

PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY

ČEPS, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., E.ON CZ, a.s, E.ON distribuce, a.s., PRE Distribuce, a.s.	Parametry kvality elektrické energie – Část 1: Harmonické a mezipharmonické	PNE 33 3430-1
		4.vydání
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., PRE Distribuce, a.s., E.ON distribuce, a.s. a E.ON Česká republika, a.s.</p> <p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření harmonických a 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 3430-1:2008.</p> <p>Změny proti předchozí normě</p> <p>V předmluvě byly doplněny nové citované normy. V kapitole 2 byly definovány nové termíny zákazník, partner, rozptýlená výroba, plochý tvar vlny, tvar vlny s překmitem, napěťový střídač (VSC), proudový střídač (CSC) a aktivní napájecí měnič (AIC). S ohledem na definici termínu zákazník podle článku 2.15 bylo v textu celé normy slovo „odběratel“ nahrazeno slovem „zákazník“.</p> <p>Podle nového vydání ČSN EN 61000-3-12 ed. 2 byla změněna celá kapitola 5. Sumační zákon byl z kapitoly 6 přesunut do nového článku 7.2.1.1 a v kapitole 6 byla zařazena problematika požadavků a zkoušek odolnosti a emise harmonického proudu systémů rozptýlené výroby podle technické zprávy IEC/TR 61000-3-15.</p> <p>V kapitole 9 byla problematika měření harmonických a mezipharmonických u zákazníků odebírajících energii pro zjednodušení uvedena jen odkazy na příslušné normy ČSN EN 61000-4-7 a ČSN EN 61000-4-30. Byly však doplněny specifické problémy měření u rozptýlené výroby elektřiny.</p>		
Ruší: PNE 33 3430-1 ed.3 z roku 2008	Účinnost od: 2014-01-01	

Předmluva

Citované normy

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

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

ČSN IEC 60050-617 + A1 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 617: Trh s elektřinou

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

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

ČSN EN 50438 Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí

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

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

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

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

ČSN EN 61000-3-3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-3: Meze – Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým fázovým proudem ≤ 16 A, které není předmětem podmíněného připojení

IEC/TR 61000-3-6 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-6: Meze – Určování mezí emise pro připojování instalací deformujících napětí k soustavám vn, vvn a zvn (do ČSN nezavedena)

ČSN EN 61000-3-11 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-11: Meze – Omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích nízkého napětí – Zařízení se jmenovitým proudem ≤ 75 A, které je předmětem podmíněného připojení

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

IEC/TR 61000-3-14 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-14: Meze – Určování mezí emise pro připojování instalací deformujících napětí k soustavám nn (připravuje se)

IEC/TR 61000-3-15 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3 15: Meze – Určování požadavků na nízkofrekvenční elektromagnetickou odolnost a emisi pro systémy rozptýlené výroby v distribučních soustavách nízkého napětí (do ČSN nezavedena)

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

ČSN EN 61000-4-13 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-13: Zkušební a měřicí technika – Harmonické a meziharmonické včetně signálů v rozvodných sítích na střídavém vstupu/výstupu napájení – Nízkofrekvenční zkoušky odolnosti

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

ČSN EN 62116 Postup zkoušky opatření zabraňujících ostrovnímu provozu provozovatelem elektrizační soustavy připojených fotovoltaických střídačů

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

PNE 33 3430-7 Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti

Vypracování normy

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

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

Obsah

	Strana
1	Předmět normy..... 5
2	Definice 5
3	Kompatibilní úrovně..... 8
3.1	Kompatibilní úrovně meziprojektových 8
3.2	Harmonické jako charakteristický parametr napětí distribuční soustavy 9
4	Plánovací úrovně..... 10
4.1	Měření a vyhodnocování harmonických souvisící s plánovacími úrovněmi..... 10
4.2	Určování úrovně emise harmonických 10
4.3	Impedance soustavy pro konverzi mezi emise z napětí na proud..... 11
5	Požadavky a meze pro zařízení připojovaná do soustavy nízkého napětí 11
5.1	Metody řízení..... 12
5.2	Meze emise..... 12
6	Navrhované požadavky a zkoušky emise a odolnosti systémů rozptýlené výroby (DG) 16
6.1	Mechanismy emise harmonických proudů 16
6.2	Navrhované meze a zkoušky pro emise harmonických proudů 16
6.3	Zkušební sestava 16
6.4	Postup zkoušky emise harmonických proudů střídačem DG 17
6.5	Zkušební postup pro emise systému..... 18
6.6	Odolnost systému DG 19
7	Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustav vn 20
7.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických..... 20
7.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 20
7.3	Etapa 3: připojování za mimořádných okolností..... 24
7.4	Meziprojektové 24
7.5	Vývojový diagram postupu vyhodnocování 25
8	Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustav vvn 27
8.1	Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických..... 27
8.2	Etapa 2: meze emise vztažené ke skutečným charakteristikám distribuční soustavy 27
8.3	Etapa 3: připojování za mimořádných okolností 29
8.4	Meziprojektové 29
9	Měření harmonických a meziprojektových 30
9.1	Měření a měřicí přístroje pro distribuční soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7 a ČSN EN 61000-4-30 30
9.2	Specifické problémy měření harmonických u rozptýlené výroby elektřiny..... 30

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik harmonických a meziharmonických v distribučních soustavách nn, vn a vvn. Dále se týká omezování jejich vlivu na funkční spolehlivost zařízení zákazníků, partnerů i dodavatele elektrické energie.

Předmětem tohoto dílu PNE je vytvoření všeobecného podkladu pro vyhodnocování a omezování harmonických a meziharmonických napětí a proudů. V souladu s harmonizovanou normou ČSN EN 61000-2-2 jsou mezní hodnoty harmonických odvozeny od kompatibilních úrovní za účelem určení dovolené emise harmonických jednotlivými zařízeními nebo sítěmi zákazníků odbírajících energii a partnerů vyrábějících energii.

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)).

2.1 základní složka

složka jejíž kmitočet je základním kmitočtem

2.2 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 “)

2.3 harmonická složka

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

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

2.4 kmitočet meziharmonické

jakýkoliv kmitočet, který není celočíselným násobkem základního kmitočtu

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

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

2.5 meziharmonická složka

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

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

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 meziharmonickými složkami je proto přibližně 5 Hz.

2.6 celkové harmonické zkreslení (THD)

poměr efektivní hodnoty součtu všech harmonických složek až do stanoveného řádu (jehož 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.

2.7 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;

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).

2.8 celkové zkreslení TDR

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

[IEC 551-20-14, modifikován]

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

2.9 společný napájecí bod (PCC)

bod veřejné distribuční soustavy, elektricky nejbližší příslušnému zákazníkovi nebo partnerovi, ve kterém je nebo může být připojen jiný odběr nebo výroba elektrické energie

2.10 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

2.11 impedance distribuční soustavy

impedance soustavy ve společném napájecím bodu

2.12 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:

$$S_{sc} = U_{nominal}^2 / Z \quad (1)$$

kde Z je impedance sítě na síťovém kmitočtu

2.13 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 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).

2.14 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;

2.15 zákazník, partner

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

POZNÁMKA Pro účely této normy se rozlišuje význam českých překladů anglického termínu *customer* následovně: **zákazník**, ve smyslu **zatížení v užívání zákazníka** (customer-owned load) a **partner** ve smyslu **výroby el. energie ve vlastnictví partnera** (customer-owned generation).

2.16 instalace zákazníka, instalace partnera

sestava elektrických zařízení patřících stejnému zákazníkovi nebo partnerovi a připojených společně na společný napájecí bod

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

2.17 dodávka elektrické energie

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

2.18 provozovatel distribuční soustavy

organizace zásobující elektrickou energií skupinu spotřebitelů prostřednictvím distribuční soustavy

2.19 rozptýlená výroba, distribuovaná výroba, distribuované generování (DG)

generování elektrické energie rozptýlenými zdroji, které jsou připojeny k distribuční soustavě

[IEV 617-04-09, modifikován]

2.20 plochý tvar vlny

tvar vlny, který sleduje časovou funkci, v které každá půlvlna se skládá ze tří částí:

Část 1: začíná z nuly a sleduje prostou sinusovou funkci až do specifikované hodnoty;

Část 2: je konstantní hodnota;

Část 3: sleduje prostou sinusovou funkci až k nule (viz obrázek 4)

2.21 tvar vlny s překmitem

tvar vlny, který se skládá z diskretních hodnot základní harmonické, třetí harmonické a páté harmonické se specifikovaným fázovým posuvem (viz tabulka 10 a obrázek 5)

2.22 střídač DG

zařízení rozptýlené výroby, které převádí stejnosměrný elektrický proud (DC) na střídavý elektrický proud (AC)

2.23 napěťový střídač (VSC)

střídač s regulací proudu za účelem udržení stálého výstupního napětí (střídač pracuje jako nucený zdroj napětí)

2.24 proudový střídač (CSC)

střídač udržující stálý výstupní proud (střídač pracuje jako nucený zdroj proudu)

2.25 aktivní napájecí měnič (AIC)

elektronický výkonový měnič s vlastní komutací jakékoliv technologie, topologie, napětí a velikosti, který je zapojen mezi elektrickou AC napájecí distribuční soustavou a DC zdrojem elektrického proudu nebo elektrického napětí a který může měnit elektrickou energii v obou směrech (generativním ve smyslu výroby elektřiny nebo regenerativním ve smyslu spotřeby elektřiny) a který může řídit účinník aplikovaného napětí nebo proudu; některý může navíc ovládat harmonické zkreslení aplikovaného napětí nebo proudu; přitom základní topologie může být realizována jako napěťový střídač (VSC) nebo proudový střídač (CSC).

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 se úrovně harmonických budou v distribučních soustavách omezovat.

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. Zážnějový kmitočet je rozdíl mezi kmitočty dvou časově shodných napětí – tj. mezi kmitočty meziharmonických a základním kmitočtem.

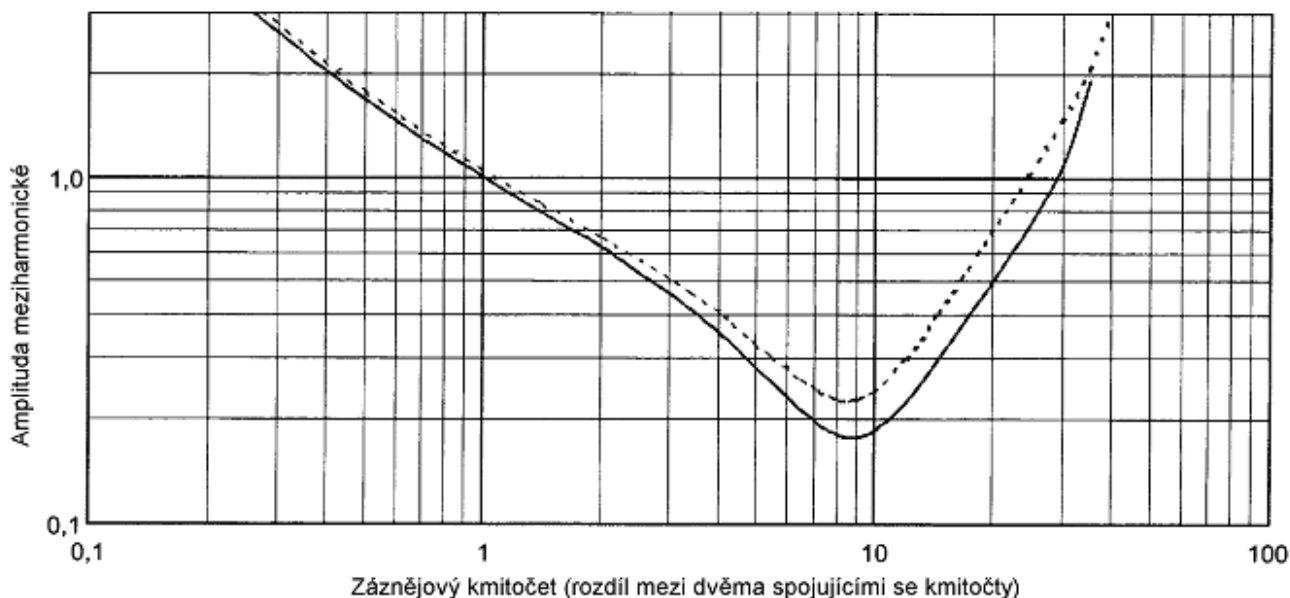
POZNÁMKA 1 Pod řádem meziharmonických 0,2 jsou kompatibilní úrovně určeny požadavky na flickr.

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 flikru $P_{st} = 1$ 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 flikru jsou uvedeny na obrázku 1 jako funkce záznějového kmitočtu, což způsobuje, že výsledek je nezávislý na kmitočtu soustavy.



**Obrázek 1 – Kompatibilní úrovně pro meziharmonické
(Odezva flikrmeteru 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 meziharmonických. 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, meziharmonická 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 přepočty (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 zákazníků připojených na danou distribuční soustavu. Tato úroveň je považována za interní zámeř 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 ukazatel 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 instalace zákazníka. 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 neměla 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 zákazníka 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 rezoncím 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 zákazníka 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 instalace:

- 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 instalací velkých ve srovnání s velikostí napájecí soustavy vvn se může použít odhad maximální impedance soustavy v místě vyhodnocování připojení při nejhorsích 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 Požadavky a meze pro zařízení připojovaná do soustavy nízkého napětí

Nové vydání ČSN EN 61000-3-12 ed. 2 se zabývá omezením harmonických proudů injektovaných do veřejné napájecí sítě. Meze uvedené v této normě platí pro elektrické a elektronické zařízení se jmenovitým vstupním fázovým proudem překračujícím 16 A až do 75 A včetně, určené k připojení do veřejných střídavých distribučních sítí nízkého napětí následujících typů:

- jednofázová, dvojitodičová nebo třívodičová, jmenovitého napětí do 240 V;
- třífázová, třívodičová nebo čtyřvodičová, jmenovitého napětí do 690 V;
- jmenovitého kmitočtu 50 Hz nebo 60 Hz.

Jiné distribuční sítě jsou vyloučeny. Meze uvedené v tomto vydání platí pro zařízení připojené do sítí 230/400 V, 50 Hz.

POZNÁMKA 1 Meze pro jiné sítě budou přidány v budoucím vydání uvedené normy.

POZNÁMKA 2 Zařízení se jmenovitým vstupním fázovým proudem větším než 75 A by mělo být zvaženo s ohledem na požadavky na harmonické proudy pro instalace. Viz IEC/TR 61000-3-6 a budoucí IEC/TR 61000-3-14.

Tato norma platí pro zařízení určené pro připojení do sítí nízkého napětí, které má styčný bod s veřejným napájením na úrovni nízkého napětí. Tato norma neplatí pro zařízení určené pro připojení do soukromých sítí nízkého napětí, které mají styčný bod s veřejným napájením jen na úrovni vysokého nebo velmi vysokého napětí.

5.1 Metody řízení

Při normálních provozních podmínkách jsou dovoleny jen symetrické metody řízení (viz IEC 60050:1990, 161-07-11).

Metody symetrického řízení, které nejsou řízení půlperiod střídavého proudu (viz IEC 60050:1990, 161-07-05) a které se používají pro řízení dodávky energie do topných prvků, jsou dovoleny jen pro profesionální zařízení, jehož primárním uvažovaným účelem jako celku není ohřev. Kromě toho platí všechny tři následující podmínky:

- platné meze nejsou překročeny, pokud se zkouší na vstupních napájecích svorkách;
- je nutné přesně řídit teplotu topného tělesa, jehož tepelná časová konstanta je menší než 2 s;
- není ekonomicky dostupná jiná technika.

POZNÁMKA Pro účely této normy se synchronní řízení považuje za symetrické řízení půlperiod.

5.2 Meze emise

Dané meze platí pro síť 230/400 V, 50 Hz. Meze pro jiné sítě budou doplněny v budoucím vydání normy EN 61000-3-12.

POZNÁMKA 1 V některých mimoevropských zemích se tato navržená metoda nemůže aplikovat, protože údaje o zkratovém výkonu nejsou vždy k dispozici.

Meze harmonických proudů specifikované v tabulkách 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.

Například (pro stejné zařízení):

Jmenovité napětí: 230 V jednofázové, jmenovitý fázový proud: x A, vyhodnocení a zkouška při 230 V.

Jmenovité napětí: 400 V třífázové, jmenovitý fázový proud: y A, vyhodnocení a zkouška při 400 V.

Meze harmonických proudů jsou specifikovány v tabulkách 3 až 6.

Zařízení vyhovující mezím emise harmonických proudů odpovídajícím $R_{scc} = 33$ je podle nového vydání ČSN EN 61000-3-12 ed. 2 vhodné pro připojení v jakémkoliv bodu napájecí soustavy.

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

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

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

Tabulka 3 platí pro zařízení jiné než symetrické třífázové zařízení a tabulky 4, 5 a 6 platí pro symetrické třífázové zařízení.

Tabulka 4 se může použít u jakéhokoliv symetrického třífázového zařízení.

Tabulka 5 se může použít u symetrického třífázového zařízení, pokud je splněna některá z těchto podmínek:

- Proudy páté a sedmé harmonické jsou oba menší než 5 % referenčního proudu během celé doby sledování.

POZNÁMKA Tato podmínka je normálně splněna „dvanáctipulzními“ zařízeními.

- Zařízení je navrženo tak, aby úhel fázového posunu páté harmonické proudu 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 střídači s plně řízenými tyristorovými můstky.

- c) Úhel fázového posunu páté harmonické proudu vztahený k základní složce fázového napětí je během celé doby sledování v rozsahu 90° až 150° .

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

Tabulka 6 se může použít u symetrického třífázového zařízení, pokud je splněna některá z těchto podmínek:

- d) Proud páté a sedmé harmonické jsou oba menší než 3 % referenčního proudu během celé doby sledování při zkoušce.
- e) Zařízení je navrženo tak, aby úhel fázového posunu páté harmonické proudu neměl po celou dobu žádnou preferenční hodnotu a mohl nabývat jakékoliv hodnoty v celém intervalu $[0^\circ, 360^\circ]$.
- f) Úhel fázového posunu páté harmonické proudu vztahený k základní složce fázového napětí je během celé doby sledování v rozsahu 150° až 210° .

POZNÁMKA Tato podmínka je obvykle splněna 6pulsním střídačem s malou kapacitou DC meziobvodu, působícího jako zátěž.

Tabulky 4, 5 nebo 6 se mohou aplikovat na hybridní zařízení při jedné z následujících okolností:

- a) hybridní zařízení má maximální 3. harmonickou proudu menší než 5 % referenčního proudu nebo:
- b) v konstrukci hybridního zařízení je uplatněno opatření k oddělení symetrických třífázových a jednofázových nebo mezifázových zátěží pro měření napájecích proudů, přičemž během měření proudu část měřeného zařízení odebírá stejný proud jako při normálních provozních podmínkách. V takovémto případě se příslušné meze musí aplikovat zvlášť na jednofázovou nebo mezifázovou část a na symetrickou třífázovou část. Tabulky 4, 5 nebo 6 se aplikují na proud symetrické třífázové části a to i v případě, že jmenovitý fázový proud vyvážené třífázové části je menší nebo rovný 16 A. Tabulka 3 se aplikuje na proud jednofázové nebo mezifázové části, ale v případě, že jmenovitý proud jednofázové nebo mezifázové části je menší nebo roven 16 A výrobce může aplikovat příslušné mezní hodnoty podle IEC 61000-3-2 na jednofázové nebo mezifázové části místo mezních hodnot stanovených v tabulce 3.

Pro účely ověření, pokud se aplikuje výše uvedená okolnost b), výrobce musí v dokumentaci výrobku stanovit jmenovitý proud a v protokolu o zkoušce pro každou jednotlivou zátěž uvést naměřené a specifikované hodnoty vstupního proudu. Hodnota R_{sce} pro tento typ hybridního zařízení se určí následovně:

- minimální hodnota R_{sce} se nejprve určí pro každou z těchto dvou zatížení použitím referenčního proudu uvažované části pro výpočet emise harmonické proudu pro umožnění porovnání s mezními hodnotami uvedenými v tabulkách 3 až 6; v případě, že se na jednofázovou nebo mezifázovou část aplikuje IEC 61000-3-2 místo mezních hodnot podle tabulky 3, minimální hodnota R_{sce} pro tuto část se považuje za rovnou 33;
- potom, pro každou z těchto dvou částí, minimální hodnota S_{sc} se vypočte z její minimální hodnoty R_{sce} a jejího jmenovitého proudu;
- nakonec se určí hodnota R_{sce} pro hybridní zařízení z nejvyšší z obou minimálních hodnot S_{sc} a jmenovitého zdánlivého výkonu celého hybridního zařízení;

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

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_{ref} ^a %						Přípustné parametry harmonických %	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THC/I_{ref}	$PWHC/I_{ref}$
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/h %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THC* a při *PWHC* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

Lineární interpolace mezi oběma hodnotami R_{sce} je dovolena.

^a I_{ref} = referenční proud; I_h = harmonická složka proudu.

Tabulka 4 – Meze emise proudu pro symetrické třífázové zařízení

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_{ref} ^a %				Přípustné parametry harmonických %	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THC/I_{ref}	$PWHC/I_{ref}$
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/h %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THC* a při *PWHC* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

Lineární interpolace mezi oběma hodnotami R_{sce} je dovolena.

^a I_{ref} = referenční proud; I_h = harmonická složka proudu.

Tabulka 5 – Meze emise proudu pro symetrické třífázové zařízení při specifických podmínkách (a, b, c)

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_{ref} ^a %				Přípustné parametry harmonických %	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THC/I_{ref}	$PWHC/I_{ref}$
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/h %. Sudé harmonické nad řádem 12 se berou v úvahu při *THC* a při *PWHC* stejným způsobem jako harmonické lichých řádů.

Lineární interpolace mezi oběma hodnotami R_{sce} je dovolena.

^a I_{ref} = referenční proud; I_h = harmonická složka proudu.

Tabulka 6 – Meze emise proudu pro symetrické třífázové zařízení při specifických podmínkách (d, e, f)

Minimální R_{sce}	Přípustný proud jednotlivé harmonické I_h/I_{ref} ^a %												Přípustné parametry harmonických %	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	I_{17}	I_{19}	I_{23}	I_{25}	I_{29}	I_{31}	I_{35}	I_{37}	THC / I_{ref}	$PWHC / I_{ref}$
33	10,7	7,2	3,1	2	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	13	22
≥ 250	25	17,3	12,1	10,7	8,4	7,8	6,8	6,5	5,4	5,2	4,9	4,7	35	70

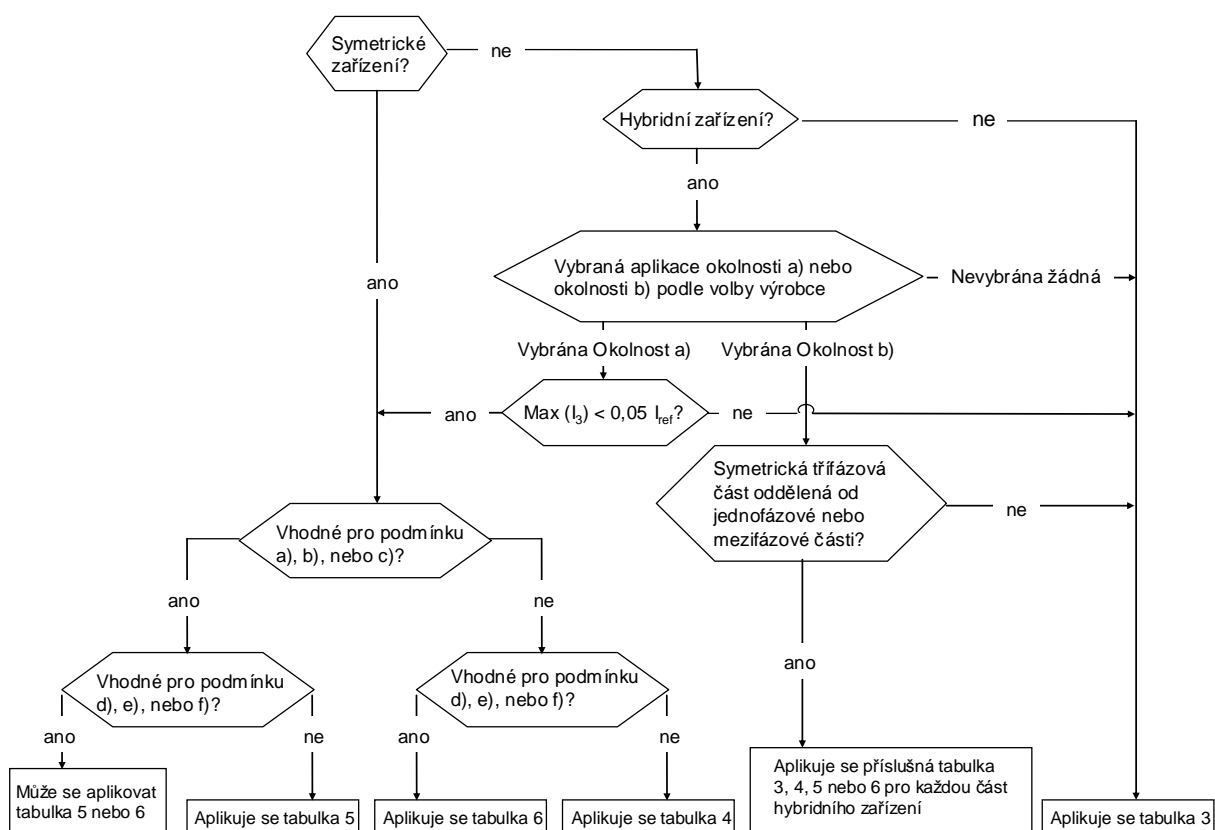
Při R_{sce} rovném 33 nesmějí poměrné hodnoty sudých harmonických do řádu 12 překročit $16/h$ %. Výše neuvedené poměrné hodnoty všech harmonických od I_{14} do I_{40} nesmějí překročit $1 \% I_{ref}$.

Při $R_{sce} \geq 250$ nesmějí poměrné hodnoty sudých harmonických do řádu 12 překročit $16/h$ %. Výše neuvedené poměrné hodnoty všech harmonických od I_{14} do I_{40} nesmějí překročit $3 \% I_{ref}$.

Lineární interpolace mezi oběma hodnotami R_{sce} je dovolena.

^a I_{ref} = referenční proud; I_h = harmonická složka proudu.

Obrázek 2 znázorňuje vývojový diagram postupu aplikace tabulek 3 až 6:



Obrázek 2 – Vývojový diagram postupu aplikace

6 Navrhované požadavky a zkoušky emise a odolnosti systémů rozptýlené výroby (DG)

6.1 Mechanismy emise harmonických proudů

Mnoho střídačů výroben DG má harmonické proudy v bodu PCC, které mohou být značně závislé na obsahu harmonických napětí AC soustavy. Dopad harmonických proudů vyrobených výrobnou DG na harmonické napětí závisí také na impedanci soustavy v PCC, na vlastnostech vnitřního filtru DG a na vlastnostech řídicího systému DG.

Pokud řídicí systém snímá svůj aktuální referenční tvar vlny z měřeného napětí soustavy, harmonické složky v napětí produkují harmonické proudy, které mají tendenci ke zvýšení zkreslení napětí.

Kromě harmonických proudů způsobených harmonickými napětí napájení, zařízení DG vytváří harmonické spínacími operacemi svých polovodičových zařízení. Tyto harmonické jsou obvykle nad 2 kHz, ale i k tak malým složkám dochází na nižších kmitočtech kvůli nedokonalosti řízení a vlastností polovodičových zařízení. Přirozeně velikost těchto harmonických závisí na typu vnitřního filtru v DG a na hodnotách jeho součástek.

Kromě toho by se harmonické proudy mohly značně lišit podle různých podmínek generování, např. tam kde může být podstatný rozdíl mezi vysokým a nízkým příkonem při provozu střídače. Při posouzení připojení střídače fotovoltaických DG do soustavy by se toto mělo brát v úvahu. Například v případě, že solární střídač s regulací DC/AC proudů pomocí řízení v otevřené smyčce při nízkém zatížení a řízení v uzavřené smyčce při podmínkách vyššího zatížení, harmonické jsou vyšší u podmínek nízké výroby a nižší při špičkové výrobě. Proto je při měření emisí harmonických proudů definováno několik úrovní zatížení.

6.2 Navrhované meze a zkoušky pro emise harmonických proudů

S ohledem na měniče a střídače, které jsou zdroji harmonických v rozptýlených výrobnách elektřiny, jsou tato zařízení zařazena do třídy 3 elektromagnetického prostředí podle ČSN EN 61000-2-4.

I když mezní hodnoty emisí harmonických proudů v IEC 61000-3-2 (do 16 A) a IEC 61000-3-12 (16 - 75 A) byly odvozeny pro zátěže s tím, že DG nebyly uvažovány. Lze však předpokládat, že existuje značná míra shodnosti mezi některými zátěžemi a rozptýlenou výrobou, pokud jde o emise harmonických.

Zejména, je podobnost mezi zátěžemi osvětlení a rozptýlenou výrobou s výkonem pod 600 W. Jak osvětlení tak i DG se používají pro delší dobu a mohou mít také srovnatelné výkonové úrovně. Kombinované osvětlení domácností může být srovnatelné s malými střídači, zatímco malé kancelářské budovy mohou mít příkon osvětlení, který je podobný typům střídačů v rozsahu několika kilowatt. To se týká zejména fotovoltaických střídačů. Proto lze dojít k závěru, že zařízení pro osvětlení a malé střídače mají obecně potenciálně podobný dopad na síť nezávisle na směru toku proudu.

V důsledku toho se zvážil soubor mírně modifikovaných mezí na základě tabulky mezí v IEC 61000-3-2 třída C (osvětlení), jako dobrý návod pro omezení emisí proudu pro jednotky DG pod 600 W. Mírně upravené meze podle tabulky 3 ($R_{scc} = 33$) jsou považovány za vhodné pro zařízení DG v rozsahu výkonu nad 600 W.

Navíc k omezování emisí proudu by DG nemělo výrazně zvýšit zkreslení napětí v síti. Pro ověření, zda zařízení DG nezpůsobuje přijatelné překročení úrovně zkreslení proudu ani napětí, jsou ve zprávě IEC/TR 61000-3-15 navrženy dvě zkušební metody.

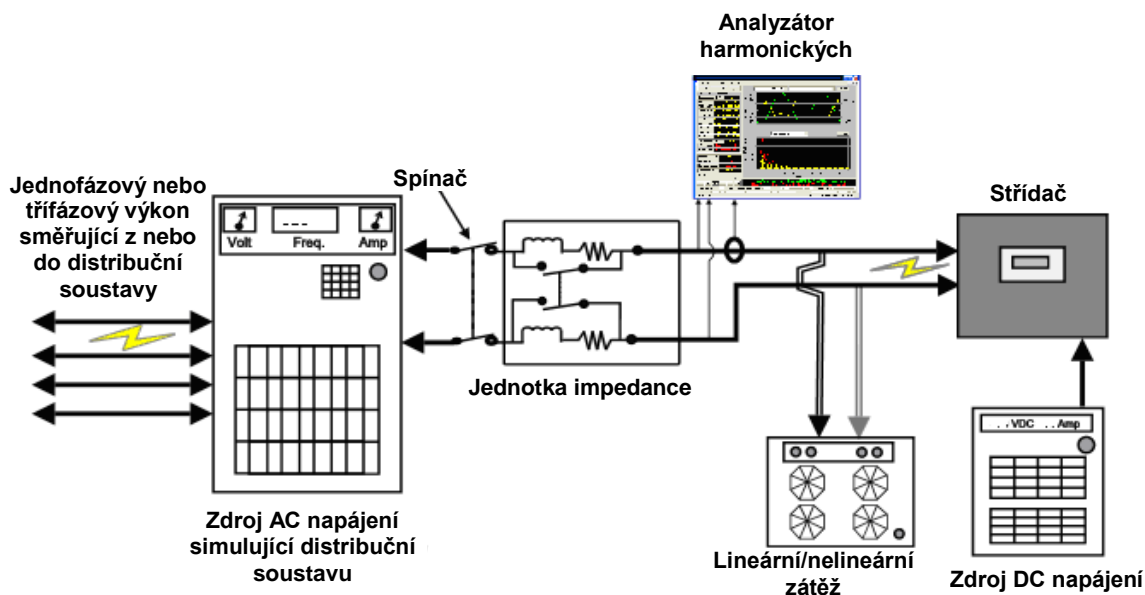
Meze emise proudu uvedené v ČSN EN 61000-3-2 a ČSN EN 61000-3-12 byly odvozeny pro omezení zkreslení napětí na přijatelnou úroveň v místě, kde je zatížení připojeno. Distribuční soustava však není ideální, tj. může mít významné zkreslení. Jakýkoliv přídavek zkreslení proudu od DG může zvýšit již existující zkreslení napětí v síti, takže je nutné omezit velikost zvýšení zkreslení napětí, které může DG způsobit.

Z tohoto důvodu se navrhuje zkušební metoda, která využívá zkušební obvodů uvedených v ČSN EN 61000-3-3 a ČSN EN 61000-3-11, včetně impedance s přidáním definovaného zatížení a pro specifikované předcházející úrovně zkreslení, aby se napodobil skutečný stav ve veřejné distribuční soustavě.

Navrhované zkušební metody by měly umožnit uživateli a výrobcovi zajistit, aby zařízení DG mohlo fungovat přijatelně v prostředí EMC běžně se vyskytujícím v síti. Za předpokladu, že zařízení DG splňuje požadavky zkoušky, navrhuje se, aby přijatelného chování systému bylo dosaženo, pokud zařízení DG nezpůsobuje zvýšení místního harmonického zkreslení napětí o více než 1%, za předpokladu, že místní zkreslení napětí před připojením DG je nižší než 5%.

6.3 Zkušební sestava

Zkušební sestava podle technické zprávy IEC/TR 61000-3-15 je pro zkoušky emise a odolnosti znázorněna na obrázku 3.



Obrázek 3 – Zkušební sestava pro kombinované zkoušky emise/odolnosti

Jednotka impedance znázorněná na obrázku 3 simuluje impedanci veřejné napájecí soustavy jak je uvedena v 4.3. Jakýkoliv nelineární proud tekoucí do nebo ze střídače rozptýlené výroby způsobí zkreslení napětí na střídačové straně impedance.

Napájecí zdroj AC simuluje veřejnou napájecí soustavu a může produkovat zkreslené napětí. Napájecí zdroj AC nebo jednotka impedance musí mít možnost odpojení simulovaného napájení od střídače. To může být provedeno samostatným spínačem, jak je znázorněno na obrázku 3. Rozpojení tohoto přepínače simuluje funkci jističe, tj. oddělení střídače výroby od veřejné distribuční soustavy na místní úrovni, zatímco programování napětí na nulu simuluje situaci, kdy napětí veřejné napájecí distribuční soustavy klesne na nulu.

Pokud napájecí zdroj sloužící k simulaci veřejné napájecí soustavy je regenerativní, může dojít k napájení střídačem zpět do veřejné soustavy. Pokud napájecí zdroj AC není regenerativní (viz definice 2.25), je nutné připojení jednotky paralelní zátěže nebo zdroj musí být schopen absorbovat veškerou energii produkovanou střídačem. Zátěžová jednotka musí být schopna vytvářet lineární a nelineární průtok proudu simulující typické zatížení například v domácnostech a úřadech.

DC napájení znázorněné na obrázku 3 zajišťuje napájení střídače nastavitelné na různé úrovně výkonu zajišťující provoz střídače na různých úrovních výroby energie. Při zkouškách se použije standardní DC napájení s možností řízení napětí počítačem nebo jinak kontrolovatelné.

6.4 Postup zkoušky emise harmonických proudů střídačem DG

DG se zapojí, jak je znázorněno na obrázku 3 (s impedancí překlenutou) a nastaví jmenovité napětí simulované veřejné distribuční soustavy.

Pro DG pod 16 A se ověří, zda napětí simulované veřejné distribuční soustavy má harmonické složky napětí, které jsou menší než maximální hodnoty uvedené v ČSN EN 61000-3-2 a znázorněné v tabulce 7.

Tabulka 7 – Harmonické napětí simulované veřejné distribuční soustavy

0,9 % pro harmonickou řádu 3;
0,4 % pro harmonickou řádu 5;
0,3 % pro harmonickou řádu 7;
0,2 % pro harmonickou řádu 9;
0,2 % pro sudé harmonické řádu od 2 do 10;
0,1 % pro harmonické řádu od 11 do 40.

Pro DG nad 16 A se ověří, zda napětí simulované veřejné distribuční soustavy má harmonické napětí, které jsou menší než maximální hodnoty uvedené v ČSN EN 61000-3-12, kapitola 7.1 a znázorněné v tabulce 8.

Tabulka 8 – Harmonické napětí simulované veřejné distribuční soustavy

1,25% pro harmonickou řádu 3;
1,5 % pro harmonickou řádu 5;
1,25 % pro harmonickou řádu 7;
0,6 % pro harmonickou řádu 9;
0,4 % pro sudé harmonické řádu od 2 do 10;
0,7 % pro harmonickou řádu 11;
0,6 % pro harmonickou řádu 13;
0,1 % pro harmonické řádu 12 a od 14 do 40.

Ověří se, zda emise proudu DG zůstávají v mezích uvedených v tabulce 9.

Meze uvedené v tabulce 9 jsou definovány jako procentní hodnoty úrovně průměrné efektivní hodnoty proudu (I_{rms}), při kterém jednotka DG může nepřetržitě pracovat při plném zatížení.

Metoda pro stanovení maximálního nepřetržitého pracovního proudu je metoda používaná v normě v ČSN EN 61000-3-12 (v podstatě průměr proudu po celé období sledování při střídači provozovaném na maximálním výkonu).

Střídač se nejprve provozuje při maximálním (jmenovitém) výkonu, který může plynule zvládnout. Proud při této úrovni je základem pro meze, i když jednotka je zkoušena při výkonu 25 % a 50 %.

Tabulka 9 – Meze pro DG až do fázového proudu 75 A (v procentech (I_{rms}))

Řád harmonické	2	3	5	7	9	11	13	Liché harmonické od H_{15} do H_{39}	Sudé harmonické od H_4 do H_{40}
Pro DG ≤ 600 W	2%	$30\% \times \lambda$	10%	7%	5%	3%	3%	3%	2%
Pro DG > 600 W	1%	21,6%	10,7%	7,2%	3,8%	3,1%	2%	1%	1%

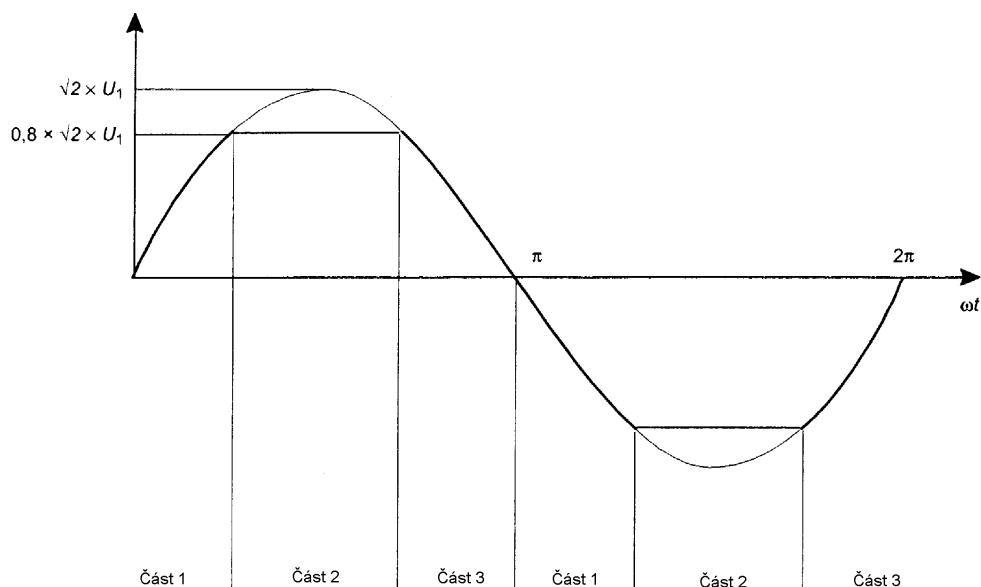
Poznámka λ je účinník DG, měřený za podmínky 100% výkonu.

6.5 Zkušební postup pro emise systému

V tabulce 10 jsou uvedeny hodnoty zkreslení napětí V-THD o velikosti 4,0 % založené na plochem tvaru vlny a tvaru vlny s překmitem podle ČSN EN 61000-4-13.

Tabulka 10 – Hodnoty plochého tvaru vlny a tvaru vlny s překmitem pro zkreslení napětí 4,0 %

Řád harmonické	Základní	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Amplituda (%)	100	3,3	1,6	1,1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1
Fáze pro plochý tvar vlny	0°	10°	210°	300°	220°	20°	0°	120°	180°	0°
Fáze pro tvar vlny s překmitem	0°	180°	0°	270°	0°	180°	0°	0°	0°	0°



Příklad pro třídu 3 podle ČSN EN 61000-2-4:

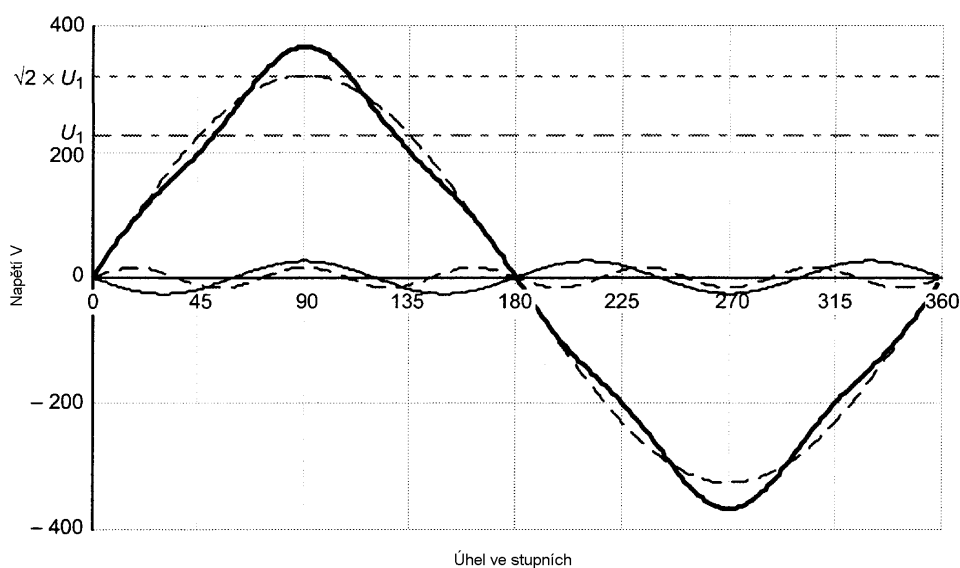
$U_1 = 255,7 \text{ V}$ (základní napětí)

$0,8 \times \sqrt{2} \times U_1 = 289,3 \text{ V}$ (max. napětí na plochem tvaru vlny)

$\sqrt{2} \times U_1 = 361,6 \text{ V}$ (U_1 vrcholové napětí)

U (efektivní hodnota) = 230 V (výsledná efektivní hodnota napětí)

Obrázek 4 - Plochý tvar vlny



Příklad pro třídu 3 podle ČSN EN 61000-2-4:

U (efektivní hodnota) = 230 V (výsledné napětí)

U_1 = 229 V (základní napětí)

h = 3: 8 % U_1 / 180°

h = 5: 5 % U_1 / 0°

Obrázek 5 - Tvar vlny s překlitem

6.6 Odolnost systému DG

Za účelem zkoušení odolnosti zařízení DG se jmenovitým fázovým proudem až do 75 A se může použít norma ČSN EN 61000-4-13. Přestože rozsah platnosti ČSN EN 61000-4-13 zahrnuje zařízení se jmenovitým fázovým

proudem jen do 16 A. Stejně zásady platí i pro zařízení DG vyššího výkonu, protože zařízení je vystaveno stejnému zkruslení veřejné soustavy.

Obecně platí, že zkušební sestava je podobná té, která je na obrázku 3. Simulátor distribuční soustavy (zdroj AC napájení) je naprogramován tak, aby generoval harmonické a mezharmónické napětí stanovené v ČSN EN 61000-4-13.

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 zákazníka 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 vn je oprávněné vztázení mezních hodnot harmonických ke zkratovému výkonu soustavy. Pokud S_i je dohodnutý příkon instalace zákazníka a S_{sc} je zkratový výkon soustavy ve společném napájecím bodu je

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

pak zařízení může být uvnitř instalace zákazníka 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 zákazníka. V této zprávě je uvedena tabulka vážících činitelů pro různé typy zařízení vytvářejících harmonické a postup příslušných výpočtů.

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

V této etapě je příslušná plánovací úroveň rozdělena pro každého zákazníka 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, umožňujícímu všeobecnější metodu stanovení mezí emise pro větší rušivé instalace.

7.2.1 Relativní hodnoty proudů harmonických jako meze emise

Dovolený podíl celkové zkruslení napětí nebude překročen, pokud příslušné meze se vyjádří jako relativní proudy harmonických. Tabulka 11 uvádí příklad takovýchto mezí; aplikovatelných na zákazníka 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 zákazník nepoužívá kondenzátory a/nebo filtry pro kompenzaci účinníku.

Tabulka 11 – Orientační hodnoty některých mezí emise proudů lichých harmonických relativních k velikosti instalace zákazníka

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

Kde:

E_{lhi} je mez emise proudu harmonické řádu h pro zákazníka i

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

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

7.2.1.1 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:

$$U_h = \sqrt{\sum_i U_{hi}^\alpha} \quad (3)$$

kde:

U_h je výsledná harmonická složka 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.

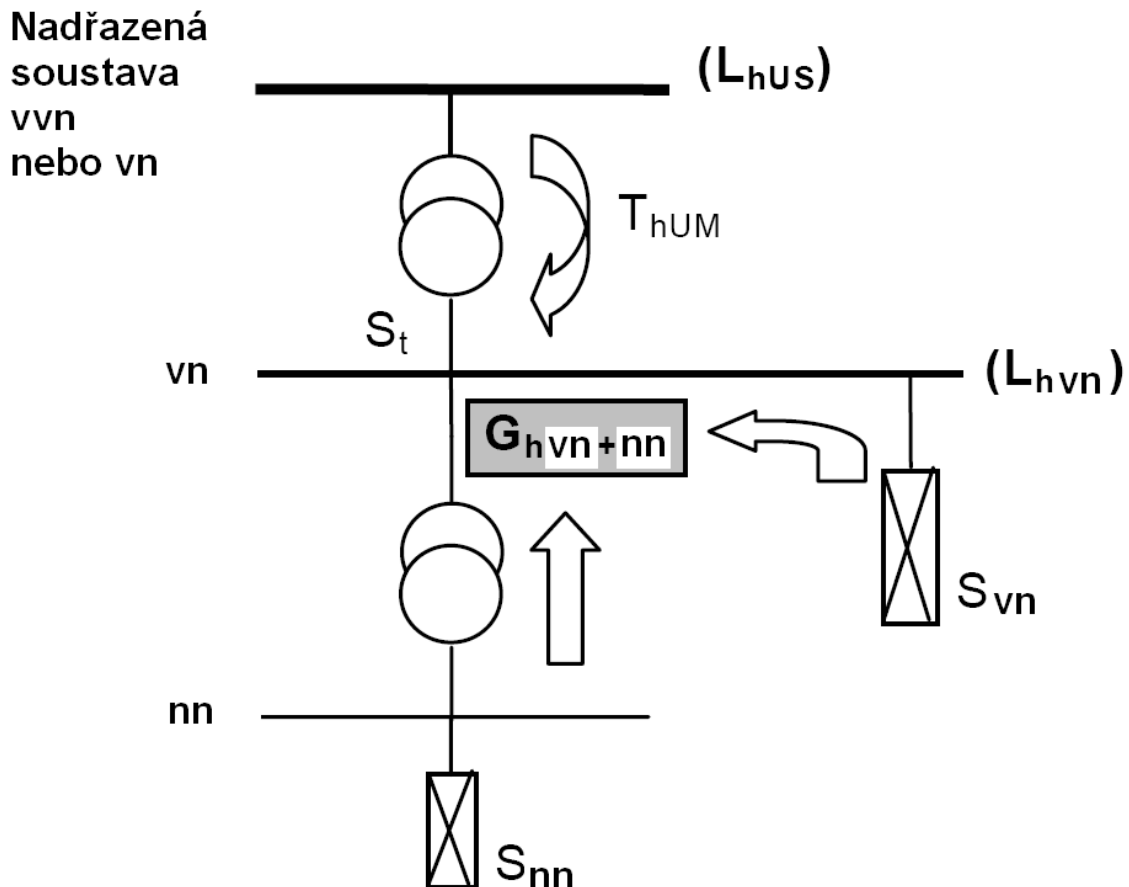
Tabulka 12 – Orientační hodnoty sumačních exponentů harmonických

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

7.2.2 Všeobecný přístup založený na sumačním zákonu

7.2.2.1 Souhrnné emise určené k rozdělení mezi zákazníka

Uvažujme typickou distribuční soustavu znázorněnou na obrázku 6 za cílem stanovení mezí emise ve vn.



Legenda k obrázku a následujícímu textu:

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

Obrázek 6 – Příklad vyšetřované distribuční soustavy vn pro rozdělení příspěvků

Nejprve je nutné aplikování sumačního zákona (rovnice 3) 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 6), 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 úhmu vn a nn instalací napájených z vyšetřované soustavy vn je dán vztahem:

$$G_{hvn+nn} = \sqrt[\alpha]{L_{hvn}^{\alpha} - (T_{hUM} \cdot L_{hUS})^{\alpha}} \quad (5)$$

Kde

- G_{hvn+nn} je maximální souhrnný příspěvek k napětí harmonické složky řádu h přicházející od úhmu vn a nn instalací, které mohou být napájeny ze sběrnice vn (vyjádřený v procentech napětí základní složky);
- L_{hvn} je plánovací úroveň napětí harmonické složky řádu h soustavy vn;

- L_{hUS} je plánovací úroveň napětí harmonické složky řádu h nadřazené soustavy (protože mohou být potřeba různé plánovací úrovně pro úrovně přechodných napětí mezi vn a vn , byla jako obecný termín použita plánovací úroveň nadřazené soustavy);
- T_{hUM} je koeficient přenosu zkreslení napětí harmonickou řádu h z nadřazené soustavy do vyšetřované soustavy vn . T_{hUM} se může určit simulací nebo měřeními. Při počátečním zjednodušeném vyhodnocování se koeficienty přenosu T_{hUM} 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 12 a článek 7.2.1.1).

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 zákazníků. V těchto případech by se místo toho měl přidělit spravedlivý podíl na emisích mezi různými úrovněmi napětí soustavy.

7.2.2.2 Individuální meze emise

Každému zákazníkovi bude povolen jen zlomek souhrnných mezí emise G_{hvn+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 zákazníka je často spojen s podílem na investičních nákladech soustavy.

$$E_{Uhi} = G_{hvn+nn} \alpha \sqrt{\frac{S_i}{S_t}} \quad (6)$$

kde

- E_{Uhi} je mez emise dovoleného napětí harmonické složky řádu h instalace (i) přímo napájené z vn (%);
- G_{hvn+nn} je maximální souhrnný příspěvek k napětí harmonické složky řádu h přicházející od úhrnu vn a nn instalací, které mohou být napájeny proudem z vyšetřované soustavy vn daným rovnicí (7);
- $S_i = P_i / \cos(\varphi_i)$ je dohodnutý příkon instalace zákazníka 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 12 a článek 7.2.1.1).

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 zákazníků, kteří mají nízký dohodnutý příkon může rovnice 6 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:

$$E_{Ihi} = \frac{E_{Uhi}}{Z_{hi}} \quad (7)$$

- E_{Ihi} je mez emise dovoleného proudu harmonické složky řádu h zákazníka „i“;
- Z_{hi} je impedance na kmitočtu harmonické soustavy v místě konverze mezí emise z napětí na proud u zákazníka „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 mezí 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 zákazníka jsou rozloženy podél napáječů, může mít výše uvedený přístup za následek specifikování příliš přísných mezí proudu harmonických, penalizujících zákazníka připojené ve vzdálenosti, kde zkratový výkon může být značně menší než na začátku napáječe. Přístup pro dělení dovolené souhrnné emise G_{nvn} 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 zkratování a očekávaného příspěvku od vyšetřované instalace při různých možných provozních podmínkách. Přípustnost vyšších mezí emise bude poskytnuta zákazníkům 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 vztaženy k základnímu napětí.

- s ohledem na problémy s flikrem by se měly všechny meziharmonické 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 meziharmonických 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 meziharmonických neměly překročit 0,3 % pro zabránění slyšitelného hluku radiopřijímačů a jiné zvukové techniky;
- za přítomnosti nelineárních instalací jsou meziharmonické 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 %.

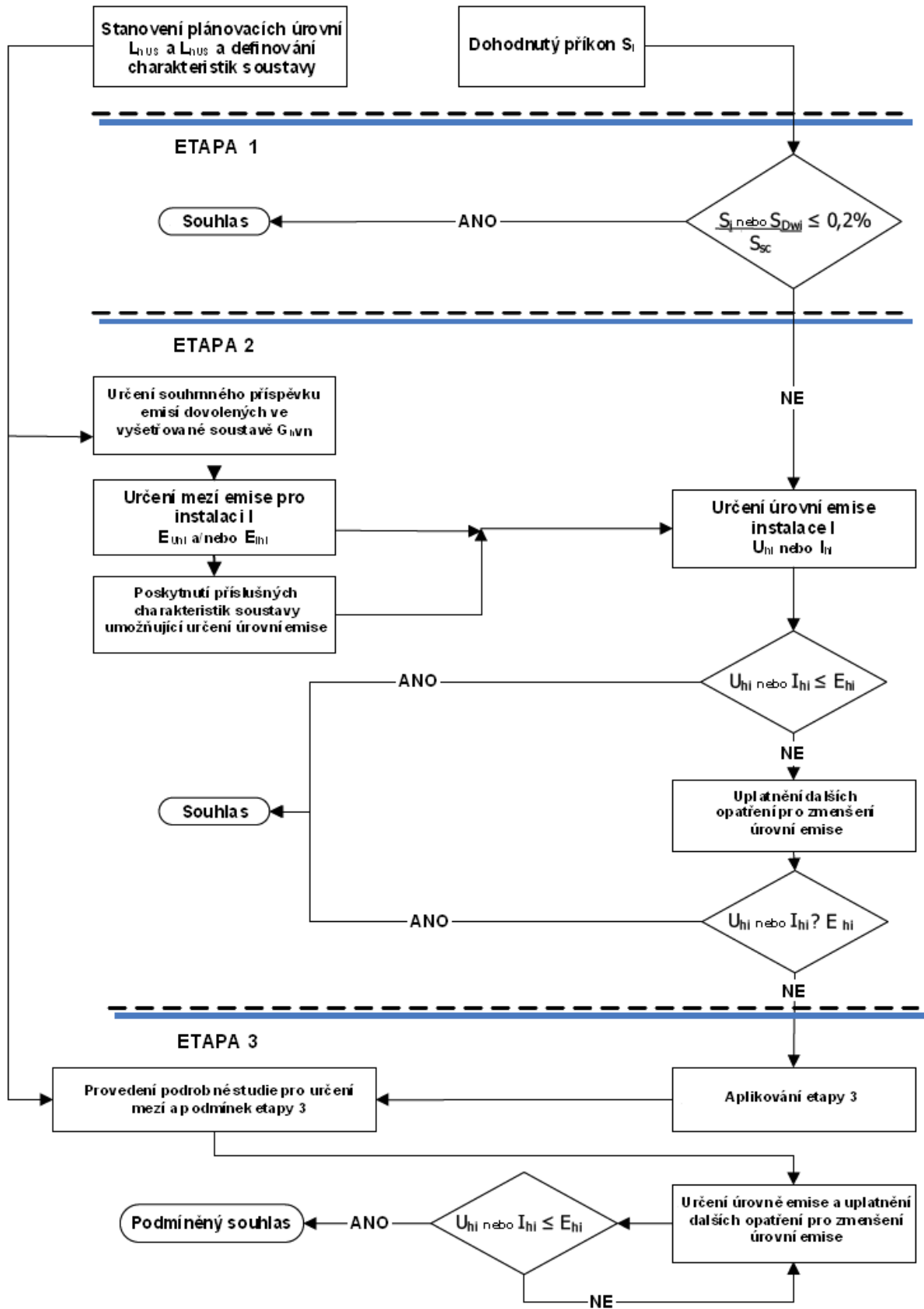
Pokud napětí meziharmonické způsobené instalací je pod 0,1 % k žádnému rušení nedojde.

7.5 Vývojový diagram postupu vyhodnocování

Obrázek 7 uvádí přehled postupu vyhodnocování.

PROVOZOVATEL DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

ODBĚRATEL



Obrázek 7 – Vývojový diagram postupu vyhodnocování v distribuční soustavě vn

8 Meze emise harmonických způsobených instalacemi připojovanými do soustav vvn

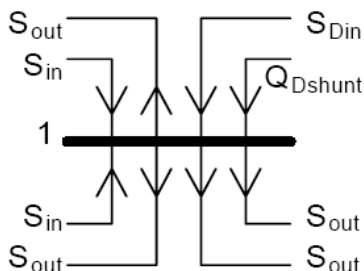
8.1 Etapa 1: zjednodušené vyhodnocení emise harmonických

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 zákazníka připojovaného v dané rozvodně vvn jako první základní informace je předpověď toků výkonu beroucí v úvahu rozvoj soustavy v budoucnu.



Obrázek 8 – Určení S_t v jednoduché soustavě vvn

Celkový výkon se určí jednoduše:

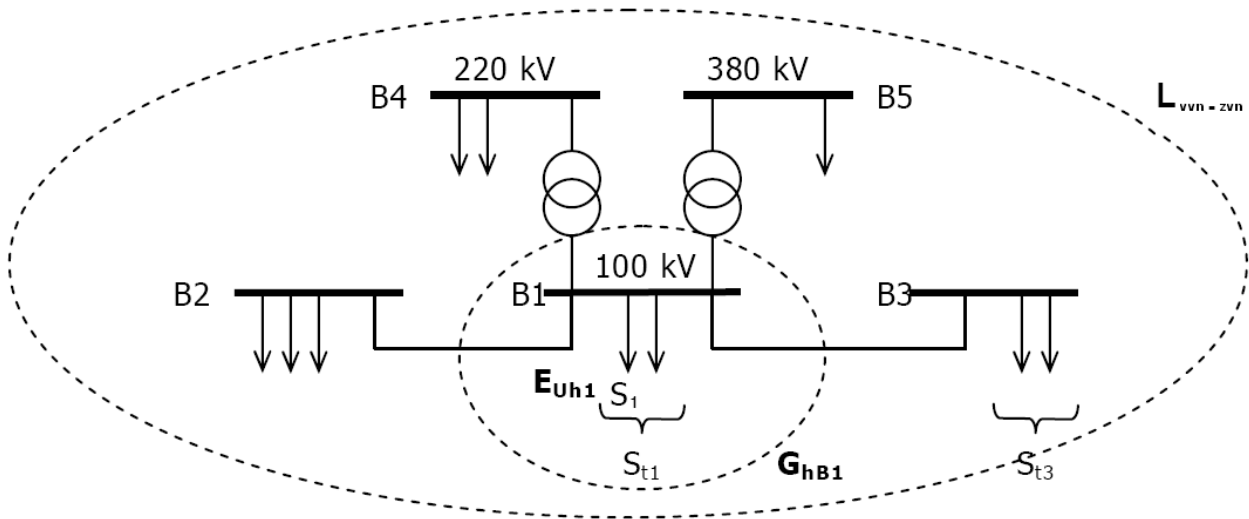
$$S_t = \sum S_{Din} + \sum S_{out} + \sum S_{Dshunt} \quad (8)$$

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 ($L_{hvvv-zvn}$ viz tabulka 2) mezi různé rozvodny nebo sběrnice v dané soustavě.



Obrázek 9 – Přidělení plánovací úrovně rozvodně v soustavě vvn

Obrázek 9 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:

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

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

a

$L_{hvn-zvn}$ je plánovací úroveň,

U_{hi} 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:

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

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

Označíme-li vyšetřovaný uzel m , mohou se hodnoty S_{tm} a S_{ij} 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 v_{vn} 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 (v_{vn});
- G_{hBm} je maximální globální příspěvek k napětí harmonické řádu h všech rušivých instalací, které se mohou připojit v dané rozvodně B_m ;
- $S_i = P/\cos\varphi_i$ je dohodnutý příkon instalace zákazníka 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 12 a článek 7.2.1.1).

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 zákazníků, 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 zákazníka „ i “ (viz 4.3).

8.3 Etapa 3: připojování za mimořádných okolností

V soustavě v_{vn} se postupuje obdobně jako v článku 7.3.

8.4 Meziharmonické

V soustavě v_{vn} se postupuje obdobně jako v článku 7.4.

9 Měření harmonických a meziharmonických

9.1 Měření a měřicí přístroje pro distribuční soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7 a ČSN EN 61000-4-30

Všeobecnou směrnici o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických je norma ČSN EN 61000-4-7. Tato norma se týká přístrojové techniky určené k měření spektrálních složek v kmitočtovém rozsahu do 9 kHz, které jsou superponovány na základní složku distribučních soustav 50 Hz. Měření a přístrojová technika pro měření nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz je předběžně definována v příloze B uvedené normy.

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.

9.2 Specifické problémy měření harmonických u rozptýlené výroby elektřiny

9.2.1 Typické charakteristiky zařízení DG připojeného k distribuční soustavě

Charakteristiky zařízení DG se podle technické zprávy IEC/TR 61000-3-15 měří sestavou přístrojů znázorněnou na obrázku 3.

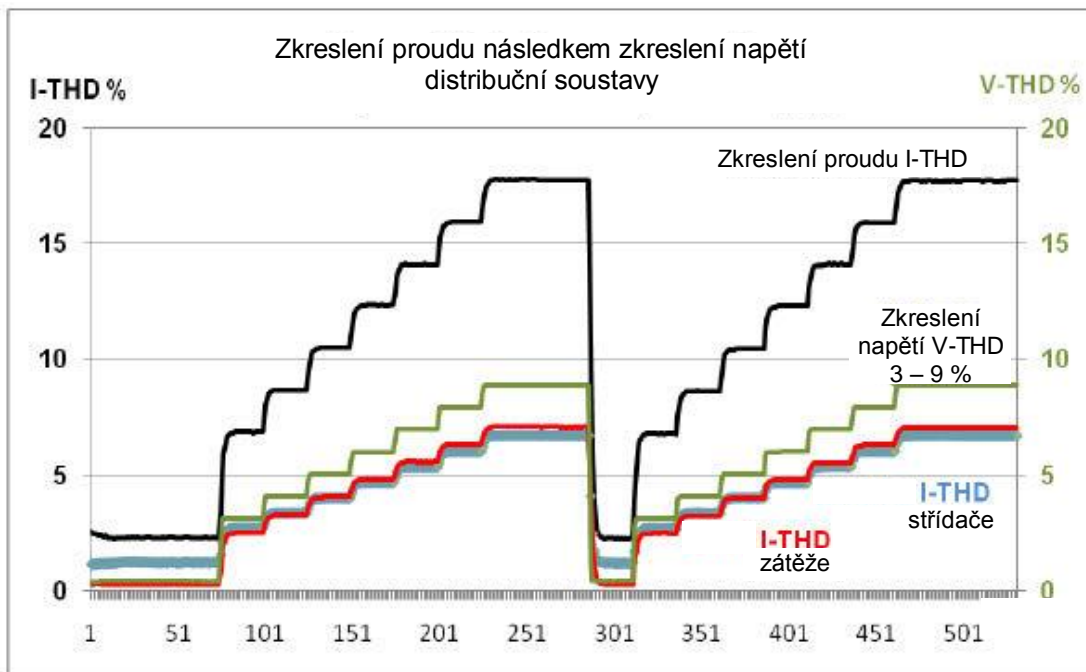
U zařízení DG, jehož řídicí systém snímá svůj referenční tvar vlny proudu z naměřeného síťového napětí, harmonické složky napětí produkují harmonické složky proudu, které mají tendenci zvyšovat zkreslení napětí.

Tyto charakteristiky jsou znázorněny na obrázku 10, kde simulované zkreslení napětí v distribuční soustavě se zvyšuje z 3 % na 9 % v 1 % krocích. Sestava pro tato měření je stejná jako na obrázku 3.

Vodorovná stupnice obrázku představuje měřicí okna 200 ms v souladu s ČSN EN 61000-4-7, článek 4.4.1.

POZNÁMKA Pro účely normy ČSN EN 61000-4-7 má časové okno šířku $N = 10$ základních period (sítě 50 Hz), tj. přibližně 200 ms.

Zkreslení proudu v distribuční soustavě je zhruba dvojnásobkem naprogramovaného zkreslení napětí ve zdroji simulujícím distribuční soustavu.



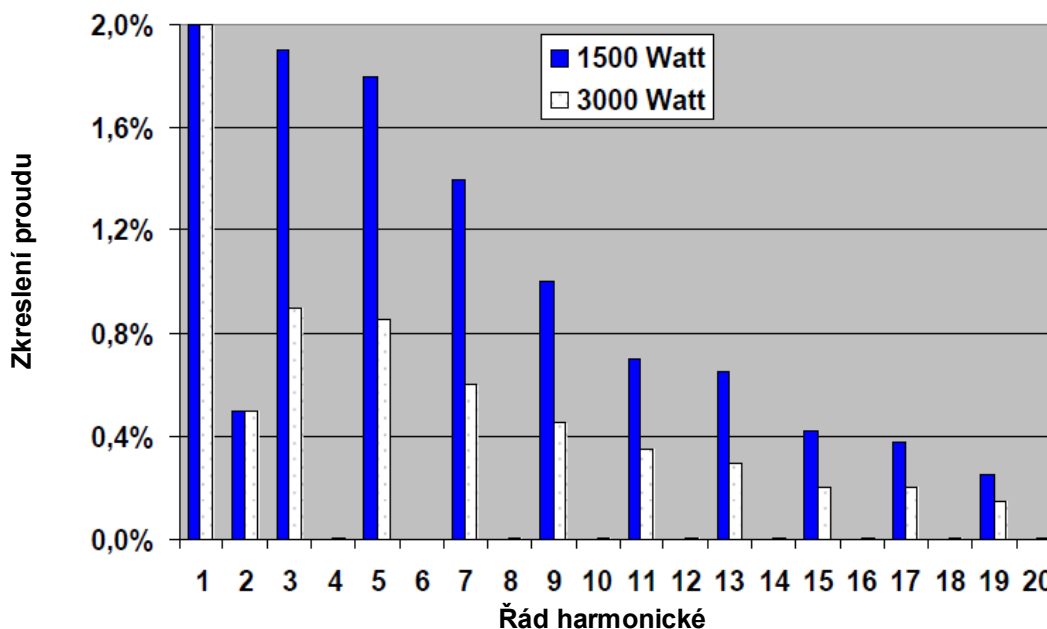
Obrázek 10 – Celkové zkreslení proudu způsobené distribuční soustavou a připojeným střídačem

V navrhovaných zkouškách harmonických proudu podle článku 6.3 by se některé úrovně harmonických proudů mohly značně lišit podle různých podmínek generování.

Například byla měřena zkreslení při vysokém a nízkém příkonu střídače 5 kW. Výsledky na obrázku 11, ukazují relativní zkreslení v procentech základní složky proudu harmonickými až do řádu 20 při různých podmínkách provozu střídače.

Jak je znázorněno na obrázku 11, zkreslení při výkonu 30 % (provozní výkon střídače 1 500 W) je dvakrát větší než zkreslení při výkonu 60 % (provozní výkon střídače 3 000 W).

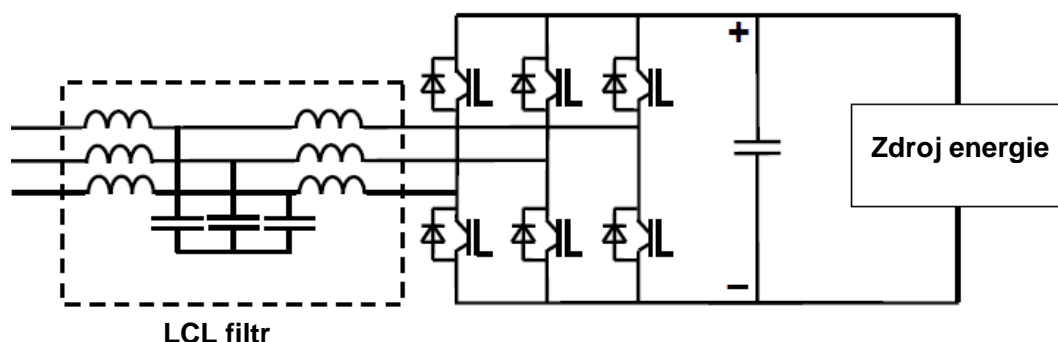
Relativní zkreslení proudu střídače při různých podmínkách výkonu



Obrázek 11 – Celkové zkreslení proudu způsobené distribuční soustavou a připojeným střídačem

9.2.2 Chování rostoucího počtu aktivních napájecích měničů (AIC) s filtry LCL připojených k distribuční soustavě

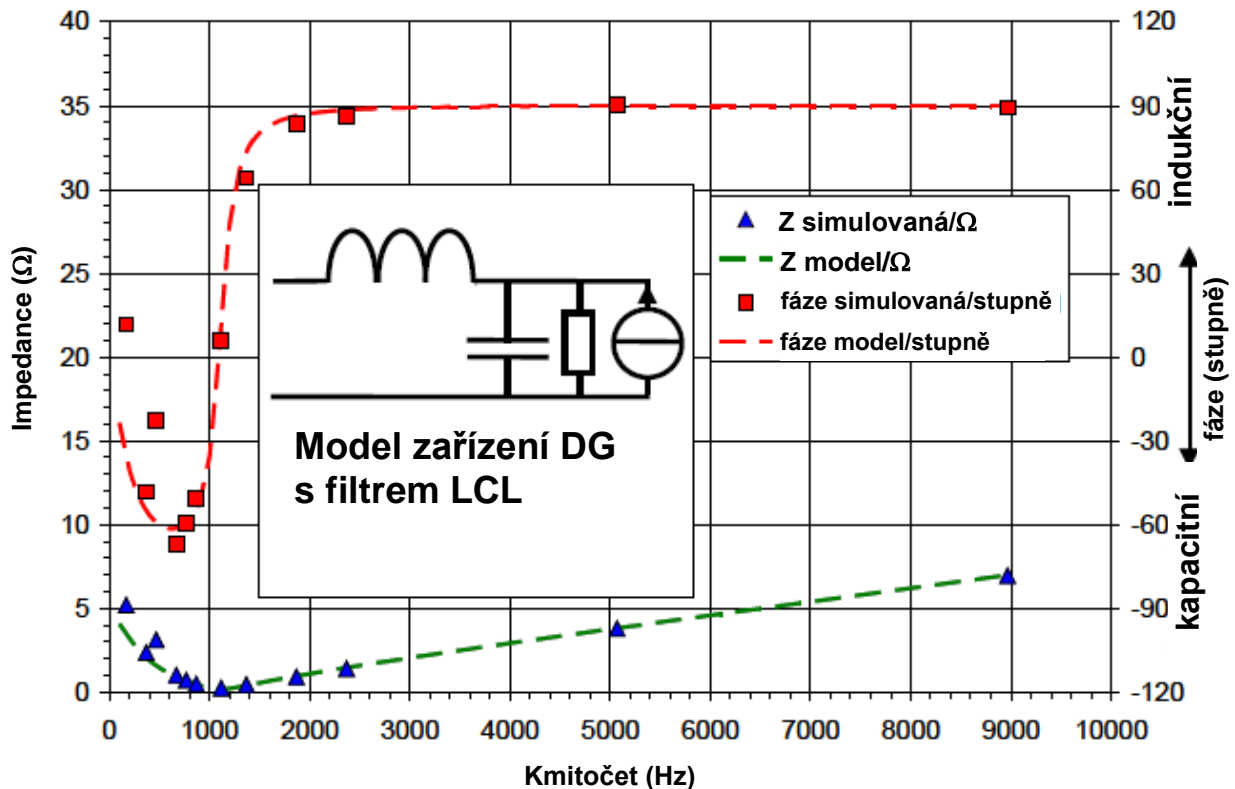
Podle přílohy technické zprávy IEC/TR 61000-3-15 byla ve Finsku provedena měření, aby se vyšetřilo, jak se změní zkreslení napětí, pokud se zvýší počet paralelně pracujících aktivních napájecích měničů (definice viz 2.25) s filtry LCL. Měření byla provedena s měniči jmenovitého proudu nižšího než 93 A, aby lépe vynikly harmonické proudy.



Obrázek 12 – Zařízení DG s aktivním napájecím měničem a filtrem LCL

Pro vysvětlení funkce aktivního napájecího měniče (AIC) s filtrem LCL obrázek 12 ukazuje výsledek studie simulace, v níž impedance zařízení DG byla definována a porovnána s modelem, který nahradil IGBT střídač a filtrační indukčnost na jeho svorkách s ideálním zdrojem proudu a rezistorem. Rychlá regulace proudu střídačem napodobuje zdroj proudu. Nicméně, střídač by však měl stabilizovat rezonanci filtru LCL. To se obvykle provádí řízením střídače

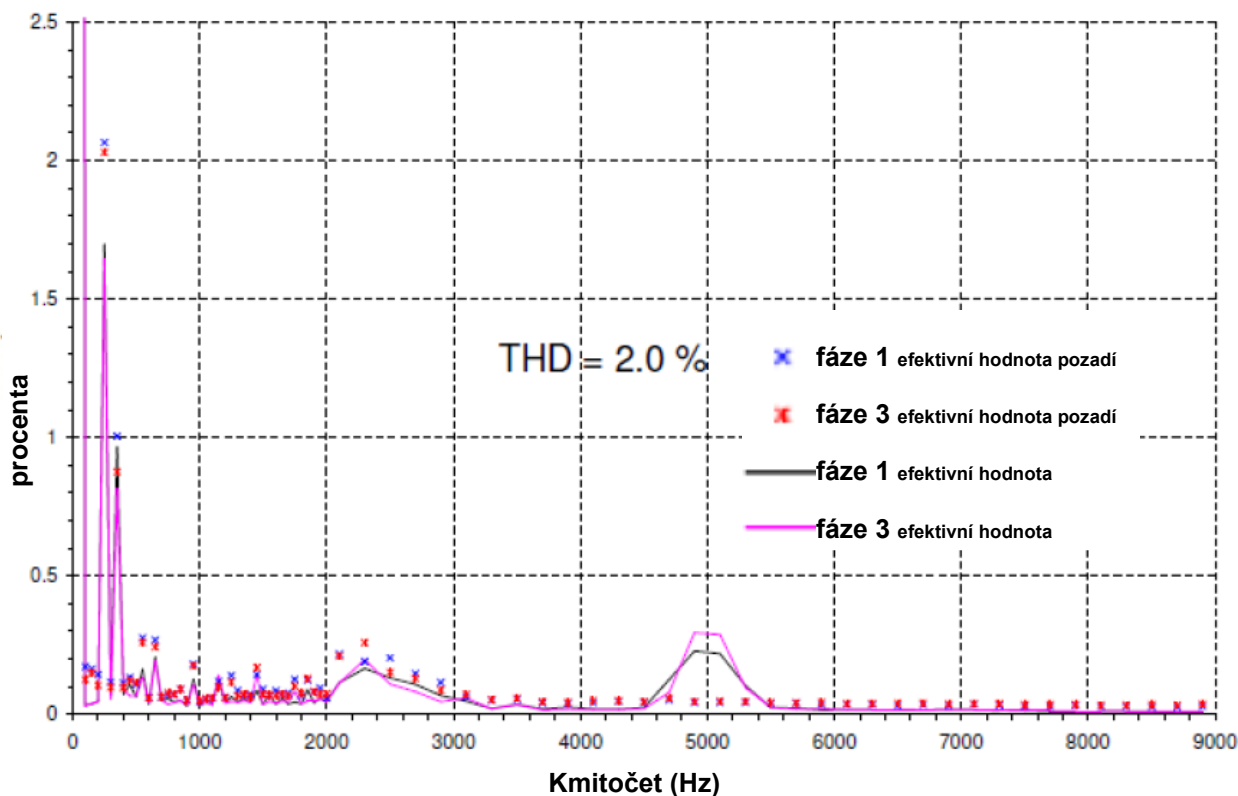
Toto umělé tlumení rezonance je také důvod, proč fázový úhel impedance v rozsahu rezonance filtru není příliš daleko od nuly. Jak je vidět, alespoň u studovaného zařízení, mohou se tlumení docela přesně modelovat paralelním rezistorem.



Obrázek 13 – Model impedance pro zařízení DG s filtrem LCL

Během měření prováděných ve Finsku, byly zaznamenány harmonické (skupiny harmonických) pozadí sruženého napětí a hodnota THD až do 2 kHz.

Jako příklad jsou na obrázku 14 efektivní hodnoty napětí pozadí a spektrum harmonických napětí pro čtyři připojené měniče AIC každý s efektivní hodnotou fázového proudu 10 A.



Obrázek 14 – Spektrum harmonických napětí pro čtyři připojené měniče AIC

Zvýšení hodnot spektra na kmitočtu 5000 Hz odpovídá spínacímu kmitočtu měniče, které se zvyšováním počtu měničů snižuje.

9.2.3 Závěry týkající se rostoucího počtu aktivních napájecích měničů (AIC) připojovaných k distribuční soustavě

- Aktivní napájecí měniče AIC s filtry LCL nezvyšují zkreslení napětí, ale mají tendenci je snížit.
- Vzhledem k efektu filtrování jsou chybné výsledky pravděpodobnější, pokud se dodržování mezních hodnot harmonických ověřuje v distribuční soustavě se zkresleným napětím.
- Harmonické vztahující se ke spínacímu kmitočtu jsou úměrné druhé odmocnině počtu paralelně zapojených měničů AIC, pokud měniče jsou blízko sebe a provozují se ve stejném pracovním bodě.
- Pokud jsou stanoveny meze pro harmonické nad 2 kHz je třeba brát v úvahu vliv širšího pásma 200 Hz seskupení hodnot harmonických.

POZNÁMKA Měření těchto složek nevyžaduje vysoké rozlišení v kmitočtové oblasti. Místo toho je obvyklé seskupit energii analyzovaného signálu do předem definovaných kmitočtových pásem. Podle prováděných měření v pásmech vyšších kmitočtů měla by se šířka pásma pro seskupování těchto emisí fixovat na 200 Hz. Střední kmitočet první možné skupiny je 2,1 kHz (viz příloha B.2 normy ČSN EN 61000-4-7) ..