

REAS ČR, ČEPS, ZSE ,	Parametry kvality elektrické energie – Část 3: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí	PNE 33 3430-3
		Druhé vydání
<p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření nesymetrie a změn kmitočtu 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 3430-3:2000.</p> <p>Změny proti předchozí normě</p> <p>Při revizi PNE 33 3430-3:2000 byl změněn název normy na Parametry kvality elektrické energie – Část 3: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí. Byly opraveny citované normy podle aktuálního stavu. S ohledem na revize znění definic v normách ČSN EN 61000-2-2 ed. 2 a ČSN EN 61000-2-4 ed. 2 byly opraveny termíny a definice v kapitole 2. Podle revidované ČSN EN 61800-3 byla opravena a doplněna kapitola 3. V kapitole 5 byly opraveny a doplněny o změny síťového kmitočtu články týkající se kompatibilních úrovní podle ČSN EN 61000-2-2 ed. 2, ČSN EN 61000-2-4 ed. 2 a ČSN EN 61000-2-12. V souvislosti s těmito úrovněmi byl doplněn článek 6.3 týkající se etapy 3 připojování nesymetrických zařízení. Značení výkonů a zkratového poměru bylo v kapitole 6 opraveno podle ČSN EN 61000-3-12.</p> <p>Příloha A týkající se měření a vyhodnocení nesymetrie napětí byla zcela přepracována podle nové normy ČSN EN 61000-4-30. Na závěr byla přidána nová informativní příloha B uvádějící informace o požadavcích na odolnost elektrických odběrů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí.</p>		
Ruší: PNE 33 3430-3 z roku 2000	Účinnost od: 2006-01-01	

Předmluva

Citované normy

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

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

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

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

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

ČSN EN 61000-3-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-12: Meze harmonických proudů způsobených zařízeními se vstupním fázovým proudem >16 A a ≤ 75 A připojeným k veřejným sítím nízkého napětí

IEC 61000-3-6 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 6: Určování emisních mezí pro zátěže deformující napětí v sítích vn a vvn - Základní norma EMC (do ČSN nezavedena)

IEC 61000-3-7 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 7: Určování emisních mezí pro kolísající zátěže v sítích vn a vvn – Základní norma EMC (do ČSN nezavedena)

ČSN EN 61000-4-30 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie

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

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

Vypracování normy

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

Pracovník ONS odvětví energetiky: Ing. Jaroslav Bárta

Obsah

	Strana
1	Předmět normy 4
2	Definice 4
3	Všeobecně 6
3.1	Popis jevu 6
3.2	Zdroje nesymetrie napětí 7
3.3	Účinky nesymetrie napětí 7
3.4	Velikost nesymetrie napětí 8
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 10
4.3	Třídy elektromagnetického prostředí 11
5	Koordinace mezi emise s kompatibilními úrovněmi 11
5.1	Kompatibilní úrovně pro spotřebiče v sítích nízkého napětí 12
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 13
5.5	Plánovací úrovně 13
5.6	Znázornění kompatibilních, emisních, odolnostních a plánovacích úrovní 14
6	Připojování průmyslových nesymetrických zatížení 14
6.1	Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu sítě 14
6.2	Etapa 2: Připojení na základě individuálního vyhodnocení dohodnutého zapojení nesymetrických odběrů 15
6.3	Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností 15
	Příloha A (normativní) Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí 16
A.1	Elektrické hodnoty určené k vyhodnocení nesymetrie napětí 16
A.2	Agregace měření přes časové intervaly 16
A.3	Měření nesymetrie napětí a proudu 16
A.4	Rozsah ovlivňujících veličin 17
A.5	Realizace ověřování a nejistota zkušebních stavů 17
	Příloha B (informativní) Základní požadavky na odolnost elektrických výkonových pohonů proti nesymetrii a změnám kmitočtu napětí 19
B.1	Společné principy 19
B.2	Pohony nízkého napětí 21
B.3	Pohony jmenovitého napětí nad 1 000 V 21

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik nesymetrie a změn kmitočtu 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 harmonizovanými základními normami EMC 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).

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 cokoliv 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 mezi 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 mezi emisí z velkých zátěží a instalací tak, aby koordinovala tyto meze se všemi mezemi převzatými pro zařízení určené k připojení do rozvodné napájecí sítě

POZNÁMKA Plánovací úroveň je specifická pro místo v rozvodné síti a je schválená organizací odpovědnou za projektování a provoz rozvodné sítě v příslušné oblasti. Další informace viz články 5.5 a 5.6.

společný napájecí bod PCC (zkratka) (*point of common coupling PCC (abbreviation)*)

bod veřejné rozvodné sítě, 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;*)

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 sítě Z v bodu PCC:

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

kde Z je impedance sítě na síťovém kmitočtu

jmenovitý zdánlivý výkon zařízení (*rated apparent power of the equipment*)
 $S_{equ} (S_{equ})$

hodnota vypočtená ze jmenovitého síťového proudu I_{equ} zařízení stanoveného výrobcem a jmenovitého (jednofázového) napětí U_p nebo (sdruženého) U_i následovně:

- $S_{equ} = U_p I_{equ}$ pro jednofázové zařízení a jednofázovou část hybridního zařízení;
- $S_{equ} = U_i I_{equ}$ pro mezifázové zařízení;
- $S_{equ} = \sqrt{3} U_i I_{equ}$ pro symetrické trojfázové zařízení a trojfázovou část hybridního zařízení;
- $S_{equ} = 3 U_p I_{equ \max}$ pro nesymetrické trojfázové zařízení, kde $I_{equ \max}$ je maximální efektivní hodnota proudů tekoucích v jakékoliv ze tří fází

V případě rozsahu napětí, U_p nebo U_i je jmenovité síťové napětí podle IEC 60038 (například: 120 V nebo 230 V pro jednofázové nebo sdružené 400 V pro trojfázové).

zkratový poměr (*short-circuit ratio*)
 $R_{sce} (R_{sce})$

charakteristická hodnota zařízení definovaná následovně:

- $R_{sce} = S_{sc} / (3 S_{equ})$ pro jednofázové zařízení a jednofázovou část hybridního zařízení;
- $R_{sce} = S_{sc} / (2 S_{equ})$ pro mezifázové zařízení;
- $R_{sce} = S_{sc} / S_{equ}$ pro všechna trojfázová zařízení a trojfázovou část hybridního zařízení;

POZNÁMKA 1 R_{sce} se může vztáhnout přímo k základním známým veličinám prostřednictvím rovnic:

$$R_{sce} = U / (\sqrt{3} \times Z \times I_{equ}) \quad \text{pro jednofázové zařízení a jednofázovou část hybridního zařízení;}$$

$$R_{sce} = U / (2 \times Z \times I_{equ}) \quad \text{pro mezifázové zařízení;}$$

$$R_{sce} = U / (\sqrt{3} \times Z \times I_{equ}) \quad \text{pro symetrické trojfázové zařízení a trojfázovou část hybridního zařízení;}$$

$$R_{sce} = U / (\sqrt{3} \times Z \times I_{equ \max}) \quad \text{pro nesymetrické trojfázové zařízení,}$$

kde $U = U_{nominal}$ a předpokládá se, že se rovná U_i nebo $\sqrt{3} \times U_p$, přičemž se vybere příslušná hodnota.

POZNÁMKA 2 R_{sce} není stejný jako R_{sc} jak je definován v IEC 61000-2-6.

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)

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 rozvodné napájecí sítě

[IEV 101-14-50, modifikováno]

POZNÁMKA 1 V případě periodické funkce je základní kmitočet všeobecně roven kmitočtu funkce samotné. (Viz E.1).

POZNÁMKA 2 V případě jakéhokoliv rizika nejednoznačnosti, měl by se kmitočet rozvodné napájecí sítě vztahovat na směr a rychlost otáčení synchronních generátorů napájecích sítí.

POZNÁMKA 3 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 napájecím 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.:

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

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)

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*)

pro jakýkoliv časový interval měření, v kterém se vyskytnou přerušení, krátkodobé poklesy nebo krátkodobá zvýšení napětí jsou výsledky měření všech ostatních parametrů provedených během tohoto časového intervalu označeny příznakem.

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).

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 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 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 indukčním 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 impedancí 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 následující 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

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

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

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

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

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

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.

3.4.2 Analýza symetrických složek

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

Přesná definice je vztažena k analýze symetrických složek trojfázového systému. Tento typ analýzy je založen na koncepci, že jakákoliv odchylka fázového napětí od ideálního trojfázového systému se může popsat přidáním tří vektorů. Ty se nazývají vektor nulové, sousledné a zpětné složky a jsou definovány následovně.

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} \quad \text{napětí fáze A}$$

$$\underline{U}_{A0} = (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3 \quad \text{nulová složka}$$

$$\underline{U}_{A1} = (\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C) / 3 \quad \text{sousledná složka}$$

$$\underline{U}_{A2} = (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) / 3 \quad \text{zpětná složka}$$

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 napětí je nesymetrie napětí. Ta je vyjádřena následovně:

$$\tau \% = 100 U_2 / U_1$$

Příklad 1: Amplitudy a fázové úhly fázových napětí jsou známy a umožňují výpočet sdružených napětí a odpovídajících fázových úhlů.

$$\begin{array}{llll}
 U_{AN} = 231,00 \text{ a } & 0,0^\circ, & U_{BN} = 220,00 \text{ a } & -125,1^\circ, & U_{CN} = 215,00 \text{ a } & 109,8^\circ \\
 U_{AB} = 400,32 \text{ a } & 26,7^\circ, & U_{BC} = 386,00 \text{ a } & -98,0^\circ, & U_{CA} = 364,98 \text{ a } & 146,3^\circ \\
 \text{z čehož } & U_0 = 22,36 & 35,2^\circ, & U_2 = 20,40 \text{ a } & 90,7^\circ, & U_1 = 383,51 \text{ a } & -5,0^\circ
 \end{array}$$

a nesymetrie napětí: $\tau = 100 (20,36/383,51) = 5,320 \%$, s nulovou složkou 5,831 %.

Příklad 2: Amplitudy a fázové úhly fázových napětí jsou známy a umožňují výpočet sdružených napětí a odpovídajících fázových úhlů:

$$\begin{array}{llll}
 U_{AN} = 230,00 \text{ a } & 0,0^\circ, & U_{BN} = 280,00 \text{ a } & -135,0^\circ, & U_{CN} = 170,00 \text{ a } & 130,0^\circ \\
 U_{AB} = 471,50 \text{ a } & 24,8^\circ, & U_{BC} = 339,94 \text{ a } & -105,1^\circ, & U_{CA} = 363,40 \text{ a } & 159,0^\circ \\
 \text{z čehož } & U_0 = 59,34 \text{ a } & -138,8^\circ, & U_2 = 85,79 \text{ a } & 48,1^\circ, & U_1 = 386,40 \text{ a } & -3,7^\circ
 \end{array}$$

a nesymetrie napětí: $\tau = 100 (85,79/386,40) = 22,230 \%$, s nulovou složkou 15,356 %.

3.4.3 Aproximační metoda

Níže jsou uvedeny tři aproximační metody. První obvykle poskytuje nejlepší výsledky s chybou menší než 5 % pro jakýkoliv druh nesymetrie, pro kterou fázová napětí mají fázové úhly v toleranci $\pm 15^\circ$ a amplitudu v toleranci $\pm 20 \%$ ve srovnání s odpovídajícím ideálním vyváženým systémem (sousedný nebo zpětný sled).

U_{12} , U_{23} a U_{31} jsou tři sdružená napětí s $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{\text{average}})/(3 \times U_{\text{average}})$ pro každé ze tří fázových napětí a τ je nesymetrie napětí jako poměr zpětné složky amplitudy napětí a sousledné složky amplitudy napětí,

$$\tau \approx \sqrt{6 \sum_1^3 \delta_{ij}^2}$$

Mnohem jednodušší aproximace:

$$\tau \approx \left(\frac{2}{3}\right) \times \left[\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{average}}} \right]$$

poskytuje přípustné výsledky (absolutní chyba je všeobecně menší než 1 %) pro τ až do 7 %.

Vzorec navržený NEMA dává také přípustné výsledky (absolutní chyba je všeobecně menší než 1 %) pro τ až do 10 % nebo pokud fázový posun je větší:

$$\tau \approx \frac{\text{MAX} |U_{ij} - U_{\text{average}}|}{U_{\text{average}}}$$

Příklad 1, jako výše:

$$\begin{array}{lll}
 U_{AN} = 231,00 & U_{BN} = 220,00 & \text{a } U_{CN} = 215,00 \\
 U_{AB} = 400,32 & U_{BC} = 386,00 & \text{a } U_{CA} = 364,98 \\
 U_{\text{average}} = (400,32+386,00+364,98)/3 = 383,77 & \text{a bez desetinných míst } & U_{\text{average}} = (400+386+365)/3 = 383,66 \\
 \delta_{12} = 1,432 \% & \delta_{23} = 0,197 \% & \delta_{31} = -1,629 \%
 \end{array}$$

Nesymetrie napětí je $[6(1,432^2+0,197^2+1,629^2)]^{1/2} = 5,3 \%$

nebo $(2/3) \times (U_{\max} - U_{\min})/U_{\text{average}} = (2/3) \times (400 - 365)/383,7 = 6,1 \%$, nebo s použitím poslední aproximace: $18,7/383,7 = 4,9 \%$.

Příklad 2, jako výše:

$$\begin{array}{lll}
 U_{AN} = 230,00 & U_{BN} = 280,00 & \text{a } U_{CN} = 170,00 \\
 U_{AB} = 471 & U_{BC} = 340 & \text{a } U_{CA} = 363 \\
 U_{\text{average}} = (472+340+363)/3 = 391,7 \\
 \delta_{12} = 6,801 \% & \delta_{23} = -4,397 \% & \delta_{31} = -2,404 \%
 \end{array}$$

Nesymetrie napětí je $[6(6,801^2 + 4,397^2 + 4,397^2)]^{1/2} = 20,7 \%$

nebo $(2/3) \times (U_{\max} - U_{\min})/U_{\text{average}} = (2/3) \times (472 - 340)/391,7 = 22,4 \%$, nebo s použitím poslední aproximace: $80,3/391,7 = 20,5 \%$.

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 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

Pokud se uvažují veřejné sítě nízkého napětí, kontrola úrovně rušení se provede pomocí striktního omezení emisí zařízení určeného k připojení do sítě 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.

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 úrovně nižší než úrovně pro veřejné rozvodné sítě. To se týká použití zařízení velmi citlivého na rušení v napájecí síti, 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 neveřejných napájecích sítí. Kompatibilní úrovně této třídy jsou identické s úrovněmi pro veřejné rozvodné sítě, Proto v této třídě průmyslového prostředí mohou být použity prvky navržené pro napájení z veřejných rozvodných sítí.

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 priori* a měla by se týkat typu zařízení a uvažovaného procesu.

POZNÁMKA 1 Prostředí 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 jsou uvedeny v prostředí třídy 1. Kompatibilní úrovně jsou pak odsouhlasovány případ od případu (uzpůsobitelné prostředí).

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 odsouhlasovány.

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

5 Koordinace mezí emise s kompatibilními úrovněmi

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

- a) 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 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 sítě a možné zvětšení počtu zdrojů rušení v závodě, měla by se zvážit 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

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 k zpětné složce, která je složkou související s možnou interferencí se zařízením připojeným do veřejné distribuční sítě.

POZNÁMKA Pro sítě 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 sítě.

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 řádů 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 odchylky napětí, nesymetrii napětí a změny síťového kmitočtu

Rušení	Třída 1	Třída 2	Třída 3
Nesymetrie napětí U_{neg}/U_{pos}	2 %	2 %	3 %
Odchylky kmitočtu sítě ^c Δf	±1 Hz	±1 Hz	±1 Hz
^c ±2 Hz v případě izolovaných sítí.			

5.3 Základní požadavky na odolnost 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 článku 5.2 (třída 3: 3 %) nebo podle článku 5.1 (2 %).

Vzhledem k tomu že nesymetrií jsou nejvíce ohroženy pohony jsou další informace o odolnosti proti nesymetrii napětí uvedeny v příloze B.

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.

5.5 Plánovací úrovně

Pro velké zátěže a instalace mají zvláštní roli ti co jsou odpovědní za rozvodné napájecí soustavy. Při určování vhodných mezí emise pro takovéto instalace používají koncepci plánovací úrovně definované v kapitole 2.

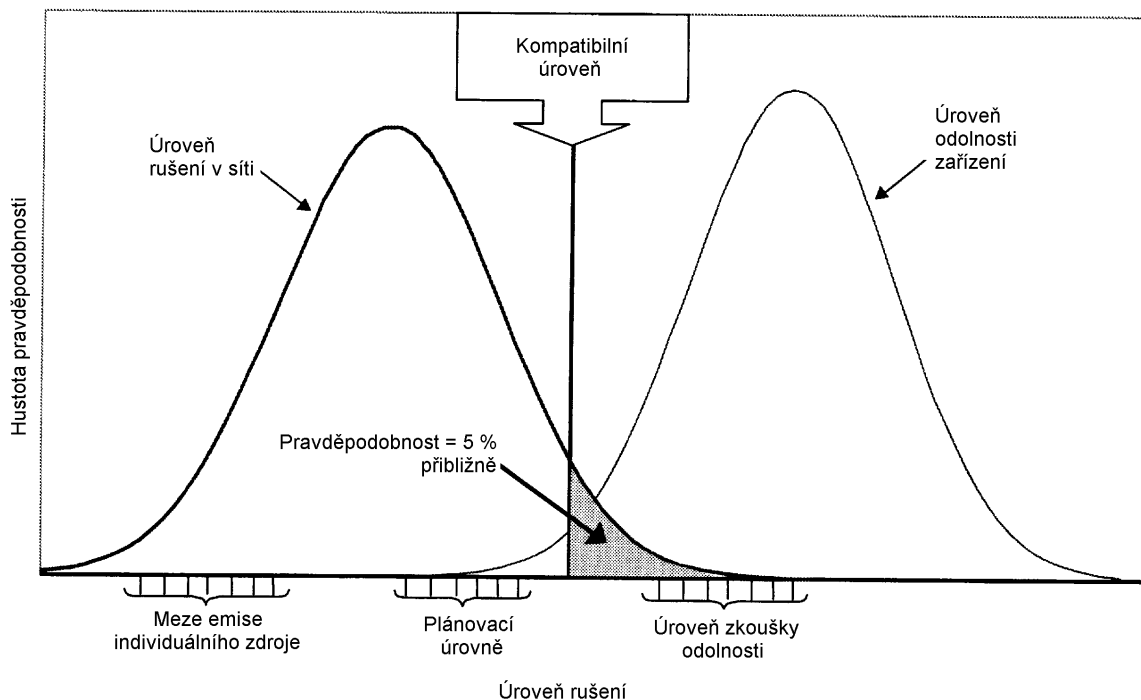
V současnosti jsou plánovací úrovně důležité hlavně pro sítě vysokého a velmi vysokého napětí. Nicméně nízkofrekvenční rušení šířená vedením procházejí oběma směry mezi sítěmi nízkého a vyšších napětí. Koordinace mezí emise musí brát v úvahu všechny úrovně napětí.

Použití plánovacích úrovní je popsáno v technických zprávách IEC 61000-3-6 a IEC 61000-3-7. Důležité body jsou následující:

- Plánovací úroveň je hodnota převzatá organizací odpovědnou za plánování a provoz rozvodné napájecí soustavy v konkrétní oblasti a používá se při stanovení mezí emise 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.
- Plánovací úroveň nemůže být vyšší než kompatibilní úroveň. Všeobecně je nižší o rezervu, která závisí na faktorech jako je sledovaný jev rušení, struktura a elektrické charakteristiky napájecí sítě (předpokládá se, že je vhodně navržena a udržována), úrovně pozadí rušení, možnost rezonance a diagram příkonu zátěže. Je proto specifická k místu.
- I když plánovací úroveň se týká hlavně velkého zařízení a instalace, musí se brát v úvahu také mnoho ostatních zdrojů rušení 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 ze zařízení nízkého příkonu. Cílem kontroly překročení je zajištění, aby předpokládaná úroveň rušení nepřekročila kompatibilní úroveň.

5.6 Znázornění kompatibilních, emisních, odolnostních 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, odolnostními a plánovacími úrovněmi

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 4.3.

6.1 Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu sítě

6.1.1 Průmyslové jednofázové nebo dvoufázové zařízení může být připojeno a uvedeno do zkušební provozu pokud jmenovitý zdánlivý výkon zařízení S_{equ} splňuje následující podmínku:

$$S_{\text{sc}} > 150 S_{\text{equ}}$$

kde

S_{sc} je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu (označení podle ČSN EN 61000-3-12);

S_{equ} 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 Netzurückwirkungen) VDEW 1992, článek 6.7.

6.1.2 Průmyslové třífázové zařízení může být připojeno a uvedeno do zkušebního 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. Měření se provádí systémem měření parametrů kvality energie.

6.1.3 Průmyslové zařízení může být trvale provozováno pokud za normálních provozních podmínek, v libovolném týdenním období, 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zkratového poměru R_{sce} (viz kapitola 2) 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 zkušebního provozu pokud jmenovitý zdánlivý výkon zařízení S_{equ} splňuje následující podmínku:

$$S_{sc} > 100 S_A$$

kde S_{sc} 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 zkratového poměru R_{sce} 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). Znalost dostupné rezervy umožňuje dodavateli elektřiny stanovit plánovací úrovně podle článků 5.5 a 5.6. To potom umožňuje stanovení mezí nesymetrie až do velikosti kompatibilní úrovně podle článku 5.2

Příloha A (normativní)

Měření a vyhodnocení nesymetrie napětí

Metody měření a vyhodnocení výsledků nesymetrie napětí definuje norma IEC 61000-4-30. 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.

A.1 Elektrické hodnoty určené k vyhodnocení nesymetrie napětí

Nesymetrie napětí je v podstatě mnoháfázová a proto měření se provádějí ve vícefázových napájecích sítích. 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 jsou takové, aby se v každém měřicím kanálu mohly vytvářet nezávislé výsledky.

Měření proudu se mohou provést na každém vodiči napájecích sítí včetně středního vodiče a vodiče ochranné země.

POZNÁMKA Často je užitečné měřit proud současně s napětím a přidružit měření proudu ve vodiči 1 k měřením napětí mezi tímto vodičem a referenčním vodičem, jako je zemní vodič nebo střední vodič.

A.2 Agregace měření přes časové intervaly

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

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

Měřicí časové intervaly jsou agregovány (definice viz kapitola 2) po dobu 3 různých intervalů. Agregace časových intervalů jsou

- třísekundový interval (150 cyklů pro jmenovitých 50 Hz nebo 180 cyklů pro jmenovitých 60 Hz),
- desetiminutový interval,
- dvouhodinový interval.

A.3 Měření nesymetrie napětí a proudu

Nesymetrie napájecího napětí se vyhodnocuje s použitím metody symetrických složek. Při podmínkách nesymetrie je kromě sousledné složky 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 cyklů pro rozvodné síť 50 Hz nebo časový interval 12 cyklů pro rozvodné síť 60 Hz.

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

Zpětná složka u_2 se vyhodnocuje následujícím poměrem vyjádřeným v procentech:

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

Pro 3-fázové systémy se toto může psát (s $U_{ij \text{ fund}}$ = základní napětí od fáze i k fázi j):

$$u_2 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} * 100 \% \quad \text{kde } \beta = \frac{U_{12 \text{ fund}}^4 + U_{23 \text{ fund}}^4 + U_{31 \text{ fund}}^4}{(U_{12 \text{ fund}}^2 + U_{23 \text{ fund}}^2 + U_{31 \text{ fund}}^2)^2}$$

Nulová složka u_0 se vyhodnocuje velikostí následujícího poměru vyjádřeného v procentech:

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

Zpětná složka proudu se měří prostřednictvím měničů proudu a vyhodnocuje se jako zpětná složka u_2 .

Pokud se na vstup aplikuje střídavé trojfázové napětí, které splňuje požadavky podmínek „Zkušební stavu 1“ (viz tabulka A.2), kromě zpětné a nulové složky nesymetrie v rozsahu 1 % až 5 % U_{din} , pak přístroj musí poskytovat nejistotu menší než $\pm 0,15$ % jak pro zpětnou tak i pro nulovou složku. Například přístroj udávající zpětnou složku 1,0 % musí poskytnout odečet x tak, aby $0,85 \% \leq x \leq 1,15 \%$.

A.4 Rozsah ovlivňujících veličin

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.

Výsledný parametr měření musí být v rozsahu specifikované nejistoty dané v A.5 pokud všechny ostatní parametry jsou v rozsahu změn daných tabulkou A.1.

Tabulka A.1 – Rozsah ovlivňujících veličin (vstupních signálů)

Ovlivňující veličiny	Rozsah změn
Kmitočet	42,5 Hz – 57,5 Hz pro síť 50 Hz 51 Hz – 69 Hz pro síť 60 Hz
Velikost napětí (ustálený stav)	0 % – 200 % U_{din}
Nesymetrie	0 % – 5 %

A.5 Realizace ověřování a nejistota zkušebních stavů

Pro potvrzení, že implementace funkcí použitá v měřicím přístroji je správná, aplikují se níže uvedené zkoušky.

Nejistota přístroje se musí zkoušet pro každou měřenou veličinu následovně (viz tabulka A.2):

- vybere se měřená veličina (například efektivní hodnota velikosti napětí);
- všechny ostatní veličiny se udržují ve zkušebním stavu 1, ověří se nejistota měřené veličiny určené ke zkoušení v pěti bodech rovnoměrně rozmístěných v rozsahu ovlivňující veličiny (například pro třídu A 0 % U_{din} , 50 % U_{din} , 100 % U_{din} , 150 % U_{din} , 200 %);
- všechny ostatní veličiny se udržují ve zkušebním stavu 2, zkouška se opakuje;
- všechny ostatní veličiny se udržují ve zkušebním stavu 3, zkouška se opakuje.

Ostatní zkušební stavy se mohou použít jako doplňkové ke zkušebním stavům specifikovaným v tabulce 3; v tomto případě hodnoty zvolené pro každou ovlivňující veličinu musí být v rozsahu změn pro tuto ovlivňující veličinu.

POZNÁMKA Některé ovlivňující veličiny nesmí ovlivňovat hodnotu měřeného parametru (například harmonické nesmí ovlivňovat hodnotu nesymetrie). Jiné ovlivňující veličiny musí ovlivňovat hodnotu měřeného parametru (například harmonické musí ovlivňovat efektivní hodnotu). Požadavky na nejistotu musí být splněny v obou případech.

Tabulka A.2 – Nejistota zkušebních stavů pro třídu A

Ovlivňující veličiny	Zkušební stav 1	Zkušební stav 2	Zkušební stav 3
Kmitočet	$f_{nom} \pm 0,5$ Hz	$f_{nom} - 1$ Hz $\pm 0,5$ Hz	$f_{nom} + 1$ Hz $\pm 0,5$ Hz
Velikost napětí	$U_{din} \pm 1$ %	Určeno flikrem, nesymetrií, harmonickými, meziharmonickými (uvedeny níže)	Určeno flikrem, nesymetrií, harmonickými, meziharmonickými (uvedeny níže)
Nesymetrie	0 % až 0,5 % U_{din}	0,73 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze A 0,80 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze B 0,87 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze C všechny fázové úhly 120°	1,52 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze A 1,40 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze B 1,28 % $\pm 0,5$ % U_{din} Fáze C všechny fázové úhly 120°

A.6 Vyhodnocování nesymetrie napětí

Interval měření: doba posuzování minimálně jeden týden .

Technika vyhodnocování: mohly by se uvažovat desetiminutové hodnoty a/nebo dvouhodinové hodnoty. Jsou navrženy následující techniky pro obě hodnoty, mezi stranami by se však mohly dohodnout i jiné techniky vyhodnocování:

- mohl by se počítat počet nebo procenta hodnot během intervalu měření, které překračují smluvní hodnoty;
- hodnoty nejhoršího případu by se mohly porovnat se smluvními hodnotami (pro tuto možnost by interval měření mohl být odlišný, například jeden rok);
- jedna nebo více týdenních hodnot vyjádřených v procentech s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) by se mohly porovnat se smluvními hodnotami.

A.7 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.

Příloha B (informativní)

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.

B.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. Toto je díky normálnímu oddělení, které v pohonech existuje. Příklady takovýchto oddělení jsou zajištěny výkonovým napájením a časovými konstantami pomocných procesů jako jsou ventilátory.

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.

B.1.1 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 B.1 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 B.1 – 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	Nerušená 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 opětivé nastavení). Odpojení pojistkami je dovoleno u sítí komutovaných měničů pracujících v režimu střídače.		

B.2 Pohony nízkého napětí

Pohony musí vyhovovat úrovním odolnosti uvedeným v tabulce B.2 Výrobce může ověřit odolnost výpočtem, simulací nebo zkouškou.

Tabulka B.2 – 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.

B.3 Pohony jmenovitého napětí nad 1 000 V

Pohony musí vyhovovat úrovním odolnosti uvedeným v tabulce B.3. Výrobce může ověřit odolnost výpočtem, simulací nebo zkouškou.

Tabulka B.3– 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 B.1).
^b Možný následek překročení úrovně je F (viz poznámka 3 v článku B.1).
^c Možný následek překročení úrovně je T (viz poznámka 3 v článku B.1).