

PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY

ČEZ Distribuce, E.ON Czech PRE distribuce, ČEPS	Parametry kvality elektrické energie – Část 3: Nesymetrie napětí, změny kmitočtu 50 Hz a rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz	PNE 33 3430-3
		4.vydání
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, ČEZ Distribuce, E.ON Czech a.PRE distribuce</p> <p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření nesymetrie napětí, změny kmitočtu 50 Hz a rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz.</p> <p>Tato norma platí pro připojování a provozování elektrických zařízení z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz.</p> <p>Nahrazení předchozích norem</p> <p>Touto normou se nahrazuje PNE 33 3430-3:2010.</p> <p>Změny proti předchozí normě</p> <p>V předmluvě byly doplněny citované normy ČSN EN 61000-4-16 a ČSN EN 61000-4-19. Do kapitoly 2 byly doplněny definice termínů souvisejících s rušením v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz. Pro toto rušení byla také kapitola 3 doplněna novými články. Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí bylo přesunuto z přílohy A předchozí normy do nové kapitoly 9, která byla opravena podle revidované normy IEC 61000-4-30 ed. 3. Měření a vyhodnocení změn kmitočtu 50 Hz je uvedeno v nové kapitole 10. Měření a vyhodnocení rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz je uvedeno v nové kapitole 11.</p> <p>Základní požadavky na odolnost elektrických výkonových pohonů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí byly přesunuty z přílohy B předchozí normy do nové kapitoly 12. Požadavky na změny kmitočtu napětí 50 Hz v ostrovním provozu jsou uvedeny v nové kapitole 13. Základní požadavky na odolnost zařízení distribučních soustav proti rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz jsou uvedeny v nové kapitole 14.</p>		
Ruší: PNE 33 3430-3 z roku 2010	Účinnost od: 2016-01-01	

Předmluva

Citované normy

ČSN IEC 50(161) (33 4201) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita

ČSN CLC/TS 61836 Solární fotovoltaické energetické systémy – Termíny, definice a značky

ČSN EN 50160 ed.3 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí

ČSN EN 60909 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách

ČSN EN 61000-2-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-2: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí

ČSN EN 61000-2-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-4: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech

ČSN EN 61000-2-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-12: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích vysokého napětí

IEC/TR 61000-3-13 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-13: Určování emisních mezí pro připojování nesymetrických instalací k soustavám vn, vvn a zvn (do ČSN nezavedena)

ČSN EN 61000-4-16 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-16: Zkušební a měřicí technika – Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 kHz

ČSN EN 61000-4-19 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-19: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti symetrickým rušením a signálům šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz na vstupech/výstupech AC napájení

ČSN EN 61000-4-27 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-27: Zkušební a měřicí technika – Nesymetrie – Zkouška odolnosti

ČSN EN 61000-4-28 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-28: Zkušební a měřicí technika – Kolísání síťového kmitočtu – Zkouška odolnosti

IEC 61000-4-30 ed. 3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie (do ČSN zatím nezavedena)

ČSN EN 62116 Fotovoltaické střídače připojené do elektrizační soustavy – Postup zkoušky opatření zabráňujících ostrovnímu provozu

ČSN EN 62586-2 Měření kvality elektřiny v systémech elektrického napájení – Část 2: Funkční zkoušky a požadavky na nejistotu

ČSN 33 0050-604 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie – Provoz

STN 33 0050-604 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie. Prevádzka

ČSN EN 61800-3 Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí – Část 3: Požadavky EMC a specifické zkušební metody

ČSN EN 61000-4-19 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-19: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti symetrickým rušením a signálům šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz na vstupech/výstupech AC napájení

CLC/TR 50579 Vybavení pro měření elektrické energie (AC) – Stupně přesnosti, požadavky na odolnost a zkušební metody pro rušení šířené vedením v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz

PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav

PNE 33 3430-7 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční soustavy

Vysvětlivky k textu normy

V textu této normy je uvedeno množství nových ustanovení podle IEC/TR 61000-3-13. Tato technická zpráva je nepostradatelným podkladem pro odborníky provozovatele distribučních soustav (zejména při dohadování plánovacích úrovní). Vzhledem k tomu, že tato technická zpráva se nebude zavádět do ČSN překladem, budou muset uvedení odborníci pracovat s touto technickou zprávou v originále. Pro usnadnění této práce jsou všech-

ny důležité vztahy, značky a zkratky v této normě převzaty ve shodě s originálem IEC/TR 61000-3-13. Pouze v doprovodném textu jsou uváděny české verze následujících zkratk: EHV - zvn, HV - vvn, MV - vn a LV – nn.

Vypracování normy

Zpracovatel: Ing. Jaroslav Šmíd, CSc. – NELKO TANVALD, IČ-63136791

Pracovníci Komise pro technickou normalizaci při ČSRES: Ing. Pavel Kraják a Ing. Jaroslav Bárta

Obsah

	Strana
1	Předmět normy 6
2	Definice 6
3	Všeobecně 9
3.1	Popis jevů 9
3.2	Zdroje nesymetrie napětí 9
3.3	Zdroje rušení v rozsahu 2 kHz až 150 kHz 9
3.4	Účinky nesymetrie napětí 9
3.5	Účinky rušení v rozsahu 2 kHz až 150 kHz 10
4	Úrovně nesymetrie napětí podle norem 10
4.1	Nesymetrie napájecího napětí jako charakteristika dodávky elektrické energie 10
4.2	Shoda s požadavky podle harmonizovaných norem 11
4.3	Třídy elektromagnetického prostředí 11
5	Koordinace mezí emise nesymetrie napětí s kompatibilními úrovněmi 12
5.1	Kompatibilní úrovně pro spotřebiče v distribučních soustavách nízkého napětí 13
5.2	Kompatibilní úrovně pro zařízení v průmyslových sítích 13
5.3	Základní požadavky na odolnost proti nesymetrii napětí 13
5.4	Základní požadavky na potlačení emise nesymetrie napětí 14
5.5	Plánovací úrovně 14
5.6	Znázornění kompatibilních, emisních, odolnostních a plánovacích úrovní 14
5.7	Definice úrovně emise nesymetrie 15
6	Sumační zákon 16
7	Meze emise nesymetrie způsobené instalacemi připojovanými do soustavy vn (MV) 16
7.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise nesymetrie napětí 16
7.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 17
7.2.1	Souhrnné emise určené k rozdělení mezi zdroje nesymetrie 17
7.3	Etapa 3: podmíněné připojování při vyšších úrovních emise 19
7.4	Vývojový diagram postupu vyhodnocování 19
8	Meze emise nesymetrie pro instalace v soustavách vvn (HV) 21
8.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise nesymetrie 21
8.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 21
8.2.1	Určení celkového dostupného výkonu 21
8.3	Etapa 3: podmíněné připojování při vyšších úrovních emise 23
9	Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí 23
9.1	Elektrické hodnoty určené k vyhodnocení nesymetrie napětí 23
9.2	Agregace měření přes časové intervaly 23
9.3	Měření nesymetrie napětí a proudu 23
9.4	Ovlivňující veličiny a ověření funkce měření 23
10	Měření a vyhodnocení změn kmitočtu 50 Hz 24
10.1	Měření 24
10.2	Nejistota měření a měřicí rozsah 24
11	Měření a vyhodnocení rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz 24
12	Základní požadavky na odolnost elektrických výkonových pohonů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí 24
12.1	Společné principy 25

12.3	Pohony nízkého napětí	26
12.4	Pohony jmenovitého napětí nad 1 000 V	27
13	Změny kmitočtu 50 Hz v ostrovním provozu	27
13.1	Zkouška shody	27
13.2	Kritéria vyhovění/nevyhovění zkoušce	28
14	Základní požadavky na odolnost zařízení distribučních soustav proti rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz.....	28
14.1	Vlnové profily.....	28
14.2	Zkušební vlnový profil s pulzy CW s přestávkou	29
14.3	Zkušební vlnový profil s obdélníkově modulovanými pulzy	29
14.4	Zkoušení symetrickým napětím.....	30
14.5	Zkoušení symetrickým proudem	31
14.6	Příklad zkušební sestavy pro elektroměry.....	31

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik nesymetrie, změn kmitočtu 50 Hz a rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz v distribučních soustavách nn, vn a vvn. Dále se týká omezování jejich vlivu na funkční spolehlivost zařízení odběratelů i provozovatele distribuční soustavy.

Předmětem této části PNE je vytvoření všeobecného podkladu pro vyhodnocování a omezování nesymetrie napětí. V souladu s harmonizovanými základními normami EMC jsou mezní hodnoty nesymetrie napětí odvozeny od kompatibilních úrovní a za účelem určení dovolené emise nesymetrie napětí jednotlivými zařízeními nebo instalacemi odběratelů se berou v úvahu další parametry distribuční soustavy, jako např. zkratový výkon. Za specifikování těchto parametrů a požadavků pro připojení instalace odběratele do distribuční soustavy zodpovídá provozovatel distribuční soustavy.

2 Definice

Pro účely této části PNE se používají následující definice týkající se nesymetrie napětí, změn kmitočtu 50 Hz a rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz (viz též ČSN IEC 50(161).

elektromagnetická kompatibilita; EMC (zkratka) (*electromagnetic compatibility (EMC abbreviation)*) schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí

POZNÁMKA 1 Elektromagnetická kompatibilita je taková podmínka elektromagnetického prostředí, aby pro každý jev byla úroveň emise rušení dostatečně nízká a úroveň odolnosti dostatečně vysoká tak, aby přístroj, zařízení a systém pracoval podle určení.

POZNÁMKA 2 Elektromagnetické kompatibility je dosaženo jen jsou-li úrovně emise a odolnosti kontrolovány tak, aby úrovně odolnosti přístrojů, zařízení a systémů nebyly překročeny v jakémkoliv místě úrovní rušení, která je v tomto místě výslednicí kumulativních emisí ze všech zdrojů za působení ostatních faktorů jako jsou impedance obvodu. Podle dohody se kompatibility dosáhne je-li pravděpodobnost odchylky od určené funkce dostatečně nízká. Viz 61000-2-1 kapitola 4.

POZNÁMKA 3 Kde to kontext vyžaduje, může se kompatibilita vztahovat k jednotlivému rušení nebo k třídě rušení.

POZNÁMKA 4 Elektromagnetická kompatibilita je termín používaný také k popsání oblasti studie nepříznivých elektromagnetických účinků, kterým jsou přístroje, zařízení a systémy vystaveny navzájem nebo od elektromagnetických jevů.

[IEV 161-01-07, modifikováno]

(elektromagnetická) kompatibilní úroveň (*electromagnetic compatibility level*)

předepsaná úroveň elektromagnetického rušení použitá jako referenční úroveň pro koordinaci stanovení mezí emise a odolnosti

POZNÁMKA Podle dohody je kompatibilní úroveň volena tak, aby byla jen malá pravděpodobnost, že bude překročena skutečnou úrovní rušení.

[IEV 161-03-10, modifikováno]

plánovací úroveň (*planning level*)

úroveň konkrétního rušení v konkrétním prostředí, převzatá jako referenční hodnota pro stanovení mezí emisí z velkých zátěží a instalací tak, aby koordinovala tyto meze se všemi mezemi převzatými pro zařízení určené k připojení do distribuční soustavy

POZNÁMKA Plánovací úroveň je specifická pro místo v distribuční soustavě a je schválena organizací odpovědnou za projektování a provoz distribuční soustavy v příslušné oblasti. Další informace viz články 5.5 a 5.6.

společný napájecí bod; PCC (*point of common coupling; PCC*)

bod veřejné distribuční soustavy, elektricky nejbližší ke konkrétní zátěži, ve kterém jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže

[IEV 161-07-15 modifikováno]

napájecí bod uvnitř závodu; IPC (*in-plant point of coupling; IPC*)

napájecí bod uvnitř vyšetřované sítě nebo instalace, elektricky nejbližší ke konkrétní zátěži, ve kterém jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže

POZNÁMKA IPC je obvykle bod, pro který je třeba elektromagnetickou kompatibilitu posuzovat

zkratový výkon (*short-circuit power*)

S_{sc} (S_{sc})

hodnota trojfázového zkratového výkonu vypočtená ze jmenovitého síťového sdruženého napětí U_{nominal} a impedance distribuční soustavy Z v bodu PCC:

$$S_{\text{sc}} = U_{\text{nominal}}^2 / Z$$

kde Z je impedance distribuční soustavy na síťovém kmitočtu

dohodnutý příkon (*agreed power*)

hodnota vstupního zdánlivého výkonu rušivé instalace, na které se odběratel a provozovatel distribuční soustavy dohodnou; v případě několika bodů připojení se mohou definovat různé hodnoty pro každý bod připojení

odběratel (*customer*)

osoba, společnost nebo organizace, která provozuje instalaci připojenou k distribuční soustavě nebo které provozovatel distribuční soustavy dá právo připojit instalaci k distribuční soustavě

napájecí napětí (supply voltage): efektivní hodnota napětí v dané době v odběrném místě, měřená po dobu daného intervalu (viz ČSN EN 50160 ed. 2, článek 3.4)

základní kmitočet (*fundamental frequency*)

kmitočet ve spektru získaném z Fourierovy transformace funkce času, ke kterému jsou všechny kmitočty spektra vztaženy; pro účely této normy je základní kmitočet shodný s kmitočtem distribuční soustavy

[IEV 101-14-50, modifikováno]

POZNÁMKA 1 V případě jakéhokoliv rizika nejednoznačnosti, měl by se kmitočet distribuční soustavy vztahovat na směr a rychlost otáčení synchronních generátorů napájejících distribuční soustavu.

POZNÁMKA 2 Tato definice se může aplikovat na jakoukoliv průmyslovou napájecí síť bez ohledu na zátěž, kterou napájí (jednotlivou zátěž nebo kombinaci zátěží, točivých stojů nebo jiných zátěží) a dokonce i je-li generátorem napájejícím tuto síť polovodičový měnič.

základní složka (*fundamental component*)

složka jejíž kmitočet je základním kmitočtem

nesymetrie (asymetrie) napětí (*voltage unbalance (imbalance)*)

stav ve vícefázovém systému, v kterém efektivní hodnoty sdružených napětí (základních složek) nebo fázových úhlů mezi po sobě jdoucími fázovými napětími nejsou stejné; stupeň nerovnosti se obvykle vyjadřuje jako poměr zpětné případně nulové složky a sousledné složky

[IEV 161-08-09 modifikováno]

POZNÁMKA 1 Všeobecně se nesymetrie napětí bere v úvahu, ve vztahu k trojfázovým systémům, jen prostřednictvím zpětné složky. Za některých okolností by se však měla vzít v úvahu i nulová složka.

POZNÁMKA 2 Několik aproximací dává rozumné, přiměřeně přesné, výsledky pro normálně se vyskytující úrovně nesymetrie (poměr zpětné a sousledné složky), např.:

$$\text{nesymetrie napětí} = \sqrt{\frac{6 \times (U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})^2} - 2}$$

Kde U_{12} , U_{23} a U_{31} jsou tři sdružená napětí.

úroveň emise (nesymetrie napětí) ((voltage unbalance) emission level)

úroveň nesymetrie emitovaná konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem (IEV 161-03-11 modifikováno)

mez emise (nesymetrie napětí) ((voltage unbalance) emission limit)

předepsaná maximální úroveň emise nesymetrie napětí (IEV 161-03-12 modifikováno)

sousledná složka (*positive-sequence component*)

symetrický vektor, který se otáčí stejným směrem jako vektor napětí (nebo proudu) síťového kmitočtu:

$$\underline{U}_1 = 1/3 (\underline{U}_a + a \underline{U}_b + a^2 \underline{U}_c), \text{ kde } a = -0,5 + j\sqrt{3}/2 \text{ a } \underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c \text{ jsou fázová napětí (základní složka)}$$

POZNÁMKA Mohou se také použít sdružená napětí.

zpětná složka (*negative-sequence component*)

symetrický vektor, který se otáčí opačným směrem než vektor napětí (nebo proudu) síťového kmitočtu:

$$\underline{U}_2 = 1/3 (\underline{U}_a + a^2 \underline{U}_b + a \underline{U}_c), \text{ kde } a = -0,5 + j\sqrt{3}/2 \text{ a } \underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c \text{ jsou fázová napětí (základní složka)}$$

POZNÁMKA Mohou se také použít sdružená napětí.

nulová složka (*zero-sequence component*)

symetrický vektor, který se otáčí stejným směrem jako vektor napětí (nebo proudu) síťového kmitočtu:

$\underline{U}_0 = 1/3 (\underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c)$, kde \underline{U}_a , \underline{U}_b , \underline{U}_c jsou fázová napětí (základní složka)

POZNÁMKA Sdružená napětí se nemohou použít.

činitel nesymetrie napětí u_2 (*voltage unbalance factor u_2*)

poměr zpětné složky a sousledné složky napětí základního kmitočtu:

$$u_2 = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|} \cdot 100 = \frac{|\underline{U}_a + a^2 \underline{U}_b + a \underline{U}_c|}{|\underline{U}_a + a \underline{U}_b + a^2 \underline{U}_c|} \cdot 100 \quad (\%)$$

kde $a = -0,5 + j\sqrt{3}/2$ a \underline{U}_a , \underline{U}_b , \underline{U}_c jsou fázová napětí

POZNÁMKA 1 Místo fázových napětí se mohou použít také sdružená napětí.

Ekvivalentní je výraz podle IEC 61000-4-30:

$$u_2 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\%$$

kde

$$\beta = \frac{\underline{U}_{ab}^4 + \underline{U}_{bc}^4 + \underline{U}_{ca}^4}{(\underline{U}_{ab}^2 + \underline{U}_{bc}^2 + \underline{U}_{ca}^2)^2}$$

POZNÁMKA 2 Měření a vyhodnocení nesymetrie by se mělo přednostně provádět z poměru zpětné složky a sousledné složky, protože výše uvedený výpočet nesymetrie zanedbává příspěvek fázového posunu mezi měřenými napětími.

činitel nesymetrie proudu i_2 (*voltage unbalance factor i_2*)

poměr zpětné složky a sousledné složky napětí základního kmitočtu:

$$i_2 = \frac{|\underline{I}_2|}{|\underline{I}_1|} \cdot 100 = \frac{|\underline{I}_a + a^2 \underline{I}_b + a \underline{I}_c|}{|\underline{I}_a + a \underline{I}_b + a^2 \underline{I}_c|} \cdot 100 \quad (\%)$$

časová agregace (*time aggregation*)

spojování několika po sobě následujících hodnot daného parametru (každá určena ve stejném časovém intervalu) za účelem získání hodnoty reprezentující delší časový interval

POZNÁMKA Agregace v této normě (viz A.2) se týká časové agregace za účelem měření parametrů potřebných pro vyhodnocení nesymetrie napětí.

označená data (*flagged data*)

data, která byla označena pro indikování zda jejich měření nebo jejich agregace mohla být ovlivněna přerušeními, krátkodobými poklesy nebo krátkodobými zvýšeními napětí

POZNÁMKA Označování podle ČSN EN 61000-4-30, článek 3.6, umožňuje další postupy, které mohou zabránit počítání jedné události (například krátkodobé nesymetrie) jako několika událostí různých typů. Označování je doplňková informace o měření nebo agregaci. Označená data se ze souboru dat neodstraňují. V některých aplikacích se označená data mohou vyloučit z další analýzy v ostatních aplikacích však skutečnost, že data byla označena, může být bezvýznamná. Uživatelské, aplikační, předpisové nebo jiné normy určují použití označených dat.

symetrický proud (*differential mode current*)

I_{Diff}

ve dvou vodičovém kabelu nebo pro dva konkrétní vodiče ve vícevodičovém kabelu, polovina velikosti rozdílu fázorů reprezentujících proudy v každém vodiči

proud zátěže (*load current*)

I_{Load}

pro EUT, které má jednoúčelový vstup/výstup pro měření AC proudu, to je proudu síťového kmitočtu tekoucího

proudovým obvodem EUT, např. v elektroměru, proud zátěže I_{Load} typicky teče živými vodiči od L_{IN} do L_{OUT} elektroměru

pulzy CW s přestávkou (*CW pulse with pause*)

sled pulzů CW sinusového signálu s následnými přestávkami podle článku 14.2 a obrázku 8

obdélníkově modulované pulzy (*rectangularly modulated pulses*)

sled pulzů sinusového signálu se stoupajícím kmitočtem v rozsahu od 2 kHz do 150 kHz, který je modulován pulzy se čtyřmi různými kmitočty modulace s pracovními cykly 50 % podle článku 14.3 a obrázku 9

vlnový profil (*wave profile*)

sekvence pulzů CW s přestávkou nebo obdélníkově modulovaných pulzů se stoupajícím kmitočtem nosné v rozsahu od 2 kHz do 150 kHz

zkouška CW (*CW test*)

zkouška s pulzy CW s přestávkou

doba trvání průběhu (*dwell time*)

T_{dwell}

doba trvání sledu pulzů pro zvolený modulační kmitočet podle článku 14.3 a obrázku 9

3 Všeobecně

3.1 Popis jevů

Nesymetrie napětí je v třífázové distribuční soustavě všeobecně způsobena nerovnoměrným zatížením ve dvou nebo třech fázích jednofázovými zátěžemi. Nesymetrie napětí je přímo závislá na velikosti jednofázové zátěže v procentech jmenovitého výkonu a na velikosti impedance napájecí distribuční soustavy. Nesymetrie napětí je stav, ve kterém se napětí třífázové distribuční soustavy liší v amplitudě nebo jsou odchylky od jejich normálního fázového posunu 120° , nebo obojí. Podle výsledku součtu fázorů jednotlivých fází může být nesymetrická soustava nevyvážená (součet fázorů je různý od nuly) nebo soustava vyvážená (součet fázorů je rovný nule).

Až do současnosti byly v normalizaci vzaty v úvahu složky napětí/proudu způsobené rušeními a signály v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz pouze do určité omezené míry. Definice zdroje a vazebních mechanismů elektromagnetických rušení v tomto kmitočtovém rozsahu vedla ke snaze nalezení nějakého návodu o očekávaných úrovních napětí v místě dodávky energie zákazníkovi za normálního stavu (viz EN 50160). Emise symetrických rušení a signálů šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz na vstupu/výstupech AC napájení mají jak symetrické tak i nesymetrické složky. Norma ČSN EN 61000-4-19 zajišťuje zkoušky odolnosti zařízení distribuční soustavy pouze pro symetrická rušení a signály. Doporučuje se provádět rovněž zkoušky v nesymetrickém režimu, které jsou pokryty normou ČSN EN 61000-4-16.

3.2 Zdroje nesymetrie napětí

Převládající příčina nesymetrie je nesymetrické jednofázové zatížení. V distribučních soustavách nízkého napětí jsou jednofázové spotřebiče téměř výlučně připojovány mezi fází a střední vodič avšak s rozložením více či méně rovnoměrným do všech tří fází. V distribučních soustavách vysokého a velmi vysokého napětí mohou být jednofázová zatížení připojena buď mezi fázemi nebo mezi fází a střední vodič. Významné jednofázové odběry jsou napájecí stanice střídavé trakce a jednofázové pece.

Nesymetrie napětí způsobená jednofázovým zatížením připojeným mezi dvě fáze je prakticky rovna poměru příkonu zatížení a třífázového zkratového výkonu sítě.

Zpětná složka napětí se šíří ze sítě nižší úrovně do sítě vyšší úrovně napětí s velkým útlumem. Ve směru z vyšší do nižší úrovně závisí útlum na přítomnosti točivých strojů, které mají vyrovnávací účinek.

3.3 Zdroje rušení v rozsahu 2 kHz až 150 kHz

V kmitočtovém rozsahu od 2 kHz do 150 kHz dochází k elektromagnetické interferenci především následkem provozu elektrických zařízení, generujících neúmyslné složky napětí/proudu odlišné od síťového kmitočtu. Dalším zdrojem je použití napájecí sítě pro úmyslný přenos signálu síťovými komunikačními systémy.

V současné době, elektrická zařízení, která zřejmě nejvíce souvisejí s elektromagnetickou interferencí, jsou jako zdroj rušení: střídače (např. pohony výtahů, pohony lyžařských vleků, Instalace fotovoltaiky (PV)), inteligentní měřiče s přenosem dat PLC, spínané napájecí zdroje, UPS a regulované pohony (např. tepelná čerpadla);

3.4 Účinky nesymetrie napětí

Značná nesymetrie napětí způsobuje zvýšený ohřev transformátoru. Určení zda transformátor je schopen napájet jednofázové zátěže, jejichž příkon je značným procentem jmenovitého výkonu transformátoru, by mělo být konzultováno s výrobcem.

Zpětná impedance třífázového indukčního stroje odpovídá jeho impedanci při rozběhu. Proto stroj pracující s nesymetrickým napájením bude odebírat proud se stupněm nesymetrie několikanásobným ve srovnání s napájecím napětím. Následkem toho se mohou třífázové proudy značně lišit a zvýšený ohřev vodičů (vinutí) ve fázi s větším proudem bude jen částečně vyrovnán zmenšeným ohřevem v ostatních fázích a ohřev stroje bude narůstat.

Například nesymetrie způsobí protékání zpětné složky proudu trojfázovým asynchronním motorem, která bude redukovat výstupní točivý moment při jmenovitém proudu nebo při jmenovitém výstupu způsobí nadměrný ohřev motoru. V některých motorech může nesymetrie 3 % mít za následek snížení jmenovitého výstupu o 10 %. Jsou-li podmínky nesymetrie na síťovém napájení trojfázového motoru, je důležité konzultovat s výrobcem motoru určení úměrného snížení jmenovitého výstupu nezbytného pro bezpečný provoz.

POZNÁMKA Například podle [Stier J.: Die elektrische Maschine am unsymmetrischen Mehrphasensystem, ETZ A 11/53] napěťová nesymetrie 4 % zkracuje životnost asynchronního motoru o polovinu.

Extrémním případem nesymetrického napájení je odpojení jedné fáze, což rychle vede k destrukci stroje. Motory a generátory, zejména větší a nákladnější, se chrání odpovídajícími ochranami v souladu s ČSN 333051. Jestliže nesymetrie napájení je dostatečná, ochrana proti "jednofázovému chodu" může reagovat na nesymetrické proudy a vypnout stroj.

Protože hlavním účinkem nesymetrie je ohřev vinutí stroje, mohou být připuštěny krátkodobé úrovně nesymetrie do 4 % po několik sekund nebo dokonce několik minut.

Účinek na měniče se bude měnit v závislosti na typu výkonového obvodu a na použité metodě řízení. Každý typ řízení a obvodu by měl být detailně analyzován. Účinek na řízené a neřízené měniče, které napájejí odporové zátěže, bude všeobecně malý. Fázově řízené měniče typu, který používá fázově posouvané síťové napětí jako jejich vztažný signál budou ovlivněny méně než měniče, které používají k synchronizaci se sítí lineárně stoupající napětí a jeho průchod nulou jako vztažný signál. Řízené a neřízené měniče, které napájejí baterie kondenzátorů a které napájejí stejnosměrný meziobvod nepřímých měničů (střídače zdrojů napětí), budou mít nesymetrie proudu, které jsou značně větší než je nesymetrie napětí a větší než měniče, které napájejí induktivní zátěž jako je stejnosměrný motor (viz ČSN EN 61800-3, příloha B.5.3).

Vícefázové měniče, v kterých vstupní fázová napětí přispívají postupně k stejnosměrnému výstupu, jsou také ovlivňovány nesymetrií napájení, která způsobuje nežádoucí zvlněnou složku na stejnosměrné straně a necharakteristické harmonické na střídavé straně.

Zvláštní péče by měla být věnována měničům, které napájejí kondenzátorové baterie, jelikož vrcholový proud je nesymetrií napětí značně zvětšen. Pro velmi velké kondenzátorové baterie, kde zvlnění napětí je malé, je vrcholový proud každé fáze omezen jen impedancí zdroje (impedancí sítě v místě připojení měniče a v kmitočtovém rozsahu vrcholového proudu), jakoukoliv přídatnou impedancí v měniči a rozdílem napětí kondenzátorové baterie a síťového napětí (například pro nesymetrii napětí 3 % a impedanci zdroje 1 % může být poměr vrcholových proudů mezi fázemi až 20 %; Toto je však extrémní podmínka, jelikož je nepravděpodobné, že při impedanci zdroje 1 % by jednofázová zátěž mohla způsobit tak velkou nesymetrii (viz ČSN EN 61800-3, příloha B)).

3.5 Účinky rušení v rozsahu 2 kHz až 150 kHz

Nejzávažnějším účinkem je zhoršená funkce nebo chybná funkce elektronických měřících systémů, zejména nesprávné zobrazení dodané energie na elektroměru;

V několika případech, kdy elektroměry registrovaly pouze část energie skutečně přiváděné do veřejné napájecí soustavy z PV střídače, výzkumy ukázaly, že tato chybná funkce byla způsobena zvlněním proudu střídače, které může za určitých okolností ovlivnit elektroměr. Ve většině případů takové zvlnění proudů ze střídačů má kmitočet v rozsahu od 3 kHz do 150 kHz vyplývající ze spínacího kmitočtu (několik desítek kHz) a jeho harmonických.

Dalšími účinky jsou rušení elektronických ovládaní jako je například: neúmyslné zapnutí a vypnutí pouličního osvětlení, předcházení elektronických hodin, samočinné opětné zapnutí domácích spotřebičů, ztráta funkce semaforu a nesprávný provoz topných systémů způsobený poruchami čidla.

4 Úrovně nesymetrie napětí podle norem

4.1 Nesymetrie napájecího napětí jako charakteristika dodávky elektrické energie

Tento článek je uveden jen pro informaci o normách a není považován za požadavek na stanovení mezních hodnot. Podle článků 4.10 a 5.10 normy ČSN EN 50160 ed.2 musí být za normálních provozních podmínek, v libovolném týdenním období, 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. V některých oblastech, v nichž jsou instalace odběratelů částečně připojeny jednofázově nebo dvoufázově, se vyskytují v odběrných místech nesymetrie až asi do 3 %.

POZNÁMKA V normě ČSN EN 50160 jsou uvedeny hodnoty jen pro zpětnou složku, protože tato složka je pro možné interference spotřebičů připojených do distribuční soustavy podstatná.

4.2 Shoda s požadavky podle harmonizovaných norem

Pokud se uvažují veřejné distribuční soustavy nízkého napětí, kontrola úrovně rušení se provede pomocí striktního omezení emisí zařízení určeného k připojení do distribuční soustavy, jehož proud je menší než 16 A. Tato omezení jsou stanovena na základě statistických úvah o:

- šíří rozptylu zařízení v distribuční soustavě;
- typu využití (efekt soudobosti);
- charakteristikách distribuční soustavy.

Jakékoliv zařízení, jehož proud je menší než 16 A může být připojeno, za předpokladu, že vyhovuje mezím emise daným příslušnou normou.

Tento přístup zohledňuje skutečnost, že ve veřejných sítích není možná přísná koordinace mezi různými odběrateli a provozovatelem distribuční soustavy.

Pokud se týče průmyslových závodů a neveřejných sítí, musí být shoda s kompatibilními úrovněmi dosažena v těchto místech:

- Ve společném napájecím bodu (PCC) z veřejné distribuční soustavy.** Celková emise průmyslového závodu do veřejné distribuční soustavy je předmětem omezení na základě požadavků dodavatele, a na podmínkách soustavy.
- V interním bodu (bodech) připojení (IPC).** Celková úroveň rušení způsobená emisí zařízení uvnitř závodu a úroveň rušení přicházející napájením se omezuje na vybrané kompatibilní úrovně v příslušných bodech IPC.

Shoda s výše uvedenými požadavky může být dosažena předepsáním omezení emise jednotlivého zařízení, přičemž se bere v úvahu následující:

- skutečná impedance distribuční soustavy, kde se má zařízení připojit;
- rozmanitost zařízení skutečně instalovaných v závodu;
- skutečné využití zařízení ve vztahu s organizací výrobního procesu;
- možná kontrola a zmírnění rušení získané opatřeními jako jsou filtrační nebo kompenzační prostředky, rozložení zátěží na různé napáječe, oddělení rušících zátěží.

Tento přístup odráží skutečnost, že v průmyslovém závodu je možná koordinace rušících zátěží jak při návrhu tak i při provozu.

Pro dosažení celkové ekonomické přijatelnosti omezení emisí každého zařízení jsou důležité následující skutečnosti:

- skutečná emise zařízení může být značně závislá na charakteristikách napájecí distribuční soustavy;
- zařízení malého výkonu, i když nevyhovující pokud se úroveň emise zvažují s ohledem na normy pro veřejné distribuční soustavy, mohou mít v průmyslových závodech celkově zanedbatelný vliv s ohledem na přítomnost úrovně rušení z jiných zařízení;
- vzorek součtu rušení způsobených různými zdroji závisí značně jak na návrhu zařízení, tak i na samotném průmyslovém procesu;
- uživatel může do určitého rozsahu stanovit příslušné elektromagnetické kompatibilní úrovně v IPC. Ve skutečnosti tato volba je z ekonomického hlediska volbou mezi cenami za omezení úrovně emise a cenami za redukování úrovně rušení zmírňujícími prostředky nebo zvětšením odolnosti.

4.3 Třídy elektromagnetického prostředí

Je možné definovat několik tříd elektromagnetického prostředí, ale pro zjednodušení se v této normě uvažují a definují jenom tři následovně

Třída 1 Tato třída se týká chráněných napájení a má kompatibilní úroveň nižší než úroveň pro veřejné distribuční soustavy. To se týká použití zařízení velmi citlivého na rušení, například přístrojového vybavení laboratoří, některých automatizačních a ochranných zařízení, některých počítačů atd.

Třída 2 Tato třída se všeobecně týká bodů PCC a IPC v prostředí průmyslových a jiných neveřej-

ných napájecích sítí. Kompatibilní úrovně této třídy jsou identické s úrovněmi pro veřejné distribuční soustavy, Proto v této třídě průmyslového prostředí mohou být použity prvky navržené pro napájení z veřejných soustav.

Třída 3 Tato třída se týká jenom bodů IPC v průmyslovém prostředí. Tato třída má pro některé jevy rušení vyšší kompatibilní úrovně než třída 2. Tato třída by se měla například uvažovat, když je splněna jakákoliv z následujících podmínek:

- převážná část zatížení je napájena přes měniče;
- jsou provozovány svářečky;
- velké motory jsou často rozbíhány;
- zatížení se rychle mění.

Třída aplikovatelná pro nové průmyslové závody a pro rozšíření stávajících závodů se nemůže určit a měla by se proto týkat typu zařízení a uvažovaného procesu.

POZNÁMKA 1 Prostor třídy 1 normálně zahrnuje zařízení, které vyžaduje ochranu takovými prostředky jako je nepřerušitelné napájení (UPS), filtry nebo potlačení rázových impulzů.

POZNÁMKA 2 V některých případech může vysoce citlivé zařízení vyžadovat kompatibilní úrovně nižší než ty, které jsou uvedeny v prostředí třídy 1. Kompatibilní úrovně jsou pak odsouhlaseny případ od případu.

POZNÁMKA 3 Napájení velmi rušících zatížení, jako jsou obloukové pece a velké měniče, které jsou obvykle napájeny z vyčleněných sběrnic, mají často úrovně rušení přesahující třídu 3 (drsné prostředí). V takových zvláštních situacích by měly být kompatibilní úrovně odsouhlaseny.

POZNÁMKA 4 Při respektování rozmanitosti průmyslových prostředí mohou být pro různé jevy v dané síti platné různé třídy.

5 Koordinace mezi emisí nesymetrie napětí s kompatibilními úrovněmi

Provozovatel distribuční soustavy je požádán uživatelem připojovaného zařízení, aby mu poskytl následující minimální informace:

- celková mez emise týkající se průmyslového závodu;
- očekávaná současná a budoucí úroveň rušení v PCC, zanedbávající rušení produkované vyšetřovaným závodem;
- rozsah hodnot impedance zdroje v připojovacím bodu nezbytný pro vyhodnocení rušení; tento rozsah je závislý jak na konfiguraci distribuční soustavy, tak i na kmitočtových charakteristikách.

Uživatel je požádán provozovatelem distribuční soustavy, aby mu poskytl informace ohledně:

- charakteristik zařízení určeného k instalování a jeho provozního režimu;
- charakteristik prostředků kompenzace účinníku;
- charakteristik případných filtrů pro kompenzaci harmonických proudů.

Uživatel je požádán výrobcem zařízení, aby mu poskytl následující minimální informace:

- plán instalace a charakteristiky připojovaného zařízení;
- úrovně emise jiných zařízení v instalaci a rušení šířené vedením z napájecí sítě;
- charakteristiky výrobního procesu.

Výrobce zařízení je požádán uživatelem, aby mu poskytl následující minimální informace:

- očekávané úrovně emise vyšetřovaného zařízení nebo systému při specifikovaných provozních podmínkách;
- citlivost úrovní emise na změny například napájecí impedance, provozního napětí atd.

b) Výběr vhodného pravidla sčítání respektujícího přítomnost různých zdrojů rušení v závodě.

c) Vyhodnocení očekávané celkové úrovně emise závodu v PCC a vyhodnocení očekávané celkové úrovně rušení v IPC.

Překračuje-li buď celková emise zařízení nebo očekávaná úroveň rušení příslušnou kompatibilní úroveň, přičemž se bere v úvahu také budoucí rozvoj distribuční soustavy a možné zvětšení počtu zdrojů rušení v závodu, měla by se zvážít následující opatření:

- modifikace konfigurace distribuční soustavy;
- změna charakteristik rušícího zařízení;
- použití filtrů nebo kompenzačních prostředků;
- tolerování výsledného rušení a zvětšení úrovně odolnosti poškozeného zařízení (toto opatření se nepoužije v PCC ale jen v bodech IPC).

Tento postup se opakuje, dokud nejsou všechny požadavky splněny.

5.1 Kompatibilní úrovně pro spotřebiče v distribučních soustavách nízkého napětí

V normě ČSN EN 61000-2-2 se nesymetrie napětí uvažuje ve vztahu k dlouhodobým účinkům, tj. pro doby trvání 10 minut nebo delší. V této normě se nesymetrie napětí uvažuje ve vztahu ke zpětné složce, která je složkou související s možnou interferencí se zařízením připojeným do veřejné distribuční soustavy.

POZNÁMKA Pro distribuční soustavy se středem přímo spojeným se zemí, může být nulová složka nesymetrie závažná.

Nesymetrie napětí způsobená jednofázovým odběrem připojeným na sdružené napětí je prakticky rovna poměru příkonu odběru a trojfázového zkratového výkonu distribuční soustavy.

Kompatibilní úroveň pro nesymetrii je zpětná složka o velikosti 2 % sousledné složky. V některých oblastech, zejména kde se připojují velké jednofázové zátěže, se mohou vyskytnout hodnoty až do 3 %.

5.2 Kompatibilní úrovně pro zařízení v průmyslových sítích

V normě ČSN EN 61000-2-4 se nesymetrie napětí uvažuje jen ve vztahu k zpětné složce, která je složkou související s možnou interferencí se zařízením připojeným do napájecích sítí pokrytých touto normou. V této normě se nesymetrie napětí uvažuje ve vztahu k dlouhodobému účinku, tj. pro doby trvání 10 minut nebo delší.

POZNÁMKA 1 Některé ochrany mohou být na nulovou složku napětí citlivé. Tomuto aspektu by se měla věnovat pozornost na úrovni instalace.

POZNÁMKA 2 Nulové složky napětí se uvažují hlavně při harmonických řádu násobků 3.

POZNÁMKA 3 Elektronické měniče produkují harmonické charakteristických řádů, což je způsobeno jejich topologií jsou-li použity při jejich jmenovitých provozních podmínkách. Odlišné provozní podmínky jako je nesymetrie, neideální okamžiky komutace atd. mohou způsobit harmonické jiných řádů.

Nesymetrie napětí způsobená jednofázovou zátěží připojenou na sdružené napětí je prakticky rovna poměru příkonu zátěže a třífázového zkratového výkonu. Není-li přítomna žádná silná jednofázová zátěž, mohou se aplikovat kompatibilní úrovně třídy 2.

Průmyslové sítě mnohdy představují náročné elektromagnetické prostředí. Pro účely hodnocení náročnosti jsou podle normy ČSN EN 61000-2-4 rozděleny do tříd prostředí (viz článek 4.3).

Kompatibilní úrovně pro nesymetrii napětí a změny síťového kmitočtu jsou uvedeny v níže uvedené tabulce 1.

Tabulka 1 – Kompatibilní úrovně pro nesymetrii napětí a změny síťového kmitočtu

Rušení	Třída 1	Třída 2	Třída 3
Nesymetrie napětí U_{neg}/U_{pos}	2 %	2 %	3 %
Odchyly kmitočtu sítě $^{\circ} \Delta f$	± 1 Hz	± 1 Hz	± 1 Hz
$^{\circ} \pm 2$ Hz v případě izolovaných sítí.			

5.3 Základní požadavky na odolnost proti nesymetrii napětí

Úroveň odolnosti zařízení připojených do veřejných distribučních soustav musí být alespoň rovná stejné hodnotě, jako je kompatibilní úroveň ve vyšetřovaném napájecím bodu (PCC) podle tabulky 1 v článku 5.2 (třída 3: 3 %) nebo podle článku 5.1 (2 %).

Vzhledem k tomu že nesymetrii jsou nejvíce ohroženy pohony, další informace o odolnosti proti nesymetrii napětí jsou uvedeny v kapitole 12.

5.4 Základní požadavky na potlačení emise nesymetrie napětí

Jelikož převládající příčinou nesymetrie v distribučních soustavách nízkého napětí jsou jednofázová zatížení téměř výlučně připojovaná mezi fází a střední vodič, je základním opatřením omezujícím nesymetrii napětí v distribučních soustavách nízkého napětí důsledné rozložení zátěží do všech tří fází (například rozložením zásuvkových okruhů instalace). Pro průmyslová nesymetrická zatížení platí požadavky podle kapitoly 6.

5.5 Plánovací úrovně

Pro určení mezí emise při respektování všech nesymetrických instalací se mohou použít indikativní hodnoty plánovacích úrovní. Plánovací úrovně distribuční soustavy pro všechny úrovně napětí mohou být považovány za interní parametry kvality a provozovatel distribuční soustavy je může na základě požadavku poskytnout odběratelům. Plánovací úrovně pro nesymetrii napětí se rovnají nebo jsou menší než kompatibilní úrovně a měly by umožňovat koordinaci nesymetrie napětí mezi různými úrovněmi napětí. U plánovacích úrovní je možné stanovit jen indikativní hodnoty, protože se navzájem liší v závislosti na struktuře soustavy a na okolnostech. Indikativní hodnoty plánovacích úrovní pro nesymetrii napětí jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 – Indikativní hodnoty plánovacích úrovní pro nesymetrii napětí (zpětná složka)

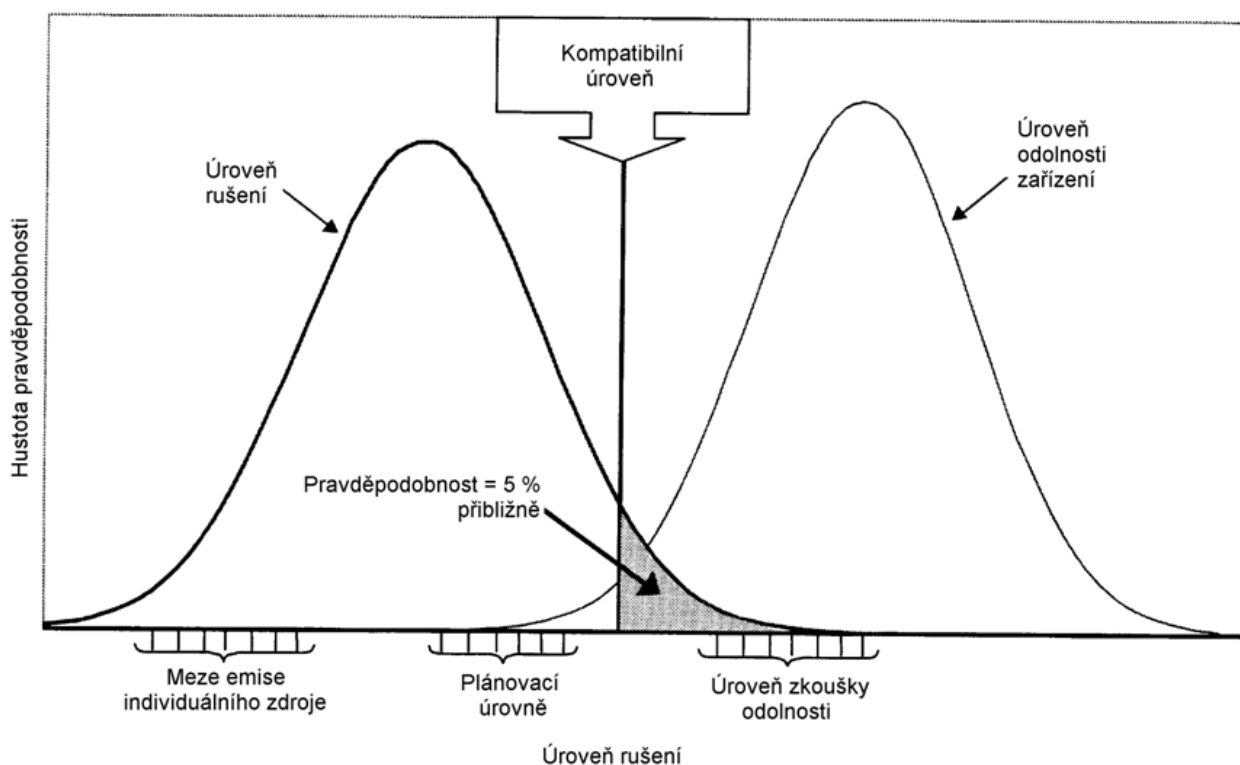
Úroveň napětí	Plánovací úroveň L_{u2} (%)
vn	1,8 %
vvn	1,4 %
zvn	0,8 %

Postupy používající tyto plánovací úrovně pro stanovení mezí emise pro nesymetrické instalace individuálního odběratele se řídí podle následujících zásad:

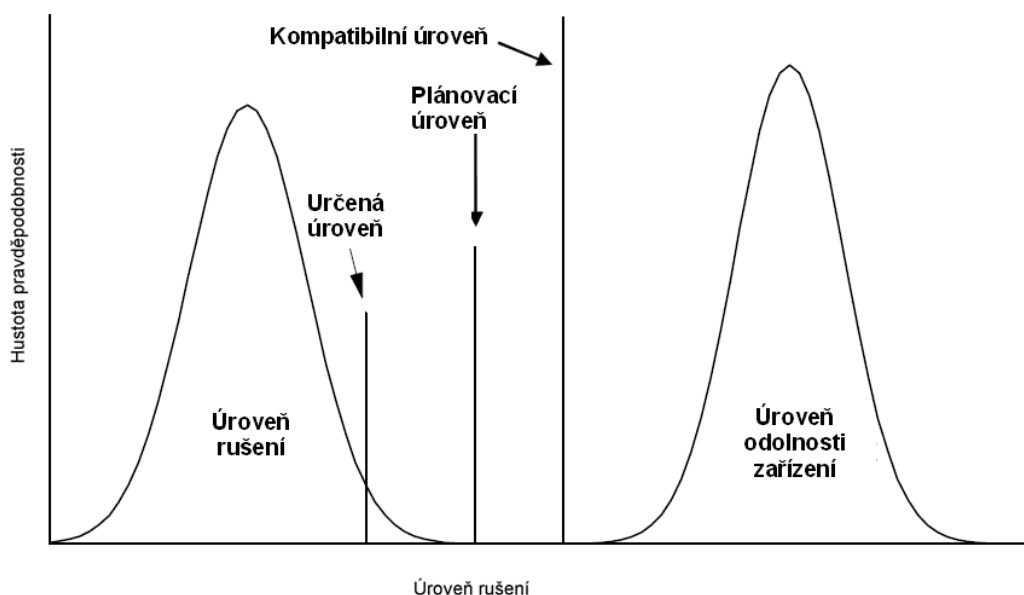
- Plánovací úroveň je hodnota převzatá provozovatelem distribuční soustavy odpovědným za plánování a provoz v konkrétní oblasti a používá se při stanovení mezí emise nesymetrie pro velké zátěže a instalace, které jsou v této oblasti k soustavě připojeny. Používá se jako pomůcka při pokud možno spravedlivém rozložení nákladů na omezování emisí nesymetrie.
- Plánovací úroveň nemůže být vyšší než kompatibilní úroveň. Všeobecně je nižší o rezervu, která závisí na faktorech jako je sledovaný jev nesymetrie, struktura a elektrické charakteristiky napájecí distribuční soustavy (předpokládá se, že je vhodně navržena a udržována), úrovně pozadí nesymetrie a diagram příkonu zátěže. Je proto specifická k místu připojení.
- I když plánovací úroveň se týká hlavně velkého zařízení a instalace, musí se brát v úvahu také mnoho ostatních zdrojů nesymetrie a značně početná zařízení nízkého příkonu připojená na nízké napětí. Dostupná rezerva k urovnání emisí z velkých instalací závisí na účinnosti aplikací mezí pro zařízení nízkého příkonu. Jakákoliv obtíž v tomto ohledu je indikací požadavku na přísnější přístup k emisím nesymetrie ze zařízení nízkého příkonu. Cílem kontroly překročení je zajištění, aby předpokládaná úroveň nesymetrie nepřekročila kompatibilní úroveň.

5.6 Znázornění kompatibilních, emisních a plánovacích úrovní

Na obrázku 1 jsou znázorněny různé úrovně EMC a meze. I když to není matematicky přesné, ilustruje to vztahy mezi hodnotami. Obrázek má jen schematický význam. Konkrétně relativní polohy uvedených dvou křivek znázorňují, že se může vyskytnout překrytí, nemělo by se však interpretovat jako přesná indikace rozsahu překrytí.



Obrázek 1 – Vztah mezi kompatibilními, emisními a plánovacími úrovněmi

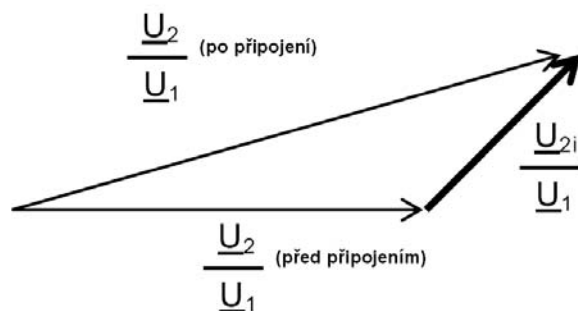


Obrázek 2 – Ilustrace základní koncepce kvality napětí týkající se jednoho místa uvnitř celé distribuční soustavy

Obrázek 2 znázorňuje rozložení pravděpodobností úrovní rušení a odolnosti v jakémkoliv jednom místě, která jsou normálně užší než ta, která jsou pro celou distribuční soustavu, takže ve většině míst se rozložení pravděpodobností úrovní rušení a odolnosti překrývají málo nebo vůbec se nepřekrývají. Interference se proto vůbec nepředpokládá a očekává se, že zařízení bude fungovat vyhovujícím způsobem. Elektromagnetická kompatibilita je mnohem pravděpodobnější než se jeví podle obrázku 2.

5.7 Definice úrovně emise nesymetrie

Úroveň emise nesymetrie z instalace i do distribuční soustavy je rovna velikosti vektoru nesymetrie napětí (nebo proudu) (tj. $|\underline{U}_{21}/\underline{U}_1|$), který je způsoben instalací v místě vyhodnocení. Toto je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3 – Ilustrace vektoru emise $\frac{U_{2i}}{U_1}$ a jeho příspěvku zároveň s nesymetrií způsobenou jinými zdroji před připojením vyšetřované instalace do distribuční soustavy ve srovnání s měřenou nesymetrií po připojení vyšetřované instalace

Pokud tato velikost vektoru nesymetrie v distribuční soustavě má zvýšené úrovně, požaduje se, aby výše uvedená úroveň emise (tj. $|\frac{U_{2i}}{U_1}|$) byla menší než meze emise podle příslušných částí této normy.

Při určování úrovní emise z nesymetrických instalací by se měly brát úvahu nejhorší normální provozní podmínky zahrnující asymetrie, na které byla instalace odběratele projektována a trvající po dobu specifikovaného procentního časového údaje – např. více než 5% času, založeného na statistickém průměru (například dob výpadků jednofázové indukční pece). Kromě toho u velkých instalací ve srovnání s velikostí distribuční soustavy (např. $S_{sc}/S_i < 30$; je třeba poměr 30 upřesnit, aby vyhověl specifickým podmínkám).

6 Sumační zákon

Bylo zjištěno, že spojování účinků nesymetrie napětí od různých instalací může být vyjádřeno výsledným činitelem nesymetrie následovně:

$$u_2 = \sqrt[\alpha]{\sum_i u_{2i}^\alpha} \quad (1)$$

kde

u_2 je velikost výsledné úrovně činitele nesymetrie napětí pro uvažovanou agregaci (spojování několika po sobě následujících hodnot daného parametru, přičemž každá z nich je určena ve stejném časovém intervalu, za účelem získání hodnoty reprezentující delší časový interval; viz ČSN EN 61000-4-30) zdrojů nesymetrie (pravděpodobnostní hodnota);

u_{2i} je velikost různých zdrojů nebo úrovní emise nesymetrie určených ke spojování;

α je exponent, který závisí na různých faktorech diskutovaných v IEC/TR 61000-3-13. Pokud nejsou tyto faktory známy, může se pro náhodné zdroje nesymetrie použít indikativní hodnota exponentu $\alpha = 1,4$.

7 Meze emise nesymetrie způsobené instalacemi připojovanými do soustavy vn (MV)

7.1 Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise nesymetrie napětí

Význam etapy 1 je v jednoduchosti rozhodování o připojování malého počtu malých odběrů emitujících nesymetrii napětí.

Nesymetrie napětí instalace se může akceptovat bez dalšího vyšetřování, pokud je splněno následující kritérium:

$$\frac{S_{ui}}{S_{sc}} = 0,2 \% \quad (2)$$

kde

S_{ui} je ekvivalent jednofázového výkonu nesymetrické instalace i (jednofázový ekvivalent);

S_{sc} je třífázový zkratový výkon v místě vyhodnocování.

Podle PNE 33 3430-0 kap. 5.3 jsou tyto hladiny v síti všeobecně zajištěny, pokud v zařízení jednoho odběratele při všech provozních stavech výsledné zatížení nevyvolá větší nesymetrii než $u_{(2)přip} = 0.7 \%$ v rozsahu minut (ustáleně).

Pokud toto kritérium není splněno, mělo by se připojení vyšetřovat pole následující etapy 2.

7.2 Etapa 2: meze emise vztážené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy

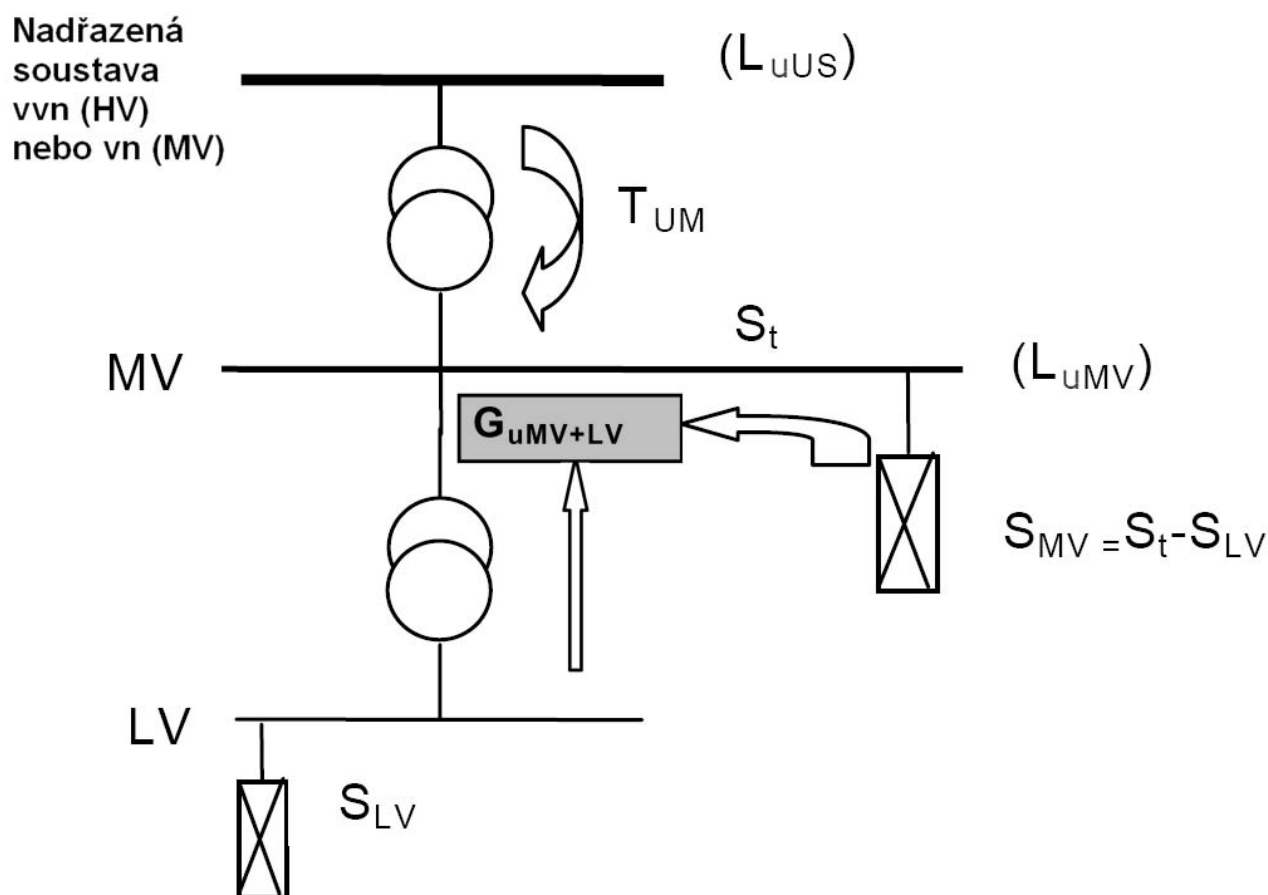
V této etapě je příslušná plánovací úroveň rozdělena pro každého uživatele distribuční soustavy podle jeho podílu příkonu, který odebírá ze soustavy. Toto zajišťuje, aby celková emise do dané soustavy nezpůsobila překročení plánovacích úrovní.

Níže uvedený přístup předpokládá šíření nesymetrie v distribuční soustavě podle jednoduchých zákonitostí.

- Přístup je založen na sumačním zákonu uvedeném v kapitole 6.
- Hodnoty nesymetrie se budou přenášet směrem od zdroje s útlumem.
- S ohledem na zkratové výkony je možno příspěvky z nižší do vyšší napěťové úrovně považovat za zanedbatelné.

7.2.1 Souhrnné emise určené k rozdělení mezi zdroje nesymetrie

Uvažujme typickou distribuční soustavu vn (MV) znázorněnou na obrázku 4, která může zajišťovat celkovou dodávku pro všechny instalace jak v místní soustavě vn (MV) (příkon S_{MV}) tak i v připojených soustavách nn (LV) (příkon S_{LV}). Cílem je stanovení mezí emise v distribuční soustavě vn (MV).



Legenda k obrázku a k následujícímu textu:

- MV vyšetřovaná soustava vn (*Medium Voltage*)
- LV vyšetřovaná soustava nn (*LowVoltage*)
- US nadřazená soustava (*Upstream System*)
- S_t schopnosti dodávky výkonu
- L_u plánovací úroveň nesymetrie
- G_u souhrnný příspěvek k nesymetrii

Obrázek 4 – Příklad vyšetřované distribuční soustavy vysokého napětí pro rozdělení příspěvků

Nejprve je nutné aplikování sumačního zákona (rovnice 1) pro určení souhrnného příspěvku všech zdrojů nesymetrie přítomných v konkrétní distribuční soustavě vysokého napětí MV. Nesymetrie v této distribuční soustavě je výsledkem kombinování úrovně nesymetrie přicházející z nadřazené soustavy (je třeba poznamenat, že nadřazená soustava může být vvn nebo jiná vn soustava, pro kterou vzájemné plánovací úrovně byly stanoveny předem) a nesymetrie, které jsou následkem všech kolísajících napětí instalací připojených k vyšetřované sou-

stavě MV. Tato celková úroveň nesymetrie napětí by neměla překročit plánovanou úroveň ve vyšetřované soustavě MV (viz obrázek 4), danou vztahem:

$$L_{uMV} = \sqrt[\alpha]{G_{uMV}^\alpha + T_{uUM}^\alpha \cdot L_{uUS}^\alpha} \quad (3)$$

Algebraickou úpravou rovnice 3 souhrnný příspěvek nesymetrie, který se může přidělit úhrnu MV instalací napájených z vyšetřované soustavy MV, je dán vztahem:

$$G_{uMV+LV} = \sqrt[\alpha]{L_{uMV}^\alpha - T_{uUM}^\alpha \cdot L_{uUS}^\alpha} \quad (3a)$$

kde

- G_{uMV+LV} je maximální souhrnný příspěvek k úrovni nesymetrie přicházející od úhrnu MV a LV instalací, které mohou být napájeny ze sběrnice MV;
- L_{uMV} je plánovací úroveň pro nesymetrii napětí v soustavě MV;
- L_{uUS} je plánovací úroveň pro nesymetrie v nadřazené soustavě (protože mohou být potřeba různé plánovací úrovně pro úrovně nesymetrie napětí přecházející mezi vvn a vn, byla jako obecný termín použita plánovací úroveň nadřazené soustavy);
- T_{uUM} je koeficient přenosu nesymetrie z nadřazené soustavy do vyšetřované soustavy MV (při zjednodušeném vyhodnocení se tento koeficient položit roven 1, v praxi je však menší než 1 s ohledem na vyrovnávající vliv točivých strojů).
- α je sumační exponent (viz kapitola 6).

7.2.2 Individuální meze emise

Každému uživateli distribuční soustavy bude povolen jen zlomek souhrnných mezí emise G_{uMV+LV} . Přiměřeným přístupem je použití podílu dohodnutého příkonu S_i a schopnosti dodávky výkonu S_t soustavou MV. Takovéto kritérium je ve vztahu ke skutečnosti, že dovolený příkon uživatele distribuční soustavy je často spojen s podílem na investičních nákladech soustavy.

Při určování meze emise nesymetrie instalace zpráva IEC/TR 61000-3-13 zavádí činitel k_{uE} , který reprezentuje podíl globální nesymetrie, který může být konkrétně přidělen instalacím v distribuční soustavě MV a LV. Činitel k_{uE} určí provozovatel distribuční soustavy v závislosti na charakteristikách soustavy, na délce vedení a na její konfiguraci. Metoda odhadu činitele k_{uE} je uvedena v příloze A zprávy IEC/TR 61000-3-13.

$$E_{ui} = \sqrt[\alpha]{k_{uE}} \cdot G_{uMV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \quad (4)$$

kde

- E_{ui} je mez dovolené emise nesymetrie napětí instalace i přímo napájené z MV (%);
- k_{uE} je činitel, který reprezentuje podíl globální nesymetrie, který může být konkrétně přidělen instalacím v distribuční soustavě MV a LV. Činitel k_{uE} určí provozovatel distribuční soustavy v závislosti na charakteristikách soustavy, na délce vedení a na její konfiguraci
- G_{uMV+LV} je maximální souhrnný příspěvek k nesymetrii napětí přicházející od úhrnu MV instalací, které mohou být napájeny z vyšetřované soustavy MV;
- $S_i = P_i / \cos(\varphi_i)$ je dohodnutý příkon instalace odběratele i , nebo jmenovitý výkon v MVA vyšetřované rušivé instalace (buď zátěží nebo generátorů);
- S_t je schopnosti dodávky výkonu do vyšetřované soustavy včetně opatření pro budoucí nárůst zátěží;
- α je sumační exponent.

POZNÁMKA Rozptýlené generátory však mohou být také zdrojem nesymetrie napětí a je s tím třeba počítat.

V některých místech se může stát, že stávající úroveň nesymetrie je vyšší než normální podíl stávající instalace. V takovém případě se mez emise pro jakoukoliv novou instalaci zmenší nebo by se mohla zvětšit schopnost absorpce nesymetrie.

U uživatelů distribuční soustavy, kteří mají nízký dohodnutý příkon, může výše uvedený postup (podle rovnice 4) vycházet s nereálně nízkými mezemi. Pokud mez emise vyjde menší než 0,2 %, pak se musí stanovit v této výši 0,2 %.

Může se také dát přednost vyhodnocování mezi zpětné složky proudu. V takovémto případě provozovatel distribuční soustavy poskytne údaje o zpětné složce impedance distribuční soustavy na základním kmitočtu tak, aby bylo umožněno vyjádření těchto mezi zpětné složky proudu:

$$E_{i_2} = \frac{E_{u_2i}}{Z_2} \quad (5)$$

kde

- E_{u_2i} je přípustná úroveň emise zpětné složky napětí instalace;
- E_{i_2} je přípustná úroveň emise zpětné složky proudu instalace;
- Z_2 je zpětná složka impedance distribuční soustavy na základním kmitočtu v místě vyhodnocování (způsob výpočtu této impedance je v IEC 60909)

7.3 Etapa 3: podmíněné připojování při vyšších úrovních emise

Za některých okolností může provozovatel distribuční soustavy připustit rušivou instalaci emitující nesymetrii napětí nad základními mezemi dovolenými v etapě 2. To je zejména případ, kdy meze etapy 2 jsou odvozeny při použití typických avšak opatrných charakteristik distribuční soustavy. Následující faktory mohou dovolit využít rezervu soustavy pro umožnění vyšších mezi emise, například:

- Některé instalace nevytvářejí výraznější nesymetrie, protože neobsahují velká zařízení. Proto schopnost dodávky výkonu ze soustavy nemusí být v některých dobách využita.
- Sumační zákon může být v některých případech příliš konzervativní; například některé instalace emitující nesymetrii napětí nemusí pracovat současně. Může se stát, že některé instalace se nikdy neprovodují současně s ohledem na omezení soustavy a zátěže.
- V některých případech se mohou definovat vyšší plánovací úrovně po novém přiřazení plánovacích úrovní mezi vn a vvn pro počítání s místními jevy jako je zvláštní efekt útlumu nebo absence rušivých instalací na určité úrovni napětí.
- Nesymetrické instalace nepracují současně nebo je menší přenosový činitel.
- V některých případech rušivé instalace mohou v normálních konfiguracích soustavy být ve shodě s jejími mezemi emise, zatímco při náhodou zhoršených konfiguracích soustavy (např. pokud blízký generátor je mimo provoz) se meze etapy 2 náhodně překračují.

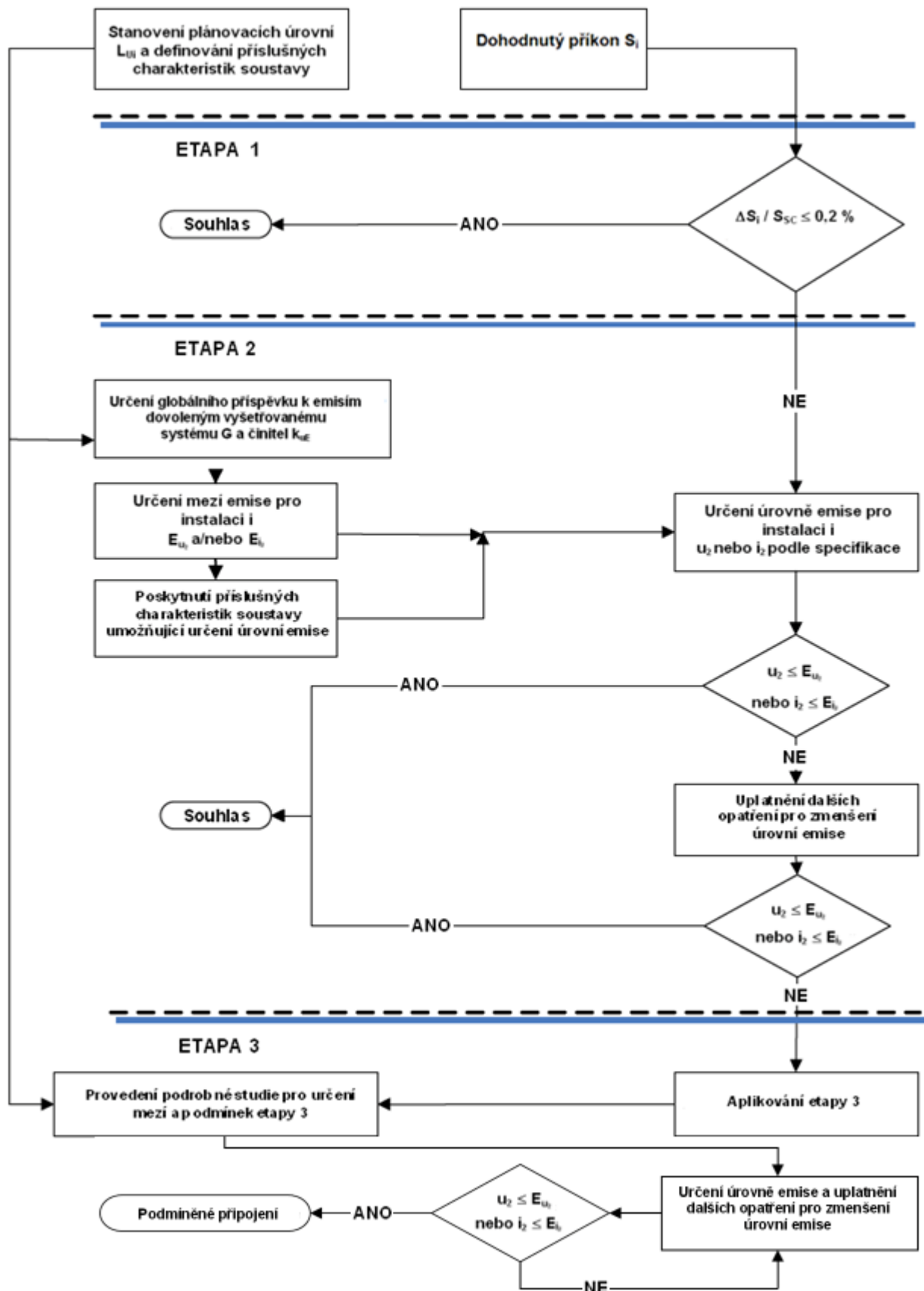
Ve všech těchto případech může provozovatel nebo vlastník soustavy rozhodnout o přidělení vyšších mezi emise v rámci etapy 3. Vždy se však musí provést pečlivá studie připojení při respektování předcházející nesymetrie a očekávaného příspěvku od vyšetřované instalace při různých možných provozních podmínkách. Přípustnost vyšších mezi emise bude poskytnuta uživateli distribuční soustavy jen podmíněčně a omezení může specifikovat přímo provozovatel nebo vlastník distribuční soustavy:

7.4 Vývojový diagram postupu vyhodnocování

Obrázek 5 uvádí přehled postupu vyhodnocování.

PROVOZOVATEL DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

ŽADATEL „i“



Obrázek 5 – Vývojový diagram postupu vyhodnocování v distribuční soustavě vn

8 Meze emise nesymetrie pro instalace v soustavách vvn (HV)

8.1 Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise nesymetrie

Pro připojování do soustav vvn v etapě 1 se mohou použít stejná kritéria jako v článku 7.1.

8.2 Etapa 2: meze emise vztážené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy

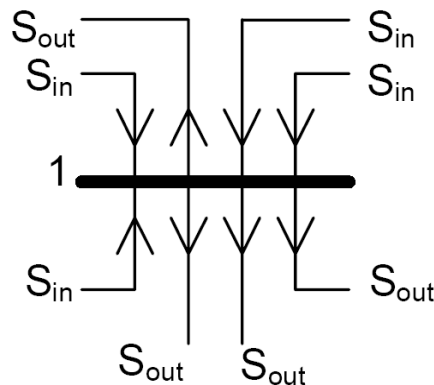
Přístup je obdobný jako pro vn instalace (viz 7.2). Avšak v konkrétním případě vvn instalací způsobujících nesymetrii napětí by podíl souhrnné úrovně nesymetrie určený k rozdělení mezi každého uživatele měl být založen na celkovém dostupném výkonu pro všechny instalace vvn a ne na celkové schopnosti dodávky výkonu soustavy. Je to způsobeno tím, že příspěvek vn a nn instalací způsobujících nesymetrii napětí se může zanedbat a proto při určování možných emisí nesymetrie v soustavách vvn se instalace vn a nn nemusí zahrnovat do celkové schopnosti dodávky výkonu.

8.2.1 Určení celkového dostupného výkonu

Je-li S_i zdánlivý výkon instalace i a S_t celkový dostupný výkon distribuční soustavy v místě vyhodnocení soustavy vvn (HV), pak poměr S_i/S_t je základní veličina pro určení mezí emise podle postupu v etapě 2.

8.2.1.1 První aproximace

Určení celkového dostupného výkonu S_t v soustavách vvn je mnohem složitější než v případě soustavy vn. Pokud se vyšetřuje případ instalace průmyslového uživatele distribuční soustavy připojovaného v dané soustavě vvn jako první základní informace je předpověď toků výkonu beroucí v úvahu rozvoj soustavy v budoucnu.



Obrázek 6 – Určení S_t v jednoduché soustavě vvn

Celkový dostupný výkon se určí jednoduše:

$$S_t = \sum S_{out} \quad (6)$$

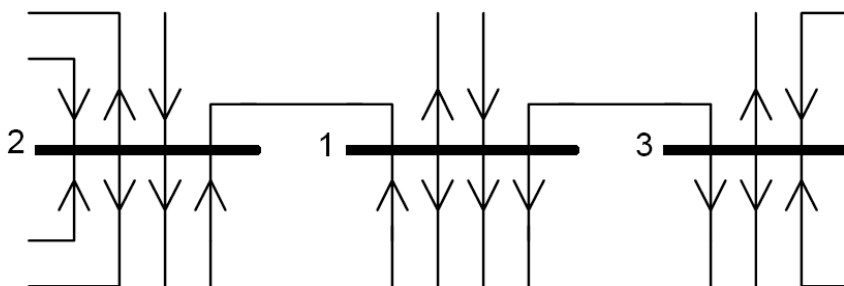
kde

- S_t (v MVA) je aproximace celkového příkonu všech instalací, u kterých meze emise je třeba přidělit v předvídatelné budoucnosti. V tomto případě to je součet výkonů odtékajících z vyšetřované sběrnice;
- S_{out} (v MVA) je výkon odtékající z vyšetřované sběrnice vvn (včetně rezervy pro budoucí nárůst zátěže);
- S_{in} (v MVA) je výkon přitékající do vyšetřované sběrnice.

Tato první aproximace S_t je konzervativní, a pokud vede k nerealistickým mezím emise doporučuje se následující druhá aproximace.

8.2.1.2 Druhá aproximace

Pokud v nejbližším okolí vyšetřované rozvodny je důležitá instalace způsobující nesymetrii napětí doporučuje se následující postup.



Obrázek 7 – Určení S_t v mřížové soustavě vvn

Označme vyšetřovaný uzel 1 a obdobně 2, 3 atd. ostatní uzly umístěné v okolí vyšetřovaného uzlu, pak hodnoty dostupného výkonu S_{t1} , S_{t2} , S_{t3} , ... se vypočtou podle rovnice (6) přičemž se ignoruje výkon S_{out} tekoucí mezi těmito uzly.

Na síťovém kmitočtu se vypočtou koeficienty vlivu K_{u2-1} , K_{u3-1} (koeficient vlivu K_{un-m} je nesymetrie napětí, která je způsobena v uzlu m pokud jednotková změna napětí je aplikována v uzlu n ; výpočet K_{un-m} obvykle vyžaduje počítačový program).

Rovnice (6) se nahradí rovnicí

$$S_t = S_{t1} + (K_{u2-1})^\alpha S_{t2} + (K_{u3-1})^\alpha S_{t3} + \dots \quad (7)$$

s přidáním dalších členů $(K_{un-m})^\alpha S_{tn}$ pokud zůstávají významné ve srovnání s S_{t1} .

8.2.2 Individuální meze emise

Přípustný globální příspěvek asymetrií ve vyšetřované soustavě a od nesymetrických instalací může být dodáván danou rozvodnou vvn včetně nesymetrických instalací napájených z nižších napěťových úrovní (DV) je dán vztahem:

$$G_{uHV+DV} = \sqrt[\alpha]{L_{uHV}^\alpha - T_{UH}^\alpha \cdot L_{uEHV}^\alpha} \quad (8)$$

kde

- DV je zkratka anglického termínu „downstream voltage“, což jsou napěťové úrovně soustav napájených z vyšetřované soustavy (ve směru toku odcházející energie);
- G_{uHV+DV} je maximální souhrnný příspěvek k úrovni nesymetrie přicházející od úhrnu HV a LV instalací, včetně nesymetrických instalací napájených z napěťových úrovní DV;
- L_{uHV} je plánovací úroveň pro nesymetrii napětí v soustavě MV;
- L_{uEHV} je plánovací úroveň pro nesymetrie v nadřazené soustavě zvn (viz tabulka 2);
- T_{uUM} je koeficient přenosu nesymetrie z nadřazené soustavy do vyšetřované soustavy MV.
- α je sumační exponent.

Každému uživateli distribuční soustavy bude povolen jen příspěvek E_{ui} což je zlomek souhrnných mezí emise G_{uHV+DV} . Přiměřeným přístupem je použití podílu dohodnutého příkonu S_i a schopnosti dodávky výkonu S_t soustavou EHV.

Činitel k_{uE} , který reprezentuje podíl globální nesymetrie, který může být konkrétně přidělen instalacím v distribuční soustavě (viz 7.2.2)

$$E_{uiHV} = \sqrt[\alpha]{k_{uE}} \cdot G_{uHV+DV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \quad (9)$$

kde

- E_{uiHV} je mez dovolené emise nesymetrie napětí instalace i přímo napájené z HV (%);
- k_{uE} je činitel, který reprezentuje podíl globální nesymetrie, který může být konkrétně přidělen instalacím v distribuční soustavě vn a nn. Činitel k_{uE} určí provozovatel distribuční soustavy v závislosti na charakteristikách soustavy, na délce vedení a na její konfiguraci

- G_{UH+DV} je maximální souhrnný příspěvek k nesymetrii napětí přicházející od úhrnu vn instalací a od instalací na nižší úrovni napětí;
- S_i je dohodnutý příkon instalace odběratele i ;
- S_i je schopnosti dodávky výkonu do vyšetřované soustavy včetně opatření pro budoucí nárůst zátěží;
- α je sumační exponent.

8.3 Etapa 3: podmíněné připojování při vyšších úrovních emise

V soustavě vvn se postupuje stejně jako v článku 7.3.

9 Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí

Metody měření a vyhodnocení výsledků nesymetrie napětí nyní definuje revidovaná mezinárodní norma IEC 61000-4-30 ed. 3. Metody měření jsou popsány pro každý důležitý typ parametru pro vyhodnocení výsledků nesymetrie napětí a jsou formulovány tak, aby umožnily získání spolehlivých, opakovatelných a porovnatelných výsledků bez ohledu na použitý vyhovující přístroj a bez ohledu na jeho podmínky prostředí. Tato norma předkládá metody měření pro měření v místě instalace připojovaného zařízení.

9.1 Elektrické hodnoty určené k vyhodnocení nesymetrie napětí

Nesymetrie napětí je v podstatě mnoháfázová a proto měření se provádějí ve vícefázových napájecích distribučních soustavách. Může být nutné měřit fázové napětí (*line-to-neutral*) nebo sdružené napětí (*line-to-line*) nebo napětí mezi středním vodičem a zemí v závislosti na kontextu. Účelem této normy není nařídít volbu elektrických hodnot určených k měření. Metody měření specifikované v normě IEC 61000-4-30 ed. 3 jsou takové, aby se v každém měřicím kanálu mohly vytvářet nezávislé výsledky.

Měření proudu se mohou provést na každém vodiči včetně nulového vodiče a vodiče ochranné země.

9.2 Agregace měření přes časové intervaly

Základní měřicí časový interval pro velikosti parametru (napájecí napětí, harmonické, meziharmonické a nesymetrie) musí být časový interval 10 period pro napájecí síť 50 Hz (nebo časový interval 12 period pro napájecí síť 60 Hz).

POZNÁMKA Nejistota měření je zahrnuta do protokolu nejistoty měření každého parametru.

9.3 Měření nesymetrie napětí a proudu

Požadavky na měření ve třídě A:

Nesymetrie napájecího napětí se vyhodnocuje s použitím metody symetrických složek. Při podmínkách nesymetrie je kromě sousledné složky U_1 přítomna alespoň jedna z následujících složek: zpětná složka U_2 a/nebo nulová složka U_0 .

Základní složka efektivní hodnoty signálu vstupního napětí se měří v časovém intervalu 10 period pro síť 50 Hz.

POZNÁMKA Účinek harmonických se minimalizuje použitím filtru nebo použitím algoritmu DFT.

Poměrná zpětná složka u_2 se vyhodnocuje následujícím poměrem vyjádřeným v procentech:

$$u_2 = \frac{\text{zpětná složka}}{\text{sousledná složka}} * 100 \%$$

Poměrná nulová složka u_0 se vyhodnocuje velikostí následujícího poměru vyjádřeného v procentech:

$$u_0 = \frac{\text{nulová složka}}{\text{sousledná složka}} * 100 \%$$

Požadavky na měření ve třídě S:

Výrobce musí stanovit algoritmy a metody používané k výpočtu zpětné složky u_2 . Vyhodnocení nulové složky u_0 není povinné.

9.4 Ovlivňující veličiny a ověření funkce měření

Měření specifických charakteristik může být nepříznivě ovlivněno aplikací rušivých vlivů (ovlivňujících veličin) na vstup elektrického signálu, například měření nesymetrie napájecího napětí může být nepříznivě ovlivněno pokud tvar vlny napětí je současně vystaven rušení harmonickými.

Ověření funkce měřicích metod při rušivých vlivech, doposud uvedené v předcházejícím druhém vydání ČSN EN 61000-4-30, lze nyní nalézt v nové normě ČSN EN 62586-2.

9.5 Nesymetrie krátkodobého poklesu napětí

Dokonce i velmi krátká nesymetrie může poškodit trojfázové zátěže s usměrňovačem nebo způsobit vypnutí nadproudových ochranných prostředků. Trojfázové krátkodobé poklesy napětí jsou často nesymetrické. Při výpočtu trojfázové nesymetrie během krátkodobého poklesu napětí jsou často užitečné rychle aktualizované efektivní hodnoty. Nesymetrie během krátkodobého poklesu napětí se často mění, takže nesymetrie by se mohla prezentovat v grafické formě nebo by se mohla prezentovat maximální hodnotou nesymetrie během krátkodobého poklesu napětí.

Během krátkodobého poklesu napětí může být často užitečné analyzovat odděleně nulovou složku, zpětnou složku a souslednou složku základního kmitočtu. Tento přístup dává informaci o tom jak se krátkodobý pokles napětí šíří v síti a může být užitečný při pochopení současných krátkodobých poklesů napětí a krátkodobých zvýšení napětí na různých fázích.

10 Měření a vyhodnocení změn kmitočtu 50 Hz

10.1 Měření

Podle normy IEC 61000-4-30 ed. 3 požadavky na měření ve třídě A jsou následující:

Odečet kmitočtu se musí získat každých 10 sekund. Protože kmitočet energie nemusí být přesně 50 Hz, nemusí během doby 10sekundového intervalu hodin UTC (koordinovaného světového času) proběhnout přesně celočíselný počet period. Základní kmitočet je poměr počtu celých period počítaných během doby 10sekundového intervalu hodin UTC, dělený celkovou délkou doby trvání intervalu 10 s.

Pokud je pro výpočet kmitočtu použita metoda průchodu napětí nulou, pak se před vyhodnocením musí utlumit harmonické a meziharmonické pro minimalizování účinků vícenásobných průchodů napětí nulou.

Časové intervaly měření se nesmí překrývat. Jednotlivé periody, které překrývají 10sekundový interval hodin UTC se vyřadí. Každý interval 10 s se začíná na absolutním začátku 10sekundového intervalu hodin UTC, jak je definován v článku 4.6 normy IEC 61000-4-30 ed. 3.

POZNÁMKA Pro některé aplikace použití časových intervalů kratších než 10 s, může být případně užitečné, jako je například 10/12 period (větrné turbíny), 1 s (národní normy), atd

10.2 Nejistota měření a měřicí rozsah

Požadavky na měření ve třídě A:

V rozsazích měření 42,5 Hz až 57,5 Hz / 51 Hz až 69 Hz nesmí nejistota měření překročit ± 10 mHz.

11 Měření a vyhodnocení rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz

Účelem této kapitoly je poskytnutí podkladu ke zvážení metod měření, které by mohly poskytnout přehled v kontextu kvality elektrické energie z hlediska emisí napětí v rozsahu 2 kHz až 150 kHz šířených vedením. Podle normy IEC 61000-4-30 ed. 3 se předpokládá, že tyto emise jsou kvazi-ustáleného stavu, i když mohou mít amplitudovou modulaci. Základní informace o emisích a citlivosti v tomto kmitočtovém rozsahu lze nalézt v normě ČSN EN 61000-4-19, příloha A.

Chápání metod měření v tomto kmitočtovém pásmu se stále vyvíjí, takže v této kapitole jsou pouze všeobecné pokyny. Pro aplikace, kde se vyžaduje vysoce podrobná měření, může být měření v tomto kmitočtovém rozsahu silně ovlivněno převodníky snímaných veličin.

V rozsahu 2 kHz až 9 kHz, včetně požadavků na třídy A a třídy S, připadá v úvahu měření podle normy ČSN EN 61000-4-7, příloha B. Pro měření v rozsahu 9 kHz až 150 kHz připadá v úvahu spíše norma CISPR 16-1-2.

Rozsah měření by měl být nejméně 200 % největší aplikovatelné úrovně odolnosti uvedené v normě ČSN EN 61000-4-19, tabulka 1. Nejistota měření nanejvýš 10 % nejmenší aplikovatelné úrovně odolnosti.

12 Základní požadavky na odolnost elektrických výkonových pohonů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí

Elektrické výkonové pohony tvořené elektrickými točivými stroji jsou nejčastějšími případy stížností na nesymetrii napájecího napětí. K posouzení oprávněnosti či neoprávněnosti takovýchto stížností je nutné přihlídnout k požadavkům na odolnost takovýchto odběrů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí.

12.1 Společné principy

Požadavky v těchto člancích se musí použít při navrhování odolnosti pohonů proti nízkofrekvenčním rušením.

Pokud jde o požadavky na odolnost, výrobce může prokázat shodu zkoušením, výpočtem nebo simulací. Pokud není stanoveno jinak je to postačující k prokázání, že obvod napájení vyhovuje požadovanému kritériu shody a že jmenovitá zatížení vstupních obvodů (filtrů atd.) nebudou překročena.

POZNÁMKA 1 Několik z těchto jevů se kmenovými normami nepožaduje, jsou však důležité pro dimenzování obvodů napájení pohonů. Je obtížné zkoušet odolnost proti mnohým z těchto jevů, zejména pokud vstupní proud překračuje 16 A nebo vstupní napětí překračuje 400 V. Zkušenost mnoha let však ukazuje, že pokud obvod napájení pracuje správně, řídicí část a pomocná zařízení jsou všeobecně odolná.

Shoda s těmito požadavky podle ČSN EN 61800-3 musí být uvedena v uživatelské dokumentaci.

POZNÁMKA 2 Elektrické provozní podmínky pro hlavní a pomocné napájení, pokud je použito, jsou již definovány v provozních podmínkách obsluhy pohonů v příslušných normách IEC 61800-1, IEC 61800-2 nebo IEC 61800-4. Tyto provozní podmínky zahrnují změny kmitočtu, rychlost změn kmitočtu, změny napětí, kolísání napětí, nesymetrie napětí, harmonické a komutační poklesy.

POZNÁMKA 3 Možné následky překročení vyznačených úrovní jsou:

- F Funkční se zhoršením provozu;
- T Vypnutí nebo přerušování práce způsobené ochrannými prostředky;
- D Trvalé poškození (pojistky jsou přípustné).

Takovéto následky by se neměly považovat za záležitost EMC, ale jako část bezpečnostní analýzy pokud je relevantní.

12.2 Kritéria shody (funkční kritéria)

Funkce systému se týká funkcí pohonu jako celku, které jsou stanoveny výrobcem.

K určení funkce pohonu při vnějších rušeních se musí použít kritéria shody. Jelikož pohon je částí sledu funkcí většího procesu, než je samotný pohon, účinek na tento proces způsobený změnami funkce pohonu je těžké předvídat. Tento důležitý aspekt pro velké systémy by však měl být pokryt plánem EMC.

Hlavními funkcemi pohonu jsou přeměna energie mezi elektrickou formou a mechanickou formou a zpracování informací nezbytných k provedení těchto přeměn.

Tabulka 3 třídí účinky daného rušení do tří funkčních kritérií (kritéria shody): A, B a C jak pro pohon jako celek tak i pro jeho dílčí součásti.

Tabulka 3 – Kritéria k prokázání shody pohonu pro případ elektromagnetických rušení

Položka	Funkční kritérium (kritérium shody) ^a		
	A	B	C
Všeobecná funkce systému	V provozní charakteristice nejsou žádné pozorovatelné změny Provoz podle určení ve stanovené toleranci	Pozorovatelné změny provozní charakteristiky (pozorovatelné nebo slyšitelné) Samo se obnovuje	Výpadek, změny v provozních charakteristikách. Spouštění ochranných prostředků ^b Samo se neobnovuje
Speciální funkce systému Chování tvorby točivého momentu	Odchylka točivého momentu ve stanovených mezích	Dočasná odchylka točivého momentu je mimo stanovené meze Samo se obnovuje	Ztráta točivého momentu Samo se neobnovuje
Funkce dílčí součásti Provoz výkonové elektroniky a budících obvodů	Žádná chybná funkce výkonového polovodiče	Dočasná chybná funkce, která nemůže způsobit nežádoucí výpadek PDS	Výpadek, spouštění ochranných prostředků ^b Žádná ztráta uloženého programu Žádná ztráta uživatelského programu Žádná ztráta nastavení Samo se neobnovuje
Funkce dílčí součásti Informační, procesní a snímací funkce	Nerušena komunikace a výměna dat s externími přístroji	Dočasně rušená komunikace avšak bez chybového hlášení interních nebo externích přístrojů, které by mohlo způsobit výpadek	Chyby v komunikaci, ztráta dat a informací Žádná ztráta uloženého programu Žádná ztráta uživatelského programu Žádná ztráta nastavení Samo se neobnovuje
Funkce dílčí součásti Provoz displejů a ovládacích panelů	Žádné změny informací viditelných na displeji, jenom nepatrné kolísání intenzity světla signálů LED nebo nepatrné pohybování písmen	Viditelné dočasné změny informací, nežádoucí svícení signálů LED	Výpadek, trvalá ztráta informací nebo nedovolený provozní režim, zřejmě chybné informace na displeji Žádná ztráta uloženého programu Žádná ztráta uživatelského programu Žádná ztráta nastavení
^a	Funkční kritéria A, B, C – Chybné starty nejsou přípustné. Chybný start je nežádoucí změna od logického stavu „STOP“, který může způsobit rozběh motoru.		
^b	Funkční kritérium C – Funkce se může obnovit zásahem obsluhy (ruční opětovné nastavení). Odpojení pojistkami je dovoleno u sítí komutovaných měničů pracujících v režimu střídače.		

12.3 Pohony nízkého napětí

Pohony musí vyhovovat úrovním odolnosti uvedeným v tabulce 4. Výrobce musí odolnost ověřit výpočtem, simulací nebo zkouškou.

Tabulka 4 – Minimální požadavky na odolnost proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí na vstupech/výstupech napájení pohonů nízkého napětí

Jev	První prostředí		Druhé prostředí		Funkční kritérium (kritérium shody)
	Odkaz na normu	Úroveň	Odkaz na normu	Úroveň	
Nesymetrie napětí ^a	IEC 61000-2-2	2 % zpětná složka	IEC 61000-2-4 Třída 3	3 % zpětná složka	A
Změny kmitočtu	IEC 61000-2-2	±2 %	IEC 61000-2-4	±2 % ±4 % pokud napájení je odděleno od veřejné napájecí sítě	A
Rychlost změny kmitočtu		1 %/sekunda		±1 %/s 2 %/s pokud napájení je odděleno od veřejné napájecí sítě	A

^a Netýká se jednofázových pohonů.

12.4 Pohony jmenovitého napětí nad 1 000 V

Pohony musí vyhovovat úrovním odolnosti uvedeným v tabulce 5. Výrobce může ověřit odolnost výpočtem, simulací nebo zkouškou.

Tabulka 5– Minimální požadavky na odolnost proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí na vstupech/výstupech síťového napájení pohonů jmenovitého napětí nad 1 000 V

Jev	Odkaz na normu	Úroveň	Funkční kritérium (kritérium shody)
Nesymetrie napětí	IEC 61000-2-4 Třída 2	2 % zpětná složka	A ^a
Změny kmitočtu	IEC 61000-2-4	±2 % ±4 % pokud napájení je odděleno od veřejné napájecí sítě	A ^b A ^c
Rychlost změny kmitočtu		±1 %/s 2 %/s pokud napájení je odděleno od veřejné napájecí sítě	A ^b A ^c

^a Možný následek překročení úrovně je F nebo T. V druhém případě by dodavatel systému měl poskytnout informace o skutečném chování PDS (viz poznámka 3 v článku 12.1).
^b Možný následek překročení úrovně je F (viz poznámka 3 v článku 12.1).
^c Možný následek překročení úrovně je T (viz poznámka 3 v článku 12.1).

13 Změny kmitočtu 50 Hz v ostrovním provozu

Ostrovní provoz je stav, ve kterém je část elektrizační soustavy, která obsahuje jak zatížení tak i generování, izolovaná od zbytku elektrizační soustavy. S touto situací se poskytovatelé elektrické energie (provozovatelé elektrizační soustavy) musí správně vypořádat. Od generování ve vlastnictví partnera se normálně požaduje snímání stavu nepřítomnosti řízení generování provozovatelem elektrizační soustavy a odpojení napájení této soustavy. Když před okamžikem odpojení jsou generování a zatížení uvnitř tohoto úseku dobře vyvážena, provozovatel elektrizační soustavy dodává jen málo energie do tohoto úseku sítě a proto je obtížné detekovat výskyt okamžiku odpojení. Pokud generování na ostrovu již není pod kontrolou provozovatele elektrizační soustavy a provoz je mimo normální napětí a kmitočet, může dojít k poškození zařízení odběratele. Zařízení odběratele a zařízení provozovatele elektrizační soustavy se může poškodit, pokud hlavní soustava se znova připojí k ostrovu bez synchronizace. Vedení pod napětím uvnitř ostrovu představují nebezpečí úrazu elektrickým proudem pro nic netušící pracovníky provozovatele elektrizační soustavy, kteří se domnívají, že vedení jsou bez napětí.

13.1 Zkouška shody

Zkušební postup shody týkající se vyhodnocení účinnosti preventivních opatření proti ostrovnímu provozu použitých u výkonového měniče PV systémů připojovaných provozovatelem elektrizační soustavy stanoví norma

ČSN EN 62116. Ve shodě s touto normou zkoušky odolnosti zařízení zdrojů rozptýlené výroby proti ostrovnímu provozu v souvislosti s poklesy a přerušováními napětí jsou popsány v PNE 33 3430-4 (3.vydání), článek 7.2.

Nejdůležitějšími parametry při těchto zkouškách jsou však vypínací odchylky kmitočtu nebo napětí stanovené pro vypnutí ostrovního provozu. Nastavení parametrů vypínací odchylky kmitočtu a napětí (velikost a časování) zkoušeného zařízení (EUT), mohou ovlivnit měřenou dobu ostrovního provozu. Absolvování této zkoušky ověří, zda jednotka bude poskytovat odpovídající ochranu před ostrovním provozem při zkoušených nastaveních stejně jako při přísnějších nastaveních (např. EUT, které vyhoví zkoušce s nastavením vypínací odchylky kmitočtu na $\pm 1,5$ Hz jmenovitého kmitočtu by měl také vypnout do maximální měřené doby ostrovního provozu při nastavení $\pm 0,5$ Hz).

Naopak, pokud jsou upraveny tak, aby nastavení bylo vně uvedeného zkoušeného rozsahu, mohou se doby ostrovního provozu EUT prodloužit. Nastavení vypínací odchylky kmitočtu s tolerancí $\pm 1,5$ Hz kolem jmenovitého kmitočtu a nastavení vypínací odchylky napětí $\pm 15\%$ kolem jmenovitého napětí by mělo být dostatečně široké, aby řešilo většinu požadavků provozovatele elektrizační soustavy. Je třeba poznamenat, že pokud se rozsah nastavení vypínacích odchylek parametrů rozšíří, mohou být nutná více agresivní aktivní opatření proti ostrovnímu provozu, která by mohla negativně ovlivnit kvalitu energie.

13.2 Kritéria vyhovění/nevychování zkoušce

V prvním vydání ČSN EN 62116 bylo uvedeno kritérium:

EUT je považováno ve shodě s požadavky na ochranu proti ostrovnímu provozu, pokud každá zaznamenaná doba ostrovního provozu splňuje požadavky národních norem a/nebo provozních pravidel pro distribuční soustavy.

V novém vydání ČSN EN 62116 ed. 2 je však uvedeno kritérium:

EUT je považováno ve shodě s požadavky na ochranu proti ostrovnímu provozu, pokud každá zaznamenaná doba ostrovního provozu je kratší než 2 s nebo splňuje požadavky místních předpisů.

14 Základní požadavky na odolnost zařízení distribučních soustav proti rušení v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz

Požadavky na odolnost a zkoušky elektrického a elektronického zařízení vystaveného symetrickým rušením a signálům v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz na vstupech/výstupech AC napájení jsou specifikovány v normě ČSN EN 61000-4-19.

14.1 Vlnové profily

Specifikace zkoušek odolnosti jsou podle přílohy D normy ČSN EN 61000-4-19 založeny na dvou typech pravděpodobně se vyskytujících interferencí, které vedou ke dvěma různým zkušebním vlnovým profilům:

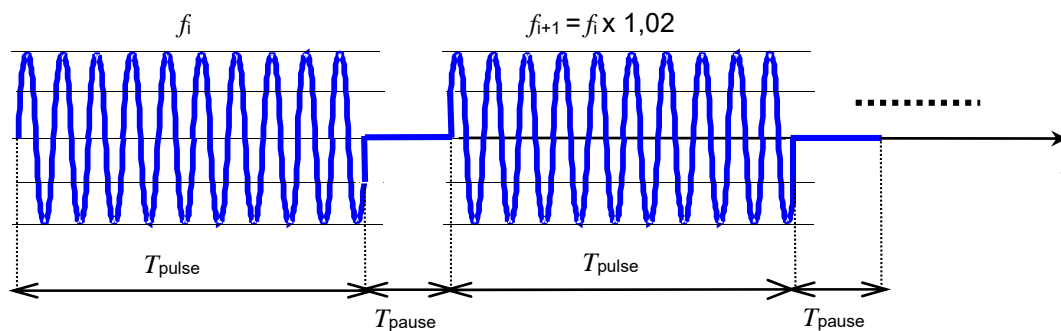
- 1) Zkušební vlnový profil s pulzy CW s přestávkami, který je reprezentativní pro elektromagnetické rušení způsobené dlouhodobějšími signály komunikačních systémů po napájecích vedeních nebo emisemi pocházejícími z AC/DC nebo DC/AC měničů.
Pro simulování povahy těchto složek napětí/proudu je pro přiměřenou kontrolu související citlivosti elektrických zařízení specifikována zkouška s amplitudově modulovaným AC napětím/proudem při kmitočtu nosné rozmítaném v rozsahu od 2 kHz do 150 kHz.
Mezi dvěma pulzy CW je specifikována přestávka, představující běžnou časově omezenou charakteristiku CW napětí/proudu v případě, že rušící zařízení je po určité době zapínáno a vypínáno. Aplikace kratších časů přestávek by mohla vést k situaci, kdy v podstatě vzhledem k citlivosti by tlačítkově ovládané zařízení nebylo možné uznat vzhledem k době reakce některých elektronických obvodů.
Pro účely zkoušky CW specifikované v této normě, je doba trvání těchto přestávek definována s dobou trvání 300 ms.
- 2) Zkušební vlnový profil s obdélníkově modulovanými pulzy, který je reprezentativní pro složky napětí/proudu s kmitočtem v rozsahu několika desítek kHz, jejichž obálka se v průběhu času mění. Časové chování této obálky určuje závažnost rušivého účinku.
Pro síťový kmitočet 50 Hz jsou specifikovány modulační kmitočty 101 Hz, 301 Hz a 601 Hz, které jsou reprezentativní pro situace elektromagnetické interference způsobené nezáměrnými složkami napětí/proudu jednofázových nebo třífázových AC/DC nebo DC/AC střídačů (jednofázových dvoupulzních nebo třífázových šestipulzních a dvanástepulzních), synchronně pracujících na kmitočtu sítě a modulační kmitočet 3 Hz (pro síťový kmitočet 50 Hz), který je reprezentativní pro klíčovací chování záměrně vytvářených superponovaných signálů komunikačních systémů po napájecích vedeních.

Na základě vyšetřování, které je v současné době k dispozici (viz příloha A normy ČSN EN 61000-4-19) se požadují zkoušky symetrickým napětím se dvěma typy modulace: jeden s pulzy CW s přestávkami mezi každým pulzem (následující článek 14.2) a další s bloky obdélníkově modulovaných impulzů (14.3).

14.2 Zkušební vlnový profil s pulzy CW s přestávkou

Zkouška se provádí aplikací sekvence pulzů sinusového signálu (CW) se stoupajícím kmitočtem f_i v rozsahu od 2 kHz do 150 kHz s přestávkami po definovanou dobu následovně (viz také obrázek 8):

- Každý pulz CW má dobu trvání (dobu trvání průběhu) T_{pulse} .
- Mezi jednotlivými pulzy CW úroveň zkušebního signálu (napětí nebo proudu) je nulová po dobu $T_{\text{pause}} = 300$ ms s tolerancí ± 200 ms.
- Doba trvání průběhu T_{pulse} nesmí být menší než čas potřebný k vyšetření reagování EUT, ale nesmí být menší než 3 s. Komise výrobku mohou zvážit, zda požadovat delší doby trvání průběhu.
- Doba trvání jednoho zkušebního cyklu pro specifický CW zkušební kmitočet je $T_{\text{pulse}} + T_{\text{pause}}$.
- Počáteční kmitočet zkušebního signálu CW musí být 2 kHz a kmitočet po sobě jdoucích CW zkušebních signálů se musí zvyšovat o 2 % vzhledem k předchozímu zkušebnímu kmitočtu: $f_i = 1,02 f_{i-1}$.
- Časy vypínání na konci pulzu CW (začátek přestávky) a časy zapínání na začátku pulzu CW (konec přestávky) zkušebních napětí (na kmitočtech f_i, f_{i+1}) nemusí být synchronizovány s průchody zkušebního signálu CW nulovou hodnotou.



Obrázek 8 – Zkušební vlnový profil s pulzy CW s přestávkou

14.3 Zkušební vlnový profil s obdélníkově modulovanými pulzy

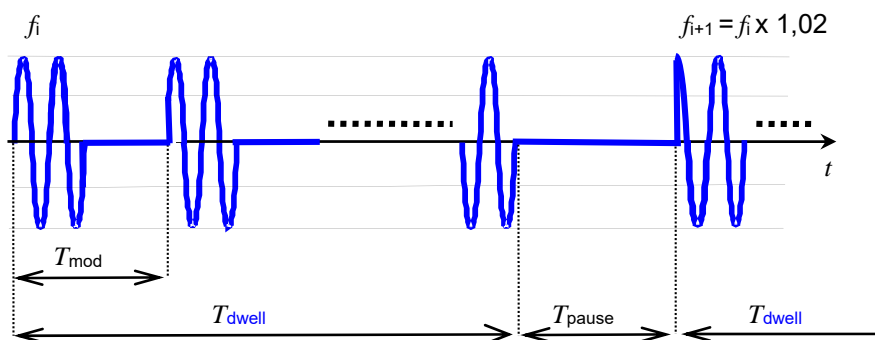
Zkouška se provádí aplikováním sledu pulzů se stoupajícím kmitočtem v rozsahu od 2 kHz do 150 kHz, který je modulován pulzy se čtyřmi různými kmitočty modulace s pracovními cykly 50 % následovně (viz také obrázek 9):

- Sled pulzů o kmitočtu f_i má pro zvolený modulační kmitočet dobu trvání (dobu trvání průběhu) $T_{\text{dwell}} = 3$ s.
- Počáteční kmitočet pulzů musí být 2 kHz a kmitočet po sobě jdoucích sledů pulzů se musí zvyšovat o 2 % vzhledem k předchozímu kmitočtu: $f_i = 1,02 f_{i-1}$. Mezi dobami trvání průběhu je přestávka 300 ms s tolerancí ± 200 ms. Pro čtyři specifikované zkoušky s obdélníkově modulovanými pulzy, modulační kmitočty f_{mod} závisí na příslušném síťovém kmitočtu následovně:

50 Hz: 3 Hz, 101 Hz, 301 Hz, 601 Hz,

60 Hz: 4 Hz, 121 Hz, 361 Hz, 721 Hz.

- Perioda modulace T_{mod} pro určitý modulační kmitočet f_{mod} má následující vztah: $T_{\text{mod}} = 1/f_{\text{mod}}$
- Okamžiky vypnutí na konci pulzu a okamžiky zapnutí na začátku pulzu nemusí být synchronizovány s průchody průběhů impulzů nulovou hodnotou.



Obrázek 9 – Zkušební vlnový profil s obdélníkově modulovanými pulzy pro zkoušení symetrickým napětím

14.4 Zkoušení symetrickým napětím

Zkušební úrovně pro zkoušení symetrickým napětím na vstupech/výstupech AC napájení v kmitočtovém rozsahu od 2 kHz do 150 kHz jsou uvedeny v tabulce 6.

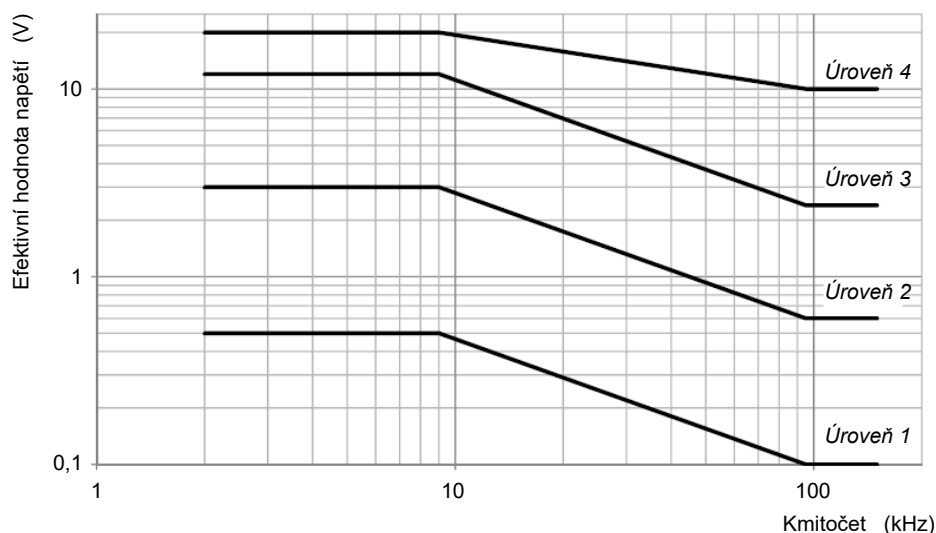
Tabulka 6 – Zkušební úrovně v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz pro zkoušení symetrickým napětím

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno V (efektivní hodnota)		
	2 kHz až 9 kHz	9 kHz až 95 kHz	95 kHz až 150 kHz
1	0,5	0,5 až 0,1	0,1
2	3	3 až 0,6	0,6
3	12	12 až 2,4	2,4
4	20	20 až 10	10
X ^a	Zvláštní	Zvláštní	Zvláštní

^a X může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň musí být specifikována normou výrobku.

Jak je znázorněno na obrázku 10, kde je uveden průběh závislosti na kmitočtu pro každé zkušební napětí naprázdno definované v tabulce 6, zkušební napětí se s kmitočtem mění následovně:

- úroveň je konstantní od 2 kHz do 9 kHz;
- logaritmus úrovně klesá lineárně s logaritmem kmitočtu od 9 kHz do 95 kHz;
- úroveň je konstantní od 95 kHz do 150 kHz.



Obrázek 10 – Průběh závislosti napětí na kmitočtu pro zkoušení symetrickým napětím

14.5 Zkoušení symetrickým proudem

Tabulka 7 znázorňuje zkušební úrovně v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz pro zkoušení symetrickým proudem

Úroveň ve sloupci 1 tabulky 2 odkazuje na třídu prostředí (Třída 1, Třída 2 atd.) definovanou v příloze B normy ČSN EN 61000-4-19, kde je také uveden návod pro výběr zkušební úrovně.

Tabulka 7 – Zkušební úrovně v kmitočtovém rozsahu 2 kHz až 150 kHz pro zkoušení symetrickým proudem

Úroveň	Nemodulovaný proud v A (efektivní hodnota)	
	2 kHz až 30 kHz	30 kHz až 150 kHz
1	1	0,5
2	2	0,6
3	3	1,5
4	4	2
X ^a	Zvláštní	Zvláštní

Na přechodném kmitočtu platí vyšší úroveň.

^a „X“ může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň musí být specifikována normou výrobku.

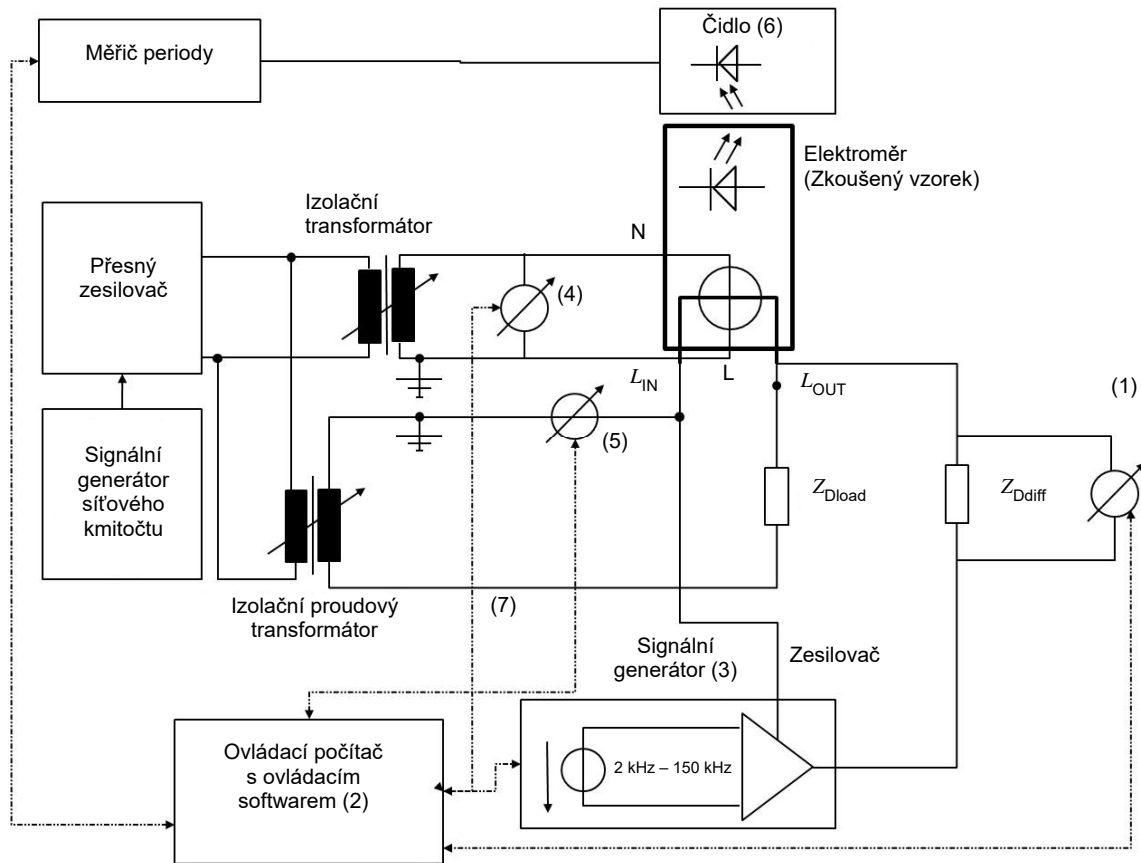
Jsou definovány dva typy modulace zkušební symetrického proudu, jeden s pulzy CW s přestávkami mezi každým pulzem a další s bloky obdélníkově modulovanými pulzy.

Platí stejný zkušební vlnový profil s pulzy CW s přestávkou, jak je definován pro zkoušení symetrickým napětím. Výrobní komise mohou definovat velikosti kmitočtového kroku menší. Tento zkušební průběh se například používá pro elektroměry.

Platí stejný zkušební vlnový profil s obdélníkově modulovanými pulzy, jak je definován pro zkoušení symetrickým napětím. Výrobní komise mohou rovněž definovat velikosti kmitočtového kroku menší.

14.6 Příklad zkušební sestavy pro elektroměry

Zkušební sestava pro zkoušku symetrickým proudem znázorněná na obrázku 8 se používá u EUT, jako jsou např. elektroměry, které mají vstup/výstup měření AC proudu. Jeden proud je proud zátěže I_{Load} na síťovém kmitočtu a druhý je symetrický proud I_{Diff} v kmitočtovém rozsahu od 2 kHz do 150 kHz, tekoucí pouze proudovými obvody EUT. Oba proudy I_{Load} a I_{Diff} jsou generovány nezávisle na sobě.



Tečkované čáry na obrázku jsou vedení určená pro ovládání

Obrázek 11 – Příklad zkušební sestavy

Symetrický proud tekoucí přes L_{IN} do L_{OUT} se měří pomocí měřiče proudu (1). Software (2) zvyšuje úroveň signálu generátoru (3) od nuly do požadované zkušební úrovně v krocích. Úroveň signálu se zvyšuje, dokud se nedosáhne požadované zkušební úrovně. Pak se signál aplikuje po vybranou dobu trvání průběhu (dokud odečty hodnot energie nejsou stabilní nebo podle specifikace výrobce). Během doby trvání průběhu se měří napětí síťového kmitočtu (4) a proud (5) a měří se také perioda impulzů na výstupu čidla (6). Měřič periody impulzů a čidlo na obrázku 11 tvoří impulzní zařízení pro měření elektrické energie.

Průměrná hodnota proudu, napětí a periody impulzů se pak použije pro výpočet procentní přídavné chyby elektroměru.

Zvláštní péči je třeba věnovat kabeláži, aby se zabránilo proudovým smyčkám, které generují silná magnetická pole kolem vodičů, která by mohla rušit elektroměr přímo vazbou prostřednictvím magnetického pole.

Malá část zkušebního symetrického proudu v této sestavě protéká 50 Hz proudovým obvodem (7) zátěže a nikoli přes EUT. Nicméně tato část je velmi malá, protože impedance proudových obvodů je velmi nízká ve srovnání s impedancí oddělovacího rezistoru Z_{Dload} v proudových obvodech zátěže. Tento proud lze zanedbat nebo určit předběžnou zkouškou a opravit při výpočtu nebo při generování signálu. Mohou se použít rovněž další opatření jako tlumivka, sloužící jako dolnofrekvenční propust v proudových obvodech.