

REAS ČR ČEPS VSE	Parametry kvality elektrické energie ČÁST 3: NESYMETRIE NAPĚTÍ	PNE 33 3430-3
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., PRE Praha, a.s., STE Praha, a.s., JČE České Budějovice, a.s., ZČE Plzeň, a.s., SČE Děčín, a.s., VČE Hradec Králové, a.s., JME Brno, a.s., SME Ostrava, a.s. a VSE Košice š.p.</p> <p>Předmluva</p> <p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření nesymetrie napětí.</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 3430-3:1997 a ČSN 33 3430 z 28.2.1985 (návrh normy k ověření) v plném rozsahu.</p> <p>Změny proti předchozí normě</p> <p>Při revizi PNE 33 3430-3:1997 byly provedeny technické změny ve všech článcích a byla doplněna ustanovení podle nově vyšlých mezinárodních a evropských norem.</p>		
Nahrazuje: PNE 33 3430-3 z 1.2. 1997		Účinnost od: 2001-01-01

Předmluva

Citované normy

ČSN IEC 50(161) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita

ČSN IEC 50(131A) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 131: Elektrické a magnetické obvody - Oddíl 131-4: Vícefázové obvody a součásti

ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

ČSN IEC 1000-1-1 (33 3431) Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace termínů a definic.

ČSN IEC 1000-2-1 (33 3431) Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Díl 1: Popis prostředí - elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční vedené rušení a signály ve veřejných rozvodných sítích.

ČSN IEC 1000-2-2 (33 3431) Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Díl 2: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích nízkého napětí

ČSN EN 61000-2-4 (33 3432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2: Prostředí - Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech

ČSN EN 61800-3:1996 (35 1720) Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí. Část 3: EMC norma výrobku zahrnující specifické zkušební metody

ČSN IEC 1000-2-6:1995 (33 3431) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2: Prostředí - Oddíl 6: Určování úrovně emise nízkofrekvenčních rušení šířených vedením v síťovém napájení průmyslových závodů

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

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

Vypracování normy

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

Pracovník ONS odvětví energetiky: Energoprojekt Praha, a.s., Ing. Jaroslav Bárta

Obsah

	Strana
1 Předmět normy	4
2 Definice	4
3 Všeobecně	5
3.1 Popis jevu	5
3.2 Zdroje nesymetrie napětí	5
3.3 Účinky nesymetrie napětí	5
3.4 Velikost nesymetrie napětí	6
4 Úrovně nesymetrie napětí podle norem	7
4.1 Nesymetrie napájecího napětí jako charakteristika dodávky elektrické energie	7
4.2 Shoda s požadavky podle harmonizovaných norem	7
5 Koordinace mezi emise s kompatibilními úrovněmi	8
5.1 Kompatibilní úrovně pro spotřebiče v sítích nízkého napětí	9
5.2 Kompatibilní úrovně pro zařízení v průmyslových sítích	9
5.3 Základní požadavky odolnosti proti nesymetrii napětí	10
5.4 Základní požadavky na potlačení emise nesymetrie napětí	10
6 Připojování průmyslových nesymetrických zatížení	10
6.1 Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu sítě	10
6.2 Etapa 2: Připojení na základě individuálního vyhodnocení dohodnutého zapojení nesymetrických odběrů	10
6.3 Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností	11
Příloha A Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí	12
A.1 Měření nesymetrie	12
A.2 Vyhodnocení nesymetrie - časové intervaly	12
A.2.1 Velmi krátký časový interval (první integrační časový rozsah)	13
A.2.2 Krátký časový interval (druhý integrační časový rozsah)	13
A.2.3 Dlouhý interval	13
A.2.4 Denní interval (24 h)	13
A.2.5 Týdenní nebo delší interval	13
A.3 Symetrické složky proudu	14
A.3.1 Určení zpětných složek proudu	14
A.4 Určení zpětné složky napětí	14
A.5 Sčítání několika zdrojů nesymetrie	14

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik nesymetrie napětí v distribučních sítích nn, vn a vvn. Dále se týká omezování jejich vlivu na funkční spolehlivost zařízení odběratelů i dodavatele elektrické energie.

Předmětem tohoto dílu PNE je vytvoření všeobecného podkladu pro vyhodnocování a omezování nesymetrie napětí. V souladu s harmonizovanou normou ČSN IEC 1000-2-2 jsou mezní hodnoty nesymetrie napětí odvozeny od kompatibilních úrovní a za účelem určení dovolené emise nesymetrie napětí jednotlivými zařízeními nebo sítěmi odběratelů se berou v úvahu další parametry sítě, jako např. zkratový výkon sítě.

Předmětem tohoto dílu PNE nejsou postupy výpočtu úrovní nesymetrie napětí v sítích nn, které jsou předmětem PNE 33 3430-0.

2 Definice

Pro účely této části PNE se používají následující definice týkající se nesymetrie napětí (viz též ČSN IEC 50(161), čl. 161-08-05 až 161-08-17):

2.1 kompatibilní úroveň (compatibility level): předepsaná maximální úroveň elektromagnetického rušení používaná jako vztažná úroveň ve stanoveném prostředí pro koordinaci stanovování mezí emise a odolnosti

POZNÁMKA - V praxi kompatibilní úroveň není absolutní maximální hodnota ale úroveň, která může být překročena s malou pravděpodobností. (viz ČSN IEC 50(161), čl. 161-03-10 modifikován).

2.2 plánovací úroveň (planning level): úroveň konkrétního rušení v konkrétním prostředí, přijatá jako vztažná hodnota určená pro stanovení mezí emisí od velkých zátěží a instalací, za účelem koordinace těchto mezí se všemi mezemi přijatými pro zařízení, která jsou určena k připojení do napájecí rozvodné sítě

POZNÁMKA – Plánovací úroveň je specifická pro místo připojení a je přijata těmi, kteří jsou zodpovědní za plánování a provoz napájecí rozvodné sítě v příslušné oblasti.

2.3 nesymetrie napětí; porušení rovnováhy napětí (voltage unbalance; voltage imbalance): stav mnoháfázové sítě, při kterém nejsou stejné efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů mezi po sobě následnými fázemi (IEV 161-08-09)

2.4 úroveň emise (nesymetrie napětí) ((voltage unbalance) emission level): úroveň nesymetrie emitovaná konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem (IEV 161-03-11 modifikováno)

2.5 mez emise (nesymetrie napětí) ((voltage unbalance) emission limit): předepsaná maximální úroveň emise nesymetrie napětí (IEV 161-03-12 modifikováno)

2.6 napájecí napětí (supply voltage): efektivní hodnota napětí v dané době v odběrném místě, měřená po dobu daného intervalu (viz ČSN EN 50160, článek 1.3.4)

2.7 společný napájecí bod PCC (zkratka) (point of common coupling PCC (abbreviation)): bod napájecí rozvodné sítě, elektricky nejbližší konkrétní zátěži, ve kterém jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže

POZNÁMKY

1 Těmito zátěžemi mohou být přístroje, zařízení nebo systémy, nebo instalace zařízení odběratele.

2 V některých aplikacích je termín "společný napájecí bod" omezen na veřejné rozvodné sítě.

2.8 napájecí bod uvnitř závodu (IPC) (in-plant point of coupling (IPC)): napájecí bod uvnitř vyšetřované sítě nebo instalace (viz ČSN EN 61000-2-4, článek 3.6)

3 Všeobecně

3.1 Popis jevu

Nesymetrie napětí je v třífázové síti 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 sítě. Nesymetrie napětí je stav, ve kterém se napětí třífázové rozvodné sítě 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).

Trojfázové soustavy je potřebné udržovat v symetrickém chodu, to znamená udržovat stejnou velikost fázových veličin a stejný fázový posun mezi jednotlivými fázemi. Nesymetrie je obvykle definována použitím metody symetrických složek, poměrem zpětné složky (nebo nulové složky) a sousledné složky. Zpětná složka (nebo nulová složka) napětí v síti převážně závisí na zpětné složce (nebo nulové složce) proudů nesymetrických zatížení tekoucích v síti.

3.2 Zdroje nesymetrie napětí

Převládající příčina nesymetrie je nesymetrické jednofázové zatížení. V sítích 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 sítích 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 ze sítě nižší úrovně napětí 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.

Útlum šíření zpětné složky napětí ve směru z vyšší do nižší napěťové úrovně závisí na výkonu připojených točivých strojů, které mají vyrovnávací účinek.

3.3 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.

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 přípustěny 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 napájí 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 napájí baterie kondenzátorů a které napájí stejnosměrný meziobvod nepřímých měničů (střídače zdrojů napětí), budou mít nesymetrie proudu, které jsou značně větší než je nesymetrie napětí a větší než měniče, které napájí induktivní zátěž jako je stejnosměrný motor (viz ČSN EN 61800-3, příloha B.3.2).

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 přídavnou 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)).

3.4 Velikost nesymetrie napětí

Na popsání velikosti nesymetrie napětí v třífázové síti jsou všeobecně používány tři různé přístupy.

3.4.1 Metoda maximální odchylky

První metoda podle ČSN IEC 1000-2-1 používá pro definování nesymetrie maximální odchylku napětí od průměrného napětí ze tří fází. Tento přístup je teoretickou definicí, podle které se mohou použít také sdružené hodnoty napětí.

$$\text{Nesymetrie napětí v \%} = 100 \left[\frac{\text{Maximální odchylka od průměru}}{\text{Průměr tří sdružených napětí}} \right]$$

$$= 100 \left| U_X - U_{AVE} \right| / U_{AVE}$$

kde

U_X je sdružené napětí s maximální odchylkou od průměru;

$$U_{AVE} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}) / 3;$$

U_{AB} , U_{BC} a U_{CA} jsou velikosti tří sdružených napětí.

Příklad

$$U_{AN} = 231, U_{BN} = 220 \text{ a } U_{CN} = 220$$

$$U_{AB} = 391, U_{BC} = 381 \text{ a } U_{CA} = 391$$

$$U_{AVE} = (391 + 381 + 391) / 3 = 388$$

$$\left| U_X - U_{AVE} \right| = \left| 381 - 388 \right| = 7$$

$$\text{Nesymetrie napětí je } 7 / 388 = 1,8 \%$$

3.4.2 Metoda dvou třetin maximální odchylky

Jiný přístup podle ČSN EN 61800-3 uvažuje dvě třetiny maximální odchylky místo odchylky mezi maximumem a průměrem, která je algebraicky ekvivalentní.

$$\text{Nesymetrie napětí v \%} = [67 (U_{\max} - U_{\min}) / U_{\text{průměrné}}]$$

Uvedme stejný příklad s fázovými napětími

$$U_A = 231, U_B = 220 \text{ a } U_C = 220$$

s fázovými úhly odpovídajícími sdruženým napětím

$$U_{BC} = 381, U_{CA} = 391 \text{ a } U_{AB} = 391$$

$$\text{způsobujícími nesymetrii napětí \%} = 1,73 \%$$

3.4.3 Analýza symetrických složek

Nejpřesnější definice je založena na analýze symetrických složek (viz ČSN IEC 50(131A) čl. 131-04-18) třífázové sítě.

Tento typ analýzy je založen na koncepci, podle které jakákoliv odchylka ideální třífázové sítě může být popsána sčítáním tří vektorů. Tyto jsou podle článků 131-04-20, 131-04-21 a 131-04-22 normy ČSN IEC 50(131A) nazývány nulové, sousledné a zpětné složky a jsou definovány následovně:

$$\begin{aligned}\underline{U}_A &= \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} && \text{napětí fáze A} \\ \underline{U}_{A0} &= (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3 && \text{nulová složka} \\ \underline{U}_{A1} &= (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C) / 3 && \text{sousledná složka} \\ \underline{U}_{A2} &= (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) / 3 && \text{zpětná složka}\end{aligned}$$

kde \underline{U}_A , \underline{U}_B a \underline{U}_C jsou vektory fázových napětí a „a“ je operátor, $a = -(1/2) + j(\sqrt{3}/2)$.

Poměr zpětné složky a sousledné složky je nesymetrie napětí. Tato je potom:

$$\text{Nesymetrie napětí v \%} = 100 U_{A2} / U_{A1}$$

Například za výše uvedeného předpokladu nesymetrie nezpůsobuje žádný fázový posuv proti normální třífázové síti:

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + a \underline{U}_{BN} + a^2 \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [\underline{U}_{AN} + (-0,5 + j 0,866) \underline{U}_{BN} + (-0,5 - j 0,866) \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$\underline{U}_{A1} = [U_{AN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A1} = [231 + 220 + 220] / 3 = 224$$

$$\underline{U}_{A2} = [\underline{U}_{AN} + a^2 \underline{U}_{BN} + a \underline{U}_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} + (-0,5 - j 0,866) (-0,5 - j 0,866) U_{BN} + (-0,5 + j 0,866) (-0,5 + j 0,866) U_{CN}] / 3$$

$$U_{A2} = [U_{AN} - 0,5(U_{BN} + U_{CN}) + j 0,866(U_{BN} - U_{CN})] / 3$$

$$U_{A2} = [231 - 220] / 3$$

$$U_{A2} = 3,7$$

$$\text{Nesymetrie napětí v \%} = 100 (3,7/224) = 1,7 \%$$

Je důležité poznamenat, že přístupy založené na měření amplitud neberou v úvahu správně fázový posuv fázových napětí. Metoda symetrických složek, která používá vektorové sčítání, tento fázový posuv postihuje. Je-li třífázová soustava tvořena třemi fázovými napětími, která mají stejnou velikost avšak s různým fázovým posuvem, potom amplitudový přístup selhává. Toto je extrémní případ použitý pro znázornění, že metoda symetrických složek je obecnější a měla by být použita tam, kde nesymetrie ovlivňuje značnou měrou fázový posuv.

4 Úroveň 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 2.10 a 3.10 normy ČSN EN 50160 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 sítě podstatná.

4.2 Shoda s požadavky podle harmonizovaných norem

K dosažení elektromagnetické kompatibility by podle ČSN IEC 1000-2-6 měla být omezena celková úroveň rušení v různých bodech zapojení; to zahrnuje kontrolu emise rušení zátěžemi připojenými na síťové napájení.

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

- šíři rozptylu zařízení v síti;
- typu využití (efekt soudobosti);
- charakteristikách sítě.

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 dodavatelem energie.

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 sítě.** Celková emise průmyslového závodu do veřejné sítě je předmětem omezení na základě požadavků dodavatele, a na podmínkách sítě.
- 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 sítě, 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 sítě;
- zařízení malého výkonu, i když nevyhovující pokud se úrovně emise zvažují s ohledem na normy pro veřejné sítě, 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.

5 Koordinace mezi emise s kompatibilními úrovněmi

Přípustná mez emise zařízení může být podle ČSN IEC 1000-2-6 stanovena pomocí postupu tří kroků:

- Informace mezi dodavatelem elektrické energie a uživatelem zařízení, a mezi uživatelem zařízení a výrobcem.

Dodavatel elektrické energie 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 sítě tak i na kmitočtových charakteristikách.

Uživatel je požádán dodavatelem elektrické energie, aby mu poskytl informace ohledně:

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

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 úrovně emise na změny například napájecí impedance, provozního napětí atd.

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

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 sítě a možné zvětšení počtu zdrojů rušení v závodu, měla by se zvážít následující opatření:

- modifikace konfigurace sítě;
- 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 sítích nízkého napětí

Nesymetrie napětí je obvykle definována poměrem zpětné složky (nebo nulové složky) a sousledné složky.

Nesymetrie napětí způsobená jednofázovým odběrem připojeným na sdružené napětí je prakticky rovna poměru příkonu odběru a třífázového zkratového výkonu sítě.

Kompatibilní úroveň zpětné složky nesymetrie napětí v sítích nízkého napětí je 2 % (viz ČSN IEC 1000-2-2).

POZNÁMKA - V některých případech se mohou vyskytnout větší hodnoty, alespoň na omezenou dobu, například při poruchách.

5.2 Kompatibilní úrovně pro zařízení v průmyslových sítích

Průmyslové sítě mnohdy představují náročné elektromagnetické prostředí. Pro účely hodnocení náročnosti jsou podle normy ČSN IEC 1000-2-4 rozděleny do tříd prostředí:

- Třída 1: Tato třída se týká chráněných napájení a má kompatibilní úrovně nižší než úrovně pro veřejné rozvodné sítě. To se týká zařízení velmi citlivého na rušení v rozvodné síti, například přístrojového vybavení technologických laboratoří. Zařízení této třídy je potřeba řešit individuálně.

- Třída 2: Kompatibilní úrovně této třídy jsou identické s úrovněmi pro veřejné rozvodné sítě (viz ČSN IEC 1000-2-2); proto v této třídě průmyslového prostředí mohou být navrhovány prvky pro použití ve veřejných rozvodných sítích.

- Třída 3: Tato třída se týká jenom bodů v průmyslovém prostředí. Tato třída má pro některé jevy rušení vyšší kompatibilní úroveň než třída 2. V tabulce 1 normy ČSN IEC 1000-2-4 je hodnota kompatibilní úroveň nesymetrie 3 %. Kromě toho okamžitá hodnota zpětné složky základního napětí podle uvedené normy nesmí překročit 4 %.

5.3 Základní požadavky odolnosti proti nesymetrii napětí

Úroveň odolnosti zařízení připojených do veřejných distribučních sítí musí být alespoň rovná stejné hodnotě jako je kompatibilní úroveň ve vyšetřovaném napájecím bodu (PCC) podle tabulky 1 v IEC 1000-2-4 (třída 3: 3 %) nebo podle kapitoly 6 v IEC 1000-2-2 (2 %).

5.4 Základní požadavky na potlačení emise nesymetrie napětí

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

6 Připojování průmyslových nesymetrických zatížení

Tato část normy se týká průmyslových zařízení, která se připojují do elektrických sítí odběratele připojených ve společném napájecím bodu do třífázové rozvodné sítě elektrizační soustavy a provozují se v prostředí třídy 3 podle článku 5.2.

6.1 Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu sítě

6.1.1 Průmyslové jednofázové nebo dvofázové zařízení může být připojeno a uvedeno do zkušební provozu pokud maximální příkon zařízení S_A splňuje následující podmínku:

$$S_K > 150 S_A$$

kde

S_K je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu;

S_A příkon zařízení způsobujícího nesymetrii

POZNÁMKA - Podmínka připojení podle článku 6.1.1 byla převzata ze "Zásad pro určení zpětných vlivů na síť" (Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen) VDEW 1992, článek 6.7.

6.1.2 Průmyslové třífázové zařízení může být připojeno a uvedeno do zkušební provozu pokud maximální hodnota zpětné složky proudu $I_{(2)}$ zařízení splňuje následující podmínku:

$$I_K'' > 150 I_{(2)}$$

kde I_K'' je minimální hodnota počátečního rázového souměrného zkratového proudu v PPC. Postup určení zpětných složek proudu je uveden v příloze A.3.1.

6.1.3 Průmyslové zařízení může být trvale provozováno pokud za normálních provozních podmínek, v libovolném týdenním období, 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot R_{Sh} podle přílohy A.2.5 není ve společném napájecím bodu větší než 0,01.

6.2 Etapa 2: Připojení na základě individuálního vyhodnocení dohodnutého zapojení nesymetrických odběrů

Tato etapa se týká připojování velkých nesymetrických zatížení zejména trakčních transformoven do sítě vvn.

6.2.1 Pokud jednotlivé odběry průmyslových zařízení připojovaných mezi dvě fáze jsou zapojeny po dohodě s dodavatelem elektřiny (střídání fází), může být zařízení připojeno a uvedeno do zkušební provozu pokud maximální příkon zařízení S_A splňuje následující podmínku:

$$S_K > 100 S_A$$

kde S_K je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu.

6.2.2 Průmyslové zařízení připojené podle článku 6.2.1 může být trvale provozováno pokud za normálních provozních podmínek, v libovolném týdenním období, 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot R_{Sh} podle přílohy A.2.5 není ve společném napájecím bodu větší než 0,01.

6.3 Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností

Je třeba poznamenat, že někteří odběratelé nezpůsobují nesymetrii napětí, protože neprovozují nesymetrická zatížení.

Kromě toho je možné vzít v úvahu točící se asynchronní stroje, které mají výrazný vliv na potlačení zpětné složky napětí v místě jejich připojení. Velikost nesymetrie napětí s vlivem asynchronního motoru bude stejná jako kdybychom samotný nesymetrický odběr napájeli přes zpětnou impedanci skládající se z paralelně spojených zpětných impedancí vedení a asynchronního motoru.

Prakticky však bude zahrnutí tohoto vlivu velmi obtížné, protože výkony a parametry připojených asynchronních motorů, které jsou v chodu a jejich rozmístění v distribuční síti je těžko zjistitelné.

V souvislosti s tím bude mít dodavatel elektřiny výsadu použít v takových případech dostupnou rezervu (např. nevyskytují-li se v síti jiné nesymetrické odběry). Avšak možnost připojení mimo normální meze bude dána odběratelům jen výjimečně a to s určitým rizikem.

Etapa 3 je důležitá pro umožnění odkladu investic, které případně nebudou nikdy potřeba. To znamená, že musí být provedena pečlivá studie připojení. Přitom se musí brát v úvahu existující nesymetrie napětí (pozadí), očekávaný příspěvek vyšetřovaného zařízení s tím, že se musí nezbytně brát v úvahu pravděpodobnost uspořádání tak, aby bylo případně možno v budoucnosti rozšířit instalaci o synchronní stroje kompenzující nesymetrii.

Příloha A (normativní)

Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí

Přímé měření zpětné složky napětí je obtížné, protože vyžaduje použití speciálních filtrů, které nejsou běžně dostupné.

Nesymetrie je definována zpětnou složkou vyjádřenou v % sousledné složky. Při základním měření se vyhodnocuje střední efektivní hodnota v intervalu 10 minut (střední efektivní hodnota vyhodnocená s integračním časem rovným zvolené efektivní době měření v intervalu 10 min) po dobu sledování jeden týden včetně soboty a neděle.

Střední efektivní hodnota v intervalu 10 minut se získá z řady elementárních měření. Vzhledem k tomu, že krátkodobý účinek nesymetrie je zanedbatelný mohou být mezi jednotlivými elementárními měřeními časové prodlevy (postačuje efektivní měřicí doba 2 - 5 % z celkové doby sledování).

A.1 Měření nesymetrie

Míra nesymetrie napětí se vyjadřuje činitelem napěťové nesymetrie ρ_U , který je poměrem efektivních hodnot zpětné složky napětí $U_{(2)}$ a sousledné složky napětí $U_{(1)}$

$$\rho_U = U_{(2)} / U_{(1)} \quad (1)$$

POZNÁMKA - Tento činitel, uváděný v pracích prof. Drechslera jako činitel nesouměrnosti, je takto uveden a aplikován v [Paleček J., Pokorný M.: Nesymetrie v síti 110 kV při napájení elektrické vozby 25 kV, 50 Hz. Elektro, 1994, č. 6, str. 227]

Nesymetrie může být měřena metodou tří voltmetrů. Činitel napěťové nesymetrie se vypočte ze vztahu

$$\rho_U = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (2)$$

kde

$$\beta = \frac{U_{L1L2}^4 + U_{L2L3}^4 + U_{L3L1}^4}{(U_{L1L2}^2 + U_{L2L3}^2 + U_{L3L1}^2)^2}$$

U_{L1L2} je sdružené napětí mezi fázemi L1 a L2

U_{L2L3} je sdružené napětí mezi fázemi L2 a L3

U_{L3L1} je sdružené napětí mezi fázemi L3 a L1

POZNÁMKA - Uvedený vztah pro výpočet činitele nesymetrie byl převzat z dokumentu CIGRE: Robert A., Marquet J.: Určení kvality napětí - harmonické, kolísání a nesymetrie napětí (Assessing voltage quality with relation to harmonics, flicker and unbalance), který byl ve jménu pracovní skupiny WG 36.05 "Kvalita napětí" prezentován pod číslem 36-203 na generálním zasedání CIGRE 1992.

A.2 Vyhodnocení nesymetrie - časové intervaly

Ve statistickém zpracování měření nesymetrie by se měly brát v úvahu časové intervaly v rozpětí od 3 s až do jednoho týdne nebo i více. Pro účely této normy se rozlišuje "čas sledování" a "efektivní měřicí doba":

- efektivní měřicí doba odpovídá efektivnímu trvání, uvnitř kterého je nesymetrie měřena (tj. součet po sobě následujících nepřekrývajících se časů trvání měření), časové prodlevy mezi časy měření, jestliže existují, nejsou započítávány;
- čas sledování je celkový reálný časový úsek odpovídající efektivní měřicí době plus čas mezer v průběhu tohoto času sledování.

Pro zhuštění údajů se doporučuje používání následujících časových intervalů (viz ČSN EN 61000-4-7, článek 9.3):

velmi krátký interval (T_{VS}): 3 s

krátký interval (T_{Sh}):	10 min
dlouhý interval (T_L):	1 hodina
jednodenní interval (T_D):	24 hodin
jednotýdenní interval (T_{Wk}):	7 dní

A.2.1 Velmi krátký časový interval (první integrační časový rozsah)

Tento interval T_{VS} je chápán jako efektivní měřicí doba a je doporučováno jej volit rovný 3 s.

Pro určení dlouhodobých (tepelných) účinků nesymetrie, efektivní hodnota nesymetrie:

$$R_{VS} = \sqrt{\sum_{k=1}^M \frac{(\rho_U)_k^2}{M}} \quad (3)$$

kde M je počet měření a vyhodnocení hodnot (U provedených podle článku A.1 v intervalu T_{VS}).

Z počtu M všech jednotlivých vypočtených hodnot (U podle rovnice (2)) se efektivní hodnota nesymetrie určí po celou dobu intervalu T_{VS} . Tyto hodnoty se uloží v počítači pro další použití.

POZNÁMKA - Oproti problematice harmonických není u nesymetrie nutné vyhodnocování těchto hodnot, je však výhodné s ohledem na následné vyhodnocení dlouhodobých hodnot ve sdruženém měřicím systému kvality energie.

A.2.2 Krátký časový interval (druhý integrační časový rozsah)

Během každého po sobě následujícího krátkého časového intervalu $T_{Sh} = 10$ minut se z hodnot R_{VS} , určených podle článku A.2.1, vyskytujících se v tomto intervalu vypočte střední efektivní hodnota nesymetrie R_{Sh} .

$$R_{Sh} = \sqrt{\sum_{k=1}^M \frac{(\rho_U)_k^2}{M}} \quad (4)$$

Určení této střední efektivní hodnoty nesymetrie je zapotřebí provést zejména u rychle proměnných nesymetrických odběrů jako jsou obloukové pece a trakční odběry.

A.2.3 Dlouhý interval

Výběr dlouhého časového intervalu T_L je volitelný. Jestliže je použit doporučuje se volit jej rovný 1 hodinovému času sledování.

A.2.4 Denní interval (24 hodin)

Grafické znázornění sumarizace dat (založených přednostně na intervalu T_{Sh}) po dobu jednoho dne je velmi užitečné, neboť ukazuje vývoj nesymetrie napětí podle režimu provozu odběratele.

A.2.5 Týdenní nebo delší interval

Celková doba sledování musí být alespoň jeden týden včetně soboty a neděle. Analýza by měla být prováděna na základě sumarizovaných dat ze dne na den. Měl by se brát v úvahu velký rozdíl, který se může vyskytnout mezi normálními pracovními dny a dny konce týdnu.

Během týdenního časového intervalu T_{Wk} se potom určuje zda 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot nesymetrie R_{Sh} změřených a vypočtených podle článků A.1, A.2.1 a A.2.2 není větší než 0,02 (viz článek 4.1).

POZNÁMKA - Podle ustanovení tohoto článku se vyhodnocují desetiminutové střední efektivní hodnoty nesymetrie R_{Sh} na rozdíl od článku 4.1, podle kterého by se musely vyhodnocovat desetiminutové střední efektivní hodnoty zpětné složky, což by ovšem vyžadovalo použití speciálních filtrů pro přímé měření zpětné složky napětí.

A.3 Symetrické složky proudu

S pomocí symetrických složek může být nesymetrický systém rozložen do tří složek: sousledné, zpětné a nulové.

Nulové složky se mohou vyskytnout ve fázových napětích jakékoliv sítě. Mohou být ve fázových proudech, i když síť nemá dostupný střední bod; proud může téci do země přes kapacity mezi fází a zemí. Tyto složky neovlivňují zátěže připojené mezi fázemi.

A.3.1 Určení zpětných složek proudu

Výpočet zpětné složky proudu je stejný pro všechny výše uvedené jednotlivé nebo kombinované jednofázové zátěže. Vezme-li se napětí naprázdno fáze A jako vztažný směr pro všechny fázové úhly, potom jsou-li známy velikost a fázový posun jednotlivých proudů ve třech fázích A, B a C, mohou být k určení výsledné zpětné složky proudu použity následující vztahy.

a) Třífázové zátěže připojené mezi fází a střed

$$I_{(2)} = \frac{1}{3} \left(|I_a| \angle \varphi_a + |I_b| \angle \varphi_b - \frac{2}{3}\pi + |I_c| \angle \varphi_c + \frac{2}{3}\pi \right) \quad (5)$$

b) Třífázové zátěže připojené mezi dvě fáze

$$I_{(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(|I_{ab}| \angle \varphi_{ab} + \frac{\pi}{6} + |I_{bc}| \angle \varphi_{bc} - \frac{\pi}{2} + |I_{ca}| \angle \varphi_{ca} + \frac{5}{6}\pi \right) \quad (6)$$

V případě jednofázové zátěže připojené mezi dvě fáze:

$$|I_{(2)}| = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{1\phi} \quad (7)$$

Příklad rozložení proudu do složek a naměřené hodnoty na obloukové peci jsou v ČSN IEC 1000-2-6, příloha D.

A.4 Určení zpětné složky napětí

Příspěvek ke zpětné složce napětí způsobené zátěží může být vypočten jako:

$$\underline{U}_{(2)} = I_{(2)} \underline{Z}_{(2)} \quad (8)$$

Položí-li se zpětná složka impedance $\underline{Z}_{(2)}$ rovná sousledné složce impedance sítě (tato je vztažena k subtransientním impedancím točivých strojů). Může být vztah (7) transformován na:

$$u_{(2)} = \frac{|I_{(2)}|}{I_k} \quad (9)$$

kde

$u_{(2)}$ je relativní zpětná složka napětí $\underline{U}_{(2)} / \underline{U}_N$;

$I_{(2)}$ zpětná složka proudu;

I_k třífázový zkratový proud.

A.5 Sčítání několika zdrojů nesymetrie

Mění-li se zátěž, co do velikosti nebo fáze, mohou být podle článku 9.3 v ČSN IEC 1000-2-6 použita stejná pravidla statistické sumace jaká byla uvedena pro harmonické. Ve skutečnosti může být zpětná složka považována za harmonickou složku s číslem řádu 1.

Zpětná složka napětí $\underline{U}_{(2)}$, která je následkem několika nesymetrických zátěží i , může být v ustáleném provozu vypočtena s použitím vzorce uvedeného pro harmonické v článku 7.4.2.1 normy ČSN IEC 1000-2-6. Pro harmonickou složku s číslem řádu 1 je výsledná zpětná složka napětí

$$|\underline{U}_{(2)}| = |\underline{U}_{(2)p}| + K \sum |\underline{U}_{(2)i}| \quad (10)$$

kde

$\underline{U}_{(2)p}$ je zpětná složka napětí napájecí sítě, přičemž se neuvažuje účinek vyšetřovaných zdrojů rušení (rušení pozadí);

$\underline{U}_{(2)i}$ je zpětná složka napětí vytvořená injektováním ze zdroje i .

Činitel různosti K je definován jako poměr mezi vektorovým součtem (skutečným nebo očekávaným) a aritmetickým součtem individuálních příspěvků všech zdrojů zpětné složky napětí. Tyto příspěvky jsou způsobeny emisí příslušných navržených provozních charakteristik vyšetřovaného zařízení. Podle článku 9.3 v ČSN IEC 1000-2-6 jsou přibližné hodnoty pro K podobné těm, které jsou v tabulce 2 normy ČSN IEC 1000-2-6 uvedeny pro řád 3 harmonických.