_{td} основано на формулах для наихудших условий (Формула 6 в 2B.1.2 может дать значения K_{td}, которые на 30 % выше, чем требуется), трансформатор тока может удовлетворить требованиям рабочего цикла без достижения потока, соответствующего вычисленному значению K_{td}.

Для трансформаторов тока класса TPX и TPY, мгновенный разностный ток i_ε измеряется как $i_\varepsilon = i_s \times k_r - i$. Необходимо определить значение погрешности $\hat{\varepsilon}$ согласно 3.4.222, значение не должно превышать предел, заданный в Таблице 206.

Для трансформаторов тока класса TPZ, переменная составляющая разностного тока измеряется как половина удвоенной амплитуды (см. Рисунок 2B.15). Необходимо определить значение погрешности $\hat{\varepsilon}_{ac}$ согласно 3.4.223. Данное значение не должно превышать предел, заданный в Таблице 206.

ПРИМЕЧАНИЕ Возможно, что определение класса не будет содержать рабочий цикл. В данном случае, для целей испытания, рабочий цикл, приводящий к данному значению K_{td}, должен быть согласован между изготовителем и покупателем.



где,

$a = \hat{i}_{sdc}$

$b = 2\hat{i}_{sac}$

$c = \hat{i}_{sac} + \hat{i}_{sdc}$

для *TPY:* $\hat{i}_s = c$

TPZ: $\hat{i}_s = \hat{i}_{sac} = \frac{b}{2}$

Рисунок 2B.15 - Измерение разностных токов

Если необходимо определить реальное значение K_{td} трансформатора тока, то продолжительность периода подачи питания и/или вторичную нагрузку необходимо увеличить так, чтобы измеренный мгновенный разностный ток достиг предельного значения для рассматриваемого класса точности (Таблица 206). Для класса TPZ, для определения момента, в который достигнуто предельное значение переменной составляющей разностного тока, используется линейная интерполяция.

Связанный поток вторичной обмотки ψ_{dir} определяется следующим образом:

$$\Psi(t) = \frac{R_{ct} + R_b}{R_b} \times \int_o^t R_b \times i_s(t)dt$$

где, t – момент времени достижения предела погрешности $\hat{\varepsilon}$ или $\hat{\varepsilon}_{ac}$.

Полный размерный коэффициент K_{td} трансформатора тока – отношение ψ_{dir} к амплитудному значению переменной составляющей ψ в установившихся условиях. Эту переменную составляющую можно получить из измерения связанного потока вторичной обмотки в испытании (a); он должен быть связан с точным (теоретическим) значением тока короткого

замыкания $K_{ssc} \times I_{sr}$. Измерение необходимо выполнять, используя вышеупомянутую формулу.

Погрешность измерения потока не должна превышать 5 %.

2В.3.3 Определение коэффициента конструкции

Если соответствие требованиям к конструкции с низким реактивным сопротивлением рассеяния не может быть установлено к взаимному удовлетворению изготовителя и покупателя посредством ссылки на чертежи, то коэффициент конструкции F_c необходимо определить следующим образом.

Необходимо определить значения связанных потоков вторичной обмотки и в прямом, и в косвенном испытании, в обоих случаях для тока намагничивания в предельных условиях по точности. Если класс переходных характеристик задан альтернативным определением, то соответствующий рабочий цикл и нагрузку необходимо выбрать так, чтобы достичь заданного значения $K_{ssc} \times K_{td}$.

Необходимо определить связанный поток вторичной обмотки ψ_{dir}, который получается в прямом испытании согласно 2В.3.2.

В косвенном испытании необходимо определить связанный поток вторичной обмотки $\hat{\psi}_{ind}$ одним из следующих методов:

Метод переменного тока:

Необходимо использовать испытательный комплект оборудования согласно 2В.2.2.1.

Напряжение необходимо увеличивать до тех пор, пока не будет достигнут соответствующий предел тока возбуждения $\hat{I}_{al}$, заданный в 2В.2.2.2.

Полученное в данный момент напряжение U необходимо отметить. Связанный ток вторичной обмотки $\hat{\psi}_{ind}$ задан формулой:

$$\hat{\psi}_{ind} = \frac{\sqrt{2} \times U}{2\pi f}$$

где, f – приложенная частота.

Метод постоянного тока или конденсаторного разряда:

Необходимо использовать испытательный контур согласно 2В.2.3.1 (метод постоянного тока) или 2В.2.4 (Метод конденсаторного разряда).

Ток $\hat{\psi}_{ind}$- связанный ток вторичной обмотки, который соответствует пределу тока намагничивания i_m, заданного в 2В.2.3.4.

Значение F_c в таком случае вычисляется следующим образом:

$$F_c = \frac{\psi_{ind}}{\hat{\psi}_{dir}}$$

При испытаниях, погрешность в измерении потока не должно превышать 5 %.

Если коэффициент F_c будет больше 1,1, то его необходимо учитывать при определении размеров сердечника.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение тока первичной обмотки, требуемое для выполнения прямых испытаний на определённых типах трансформаторов, может лежать за пределами способностей, обычно предоставляемых изготовителями. Испытания на более низких уровнях тока первичной обмотки могут быть согласованы между изготовителем и покупателем.

Приложение 2С
(обязательное)

Подтверждение соответствия трансформаторов типа с низким реактивным сопротивлением рассеяния

Необходимо показать следующее:

- у трансформатора тока есть практически непрерывный кольцевой сердечник, с равномерно распределенными воздушными зазорами, при наличии таковых;
- у трансформатора тока есть равномерно распределённая вторичная обмотка;
- у трансформатора тока есть провод первичной обмотки, симметричный относительно вращения;
- влияние проводников смежной фазы за пределами трансформаторного киоска и соседних фаз пренебрежимо мало.

Если соответствие требованиям конструкции с низким реактивным сопротивлением рассеяния не может быть установлено к взаимному удовлетворению изготовителя и покупателя посредством ссылки на чертежи, то необходимо сравнить результаты прямого испытания и косвенного испытания следующим образом:

Для трансформаторов тока класса TPX, TPY и TPZ, коэффициент конструкции F_c необходимо определить согласно 2В.3.3. Если F_c будет меньше 1,1, то трансформатор тока необходимо рассматривать как трансформатор тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния.

Для всех других классов защиты необходимо сравнивать полные погрешности полной обмотки, полученные прямым методом испытаний и косвенным методом испытаний.

Для прямого испытания можно применить любой из методов, данных в 2А.5 и 2А.6. Испытательный ток первичной обмотки должен быть таким:

$ALF \times I_{pr}$ для класса P и класса PR;

$K_x \times I_{pr}$ для класса PX и класса PXR.

Для косвенного испытания необходимо применить метод, данный в 7.2.6.203 (b). Напряжение, приложенное к клеммам вторичной обмотки, будет равно:

E_{ALF} для класса P и класса PR;

E_k для класса PX и класса PXR.

Соответствие конструкции с низким реактивным сопротивлением рассеяния должно считаться установленным, если значение полной погрешности, полученной прямым методом, меньше 1,1 умножить на значение полной погрешности, выведенное из косвенного метода.

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно определению (3.4.235), термин «трансформатор тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния» не универсален, а связан с защитными характеристиками, например, класс защиты.

Приложение 2D
(информационное)

Методика, используемая в испытании на нагрев масляных трансформаторов, с целью определить тепловую постоянную по экспериментальной оценке

Список обозначений:

θ - температура в °С;

$\theta(t)$ - температура масла, меняющаяся со временем (может быть температура масла сверху, или средняя температура масла);

θ_a - температура внешней среды охлаждения (атмосферный воздух или вода), предполагается постоянной;

$\Delta\theta$ - повышение температуры масла выше θ_a;

θ_u, $\Delta\theta_u$ - предельные значения в установившемся состоянии;

$\varepsilon(t)$ - оставшееся отклонение от установившегося значения θ_u;

T_0 - постоянная времени для экспоненциальной вариации повышения температуры масла в ёмкости;

h - временной интервал между снятием показаний;

θ_1, θ_2, θ_3 - три последовательных показания температуры с временным интервалом h между ними.

Испытание следует продолжать до тех пор, пока не будет удостоверено установившееся повышение температуры (масла)

$$\theta_u = \theta_a + \Delta\theta_u \qquad (2D.1)$$

$$\theta_t = \theta_a + \Delta\theta_u (1-e^{-t/To}) \qquad (2D.2)$$

Остающееся отклонение от устойчивого состояния в таком случае:

$$\varepsilon(t) = \theta_u - \theta(t) = \Delta\theta_u \times e^{-t/To} \qquad (2D.3)$$

Считается что:

- температура окружающей среды сохраняется настолько постоянной, насколько возможно;
- температура масла $\theta(t)$ достигнет предельного значения θu вдоль экспоненциальной функции с постоянной времени T_0;
- Формула (2D.2) является хорошим приближением температурной кривой (см. Рисунок 2D.1).

Учитывая три последовательных показания $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$ и $\Delta\theta_3$, экспоненциальное соотношение Формулы (2D.2) является хорошим приближением температурной кривой; в таком случае между приращениями будет следующее соотношение:

$$\frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2} = e^{h/T_o} \qquad (2D.4)$$

$$T_o = \frac{h}{\ln\dfrac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}}$$

Показания также позволяют предсказать повышение конечной температуры:

$$\Delta\,\theta_u = \frac{(\Delta\theta_2)^2 - \Delta\theta_1\Delta\theta_3}{2\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 - \Delta\theta_3} \qquad (2D.5)$$

Необходимо сделать последовательные оценки, которые должны сходиться. Для того чтобы избежать больших случайных численных ошибок, рекомендуется, чтобы временной интервал h был приблизительно равным T_0, а отношение $\Delta\theta_3/\Delta\theta_u$ было не меньше 0,95.

Более точное значение устойчивого повышения температуры получается методом наименьших квадратов при экстраполяции всех измеренных точек приблизительно выше 60 % $\Delta\theta_u$ ($\Delta\theta_u$ оценивается методом трёх точек).

Другая числовая формулировка:

$$\Delta\theta_u = \Delta\theta_2 + \frac{\sqrt{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1) - (\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2)}}{In\dfrac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \qquad (2D.6)$$

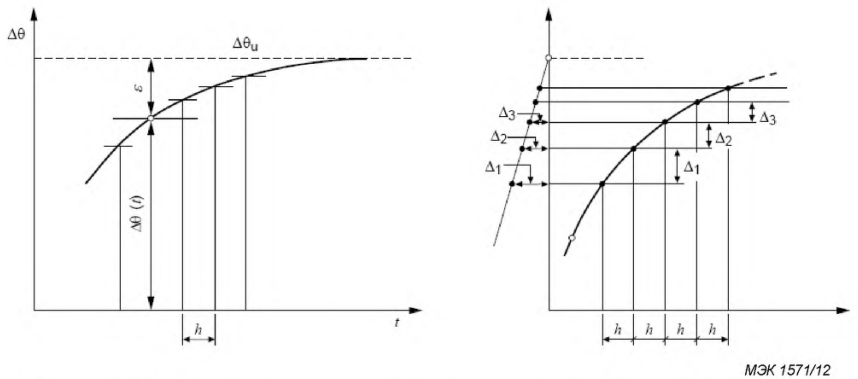


Рисунок 2D.1 - Графическая экстраполяция до повышения предельной температуры

Приложение 2Е
(информационное)

Альтернативное измерение погрешности коэффициента трансформации (ε)

Для трансформаторов тока с низким реактивным сопротивлением рассеяния следующее косвенное испытание приведет к результатам, которые очень близки к результатам, полученным в прямом испытании.

Однако, обычные испытания на погрешности коэффициента трансформации должны всегда выполняться как прямое испытание, поскольку данный метод дает наилучшее свидетельство «свойства низкого реактивного сопротивления рассеяния» сердечника, включая магнитную однородность железного сердечника. С другой стороны, альтернативный метод подходит для измерений на месте эксплуатации, а также для целей постоянного контроля.

В данном случае, метод никогда не рассматривает влияния протекания электрического тока по соседству с трансформатором тока.

Для определения погрешности коэффициента трансформации используется упрощенная эквивалентная диаграмма цепи, показанная на Рисунке 2Е.1:

$$\underline{I}_p \times N_p / N_s = \underline{I}_s + \underline{I}_e$$

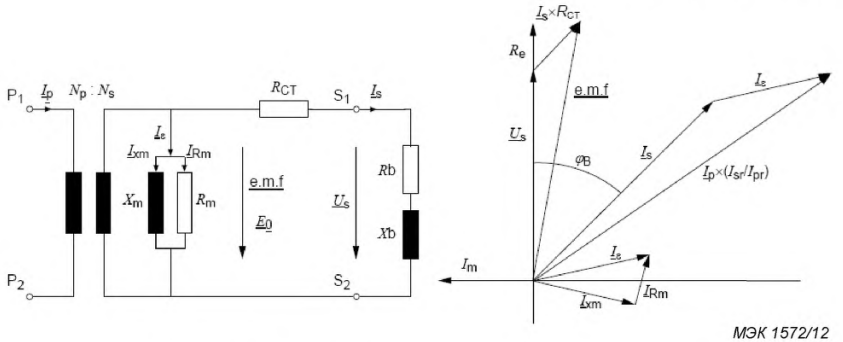


Рисунок 2Е.1 - Упрощенный эквивалентный контур трансформатора тока

Синусоидальное напряжение прикладывается к клеммам вторичной обмотки $S_1 – S_2$ трансформатора тока. Измеряется испытательное напряжение на клеммах $\underline{U}_{S\,Test}$ и ток $\underline{I}_{S\,Test}$. Приложенное напряжение должно сгенерировать ЭДС на концах главной индуктивности с той же самой амплитудой, как во время работы с определённым током и реальной нагрузкой. ЭДС можно вычислить из результатов испытаний, вычитая

падение напряжения на концах сопротивления R_{ct} обмотки из испытательного напряжения $U_{S\,Test}$ на клеммах S_1 – S_2. Данное вычитание необходимо выполнять в комплексной плоскости. Измеренный ток $I_{S\,Test}$, равен разностному току I_ε.

Погрешность коэффициента трансформации можно выразить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_S - \underline{I}_P \frac{I_{sr}}{I_{pr}}}{\underline{I}_P \frac{I_{sr}}{I_{pr}}} = \frac{\underline{I}_S I_{pr}}{\underline{I}_P I_{sr}} - 1 \qquad (2E.1)$$

где:

$$\frac{\underline{I}_p N_P}{N_S} = \underline{I}_e + \underline{I}_s \rightarrow \underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_e + \underline{I}_S) N_S}{N_P} \qquad (2E.2)$$

погрешность коэффициента трансформации можно выразить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_S \times N_p \times I_{pr}}{(\underline{I}_e + \underline{I}_S) \times N_S \times I_{sr}} - 1 \qquad (2E.3)$$

Для определения погрешности коэффициента трансформации для некоторого тока вторичной обмотки I_s предлагается следующая процедура испытания:

- вычисление вторичного напряжения на клеммах $S_1 – S_2$:

$$\underline{U}_s = \underline{I}_s \times (R_b + jX_b)$$

- измерение сопротивления вторичной обмотки R (значение при реальной температуре)

- вычисление соответствующей ЭДС

$$\underline{E}_o = \underline{I}_S R + \underline{U}_s$$

- приложение напряжения

$$\underline{U}_{STest} = \underline{E}_O + \underline{I}_{STest} R \quad (\text{здесь } I_{S\,Test} = I_S)$$

к клеммам вторичной обмотки $S_1 – S_2$

- измерение напряжения $U_{p\,Test}$ на клеммах $P_1 – P_2$

- вычисление коэффициента трансформации по соотношению витков

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_{pTest}}{|\underline{E}_O|}$$

- вычисление соответствующего значения I_p

$$\underline{I}_p = \frac{(\underline{I}_s + \underline{I}_{sTest}) N_s}{N_p}$$

Погрешность коэффициента трансформации можно вычислить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\underline{I}_s N_p I_{pr}}{(\underline{I}_{sTest} + \underline{I}_s) \times I_{sr}} - 1$$

Приложение 2F
(обязательное)

Определение погрешности коэффициента трансформации по числу витков

На фактический коэффициент трансформации влияют погрешности из трёх источников:

a) разность между инверсией коэффициента трансформации и номинальным коэффициентом трансформации;

b) ток возбуждения сердечника (I_e);

c) потоки, которые текут в паразитных ёмкостях, соединённых с обмотками.

В большинстве случаев, целесообразно предположить, что для данной индуцированной ЭДС вторичной обмотки (E_s), разностные потоки, возникающие от паразитных ёмкостей и намагничивания сердечника, будут поддерживать постоянную величину, независимо от значения возбуждающего тока первичной обмотки. Теоретически E_s можно поддерживать при постоянном значении в некотором диапазоне токов возбуждения, при условии, что импеданс вторичной петли можно соответствующим образом отрегулировать. Для трансформаторов тока, разработанных так, чтобы они имели низкое реактивное сопротивление рассеяния, реактивное сопротивление рассеяния вторичной обмотки можно проигнорировать, и понадобится учесть только сопротивление вторичной обмотки. Для любых двух токов I'_s потоков и I''_s, основной расчет, определяющий испытательное требование, задается следующей формулой:

$$I'_s = (R + R'_b) = E_s = I''_s (R + R''_b)$$

где, R – фактическое сопротивление вторичной обмотки.

Предполагая, что измеренные погрешности коэффициента трансформации – ε'_c и ε''_c, погрешность коэффициента трансформации по числу витков обозначается как ε_t, а комбинированные токи намагничивания и блуждающие токи даны величиной I_x. Соответствующие разностные токи будут заданы формулой:

$$(\varepsilon_c' - \varepsilon_t) \times k_r I'_s = I_x = (\varepsilon''_c - \varepsilon_t) \times k_r I''_s$$

откуда следует:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon'_c \times I'_s - \varepsilon''_c \times I''_s}{I'_s - I''_s}$$

Если $I'_S = 2I''_S$, то погрешность коэффициента трансформации по числу витков определяется выражением $2\varepsilon'_c - \varepsilon''_c$.

Испытание при номинальном токе с минимальной нагрузкой, присоединённой к вторичной обмотке, за которым следует испытание при половине номинального тока и соответствующем увеличении сопротивления вторичной петли, обычно будет давать удовлетворительные результаты.

УДК 629.4.016.15 **МКС 17.220.20**

Ключевые слова: трансформаторы измерительные, пределы погрешности, номинальный ток, импульсное напряжение, защитные трансформаторы, альтернативное измерение, рабочие циклы, ток короткого замыкания, смещения фазы, кратковременный ток

Басуға _____ ж. қол қойылды Пішімі 60х84 1/16
Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «KZ Times New Roman»,
«Times New Roman»
Шартты баспа табағы 1,86. Таралымы ____ дана. Тапсырыс ____

«Қазақстан стандарттау және сертификаттау институты»
республикалық мемлекеттік кәсіпорны
010000, Астана қаласы, Орынбор көшесі, 11 үй,
«Эталон орталығы» ғимараты
Тел.: 8 (7172) 79 33 24

gost.e-ecolog.ru