

ČEZ Distribuce, E.ON CZ, E.ON Distribuce, PRE Distribuce, ČEPS, ZSE	Parametry kvality elektrické energie – Část 1: Harmonické a mezipharmonické	PNE 33 3430-1
		3.vydání
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky odsouhlasily tyto organizace, ČEPS, a.s., ČEZDistribuce, a.s., E.ON Česká republika, E.ONDistribuce, PREDistribuce, a.s. a ZSE, a.s.</p> <p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření harmonických i mezipharmonických.</p> <p>Tato norma platí pro připojování a provozování elektrických zařízení z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz.</p> <p>Tato norma neplatí pro spotřebiče pro domácnost, pro které platí norma ČSN EN 61000-3-2.</p> <p>Tato norma neplatí pro řídicí signály hromadného dálkového ovládání, jejichž hodnoty jsou předepsány v PNE 38 2530.</p> <p>Nahrazení předchozích norem</p> <p>Touto normou se nahrazuje PNE 33 3430-1:2003.</p> <p>Změny proti předchozí normě:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Byly vypuštěny třídy elektromagnetického prostředí, protože ve veřejných distribučních soustavách se nerozlišují. - Kompatibilní úrovně byly v nové kapitole 3 aktualizovány novou tabulkou 1 podle nové normy ČSN EN 61000-2-12 a plánovací úrovně v nové kapitole 4 tabulkou č. 2 podle IEC/TR 61000-3-6 Ed 2. V této kapitole byl doplněn článek 4.3 o impedanci soustavy pro konverzi mezi emise z napětí na proud. - V celé normě bylo sjednoceno označení řádu harmonické písmenem „h“. - V nové kapitole 5 jsou nyní meze emise harmonických pro zařízení připojovaná do soustavy nízkého napětí s doplněnými obrázky. - Podle IEC/TR 61000-3-6 Ed 2 je v nové kapitole 6 uveden sumační zákon a v kapitolách 7 a 8 je zcela přepracovaný postup omezování emise harmonických a mezipharmonických při připojování instalací do soustav vn a vvn. - Bylo změněno číslo kapitoly týkající se měření harmonických a mezipharmonických. 		
Ruší: PNE 33 3430-5 z roku 2003	Účinnost od: 2009-01-01	

Předmluva

Citované normy

ČSN IEC 50(161) (33 4201) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita (idt IEC 50(161):1990)

ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční soustavy (idt EN 50160:2007)

ČSN EN 60974-1 Zařízení pro obloukové svařování - Část 1: Zdroje svařovacího proudu

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 61000-3-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 2: Meze pro emise harmonického proudu (zařízení se vstupním fázovým proudem ≤ 16 A)

IEC/TR 61000-3-6 Ed 2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 6: Určování mezí emise harmonických pro připojování instalací deformujících napětí v soustavách vn a vvn (do ČSN nezavedena)

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

ČSN EN 61000-4-7 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika – Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezipharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich

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

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

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

PNE 33 3430-6 Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání

PNE 38 2530 Hromadné dálkové ovládání

Vypracování normy

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

Pracovník ONS odvětví energetiky: Ing. Jaroslav Bárta

Obsah

	Strana
1	Předmět normy..... 4
2	Definice 4
3	Kompatibilní úrovně 6
3.1	Kompatibilní úrovně meziprojektových 7
3.2	Harmonické jako charakteristický parametr napětí distribuční soustavy 8
4	Plánovací úrovně 9
4.1	Měření a vyhodnocování harmonických souvisící s plánovacími úrovněmi..... 9
4.2	Určování úrovně emise harmonických 9
4.3	Impedance soustavy pro konverzi mezi emise z napětí na proud..... 10
5	Meze emise harmonických zařízeními připojovanými do soustavy nízkého napětí 10
5.1	Vysvětlení mezí pro harmonické proudů 13
6	Sumační zákon 14
7	Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustavy vn 15
7.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických..... 15
7.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 15
7.3	Etapa 3: připojování za mimořádných okolností 18
7.4	Meziprojektové 18
7.5	Vývojový diagram postupu vyhodnocování 19
8	Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustav vvn 21
8.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických..... 21
8.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 21
8.3	Etapa 3: připojování za mimořádných okolností 23
8.4	Meziprojektové 23
9	Měření harmonických a meziprojektových 24
9.1	Měření a měřicí přístroje pro rozvodné soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7 24
9.2	Metody měření kvality energie podle ČSN EN 61000-4-30 24

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik harmonických v distribučních soustavách 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 harmonických napětí a proudů. V souladu s harmonizovanou normou ČSN EN 61000-2-2 jsou mezní hodnoty harmonických odvozeny od kompatibilních úrovní a za účelem určení dovolené emise harmonických jednotlivými zařízeními nebo sítěmi odběratelů se berou v úvahu další parametry soustavy, jako např. kmitočtová charakteristika impedance soustavy.

Předmětem tohoto dílu PNE nejsou výpočty kmitočtových charakteristik impedancí distribuční soustavy i průmyslové soustavy ani postupy výpočtu úrovní harmonických v těchto soustavách, které jsou předmětem PNE 33 3430-0.

2 Definice

Pro účely této části PNE se používají následující definice (viz též ČSN IEC 50(161)).

základní složka

složka jejíž kmitočet je základním kmitočtem

kmitočet harmonické

kmitočet, který je celočíselným násobkem základního kmitočtu; poměr kmitočtu harmonické a základního kmitočtu se nazývá řád harmonické

POZNÁMKA Označení pro řád harmonické je „h“

harmonická složka

jakákoliv složka, která má harmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota

Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na harmonickou.

kmitočet mezipharmonické

jakýkoliv kmitočet, který není celočíselným násobkem základního kmitočtu

POZNÁMKA 1 Obdobně jako pro řád harmonické je pro řád mezipharmonické poměr kmitočtu mezipharmonické a základního kmitočtu. Tento poměr není celočíselný. (Doporučené označení je „m“)

POZNÁMKA 2 V případě, kde $m < 1$ může se použít termín subharmonický kmitočet.

mezipharmonická složka

složka, která má mezipharmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota

Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na mezipharmonickou.

POZNÁMKA Pro účely této normy a v souladu s ustanovením v IEC 61000-4-7, časové okno při měření má šířku 10 základních period (pro soustavy 50 Hz tj. přibližně 200 ms). Kmitočtový interval mezi dvěma po sobě následujícími mezipharmonickými složkami je proto přibližně 5 Hz.

celkové harmonické zkreslení THD

poměr efektivní hodnoty součtu všech harmonických složek až do stanoveného řádu (doporučené označení je „H“) a efektivní hodnoty základní složky

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

kde

Q představuje buď proud nebo napětí;

Q_1 je efektivní hodnota základní složky;

h řád harmonické;

Q_h efektivní hodnota harmonické složky řádu h ;

H všeobecně se rovná 50, může se však rovnat 25 je-li riziko rezonance na vyšších řádech nízké.

POZNÁMKA THD bere v úvahu jen harmonické. V případě, kde je třeba zahrnout meziharmonické platí následující definice.

celkový obsah zkreslení

veličina, která se získá odečtením základní složky od příslušné střídavé veličiny, kde obě jsou funkce času

POZNÁMKA Efektivní hodnota celkového obsahu zkreslení je:

$$TDC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

kde

Q_1 je efektivní hodnota základní složky;

Q celková efektivní hodnota;

Q může představovat buď proud nebo napětí.

Toto zahrnuje jak harmonické tak i meziharmonické složky.

Viz také definice IEC 101-14-54 (IEC 60050-101) a IEC 551-20-11 (IEC 60050-551-20).

celkové zkreslení TDR

poměr efektivní hodnoty celkového obsahu zkreslení střídavé veličiny a efektivní hodnoty základní složky této veličiny

[IEC 551-20-14, modifikován]

$$TDR = \frac{TDC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

společný napájecí bod (PCC)

bod veřejné distribuční soustavy, elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, ve kterém je nebo může být připojen jiný odběratel

napájecí bod uvnitř závodu (IPC)

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

impedance distribuční soustavy

impedance soustavy ve společném napájecím bodu

zkratový výkon

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

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 jakémkoliv 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

$R_{sce} (R_{sce})$

charakteristická hodnota zařízení definovaná následovně:

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

instalace odběratele

sestava elektrických zařízení patřících stejnému odběrateli a připojených společně na společný napájecí bod

POZNÁMKA Pro rozlehlou sestavu elektrických zařízení v průmyslu se kromě termínu instalace odběratele používá také termín průmyslová síť odběratele.

dodávka elektrické energie

veřejná služba zajišťovaná dodavatelem elektřiny pro každého spotřebitele a určovaná technickými a obchodními kritérii jako kmitočtem, napětím, nepřerušováním dodávky, maximálním příkonem, místem odběru, tarifem - viz ČSN 330050-604, čl. 604-01-01

provozovatel distribuční soustavy

organizace zásobující elektrickou energií skupinu spotřebitelů prostřednictvím distribuční soustavy

spotřebitel elektrické energie

uživatel zařízení, které spotřebovává elektrickou energii ze soustavy, nejčastěji distribuční soustavy - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-03

POZNÁMKA Ve smyslu zákona č. 458/2000 Sb. (energetický zákon) je jím myšlen zákazník, výrobce, případně provozovatel distribuční soustavy

odběrné místo

odběrné elektrické zařízení jednoho odběratele, včetně měřicích transformátorů, jehož odběr je měřen jedním měřicím zařízením nebo jiným způsobem na základě dohody (definice z EZ)

POZNÁMKA Odběrné místo se může lišit od hranice mezi distribuční soustavou a vlastní instalací spotřebitele nebo od míst měření spotřeby - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-04

kvalita dodávky elektrické energie

vyhodnocení odchylek technických parametrů dodávané elektrické energie nebo z celkového zásobování od hodnot určených (dohodnutých nebo obecných) - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-05

POZNÁMKA Definovaná vyhl. č. 540/2005 Sb. s odkazem na Pravidla provozování distribučních soustav

3 Kompatibilní úrovně

Při určování kompatibilních úrovní pro harmonické se musí brát v úvahu dvě skutečnosti. Jednak je to nárůst počtu zdrojů harmonických. Dále je to pokles podílu čistě rezistivních zátěží (zátěže pro ohřev), které mají funkci tlumících prvků ve vztahu k celkové zátěži. Proto se očekává, že úrovně harmonických budou v distribučních soustavách narůstat dokud zdroje emisí harmonických se účinně neomezí.

Kompatibilní úrovně v této normě se musí chápat jako vztažené ke kvazistacionárnímu nebo ustálenému stavu harmonických a jsou uvedeny jako referenční hodnoty jak pro dlouhodobé tak i pro krátkodobé účinky.

- Dlouhodobé účinky se hlavně týkají tepelných účinků na kabely, transformátory, motory, kondenzátory atd. Tyto účinky jsou následkem úrovní harmonických, které trvají 10 minut nebo více.
- Velmi krátkodobé účinky se hlavně týkají rušivých účinků na elektronické přístroje, které mohou být citlivé na úrovně harmonické trvající 3 sekundy nebo méně. Přechodné jevy nejsou zahrnuty.

S ohledem na dlouhodobé účinky jsou kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí uvedeny v tabulce 1. Odpovídající kompatibilní úroveň pro celkové harmonické zkreslení je $THD = 8 \%$.

Tabulka 1 – Kompatibilní úrovně pro napětí jednotlivých harmonických v soustavách vysokého napětí (efektivní hodnoty v procentech efektivní hodnoty základní složky)

Liché harmonické, jejichž řád není násobkem tří		Liché harmonické, jejichž řád je násobkem tří		Sudé harmonické	
Řád harmonické h	Napětí harmonické %	Řád harmonické h	Napětí harmonické %	Řád harmonické h	Napětí harmonické %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3	21	0,3	8	0,5
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$21 \leq h \leq 45$	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

POZNÁMKA 1 Úrovně uvedené pro liché harmonické, jejichž řád je násobkem tří se aplikují na harmonické nulové složky. V trojfázové soustavě bez středního vodiče nebo bez zátěže zapojené mezi fáze a zem také mohou být hodnoty třetí a deváté harmonické, v závislosti na nesymetrii, mnohem nižší než kompatibilní úrovně.

Pokud se jedná o velmi krátkodobé účinky jsou kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí hodnoty uvedené v tabulce 1 násobené činitelem k_{hvs} , kde k_{hvs} se vypočte následovně:

$$k_{hvs} = 1,3 + \frac{0,7}{45} \times (h - 5) \quad (1)$$

Odpovídající kompatibilní úroveň pro celkové harmonické zkreslení je $THD = 11 \%$.

3.1 Kompatibilní úrovně meziharmonických

V normách ČSN EN 61000-2-4 a ČSN EN 61000-2-12 jsou kompatibilní úrovně uvedeny jen pro meziharmonické složky napětí vyskytující se na kmitočtu blízko základnímu kmitočtu (50 Hz), jejichž následkem je amplitudová modulace napájecího napětí.

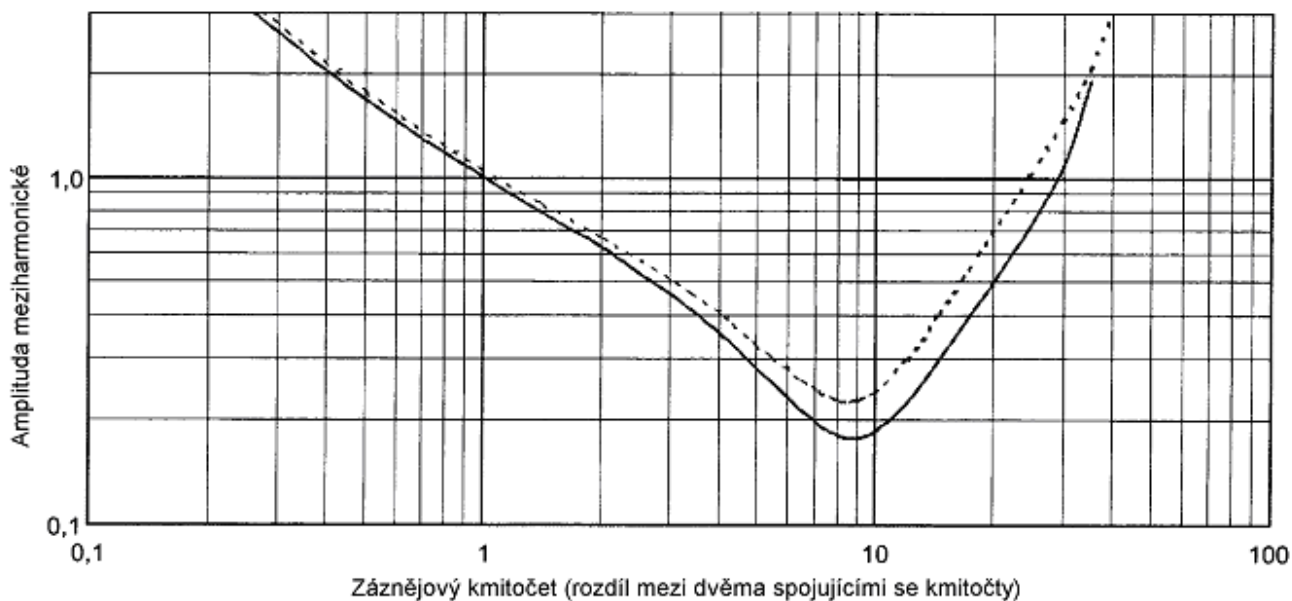
Za těchto podmínek určité zátěže, které jsou citlivé na druhou mocninu napětí, zejména svítidla, vykazují záznějový efekt, jehož následkem je flickr. Záznějový kmitočet je rozdíl mezi kmitočty dvou časově shodných napětí – tj. mezi kmitočty meziharmonických a základním kmitočtem.

POZNÁMKA 1 Pod řádem meziharmonických 0,2 jsou kompatibilní úrovně určeny požadavky na flickr.

POZNÁMKA 2 Podobná situace je možná je-li značnější úroveň napětí na kmitočtu harmonické (zejména řádu 3 nebo 5) časově shodná s napětím meziharmonické na blízkém kmitočtu. Účinek by se měl určit pomocí obrázku 1 s amplitudou danou součinem relativních amplitud harmonické a meziharmonické vytvářejících záznějový kmitočet. Výsledek je zřídka významný.

Kompatibilní úroveň pro napětí meziharmonické ve výše uvedeném případě, vyjádřená jako poměr jeho amplitudy a amplitudy základní složky je uvedena na obrázku 1 jako funkce záznějového kmitočtu. Je to založeno na úrovni flickru $P_{st} = 1$ pro žárovky provozované na 230 V a je to aplikovatelné jen na obvody, které obsahují svítidla.

Kompatibilní úrovně pro meziharmonické v blízkosti základního kmitočtu nn soustavy o napětí 230 V odpovídající míře vjemu flickru jsou uvedeny na obrázku 1 jako funkce záznějového kmitočtu, což způsobuje, že výsledek je nezávislý na kmitočtu soustavy.



**Obrázek 1 – Kompatibilní úrovně pro mezipřiharmonické
(Odezva flikrmetru pro $P_{st} = 1$ s ohledem na žárovky 60 W)**

Příloha C normy ČSN EN 61000-2-4 uvádí informace o zdrojích, účincích a metodách zmírňování vlivů týkajících se napětí mezipřiharmonických. Poskytuje také úrovně jako návod dokud více zkušeností neumožní publikování kompatibilních úrovní.

3.2 Harmonické jako charakteristický parametr napětí distribuční soustavy

Charakteristické parametry napětí podle normy EN 50160 jsou: kmitočet sítě, velikost napájecího napětí, odchylky napájecího napětí, rychlé změny napětí, krátkodobé poklesy napájecího napětí, krátkodobá přerušení napájecího napětí, dlouhodobá přerušení napájecího napětí, dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí, přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí, nesymetrie napájecího napětí, harmonická napětí, mezipřiharmonická napětí a napětí signálů v napájecím napětí.

Všeobecným přístupem normy ČSN EN 50160 je vyjadřování charakteristických parametrů napětí vztahených k jmenovitému napětí soustavy nebo k dohodnutému napájecímu napětí.

I když napětí harmonických jsou definována jejich relativní amplitudou vztahenou k základnímu napětí, pro soustavy nn jsou podle ČSN EN 50160 vztahena k jmenovitému napětí a pro soustavy vn jsou vztahena k dohodnutému napájecímu napětí.

Toto je odchylka od dosavadní praxe, podle které se harmonické vyjadřovaly jako procentní hodnoty základní harmonické. K tomu je třeba poznamenat, že pokud je pro měření harmonických použit měřicí přístroj podle uvedené dosavadní praxe je třeba, před porovnáváním s hodnotami podle tabulek, provést jejich přepočtení (ve většině případů však rozdíl bude zanedbatelný).

Vzhledem k tomu, že harmonické vyšších řádů jsou obvykle malé a obtížně měřitelné jsou v ČSN EN 50160 stanoveny harmonické jen do řádu 25.

Harmonické se měří v odběrném místě pomocí přístrojů vyhovujícím normě ČSN EN 61000-4-7. Základní měření se skládá z desetiminutových efektivních hodnot harmonických a činitele zkreslení.

V soustavě vn se měření provede na sdružených napětích a v soustavě nn se měření provede na fázových napětích. Pro měření zkreslení napětí nulové složky v soustavě vn jsou potřeba přístrojové transformátory napětí zapojené do hvězdy. K tomu je třeba poznamenat, že v soustavách s izolovaným uzlem použití přístrojových transformátorů napětí s primáry zapojenými na zem může modifikovat odezvu soustavy na nulovou složku a způsobit ferorezonanční jevy.

Perioda sledování harmonických musí být jeden týden včetně soboty a neděle.

Za vyhovující normě ČSN EN 50160 jsou považovány harmonické pokud jejich desetiminutové efektivní hodnoty jsou v 95 % menší nebo rovné než stanovené meze.

4 Plánovací úrovně

Plánovací úrovně harmonických si určí provozovatel soustavy pro účely vyhodnocování úrovně emise rušení ze zařízení všech odběratelů připojených na danou distribuční soustavu. Tato úroveň je považována za interní záměr provozovatele distribuční soustavy týkající se kvality energie. Plánovací úrovně by měly být stejné nebo nižší než kompatibilní úrovně. Tyto plánovací úrovně budou v následujících kapitolách této zprávy použity při stanovení připojovacích podmínek rušících odběrů. S ohledem na strukturu soustavy a ostatní odběry se budou plánovací úrovně případ od případu lišit a proto v tabulce 2 jsou uvedeny jen orientační hodnoty plánovacích úrovní uvedené v podkladech IEC.

POZNÁMKA Hodnoty plánovacích úrovní jsou převzaty z IEC/TR 61000-3-6 Ed 2.

Tabulka 2 - Orientační hodnoty plánovacích úrovní harmonických (v procentech jmenovitého napětí)

Liché harmonické, jejichž řád není násobkem tří			Liché harmonické, jejichž řád je násobkem tří			Sudé harmonické		
Řád harmonické h	Napětí harmonické %		Řád harmonické h	Napětí harmonické %		Řád harmonické h	Napětí harmonické %	
	vn	vvn		vn	vvn		vn	vvn
5	5	2	3	4	2	2	1,8	1,4
7	4	2	9	1,2	1	4	1	0,8
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,4
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,4
$17 \leq h \leq 49$	$1,9 \times (17/h)$ -0,2	$1,2 \times (17/h)$	$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h)$ +0,22	$0,19 \times (10/h)$ +0,16

Orientační hodnota plánovací úrovně činitele zkreslení THD napájecího napětí v soustavách vn je 6,5 % a v soustavách vvn je 3 %.

4.1 Měření a vyhodnocování harmonických souvisící s plánovacími úrovněmi

Při měření harmonických a meziharmonických se použije metoda třídy A specifikovaná v ČSN EN 61000-4-30 a v souvisící ČSN EN 61000-4-7. Data označovaná příznakem podle ČSN EN 61000-4-30 by se měla z vyhodnocování vyloučit. Pro objasnění, pokud jsou data označována příznakem pak při výpočtu níže uvedených ukazatelů se použijí jen platná (neoznačená příznakem) data.

Minimální doba měření je jeden týden. Tato doba by měla zahrnovat monitorování některé části této doby s očekávanými maximálními úrovněmi harmonických.

Jeden nebo více následujících ukazatelů se může použít pro porovnání skutečných úrovní harmonických s plánovacími úrovněmi. Za účelem odhadu nepříznivého vlivu dovolených vyšších úrovní emise pro kratší doby jako například během podmínek rozběhu se může požadovat více než jeden takovýto pro porovnání s plánovacími úrovněmi.

- 95% týdenních hodnot U_{hsh} (efektivní hodnota individuálních harmonických vyhodnocená po dobu deseti minut) by nemělo překročit plánovací úroveň.
- S největší pravděpodobností 99 % denní hodnota U_{hvs} (efektivní hodnota individuálních harmonických vyhodnocená po dobu 3 s) by neměla překročit plánovací úroveň násobenou činitelem k_{hvs} podle rovnice (1) s odkazem na dané kompatibilní úrovně pro velmi krátkodobé účinky harmonických.

4.2 Určování úrovně emise harmonických

Jeden nebo více následujících ukazatelů se může použít pro porovnání skutečných úrovní harmonických s úrovněmi emise odběratele. Za účelem odhadu nepříznivého vlivu dovolených vyšších úrovní emise pro kratší doby jako například během podmínek rozběhu se může požadovat více než jeden takovýto ukazatel.

- 95% týdenních efektivních hodnot U_{hsh} (nebo I_{hsh}) individuálních harmonických vyhodnocená po dobu deseti minut by nemělo překročit mez emise
- S největší pravděpodobností 99 % denní efektivní hodnota U_{hvs} (nebo I_{hvs}) individuálních harmonických vyhodnocená po dobu 3 s by neměla překročit plánovací úroveň násobenou činitelem k_{hvs} podle rovnice (1). Při

tom s odkazem na velmi krátkodobé účinky harmonických, použití ukazatele velmi krátké doby při určování emisí je potřeba jen u zařízení, která mají značný vliv na distribuční soustavu tak, že použití tohoto ukazatele by mohlo záviset na poměru dohodnutého příkonu zařízení a zkratového výkonu soustavy (tj. S_i/S_{sc}).

Pro porovnání úrovně emise harmonických z instalace odběratel s mezemi emise měla by být minimální doba měření jeden týden. Při specifických podmínkách by však mohla tato doba být kratší. Takovéto kratší doby by měly reprezentovat očekávané delší provozní procesy. V každém případě doba měření musí být dostatečná pro zachycení očekávaného výskytu nejvyšší úrovně emise harmonických. Pokud úroveň harmonických převládá vlivem jednoho velkého zařízení, měla by být tato doba dostatečná pro zachycení alespoň dvou úplných provozních cyklů zařízení. Pokud úroveň harmonických je způsobena sumací účinků několika zařízení, měla by doba měření být alespoň jednu provozní směnu.

Jsou-li závažné měly by se brát v úvahu také následující faktory:

- zařízení, která ruší vlivem závad ve výrobě, provozu a řízení, která jsou jinak s očekávanými normálními charakteristikami (normální výkonová elektronika);
- rozladění filtrů harmonických;
- kondenzátorové baterie uvnitř instalace a příspěvek k rezonancím na kmitočtech harmonických;
- interakce mezi různými zařízeními uvnitř instalace.

4.3 Impedance soustavy pro konverzi mezi emise z napětí na proud

Informace o kmitočtové závislosti impedance distribuční soustavy jsou nezbytné jak pro provozovatele distribuční soustavy při určování mezí emise tak i pro odběratele za účelem vyhodnocení úrovně emise z vyšetřované instalace.

Při přeměně mezi emise z napětí na proud jsou dvě možnosti určování impedance distribuční soustavy v závislosti na charakteristikách distribuční soustavy a na velikosti rušivé instance:

- Na základě typických charakteristik impedance distribuční soustavy se určí soubor typických mezí emise. Pro kompenzování jiných než typických charakteristik impedance distribuční soustavy se mohou zavést korekční faktory (např. činitel zesílení založený na typických podmínkách rezonance v takovýchto soustavách). Takováto aplikace je všeobecně lepší v soustavách nižších napětí, kde tlumení podmínek rezonance je lepší než v soustavách vvn.
- U rušivých instancí velkých ve srovnání s velikostí napájecí soustavy vvn se může použít odhad maximální impedance soustavy v místě vyhodnocování připojení při nejhorších provozních podmínkách. Toto může také zahrnovat posouzení nepříznivého vlivu velké vzdálenosti v distribuční soustavě.

V každém případě mimořádně nízké hodnoty impedance na kmitočtech harmonických by se neměly brát v úvahu, protože s ohledem na sériové rezonance mohou napětí harmonických překročit plánovací úroveň v jiných částech soustavy. V takovýchto případech hodnota impedance by se neměla brát v úvahu a měla by se nahradit standardní hodnotou (například $Z_1 \times h$, kde h je řád harmonické a Z_1 je impedance distribuční soustavy na základním kmitočtu).

5 Meze emise harmonických zařízeními připojovanými do soustavy nízkého napětí

Omezením proudů harmonických injektovaných spotřebiči do veřejné rozvodné sítě se nyní zabývá norma ČSN EN 61000-3-2. Tato norma stanovuje meze harmonických složek vstupního proudu, které mohou být vytvářeny zařízením zkoušeným za stanovených podmínek a týká se elektrických a elektronických zařízení se vstupním fázovým proudem až do 16 A včetně, u nichž se předpokládá připojení do veřejných distribučních sítí nízkého napětí. Například zařízení pro obloukové svařování, které není profesionálním zařízením, se vstupním fázovým proudem do 16 A včetně, je zahrnuto v této normě.

Ovšem zařízení pro obloukové svařování určené pro profesionální použití specifikované v ČSN EN 60974-1 není v normě ČSN EN 61000-3-2 zahrnuto a je nyní předmětem omezení podle ČSN EN 61000-3-12.

Meze harmonických proudů specifikované v tabulkách normy ČSN EN 61000-3-12 se aplikují na každý z fázových proudů a ne na proud v nulovém vodiči.

U zařízení s více jmenovitými proudy se vyhodnocení provádí pro každý proud.

Meze harmonických proudů jsou specifikovány v tabulkách 3 až 5.

Zařízení vyhovující mezím emise harmonických proudů odpovídajícím zkratovému poměru (definice viz kapitola 2) $R_{sce} = 33$ je vhodné pro připojení v jakémkoliv bodu napájecí sítě.

POZNÁMKA 2 Hodnoty jsou založeny na minimální hodnotě $R_{s_{ce}} = 33$. Zkratové poměry menší než 33 se neuvažují.

POZNÁMKA 3 Pro zmenšení hloubky komutačních poklesů měničů může být nutný zkratový poměr větší než 33.

U zařízení nevyhovujícího mezím emise harmonických proudů odpovídajícím $R_{s_{ce}} = 33$ jsou dovoleny vyšší hodnoty emise za předpokladu, že zkratový poměr $R_{s_{ce}}$ je větší než 33. Očekává se, že toto se bude aplikovat na většinu zařízení se jmenovitým vstupním fázovým proudem nad 16 A. Předpokládanou hodnotu $R_{s_{ce}}$ musí vybrat výrobce.

Tabulka 3 platí pro zařízení jiné než symetrické trojfázové zařízení a tabulky 4 a 5 platí pro symetrické trojfázové zařízení.

Tabulka 5 se může použít (u symetrických trojfázových zařízení) pokud je splněna jakákoliv z těchto podmínek:

- a) Úhel fázového posunu páté harmonické proudů vztážený k základní složce fázového napětí je během celé doby sledování v rozsahu 90° až 150° .

POZNÁMKA Tato podmínka je normálně splněna zařízením s neřízeným usměřovacím můstkem a kapacitním filtrem, které zahrnuje 3 % střídavý nebo 4 % stejnosměrný reaktor.

- b) Zařízení je navrženo tak, aby úhel fázového posunu páté harmonické proudů neměl po celou dobu žádnou preferenční hodnotu a mohl nabývat jakékoliv hodnoty v celém intervalu $[0^\circ, 360^\circ]$.

POZNÁMKA Tato podmínka je normálně splněna měniči s plně řízenými tyristorovými můstky.

- c) Proudů páté a sedmé harmonické jsou oba menší než 5 % referenční základní složky proudů během celé doby sledování.

POZNÁMKA Tato podmínka je normálně splněna „dvanáctipulzními“ zařízeními.

Tabulka 3 – Meze emise proudu pro zařízení jiné než symetrické trojfázové zařízení

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_1 ^a %						Přípustný činitel harmonického zkreslení %	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	<i>THD</i>	<i>PWHD</i>
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥ 350	41	24	15	12	10	8	47	47

Poměrné hodnoty sudých harmonických do řádu 12 nesmějí překročit $16/n$ %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THD* a při *PWHD* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

POZNÁMKA Lineární interpolace mezi po sobě následujícími hodnotami R_{sce} je povolena.

^a I_1 = referenční základní složka proudu; I_h = harmonická složka proudu.

Tabulka 4 – Meze emise proudu pro symetrické trojfázové zařízení

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_1 ^a %				Přípustný činitel harmonického zkreslení %	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	<i>THD</i>	<i>PWHD</i>
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
66	14	9	5	3	16	25
120	19	12	7	4	22	28
250	31	20	12	7	37	38
≥350	40	25	15	10	48	46

Poměrné hodnoty sudých harmonických do řádu 12 nesmějí překročit $16/n$ %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THD* a při *PWHD* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

POZNÁMKA Lineární interpolace mezi po sobě následujícími hodnotami R_{sce} je povolena.

^a I_1 = referenční základní složka proudu; I_h = harmonická složka proudu.

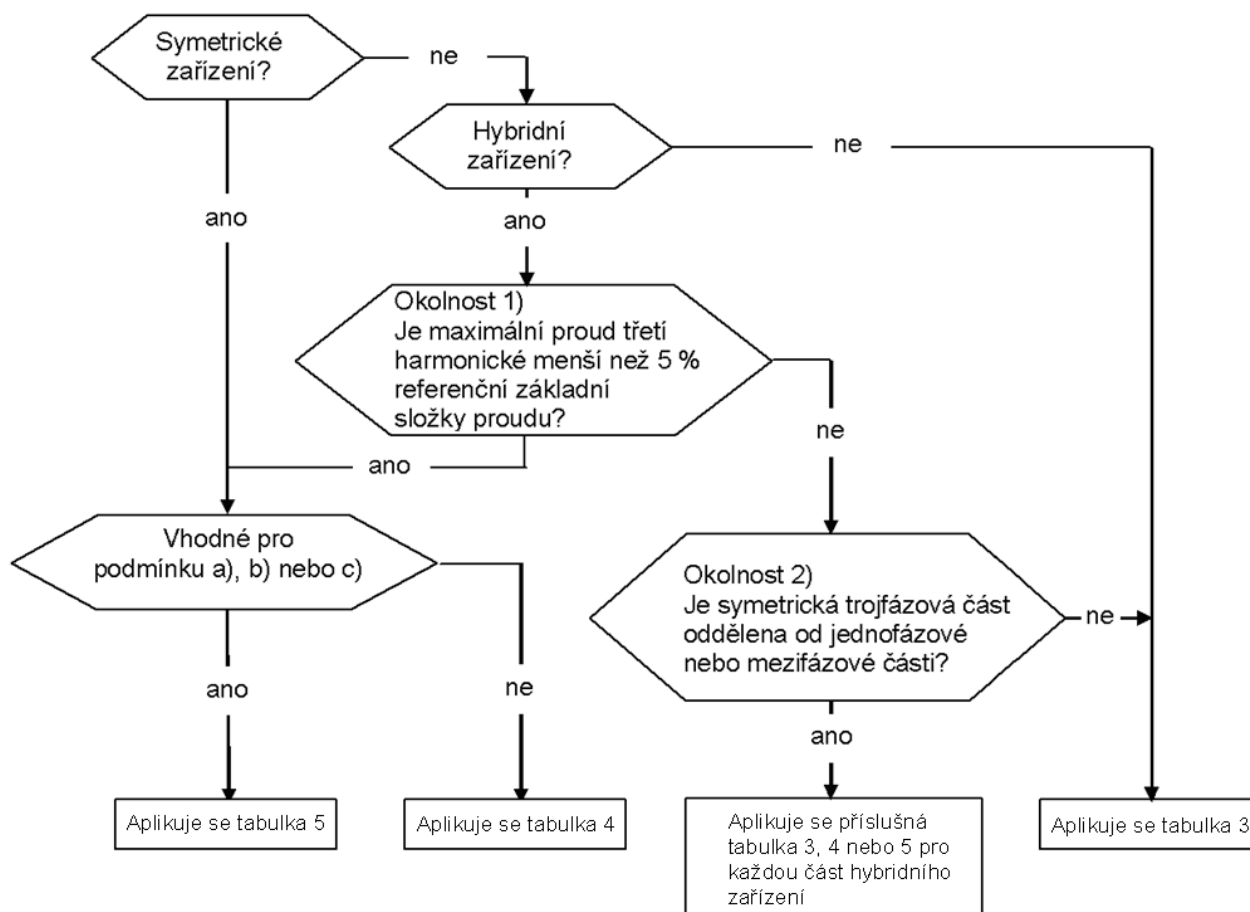
Tabulka 5 – Meze emise proudu pro symetrické trojfázové zařízení při specifických podmínkách

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_1 ^a %				Přípustný činitel harmonického zkreslení %	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	<i>THD</i>	<i>PWHD</i>
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
≥120	40	25	15	10	48	46

Poměrné hodnoty sudých harmonických do řádu 12 nesmějí překročit $16/n$ %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THD* a při *PWHD* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

POZNÁMKA Lineární interpolace mezi po sobě následujícími hodnotami R_{sce} je povolena. Viz také příloha B.

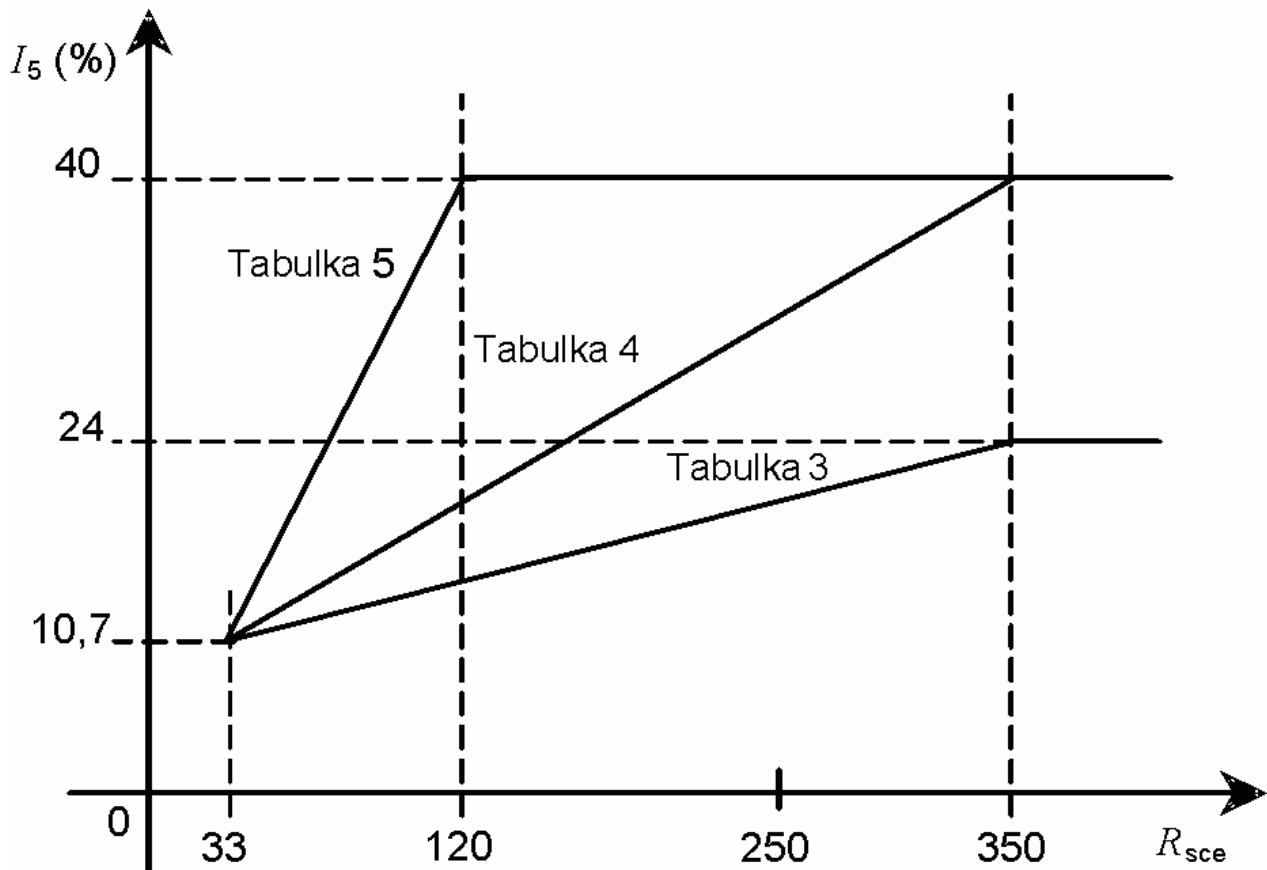
^a I_1 = referenční základní složka proudu; I_h = harmonická složka proudu.



Obrázek 2 – Vývojový diagram znázorňující postup aplikace tabulek 3 až 5

5.1 Vysvětlení mezí pro harmonické proudů

Individuální přípustné harmonické proudů se zvětšují lineárně se zvětšujícím se R_{sce} mezi minimální hodnotou R_{sce} (33) a maximální hodnotou R_{sce} nalezenou v tabulkách. Tento princip je pro proud páté harmonické znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3 – Meze proudu páté harmonické jako funkce R_{sce}

6 Sumační zákon

Pro každý řád harmonické h je skutečné harmonické napětí v jakémkoli bodu soustavy dáno výsledkem vektorového součtu harmonických napětí, která jsou příspěvky jednotlivých zdrojů harmonických. Studie zákonitostí superpozice ukázaly, že obecný vztah může být formulován následující rovnicí:

$$U_h = \alpha \sqrt{\sum_i U_{hi}^\alpha} \quad (2)$$

kde:

U_h je výsledná harmonická napětí

α je sumační exponent

U_{hi} je příspěvek harmonické napětí řádu h , přicházející ze zdroje i .

Hodnoty konstanty α závisí na dvou faktorech:

- na zvolené hodnotě pravděpodobnosti, že skutečná hodnota nepřekročí vypočtenou hodnotu,
- na rozsahu, v kterém hodnoty velikostí a fázových úhlů jednotlivých příspěvků harmonických napětí jsou náhodně proměnné,

Je známo, že liché harmonické nižších řádů zůstávají, pokud se týče amplitudy, stabilní v energetických soustavách po dlouhou dobu. Fázové úhly těchto harmonických se mění jen v relativně úzkém pásmu, a to jak u zdrojů harmonických, tak i vlivem šíření v síti. Charakter parametrů harmonických napětí vyšších řádů je právě opačný.

Tabulka 6 – Orientační hodnoty sumačních exponentů harmonických

Řád harmonické	α
$h < 5$	1
$5 \leq h \leq 10$	1,4
$h > 10$	2

7 Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustavy vn

Tato část normy se týká elektrických a elektronických zařízení, která se připojují do soustavy vysokého napětí. Tato část normy se týká průmyslových zařízení, která se připojují do elektrických soustav odběratele připojených ve společném napájecím bodu do soustavy vysokého napětí.

7.1 Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických

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

7.1.1 Kritérium dohodnutého příkonu

V soustavách vvn je oprávněné vztažení mezních hodnot harmonických ke zkratovému výkonu soustavy. Pokud S_i je dohodnutý příkon instalace odběratele i a S_{sc} je zkratový výkon soustavy ve společném napájecím bodu je

$$\frac{S_i}{S_{sc}} \leq 0,2 \% \quad (3)$$

pak zařízení může být uvnitř instalace odběratele připojeno bez dalšího vyšetřování.

7.1.2 Kritérium váženého rušivého příkonu

Zpráva IEC/TR 61000-3-6 Ed 2 uvádí ještě možnost výpočtu váženého rušivého příkonu pro charakterizování množství rušivých zařízení v provozech odběratele. V této zprávě je uvedena tabulka vážících činitelů pro různé typy zařízení vytvářejících harmonické a postup příslušných výpočtů.

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

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

V této etapě se uvádějí dva možné přístupy. První (zjednodušený) přístup je založen na dovoleném proudu harmonických jako funkce základní složky proudu. Druhý přístup je založen na sumačním zákonu, umožňující všeobecnější metodu stanovení mezí emise pro větší rušivé instalace.

7.2.1 Relativní hodnoty proudů harmonických jako meze emise

Dovolený podíl celkového zkreslení napětí nebude překročen pokud příslušné meze se vyjádří jako relativní proudy harmonických. Tabulka 7 uvádí příklad takovýchto mezí; aplikovatelných na odběratele s dovoleným příkonem $S_i \leq 1$ MVA a s podílem $S_i / S_{sc} < 1$ % za předpokladu, že to umožňuje úroveň harmonických před připojením a odběratel nepoužívá kondenzátory a/nebo filtry pro kompenzaci účinníku.

Tabulka 7 – Orientační hodnoty některých mezí emise proudů lichých harmonických relativních k velikosti instalace odběratele

Řád harmonické	5	7	11	13	> 13
Mez emise proudu harmonické $E_{I_{hi}} = I_{hi}/I_i$ (%)	5	5	3	3	$\frac{500}{h^2}$

Kde:

$E_{I_{hi}}$ je mez emise proudu harmonické řádu h pro odběratele i

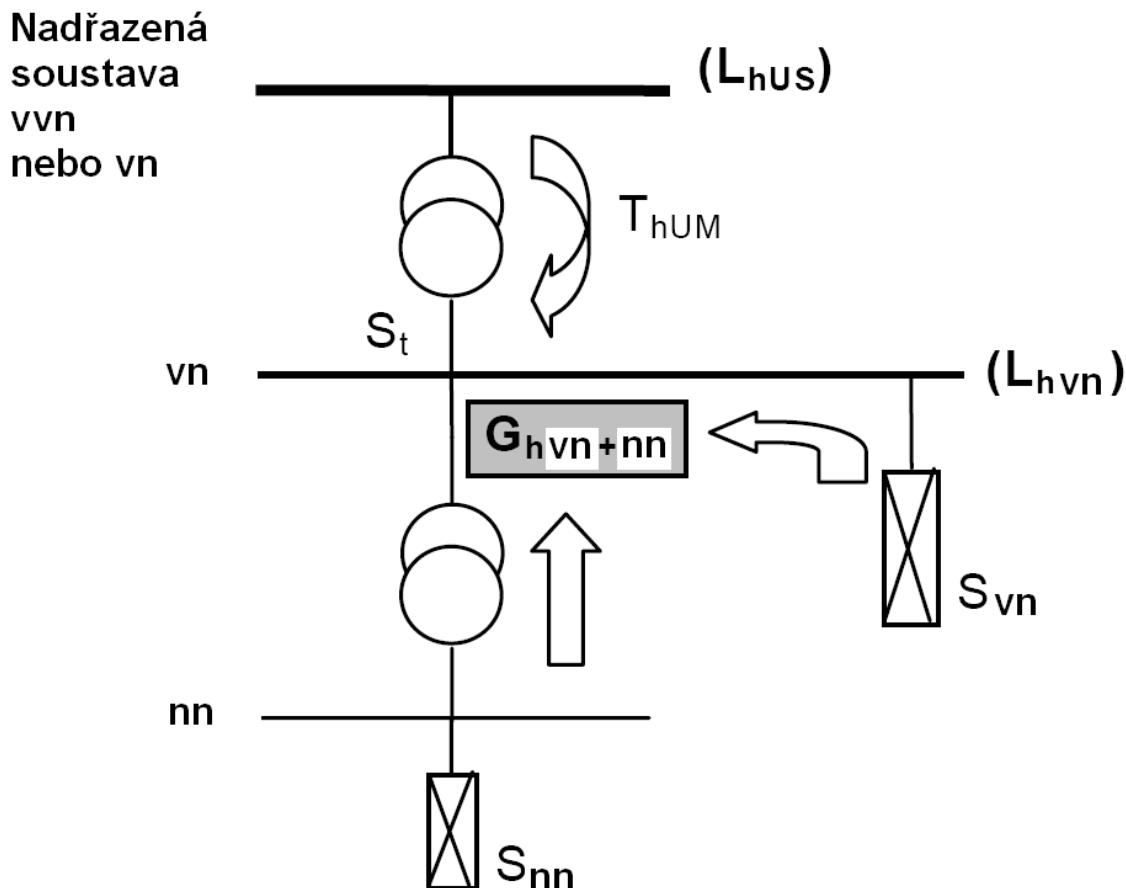
I_{hi} je proud harmonické řádu h způsobený rušivou instalací odběratele i

I_i je efektivní hodnota proudu odpovídajícího jeho dohodnutému příkonu (základního kmitočtu).

7.2.2 Všeobecný přístup založený na sumačním zákonu

7.2.2.1 Souhrnné emise určené k rozdělení mezi odběratele

Uvažujme typickou distribuční soustavu znázorněnou na obrázku 4 za cílem stanovení mezí emise ve vn.



Legenda k obrázku a následujícímu textu:

- vn vyšetřovaná soustava vn (*Medium Voltage*)
- nn vyšetřovaná soustava nn (*Low Voltage*)
- US nadřazená soustava (*Upstream System*)
- S_t schopnosti dodávky výkonu
- S dohodnutý příkon
- h řád harmonické složky

Obrázek 4 – Příklad vyšetřované distribuční soustavy vn pro rozdělení příspěvků

Nejprve je nutné aplikování sumačního zákona (rovnice 2) pro určení souhrnného příspěvku všech zdrojů harmonických přítomných v konkrétní distribuční soustavě vn. Rozhodně, pro každý řád harmonické je skutečné napětí harmonické v distribuční soustavě vn výsledkem vektorového součtu napětí harmonických přicházejících z nadřazené soustavy (je třeba poznamenat, že nadřazená soustava může být vvn nebo vn soustava, pro kterou přechodné plánovací úrovně byly stanoveny předem) a napětí harmonických, které jsou následkem všech rušivých instalací připojených k vyšetřované soustavě vn. Toto souhrnné napětí harmonických by nemělo překročit plánovanou úroveň ve vyšetřované soustavě vn (viz obrázek 4), danou vztahem:

$$L_{hMV}^{\alpha} = \sqrt[\alpha]{G_{hvn+nn} + (T_{hUM} \cdot L_{hUS})^{\alpha}} \quad (4)$$

a tedy souhrnný příspěvek napětí harmonické, který se může přidělit úhrnu vn a nn instalací napájených z vyšetřované soustavy vn je dán vztahem:

$$G_{h_{vn+nn}} = \sqrt[\alpha]{L_{h_{vn}}^\alpha - (T_{h_{UM}} \cdot L_{h_{US}})^\alpha} \quad (5)$$

Kde

- $G_{h_{vn+nn}}$ je maximální souhrnný příspěvek k napětí harmonické složky řádu h přicházející od úhrnu vn a nn instalací, které mohou být napájeny ze sběrnice vn (vyjádřený v procentech napětí základní složky);
- $L_{h_{vn}}$ je plánovací úroveň napětí harmonické složky řádu h soustavy vn ;
- $L_{h_{US}}$ je plánovací úroveň napětí harmonické složky řádu h nadřazené soustavy (protože mohou být potřeba různé plánovací úrovně pro úrovně přechodných napětí mezi vn a vnv , byla jako obecný termín použita plánovací úroveň nadřazené soustavy);
- $T_{h_{UM}}$ je koeficient přenosu zkreslení napětí harmonickou řádu h z nadřazené soustavy do vyšetřované soustavy vn . $T_{h_{UM}}$ se může určit simulací nebo měřeními. Při počátečním zjednodušeném vyhodnocování se koeficienty přenosu $T_{h_{UM}}$ z nadřazené soustavy do soustavy vn mohou použít rovné 1. V praxi však mohou být menší než 1 (např. 2/3) s ohledem na přítomnost tlumicích prvků soustavy nebo vyšší než 1 (typicky mezi 1 a 3) s ohledem na rezonanci. Provozovatel soustavy nebo její vlastník zodpovídá za určení souvisejících hodnot v závislosti na charakteristikách soustavy;
- α je sumační exponent (viz tabulka 6 a kapitola 6).

Pokud se plánovací úrovně soustavy vn rovnají úrovním nadřazených soustav, jako je to v tabulce 2 pro $h = 15$ a 21 a vyšších řádů harmonických násobků tří, vedlo by použití se rovnice 5 k nulovým příspěvkům vn a nn odběratelů. V těchto příkladech by se místo toho měl přidělit spravedlivý podíl na emisích mezi různými úrovněmi napětí soustavy.

7.2.2.2 Individuální meze emise

Každému odběrateli bude povolen jen zlomek souhrnných mezí emise $G_{h_{vn+nn}}$. Přiměřeným přístupem je použití podílu dohodnutého příkonu S_i a schopnosti dodávky výkonu S_t do soustavy vn . Takovéto kritérium je ve vztahu ke skutečnosti, že dovolený příkon odběratele je často spojen s podílem na investičních nákladech soustavy.

$$E_{U_{hi}} = G_{h_{vn+nn}} \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \quad (6)$$

kde

- $E_{U_{hi}}$ je mez emise dovoleného napětí harmonické složky řádu h instalace (i) přímo napájené z vn (%);
- $G_{h_{vn+nn}}$ je maximální souhrnný příspěvek k napětí harmonické složky řádu h přicházející od úhrnu vn a nn instalací, které mohou být napájeny z vyšetřované soustavy vn daný rovnicí (7);
- $S_i = P_i // \cos \varphi_i$ je dohodnutý příkon instalace odběratele i , nebo jmenovitý výkon v MVA vyšetřované rušivé instalace (buď zátěží nebo generátorů);
- S_t je schopnosti dodávky výkonu do vyšetřované soustavy včetně opatření pro budoucí nárůst zátěží. S_t by mohla také zahrnovat příspěvek z rozptýlených generátorů, je však třeba požadovat podrobné určení jejich účinného příspěvku ke zkratovému výkonu.
- α je sumační exponent (viz tabulka 6 a kapitola 6).

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

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

U odběratelů, kteří mají nízký dohodnutý příkon může rovnice 6 může vycházet s nereálně nízkými mezemi. Pokud je mez na některých řádech harmonických menší než 0,1 %, musí se položit rovna 0,1 % (kromě kmitočtů v blízkosti HDO).

Provozovatel nebo vlastník soustavy zodpovídá za poskytnutí údajů o kmitočtové závislosti impedance soustavy za účelem umožnění vyjádření těchto mezí jako proud harmonické:

$$E_{I_{hi}} = \frac{E_{U_{hi}}}{Z_{hi}} \quad (7)$$

- E_{hi} je mez emise dovoleného proudu harmonické složky řádu h odběratele „i“;
- Z_{hi} je impedance na kmitočtu harmonické soustavy v místě konverze mezi emise z napětí na proud u odběratele „i“ (viz 4.3).

7.2.2.3 Příklad dlouhých napáječů

Výše uvedený předpis pro stanovení individuálních mezí emise nebere v úvahu proměnnost zkratového výkonu uvnitř soustav vn. Pokud instalace jsou připojeny k virtuální společné sběrnici, zkratový výkon se příliš nemění a uvedené metody podílů mezi emise jsou odpovídající. Jedná se o případy distribučních soustav s kabely kratšími než 10 km a venkovními vedeními kratšími než 5 km. Tyto podmínky jsou typické pro soustavy napájející spíše velké průmyslové zátěže.

POZNÁMKA Pokud sériový reaktor je vozen mezi sběrnici a napáječ za účelem snížení zkratového výkonu je třeba slovo „sběrnice“ rozumět jako svorky reaktoru na straně napáječe.

U distribučních soustav s dlouhými vývody provedenými kabely nebo venkovními vedeními, kde instalace odběratele jsou rozloženy podél napáječů, může mít výše uvedený přístup za následek specifikování příliš přísných mezí proudu harmonických, penalizujících odběratele připojené ve vzdálenosti, kde zkratový výkon může být značně menší než na začátku napáječe. Přístup pro dělení dovolené souhrnné emise G_{hvn} mezi individuální vn instalace za účelem kompenzování tohoto efektu je uveden v příloze B zprávy IEC/TR 61000-3-6 Ed 2.

7.3 Etapa 3: připojování za mimořádných okolností

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

- Některé instalace nevytvářejí výraznější harmonické, protože neobsahují velká zařízení. Proto schopnost dodávky soustavy nemusí být v některých dobách využita.
- Sumační zákon může být v některých případech příliš konzervativní: některé rušivé instalace mohou vytvářet harmonické s opačnou fází nebo fázový posun uvnitř soustavy může vést k částečnému vyrušení harmonických.
- Může se stát, že některé instalace se nikdy neprovozují současně s ohledem na omezení soustavy a zátěže.
- Pokud meze etapy 2 byly sestaveny s použitím harmonické impedance nebo za předpokladu rezonance, může skutečná impedance být nižší než hypotetická.
- V některých případech se mohou definovat vyšší plánovací úrovně po novém přiřazení plánovacích úrovní mezi vn a vvn pro počítání s místními jevy jako je zvláštní efekt útlumu nebo absence rušivých instalací na určité úrovni napětí nebo efektů rezonance.
- V některých případech rušivé instalace mohou v normálních konfiguracích soustavy být ve shodě s jejími mezemi emise, zatímco při náhodnými jevy zhoršenými konfiguracemi soustavy (např. pokud blízký generátor je mimo provoz) se meze etapy 2 náhodně překračují.

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

7.4 Meziharmonické

V normách ČSN EN 61000-2-4 a ČSN EN 61000-2-12 jsou kompatibilní úrovně uvedeny jen pro meziharmonické složky napětí vyskytující se na kmitočtu blízko základnímu kmitočtu jejichž následkem je amplitudová modulace napájecího napětí (viz článek 3.1). Jsou však i jiné případy, kdy meziharmonické mohou způsobit nepříznivé účinky.

Některé z takovýchto důvodů vyžadující omezení úrovně napětí meziharmonické U_m (kde m není celočíselným násobkem základního kmitočtu) jsou uvedeny níže:

POZNÁMKA Všechny procentní hodnoty v tomto seznamu jsou vztahy k základnímu napětí.

- s ohledem na problémy s flikrem by se měly všechny mezipharmonické pod dvojnásobkem základního kmitočtu omezit na 0,2 %;
- přijímače HDO by mohly být rušeny pokud se překročí minimální funkční napětí (0,3 %);
- v rozsahu kmitočtů do 2,5 kHz by napětí mezipharmonických neměly překročit 0,5 % pokud nelze vyloučit interferenci s následujícími zařízeními: televizory, asynchronní stroje (slyšitelný hluk a vibrace) a kmitočtová relé;
- v rozsahu kmitočtů od 2,5 kHz do 5 kHz by napětí mezipharmonických neměly překročit 0,3 % pro zabránění slyšitelného hluku radiopřijímačů a jiné zvukové techniky;
- za přítomnosti nelineárních instalací jsou mezipharmonické doprovázeny složkami postranního pásma. Kmitočty, které by mohly interferovat se systémy HDO jsou ty, které se liší od kmitočtu HDO o dvojnásobek základního kmitočtu.

S ohledem na tyto efekty se může opatrná plánovací úroveň nastavit na 0,2 %.

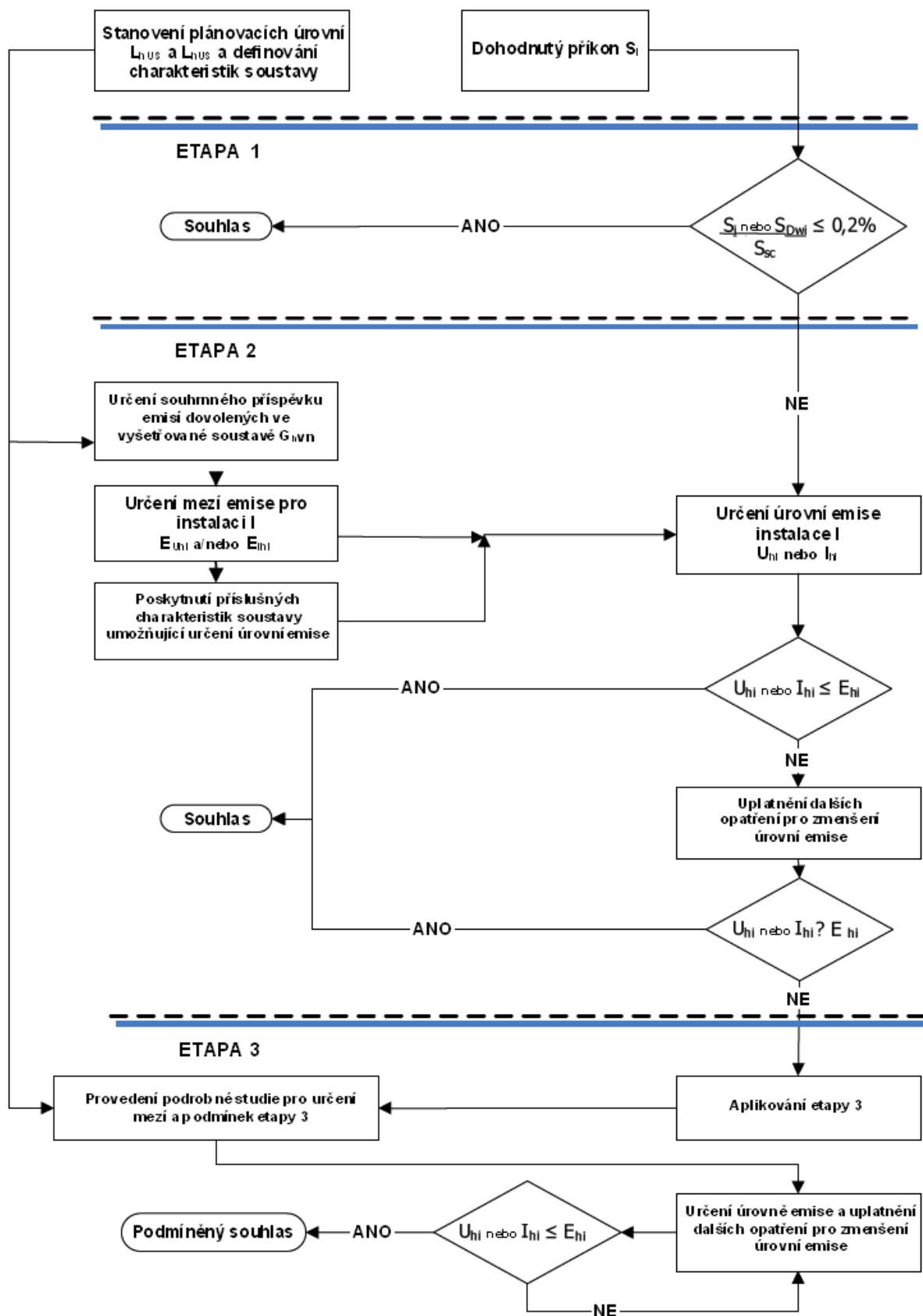
Pokud napětí mezipharmonické způsobené instalací je pod 0,1 % k žádnému rušení nedojde.

7.5 Vývojový diagram postupu vyhodnocování

Obrázek 5 uvádí přehled postupu vyhodnocování.

PROVOZOVATEL DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

ODBĚRATEL



Obrázek 5 – Vývojový diagram postupu vyhodnocování v distribuční soustavě vn

8 Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustav vvn

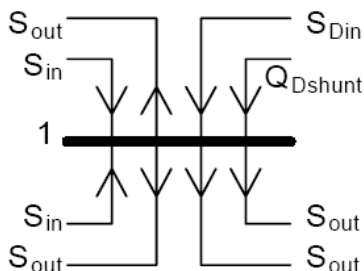
8.1 Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických

Pro připojování do soustav vvn v etapě 1 se mohou použít stejná kritéria jako v článcích 7.1.1 a 7.1.2.

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

8.2.1 Určení celkového dostupného výkonu rozvodny

Určení S_t v soustavách vvn je mnohem složitější než v případě soustavy vn. Pokud se vyšetřuje případ průmyslového odběratele připojovaného v dané rozvodně vvn jako první základní informace je předpověď toků výkonu beroucí v úvahu rozvoj soustavy v budoucnu.



Obrázek 6 – Určení S_t v jednoduché soustavě vvn

Celkový výkon se určí jednoduše:

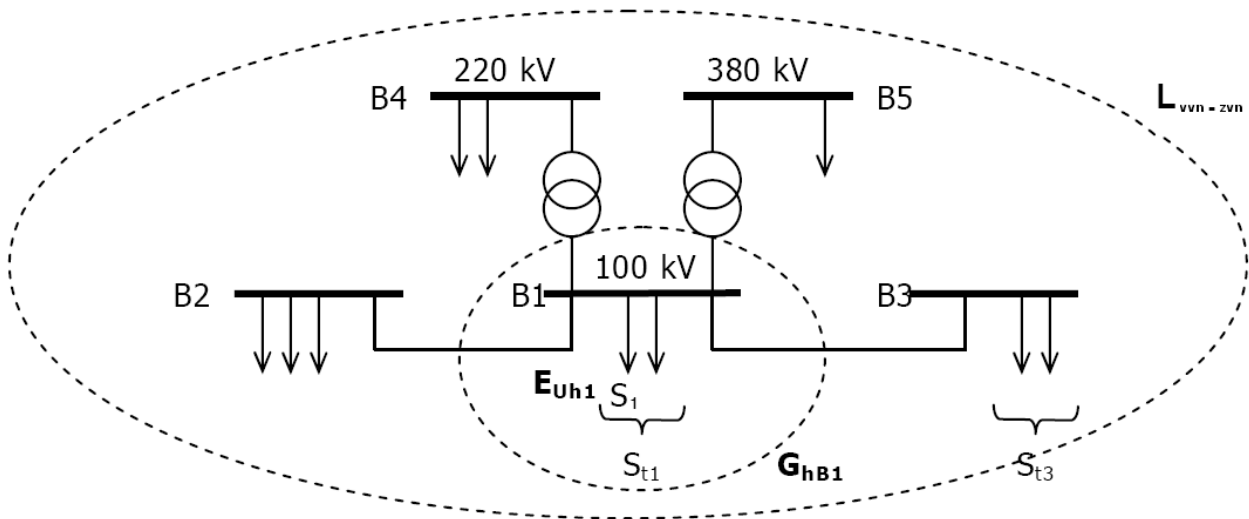
$$S_t = \sum S_{Din} + \sum S_{out} + \sum S_{Dshunt} \quad (8)$$

kde

- S_t (v MVA) je aproximace celkového příkonu všech instalací, u kterých meze emise je třeba přidělit v předvídatelné budoucnosti.
- S_{out} (v MVA) je výkon odtékající z vyšetřované sběrnice vvn (včetně rezervy pro budoucí nárůst zátěže),
- S_{Din} (v MVA) je výkon jakékoliv stanice HVDC (stejnoseměrného přenosu) nebo nelineárních generátorů,
- Q_{Dshunt} (v MVAR) je dynamické dimenzování jakéhokoliv tyristorově řízeného reaktoru (TCR) jakýchkoliv statických Var kompenzátorů připojených k vyšetřované sběrnici.

8.2.2 Metoda rozdělení plánovacích úrovní mezi sběrnice na vvn

Před přidělením mezí emise rušivým instalacím v dané soustavě vvn se nejprve požaduje rozdělení společných vvn plánovacích úrovní ($L_{hvvn-zvn}$ viz tabulka 2) mezi různé rozvodny nebo sběrnice v dané soustavě.



Obrázek 7 – Přidělení plánovací úrovně rozvodně v soustavě vvn

Obrázek 7 znázorňuje syntetizovanou soustavu vvn. Nejprve se požaduje určení globálních příspěvků (G_{hB1} , G_{hB2}, \dots, G_{hBn}) všech rušivých instalací připojených do různých rozvodů B1, B2, ... Bn. Základním požadavkem je, aby u všech instalací i úrovně injektování harmonických vyhovely mezím emise a celková úroveň napětí harmonických kdekoli v distribuční soustavě nepřekročila plánovací úroveň. Této všeobecné podmínce se vyhoví pokud:

$$\sqrt[\alpha]{\left(\sum_{i \text{ v } B1} E_{Uhi}^\alpha\right) + \left(\sum_{i \text{ v } B2} E_{Uhi}^\alpha\right) + \dots + \left(\sum_{i \text{ v } Bn} E_{Uhi}^\alpha\right)} \leq L_{hvn-zvn} \quad (9)$$

kde $\sum_{i \text{ v } Bj} E_{Uhi}^\alpha \leq G_{hBj}$

a

$L_{hvn-zvn}$ je plánovací úroveň,

E_{Uhi} je úroveň emise pro každou instalaci i připojenou na rozvodnu nebo sběrnici j,

G_{hBj} je maximální globální příspěvek napětí harmonické řádu h všech rušivých instalací, které mohou být napájeny z dané rozvodny nebo sběrnice Bj ve vyšetřované soustavě vvn.

Uvažujme ve vyšetřované soustavě rozvodnu nebo sběrnici m. Jednoduchým přístupem ke stanovení globálního příspěvku (G_{hBm}) je rozdělení plánovacích úrovní mezi sběrnice nebo rozvodny úměrně jejich podílu na celkové schopnosti dodávky soustavy ($\sum S_{ti}$).

$$G_{hBm} \leq \sqrt[\alpha]{\frac{S_{tm}}{(S_{t1}) + (S_{t2}) + \dots + (S_{tn})}} \cdot L_{hvn-zvn} \quad (10)$$

Síťová analýza soustavy vvn často vyžaduje zdokonalený přístup při respektování velikosti koeficientů vlivu K_{hj-m} mezi různými rozvodnami nebo sběrnici. Koeficient vlivu K_{hj-m} je napětí harmonické řádu h, které je způsobeno v uzlu m pokud jednotkové napětí harmonické řádu h je aplikováno v uzlu j; výpočet K_{hj-m} obvykle vyžaduje použití počítačového programu. Při respektování koeficientů vlivu z rovnic 9 a 10 pak vyplývá:

$$\left(K_{h1-m}^\alpha \left(\sum_{i \text{ v } B1} E_{Uhi}^\alpha \right) + K_{h2-m}^\alpha \left(\sum_{i \text{ v } B2} E_{Uhi}^\alpha \right) + \dots + K_{hn-m}^\alpha \left(\sum_{i \text{ v } Bn} E_{Uhi}^\alpha \right) \right)^{\frac{1}{\alpha}} \leq L_{hvn-zvn} \quad (11)$$

Na základě výše uvedené metody rozdělení bude přípustný globální příspěvek G_{hBm} ze všech rušivých instalací, které se mohou připojit na vyšetřovanou sběrnici B_m by měl vyhovět následující podmínce:

$$G_{hBm} \leq \sqrt[\alpha]{\frac{S_{tm}}{(K^{\alpha}_{h1-m} \cdot S_{t1}) + (K^{\alpha}_{h2-m} \cdot S_{t2}) + \dots + S_{tm} + \dots + (K^{\alpha}_{hn-m} \cdot S_{tn})}} \cdot L_{hvn-zvn} \quad (12)$$

přidání $(K^{\alpha}_{h1-m} \cdot S_{tj})$ má význam pokud jeho hodnota není ve srovnání s S_{tm} zanedbatelná.

Označíme-li vyšetřovaný uzel m , mohou se hodnoty S_{tm} a S_{tj} pro $n-1$ ostatních uzlů umístěných v blízkosti vypočítat podle článku 8.2.1 a rovnice (8), při ignorování všech toků výkonu S_{out} mezi jakýmkoliv dvěma z těchto uzlů.

Další podrobnosti o této metodě včetně příkladu aplikace při uvažování efektů rezonance jsou uvedeny v příloze D citované zprávy.

8.2.3 Individuální meze emise

Na každé harmonické řádu h , bude každé rušivé instalaci i dovolen příspěvek (E_{Uhi}) ke globálnímu příspěvku rozvodny nebo sběrnice B_m (G_{hBm}) ve vyšetřované soustavě vvn podle poměru příkonu instalace (S_i) a celkového dostupného výkonu (S_{tm}) rozvodny m .

$$E_{Uhi} = G_{hBm} \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tm}}} \quad (13)$$

kde

- E_{Uhi} je mez emise napětí harmonické nelineární instalace i (vvn);
- G_{hBm} je maximální globální příspěvek k napětí harmonické řádu h všech rušivých instalací, které se mohou připojit v dané rozvodně B_m ;
- $S_i = P_i / \cos \varphi_i$ je dohodnutý příkon instalace odběratele i ;
- S_{tm} je celková schopnost dodávky výkonu rozvodny m ve vyšetřované soustavě určená podle článků 8.2.1 a 8.2.2;
- α je sumační exponent (viz tabulka 6 a kapitola 6).

V některých místech se může stát, že stávající úroveň harmonických v soustavě je vyšší než normální podíl pro stávající instalace. V tomto případě mez emise pro jakoukoliv novou instalaci se může snížit a přehodnotit přidělení plánovacích úrovní mezi různé úrovně napětí nebo by se mohla zvýšit schopnost absorpce proudů harmonických v soustavě.

U odběratelů, kteří mají nízký dohodnutý příkon, může rovnice (13) vést k nereálně nízkým mezím. Pokud meze emise napětí na některých řádech harmonické se takto stanou menší než 0,1%, musí se položit rovné 0,1% (kromě případu rizika telefonní interference nebo pokud se jedná o kmitočty HDO, u kterého je oprávněné přísnější omezení).

I když cílem je omezování napětí harmonických v soustavě může se u rušivých instalací dát přednost specifikování mezí proudu harmonických. V tomto případě bude provozovatel nebo vlastník soustavy zodpovědný za poskytnutí údajů o kmitočtové závislosti impedance soustavy pro umožnění vyjádření těchto mezí prostřednictvím proudů harmonických:

$$E_{Ihi} = \frac{E_{Uhi}}{Z_{hi}} \quad (14)$$

kde

- E_{Ihi} je mez emise proudu harmonické nelineární instalace i ;
- Z_{hi} je impedance soustavy na kmitočtu harmonické v místě konverze mezi emise z napětí na proud u odběratele „ i “ (viz 4.3).

8.3 Etapa 3: připojování za mimořádných okolností

V soustavě vvn se postupuje obdobně jako v článku 7.3.

8.4 Meziharmonické

V soustavě vvn se postupuje obdobně jako v článku 7.4.

9 Měření harmonických a mezipharmonických

9.1 Měření a měřicí přístroje pro rozvodné soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7

ČSN EN 61000-4-7 se týká přístrojové techniky určené k měření spektrálních složek v kmitočtovém rozsahu do 9 kHz, které jsou superponovány na základní složku napájecích soustav 50 Hz. Z praktických důvodů, tato norma rozlišuje mezi harmonickými, mezipharmonickými a ostatními složkami nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz.

Tato norma definuje měřicí přístrojovou techniku určenou ke zkoušení jednotlivých zařízení podle mezí emise stanovených v určitých normách (například meze harmonických proudů jsou stanoveny v ČSN EN 61000-3-2) a rovněž určenou k měření harmonických proudů a napětí v aktuálních napájecích soustavách. Přístrojová technika pro měření nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz je předběžně definována v příloze B uvedené normy.

9.2 Metody měření kvality energie podle ČSN EN 61000-4-30

Metody měření a vyhodnocení výsledků pro vyhodnocení parametrů kvality energie ve střídavých distribučních soustavách 50 Hz definuje norma ČSN EN 61000-4-30. Metody měření jsou v této normě popsány pro každý důležitý typ parametru a jsou formulované tak, aby umožnily získání spolehlivých, opakovatelných a porovnatelných výsledků bez ohledu na použitý vyhovující přístroj a bez ohledu na jeho podmínky prostředí. Pokud se jedná o připojované zařízení tato norma předkládá metody měření pro měření v místě jeho instalace.

Měření parametrů pokryté touto normou je omezeno na ty jevy, které se mohou v napájecí síti šířit vedením. Zahřnuty jsou příslušné parametry napětí a/nebo proudu. Tato norma uvádí metody měření, neuvádí však pravé hodnoty.

Parametry kvality energie uvažované v této normě jsou síťový kmitočet, velikost napájecího napětí, flickr, krátkodobé poklesy napětí a krátkodobá zvýšení napájecího napětí, přerušování napětí, přechodná napětí, nesymetrie napájecího napětí, harmonické a mezipharmonické napětí a proudu, síťové signály na napájecím napětí a rychlé změny napětí. V závislosti na účelu měření se mohou měřit všechny jevy podle tohoto seznamu nebo jen jeho dílčí soubor.

9.2.1 Harmonické napětí

Pro harmonické složky napětí norma ČSN EN 61000-4-30 doporučuje následující metody.

Interval měření: pro hodnoty měřené v intervalu 10-min doba posuzování minimálně jeden týden a denní posuzování hodnot měřených v intervalu 3 s po alespoň jeden týden.

Technika vyhodnocování: předpokládají se hodnoty měřené v časovém intervalu 3 s (150 period) a/nebo hodnoty měřené v časovém intervalu 10-min. Smluvní hodnoty se mohou aplikovat na jednotlivé harmonické nebo na rozsah harmonických nebo na jiná seskupování, například sudých a lichých harmonických, podle dohody mezi smluvními stranami. Následující techniky jsou navrženy pro všechny hodnoty, mezi smluvními stranami by se však mohla dohodnout i jiná technika 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 pro 10-min hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) a/nebo hodnoty pro časový interval 3 s hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) vyjádřené v procentech by se mohly porovnat se smluvními hodnotami.

9.2.2 Mezipharmonické napětí

Pro mezipharmonické složky norma ČSN EN 61000-4-30 doporučuje následující metody.

Interval měření stejný jako u harmonických napětí.

Technika vyhodnocování předpokládají se hodnoty měřené v časovém intervalu 3 s (150 period) a/nebo hodnoty měřené v časovém intervalu 10-min. Smluvní hodnoty se mohou aplikovat na rozsah mezipharmonických nebo na jiná seskupování, podle dohody mezi smluvními stranami. Následující techniky jsou navrženy pro všechny hodnoty, mezi smluvními stranami by se však mohla dohodnout i jiná technika 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 pro 10-min hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) a/nebo hodnoty pro časový interval 3 s (150 period) s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) vyjádřené v procentech by se mohly porovnat se smluvními hodnotami.