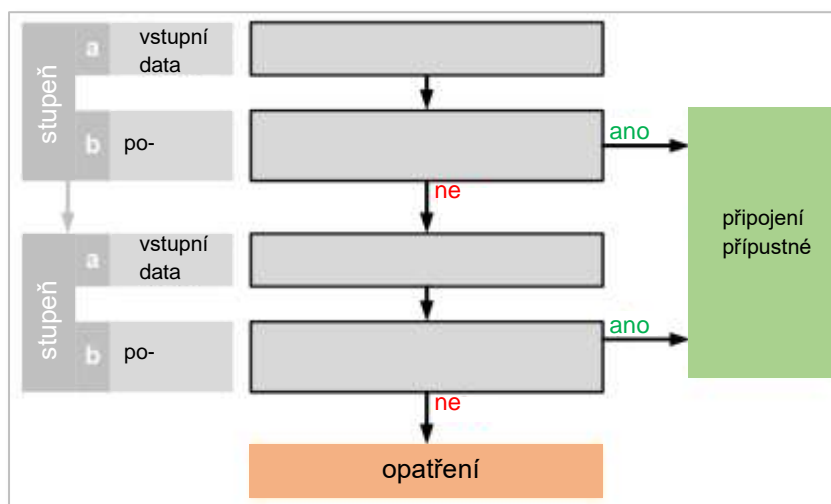


Technická pravidla pro posuzování zpětných vlivů na síť

Část B: Požadavky a posouzení

Oddíl I: Nízké napětí



Za přípravu tohoto dokumentu odpovídá mezinárodní pracovní skupina EMC & Power Quality (D-A-CH-CZ).

Impresum a kontakt

Vydavatel:

Österreichs E-Wirtschaft

Brahmsplatz 3
A-1040 Wien
akademie@oesterreichsenergie.at

VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Hintere Bahnhofstrasse 10
CH-5000 Aarau
www.strom.ch

ČSRES – České sdružení regulovaných elektroenergetických společností

Na hroudě 19/2149
10000 Praha 10 – Strašnice
www.csres.cz

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN)

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.

Bismarckstr. 33
10625 Berlin

Copyright:

© VSE, OE, VDE FNN, CSRES

Tento dokument je chráněn autorskými právy. Jakékoli změny obsahu jsou zakázány. Autoři nenesou žádnou odpovědnost za chyby a vyhrazují si právo tento dokument kdykoli změnit bez dalšího upozornění.

Obsah

Předmluva.....	5
1. Změny napětí a flickr.....	6
1.1 Změny napětí.....	6
1.1.1 Pomalé změny napětí.....	6
1.1.2 Rychlé změny napětí.....	6
1.2 Flicker	6
1.2.1 Úroveň kompatibility	7
1.2.2 Emisní limity	Chyba! Záložka není definována.
1.3 Posouzení	10
1.3.1 Zjednodušené posouzení (stupeň 1)	10
1.3.2 Podrobné posouzení (stupeň 2)	12
1.3.3 Schéma ke stanovení mezních hodnot emisí	13
1.3.4 Další poznámky k hodnocení.....	14
1.3.5 Řiditelný distribuční transformátor	15
1.3.6 Postup ověřování	15
2. Nesymetrie.....	16
2.1 Úroveň kompatibility	16
2.2 Mezní hodnoty emisí.....	16
2.3 Posouzení	19
2.3.1 Mezní kritérium.....	19
2.3.2 Zjednodušené posouzení (stupeň 1)	20
2.3.3 Podrobné posouzení (stupeň 2)	20
3. Harmonické, meziharmonické, supraharmonické.....	23
3.1 Harmonické	23
3.1.1 Kompatibilní úroveň.....	23
3.1.2 Mezní hodnoty emisí	23
3.1.3 Posouzení	25
3.2 Meziharmonické	28
3.2.1 Kompatibilní úroveň.....	28
3.2.2 Mezní hodnoty emisí	28
3.2.3 Posouzení	29
3.3 Supraharmonické	29
3.3.1 Kompatibilní úroveň.....	29
3.3.2 Mezní hodnoty emisí	30
3.3.3 Posouzení	30
4. Komutační poklesy.....	31
4.1 Kompatibilní úroveň	31
4.2 Mezní hodnoty emisí.....	31
4.3 Posouzení	31
4.3.1 Stupeň 1 – Zjednodušené posouzení	32
4.3.2 Stupeň 2 – Podrobné posouzení	33
5. Napětí signálů.....	34
5.1 Úroveň signálu.....	34
5.2 Posouzení	34

5.2.1	Ovlivnění úrovně zařízeními uživatelů sítě.....	34
5.2.2	Zpětný vliv na úroveň signálu způsobený zařízeními pro kompenzaci účinníku.....	35
5.3	Emise způsobené zařízeními uživatelů sítě	36
Seznam norem.....		37
Seznam literatury		38

Předmluva

Tento dokument shrnuje metody posuzování a výpočet mezních hodnot emisí pro zařízení uživatelů sítě pro připojení k veřejné síti nízkého napětí. Představuje první ze tří oddílů části B třetího vydání dokumentu Technická pravidla D-A-CH-CZ pro posuzování zpětných vlivů na síť

Vzhledem k tomu, že jsou tyto tři oddíly pro posuzování v sítích nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí použitelné nezávisle na sobě, jsou obecné znalosti a specifikace z části A (Základy) v určitých bodech základním předpokladem pro použití tohoto dokumentu. Na všechny příslušné pasáže v dokumentu jsou uvedeny odpovídající odkazy.

Dokument slouží jak provozovatelům sítí, tak projektantům a zhotovitelům k řádnému posouzení zpětných vlivů zařízení uživatele sítě na síť v rámci plánování a ke stanovení odpovídajících mezních hodnot emisí pro kompatibilní provoz se sítí. Kromě toho lze již v počáteční fázi projektování posoudit, zda budou v případě potřeby požadována dodatečná opatření ke snížení emisí rušení.

1. Změny napětí a flikr

1.1 Změny napětí

1.1.1 Pomalé změny napětí

Relativní pomalé změny napětí jsou vyhodnocovány jako odchylka napětí Δu .

Kompatibilní úrovně pro pomalé změny napětí ve veřejných sítích nízkého napětí nejsou stanoveny. Odchylka napětí by za normálních provozních podmínek a bez přerušení neměla překročit $\pm 10\%$.

Požadavky:

- Při nerušeném provozu sítě nesmí velikost pomalé změny napětí způsobené všemi výrobními a/nebo akumulacími zařízeními v žádném společném napájecím bodu v této síti překročit hodnotu 3% oproti napětí bez výrobních a/nebo akumulacích zařízení.

Provozovatel sítě může stanovit odchylné mezní hodnoty pro pomalé změny napětí, pokud to typ a způsob provozu sítě umožňuje nebo vyžaduje.

Poznámka:

U odběrných zařízení je přípustná pomalá změna napětí stanovena na základě individuálních plánovacích směrnic provozovatele sítě.

1.1.2 Rychlé změny napětí

Úrovně kompatibility pro rychlé změny napětí ve veřejných nízkonapěťových sítích nejsou stanoveny.

Požadavky:

- Maximální změna napětí způsobená jedním zařízením uživatele sítě nesmí překročit 3% v případě častých událostí (četnost opakování $r \geq 0,01 \text{ min}^{-1}$). Posouzení flikru musí být provedeno také pro četnosti opakování $r \geq 0,01 \text{ min}^{-1}$.
- Pro občasné změny napětí (několikrát za den s četností opakování $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$) je ve výjimečných případech přípustných 6% [EN 61000-3-3].

Rychlé změny napětí zařízení několika uživatelů sítě se zpravidla nepřekrývají, pokud k rychlým změnám napětí nedochází synchronizovaným způsobem.

Pokud napětí během průběhu změny napětí klesne, pak je výsledná hodnota d kladná; pokud se napětí během průběhu změny napětí zvýší, pak je výsledná hodnota d záporná [EN 61000-4-15].

1.2 Flikr

Je-li znám relativní průběh změny napětí $d(t)$, lze hodnotu P_{st} určit počítačovou simulací nebo výpočtem pomocí analytické metody (srov. Část A: Základy). Nepravidelné změny napětí lze posoudit pouze měřením nebo speciálními simulacemi.

S rostoucím zkratovým výkonem sítě by se měly přípustné hodnoty P_{st} a P_{lt} ve veřejných sítích snižovat, protože ve většině případů je ovlivněno více systémů uživatelů sítě v souladu s principem šíření flikru.

1.2.1 Úroveň kompatibility

Podle [EN 61000-2-2] jsou úrovně kompatibility:

$$C_{Pst\ NS} = 1,0$$

$$C_{Plt\ NS} = 0,8$$

Aby bylo možné bezpečně koordinovat vyzařování rušení, provozovatelé sítí specifikují plánovací úrovně pro úroveň VN sítě. Směrné hodnoty jsou:

$$L_{Pst\ MS} = 0,8$$

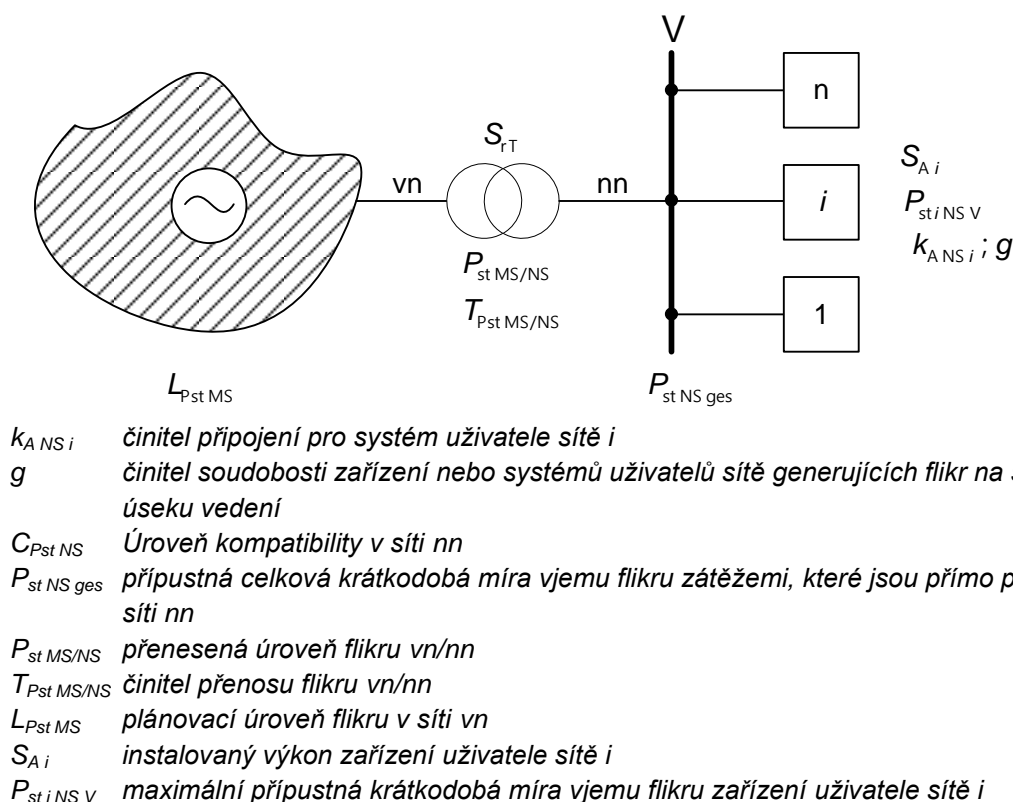
$$L_{Plt\ MS} = 0,6$$

Maximální možná úroveň flikru přenášená ze sítě vn do sítě nn je:

$$P_{st\ MS/NS} = T_{Pst\ MS/NS} \cdot L_{Pst\ MS} \quad (1-1)$$

Tím lze určit poměrný příspěvek pro všechny systémy uživatelů sítě v síti nn.

$$\begin{aligned} P_{st\ NS\ ges} &= \sqrt[3]{C_{Pst\ NS}^3 - P_{st\ MS/NS}^3} \\ &= \sqrt[3]{C_{Pst\ NS}^3 - (T_{Pst\ MS/NS} \cdot L_{Pst\ MS})^3} \end{aligned} \quad (1-2)$$



Obr. 1-1 Přenos/rozdělení úrovní flikru v síti

S přihlédnutím k obvyklému koeficientu přenosu $T_{\text{Pst MS/NS}} = 1,0$ lze určit společné přípustné rušení pro všechna zařízení uživatele sítě nn. Společné přípustné rušení v síti nn je tak

$$P_{\text{st NS ges}} = 0,8$$

$$P_{\text{lt NS ges}} = 0,6$$

Aplikace rovnice (1-2) a odpovídajících rovnic pro vyšší napěťové úrovně nabízí provozovateli sítě možnost individuálně navrhnout koordinaci rušení flikrem na všech úrovních sítě. To umožňuje optimálně využívat dostupné zdroje jak z technického, tak i ekonomického hlediska. Pokud za úrovně napětí odpovídají různí provozovatelé sítí, musí být koordinace prováděna společně mezi všemi zúčastněnými provozovateli sítí.

1.2.2 Mezní hodnoty emisí

Celková úroveň flikru přípustná pro úroveň sítě je rozdělena mezi jednotlivé uživatele sítě pomocí rozdělovacího klíče.

Jako možný rozdělovací klíč je obecně uznáván činitel připojení k_A . Navíc je třeba vzít v úvahu činitel soudobosti g související s existujícími zařízeními generujícími flikr, který má na základě studií k dispozici provozovatel sítě.

Přípustné úrovně rušení flikrem ze zařízení uživatele sítě je třeba považovat za směrné hodnoty, které může provozovatel sítě upravit na vlastní odpovědnost na základě plánovacích výpočtů.

$$P_{\text{st NSV}} = P_{\text{st NS ges}} \cdot \sqrt{k_{A \text{ NS}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-3)$$

Pro síť nn se použije následující činitel připojení.

$$k_{A \text{ NS}} = \frac{S_A}{S_{\text{NS}}} \quad (1-4)$$

Přípustné emise rušení z jednoho systému uživatele sítě v síti nn jsou následující:

$$P_{\text{st NS V}} = P_{\text{st NS ges}} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_{\text{NS}}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{g}} \quad (1-5)$$

$$P_{\text{lt NS V}} = 0,65 \cdot P_{\text{st NS V}} \quad (1-6)$$

Celkový dostupný připojitelný výkon sítě nn S_{NS} určuje provozovatel sítě. Při zohlednění činitelů k_B , k_E , k_S jej lze přibližně určit ze jmenovitého výkonu napájecího transformátoru S_{rT} . Součet $k_B + k_E + k_S$ může být větší než 1.

$$S_{NS} = (k_B + k_E + k_S) S_{rT} \quad (1-7)$$

$P_{st NS ges}$	celkový přípustný krátkodobý flickr od zátěží, které jsou do sítě nn připojeny přímo
$P_{st NS V}$	přípustný maximální krátkodobý flickr zařízení uživatele sítě
$P_{lt NS V}$	přípustný maximální dlouhodobý flickr zařízení uživatele sítě
S_A	instalovaný výkon zařízení uživatele sítě
S_{rT}	jmenovitý výkon transformátoru vn/nn
g	činitel soudobosti sousedních zdrojů flickru ve stejné síti
k_B	činitel spotřeby
k_E	činitel výroby
k_S	činitel akumulace

Poznámka 1:

Činitel soudobosti vyjadřuje pravděpodobnost časového překrytí přístrojů/zařízení generujících flickr. Je určen provozovatelem sítě na základě znalosti struktury sítě a doby provozu (ráno, v poledne, večer, celodenně) přístrojů/zařízení v příslušné síťové oblasti. Pokud nejsou k dispozici spolehlivé údaje, použije se $g = 1$.

Poznámka 2:

Činitelé k_B , k_E , k_S se určují nezávisle na jevu.

Poznámka 3:

Pokud nejsou činitelé k_B , k_E , k_S známy, lze pro sítě, ve kterých nelze očekávat připojení výroben ani akumulací, použít $k_B + k_E + k_S = 1$. V ostatních případech se použije $k_B + k_E + k_S = 1,35$.

Poznámka 4:

Dvouvinuťové transformátory se obvykle používají jako distribuční transformátory ve veřejných sítích. Třívinuťové transformátory představují speciální případ a používají se například pro distribuci do různých dílčích sítí.

Za předpokladu, že nedojde ke vzájemnému rušení mezi dílčími sítěmi, lze pro posouzení použít příslušný dílčí výkon transformátoru.

Při nízké připojené zátěži jsou velmi nízké emisní limity. Z tohoto důvodu se pro každý systém uživatele sítě doporučuje minimální hodnota $P_{st NS V} = 0,30$ nebo $P_{lt NS V} = 0,25$.

Pokud výpočty podle rovnic (1-5) a (1-6) vedou k mezním hodnotám emisí $P_{st NS V} > 0,75$ nebo $P_{lt NS V} > 0,5$, je maximální povolené rušení pro zařízení uživatele $P_{st NS V max} = 0,75$ nebo $P_{lt NS V max} = 0,50$.

1.3 Posouzení

V síti nn se posuzuje fázové napětí.

Zařízení, která splňují požadavky [EN 61000-3-3], lze obecně připojit bez dalšího testování. U zařízení, která splňují speciální požadavky na připojení podle [EN 61000-3-11], je třeba zajistit, aby impedance připojení byla nižší než uvedená impedance připojení. V každém případě musí být zajištěno, že v případě vyššího výskytu jednotek generujících flikr s vysokým činitelem soudobosti v zařízení uživatele sítě musí být dodrženy emisní limity celého zařízení.

Dodržení podmínek připojení stanovených pro jednotky/zařízení ve stupních 1 a 2 obecně neznamena, že tyto přístroje/zařízení mohou být provozovány bez dalších podmínek. Naopak je třeba vzít v úvahu i kumulativní účinky s jednotkami a zařízeními ostatních uživatelů sítě.

1.3.1 Zjednodušené posouzení (stupeň 1)

Pokud je poměr S_{KV}/S_r pro jednotku nebo zařízení větší než hodnota uvedená v Tab. 1-1, lze předpokládat, že v tomto místě připojení nedojde k rušivým změnám napětí ani k flikru. Hodnoty v Tab.1-1 jsou založeny na empirických hodnotách pro různé typy zařízení a poskytují výchozí referenční hodnotu pro posouzení. Pokud není dodržen poměr S_{KV}/S_r podle Tab. 1-1, je vyžadováno posouzení podle stupně 2.

Pokud jsou v tomto společném napájecím bodu připojeny další zařízení, které generují změny napětí a/nebo flikr, je třeba je vzít v úvahu zákon o superpozici.

Tab. 1-1 Zjednodušené posouzení změn napětí a flickru v síti

Typ jednotka/zařízení	příklad	Požadovaný poměr S_{kv} / S_r při připojení			
		jednofázově: 230 V (mezifázově: 400 V)		třífázově: 400 V	
elektrotepeelné s nízkou četností spínání	topení	> 120		> 30	
	svářečky ²⁾	> 600 (> 400)		> 150 ¹⁾ > 250	
elektrotepeelné s vysokou četností spínání	Bodové svářečky ²⁾	> 1000 (> 500)		> 500	
	Kopírky, laserové tiskárny, průtokové ohříváče s elektronickým řízením výkonu	> 1000			
Výkonová elektronika	Rychlonabíjecí stanice pro elektromobily			> 175	
Motory		Přímé spouštění	Řízený rozběh	Přímé spouštění	Řízený rozběh
Bez omezení zapínacích proudů s nízkou četností spínání	chladničky, tepelná čerpadla, výtahy v obytných budovách	> 600	> 300	> 150	> 75
Bez omezení zapínacích proudů s vysokou četností spínání	Výtahy v komerčních budovách, stavební jeřáby	> 1000	> 500	> 250	> 125
S omezením zapínacích proudů, příp. připojené přes usměrňovač	čerpadla	> 250		> 70	
	Rámové pily Štípačky			> 500 (bis 1500) > 250 (bis 750)	

¹⁾ stejnosměrné svářečky

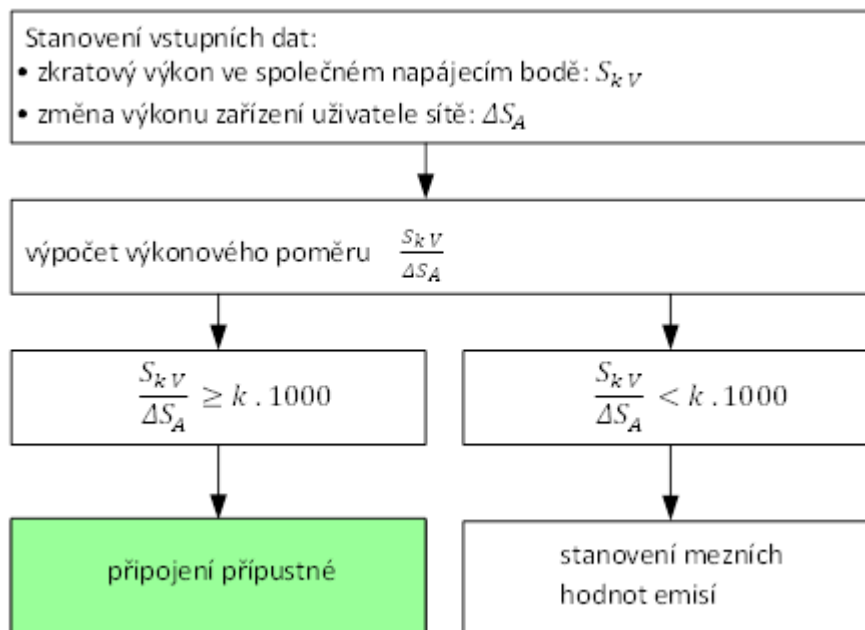
²⁾ $S_r = 50 \%$ dobou provozu (ED) – výkon uveden obvykle na typovém štítku.

Poznámka:

Fotovoltaické systémy mohou také způsobit flickr. Doplnění doporučení pro zjednodušené posouzení je plánováno v budoucím vydání Technických pravidel.

1.3.2 Podrobné posouzení (stupeň 2)

Podrobné posouzení vychází z pravidelných změn napětí. Je třeba brát v úvahu nejnepříznivější změny zdánlivého výkonu ΔS_{Ai} způsobující flikr (např. maximální střídavý nebo rozběhový výkon). Zařízení uživatelů sítě s malými změnami výkonu tak mohou být schváleny bez dalšího ověřování.



Obr. 1-2 Schéma detailního posouzení změn napětí a flikru

Činitel k se volí podle Tab. 1-2.

Tab. 1-2 Činitel k

Způsob připojení	k
trojfázové	1
Dvoufázové (bez středního vodiče)	$\sqrt{3}$
jednofázové	6

Pokud je u zařízení uživatele sítě známa očekávaná, nejnepříznivější četnost opakování, může být pro posouzení ve schématu na Obr. 1-2 použit činitel podle Tab. 1-3.

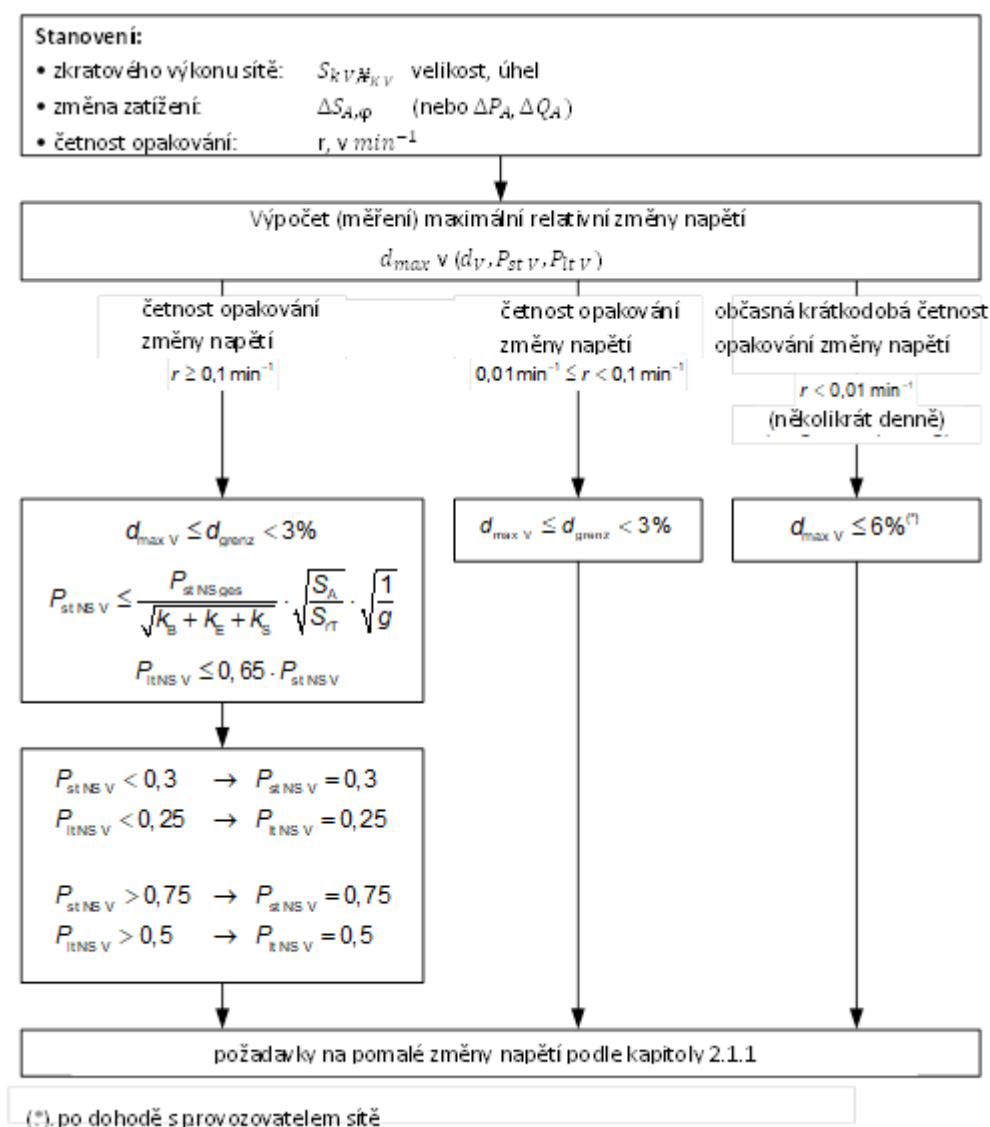
Tab. 1-3 Mezní výkonový poměr pro různé četnosti opakování

Četnost opakování r / min^{-1}	Poměr výkonů $S_{kV} / \Delta S_{Ai}$
$r > 500$	$k \cdot 1000$
$10 \leq r \leq 500$	$135 \cdot k \cdot \sqrt[3]{r / \text{min}^{-1}}$
$r < 10$	$k \cdot 500$

1.3.3 Schéma ke stanovení mezních hodnot emisí

Pro každé zařízení uživatele sítě, které nesplňuje podmínky zjednodušeného nebo podrobného posouzení, je předpokládána individuální specifikace emisních limitů. To je nezbytné, protože zařízení uživatelů sítě s vyšším výkonem mohou ovlivnit větší oblast sítě.

Schéma postupu výpočtu emisních limitů je na Obr. 1-3. Dále je vyžadováno splnění požadavků na pomalé změny napětí.



Obr. 1-3 Schéma pro určení mezí emisí pro rychlé změny napětí a flickr

1.3.4 Další poznámky k hodnocení

Posouzení zařízení uživatele sítě musí být provedeno podle následujících hledisek:

- Při určování dlouhodobé míry vjemu flikru zařízení uživatele sítě je třeba vzít v úvahu, že díky superpozici se zařízeními ostatních uživatelů sítě a složkou flikru z nadřazené sítě je součtová úroveň v souladu se zvolenou plánovací úrovní. V žádném případě nesmí být překročena úroveň kompatibility pro dlouhodobou intenzitu flikru $P_{lt} = 0,8$ [EN 61000-2-2].
- Rozhodujícím faktorem pro chování zařízení je zkratový výkon v místě připojení. Hodnoty Δu , d , P_{st} , P_{lt} získané v místě připojení se převedou na společný napájecí bod.
- Zkratový výkon ve společném napájecím bodě S_{kV} nebo v místě připojení S_{kAP} se vypočítá podle části A: Základy, oddíl 3. K určení relativní změny napětí je navíc nutná znalost změny zatížení v podobě změny zdánlivého výkonu ΔS_A zařízení uživatele sítě nebo posuzované jednotky.
- Při posuzování změny napětí je třeba vzít v úvahu četnost opakování r_i . Maximální změna napětí $d_{max,i}$ způsobená provozem zařízení uživatele sítě se vypočítá ze změny výkonu, která způsobí největší skok napětí nebo největší úroveň flikru.
- Vybere se fázový vodič, ve kterém dochází k největším změnám napětí. Přejídné změny napětí, které nevyvolají flikr, se při určování $d_{max,i}$ neberou v úvahu.
- Emise rušení zařízení uživatele sítě je změna napětí d_i nebo míra vjemu flikru P_{sti} , která je způsobena výhradně změnou zatížení tohoto zařízení ve společném napájecím bodě.
- Doba pozorování musí zahrnovat zejména tu část celkové provozní doby, během níž vzniká nejnejpříznivější sled změn napětí.
- Krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} v síti nebo výsledná křivka změny napětí $d(t)$ je výsledkem kumulativního účinku instalací všech uživatelů sítě v síti a je proto vždy vyšší než odpovídající hodnoty zařízení jednotlivého uživatele sítě.
- Při posuzování stávajících zařízení uživatelů sítě je třeba měřením stanovit maximální hodnoty d_i a P_{sti} a P_{lti} . Zejména v případě stochastických změn napětí nepravidelné velikosti a formy lze spolehlivé posouzení provést pouze měřením.
- Pro změny zatížení, ke kterým dochází pouze několikrát denně (např. zapínání velkých zátěží v zařízení uživatele sítě), se limity flikru nemají uplatňovat; pro řídké změny zatížení s $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$ lze povolit vyšší změny napětí (viz schéma).

1.3.5 Řiditelný distribuční transformátor

Řiditelné distribuční transformátory vytvářejí svými regulačními pochody kolísání napětí, které může vést k flikru. Je proto nutné stanovit technické požadavky.

Doporučují se následující mezní hodnoty:

- pro samoregulační provoz:
 - maximální změna napětí $d_{\max} = 3\%$
 - $P_{st\ V} = 0,35$; $P_{lt\ V} = 0,25$
- pro hrubé stupně:
 - maximální změna napětí $d_{\max} = 6\%$
 - při četnosti opakování $s\ r < 0,01\ \text{min}^{-1}$ (několikrát denně) není třeba dodržovat žádné limity flikru.

Poznámka:

$P_{st} = 0,35$ je splněno při 2 změnách napětí za 10 min s $d=1,5\%$.

1.3.6 Metoda ověřování

Pro ověření přípustného vyzařování rušení jednotlivého zařízení zákazníka nebo pro ověření celkové emise rušení zařízení všech uživatelů sítě se vyhodnotí hodnoty 95% pravděpodobnosti za jeden týden.

- $P_{lt\ 95\%}$ a $P_{st\ 95\%}$ nesmí v žádném společném napájecím bodě sítě překročit přípustné hodnoty P_{lt} und P_{st} .
Kromě toho nesmí být žádná jednotlivá hodnota míry vjemu krátkodobého flikru vyšší než $1,3 \cdot P_{st}$.
- $P_{lt\ ges\ 95\%}$ a $P_{st\ ges\ 95\%}$ nesmí v žádném společném napájecím bodě sítě překročit přípustné hodnoty $P_{lt\ ges}$ a $P_{st\ ges}$.
Kromě toho nesmí být žádná jednotlivá hodnota míry vjemu krátkodobého flikru vyšší než $1,3 \cdot P_{st\ ges}$ sein.

Poznámka:

Při metrologickém prokazování je příp. třeba zohlednit hladinu pozadí.

2. Nesymetrie

Stanovení mezních hodnot emisí pro zařízení uživatele sítě je založeno na principu rozdělení přípustných příspěvků ke stupni nesymetrie napětí. Pro jednodušší vyhodnocení, jsou obvykle vyjádřeny jako proudy zpětné složky zařízení uživatele sítě.

Výrobní jednotky, akumulární jednotky a zařízení spotřeby s vyšším výkonem mají být vždy připojeny symetricky třífázově.

Pokud se zařízení uživatele sítě skládá z nesymetricky připojených výrobních jednotek a/nebo akumulárních jednotek a/nebo spotřebičů, je třeba tyto jednotky rozdělit na fázové vodiče tak, aby nesymetrický výkon soustavy uživatele sítě byl během provozu co nejnižší.

2.1 Úroveň kompatibility

Podle normy [EN 61000-2-2] je úroveň kompatibility nesymetrie napětí $C_{U2} = 2\%$.

2.2 Mezní hodnoty emisí

Rovnice pro výpočet mezní hodnoty emisí zařízení uživatele sítě ve společném napájecím bodu vychází z obecného přístupu podle [IEC 61000-3-14]. Promocí zjednodušujících předpokladů a vhodných úprav je výsledkem:

$$I_{2V} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_E + k_B + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (2-1)$$

S_A	<i>instalovaný výkon zařízení uživatele sítě</i>
S_{kV}	<i>zkratový výkon</i>
k_E	<i>činitel výroby</i>
k_B	<i>činitel spotřeby</i>
k_S	<i>činitel akumulace</i>
I_{2V}	<i>přípustný proud zpětné složky zařízení uživatele sítě</i>
I_A	<i>proud zařízení uživatele sítě</i>
s	<i>činitel nesymetrie</i>

Rovnice (2-1) byla odvozena analogicky k vyhodnocení harmonických. Činitel nesymetrie s je do značné míry určen charakteristikami sítě nízkého napětí a závisí mimo jiné na délce přívodů, rozdílech v délce mezi přívody a rozložení zařízení uživatelů sítě v rámci přívodů. Charakteristiky sítě nn jsou reprezentovány nejmenší hodnotou minimálního zkratového výkonu všech uzlů sítě v uvažované síti nn a jmenovitým výkonem napájecího transformátoru vn/nn. v Tab. 2-1 jsou uvedeny referenční hodnoty činitele nesymetrie jako funkce jmenovitého výkonu transformátoru S_T a nejmenšího zkratového výkonu v uvažované síti.

Tab. 2-1 Orientační hodnoty činitele nesymetrie s v závislosti na jmenovitém výkonu transformátoru a nejmenší hodnotě minimálního zkratového výkonu v síti nn

S_{rT}	činitel nesymetrie s					
	30	25	20	15	10	
100 kVA	> 0,7 MVA	0,7 .. 0,5 MVA	0,5 .. 0,3 MVA	0,3.. 0,2 MVA	< 0,2 MVA	nejmenší zkratový výkon
250 kVA	> 1,7 MVA	1,7 .. 1,1 MVA	1,1 .. 0,8 MVA	0,8 .. 0,5 MVA	< 0,5 MVA	
400 kVA	> 2,1 MVA	2,1 .. 1,7 MVA	1,7 .. 1,4 MVA	1,4 .. 1,2 MVA	< 1,2 MVA	
630 kVA	> 3,2 MVA	3,2 .. 2,5 MVA	2,5 .. 2,0 MVA	2,0 .. 1,5 MVA	< 1,5 MVA	
1000 kVA	> 4,1 MVA	4,1 .. 3,1 MVA	3,1 .. 2,4 MVA	2,4 .. 1,8 MVA	< 1,8 MVA	

Pro jmenovitý výkon transformátoru, který není uveden v tabulce, je třeba zvolit nejbližší větší nebo největší jmenovitý výkon.

Pokud nejsou známy žádné další podrobnosti o struktuře sítě, doporučuje se pro faktor proporcionality hodnota $s = 15$.

Namísto přípustného zpětné složky proudu lze vypočítat a zadat jako mezní hodnotu přípustný nesymetrický výkon:

$$S_{Aun} = \frac{s}{1000} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_E + k_B + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot S_A \quad (2-2)$$

s	činitel nesymetrie
S_{Aun}	přípustný nesymetrický výkon zařízení uživatele sítě
S_A	přípojovaný výkon zařízení uživatele sítě
S_{kV}	zkratový výkon
k_E	činitel výroby
k_B	činitel spotřeby
k_S	činitel akumulace

Poznámka:

Nejsou-li činitele k_B , k_E , k_S známy, lze pro síť, v nichž se nepředpokládá propojení výroben a akumulací předpokládat $k_B + k_E + k_S = 1$. Jinak se doporučuje předpoklad $k_B + k_E + k_S = 1,35$.

Instalovaný výkon zařízení uživatele sítě S_A lze v případě potřeby zjistit buď podle jmenovité velikosti pojistky nebo z instalovaného výkonu jednotlivých jednotek nebo přístrojů a jejich rozdělení mezi fázemi. Při známé jmenovité velikosti pojistky zařízení uživatele sítě se instalovaný výkon systému uživatele sítě S_A vypočítá takto:

$$S_A = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (2-3)$$

S_A	Přípojovaný výkon zařízení uživatele sítě
U_n	jmenovité napětí sítě
I_n	jmenovitý proud pojistky

Po danou kombinaci jednotlivých přístrojů a jednotek odpovídá instalovaný výkon zařízení uživatele sítě S_A trojnásobku hodnoty největšího vývodového výkonu v nejnepříznivějším provozním stavu. Tabulka 2-2 uvádí některé příklady výpočtu instalovaného výkonu zařízení uživatele sítě při připojení jednofázových přístrojů a jednotek.

Tab. 2-2 Příklady výpočtu instalovaného výkonu zařízení uživatele sítě

Příklad	S_{L1}	S_{L2}	S_{L3}	S_A
výroba (3,7 kVA) v L1, akumulace (3,0 kVA, vybíjení) v L2	3,7 kVA	3,0 kVA	0 kVA	3·3,7 kVA = 11,1 kVA
výroba (3,7 kVA) v L1, spotřeba (3,0 kVA) v L1	3,7 kVA	0 kVA	0 kVA	3·3,7 kVA = 11,1 kVA
výroba (3,7 kVA) v L1, akumulace (3,0 kVA, vybíjení) v L1	3,7 kVA + 3,0 kVA	0 kVA	0 kVA	3·6,7 kVA = 20,1 kVA
spotřeba (3,0 kVA) in L1, akumulace (3,0 kVA, nabíjení) v L1	3,0 kVA + 3,0 kVA	0 kVA	0 kVA	3·6,0 kVA = 18,0 kVA

Jsou-li známy příslušné parametry, lze určit konkrétní činitel nesymetrie s podle následujícího vzorce:

$$s = \frac{k_{uSS} \cdot G_{unNS}}{\sqrt{u_k}} \cdot 1000 \quad (2-4)$$

s činitel nesymetrie
 k_{uSS} korekční činitel závislý na charakteristice sítě
 G_{unNS} poměrný příspěvek v síti nn
 u_k napětí nakrátko transformátoru vn/nn

Rozsah hodnot poměrného příspěvku v síti nn vyplývá z předpokládané plánovací úrovně pro nesymetrii napětí v síti vn podle [EN 61000-3-13], úrovně kompatibility pro stupeň nesymetrie napětí v síti nn podle [EN 61000-2-2] stejně jako reálného rozsahu hodnot pro součtový exponent α (1,4 .. 2,0) a koeficient přenosu T_{MS-NS} mezi sítí vvn a nn (0,8 .. 0,9).

Korekční činitel k_{uSS} lze odhadnout pomocí následujícího aproximačního vzorce:

$$k_{uSS} = a + b \cdot \ln\left(\frac{S_{kmin}}{MVA}\right) \quad (2-5)$$

S_{kmin} nejmenší minimální zkratový výkon všech míst připojení v celé síti
 k_{uSS} korekční činitel závislý na charakteristice sítě
 a, b parametry z Tab. 2-3

Parametry pro rovnici (2-5) jsou uvedeny v Tab. 2-3.

Tab. 2-3 Parametr pro odhad korekčního činitele k_{uSS} v síti nn

S_{rT} v kVA	a	b
100	0,78	0,25
250	0,43	0,25
400	0,26	0,40
630	0,11	0,40
1000	0,08	0,35

Má-li být hodnota k_{uSS} stanovena s vyšší přesností, použije se postup popsáný v [IEC 61000-3-14] přímo k výpočtu k_{uSS} . Podle tohoto postupu, je třeba určit hodnotu k_{uSS} po každém dodatečně připojeném zařízení uživatele sítě nebo v případě změn ve struktuře sítě.

2.3 Posouzení

2.3.1 Mezní kritérium

Mezní hodnoty pro jednotlivé přístroje a jednotky

Pro jednotlivé přístroje a jednotky s delší dobou provozu (např. fotovoltaické střídače, akumulární jednotky, nabíječky pro elektromobily), v závislosti na typu připojení a způsobu provozu nesmí jejich jmenovitý výkon překročit hodnoty uvedené v tabulce Tab. 2-4.

Tab. 2-4 Maximální jmenovité výkony jednotlivých přístrojů a jednotek na nn

Způsob připojení přístroje/jednotky	$S_{r\ zul}$
jednofázově	3,7 kVA
Dvoufázově bez středního vodiče	3,7 kVA
Dvoufázově se středním vodičem	2·3,7 kVA

Pro jednotlivé přístroje a jednotky s dobou provozu kratší než 10 minut (např. průtokové ohřívače) je přípustný maximální jmenovitý výkon $S_{r\ zul} = 4,6$ kVA ($I_{r\ zul} = 20$ A).

Pokud je několik nesymetricky připojených jednotlivých přístrojů nebo jednotek kombinováno v zařízení uživatele sítě, musí být vždy posouzen nesymetrický výkon.

Mezní kritérium pro zařízení

Pro zařízení uživatele sítě, který se skládá z několika jednotlivých zařízení nebo výrobních jednotek, je vždy bez ohledu na místo připojení přípustný nesymetrický výkon 3,7 kVA. Pro vztažné impedance podle [IEC 60725], to má za následek příspěvek ke stupni nesymetrie napětí:

$$k_{U2} = \frac{S_{A\ un}}{S_{k\ V}} \leq \frac{3,7\text{ kVA}}{565\text{ kVA}} \leq 0,65\% \quad (2-6)$$

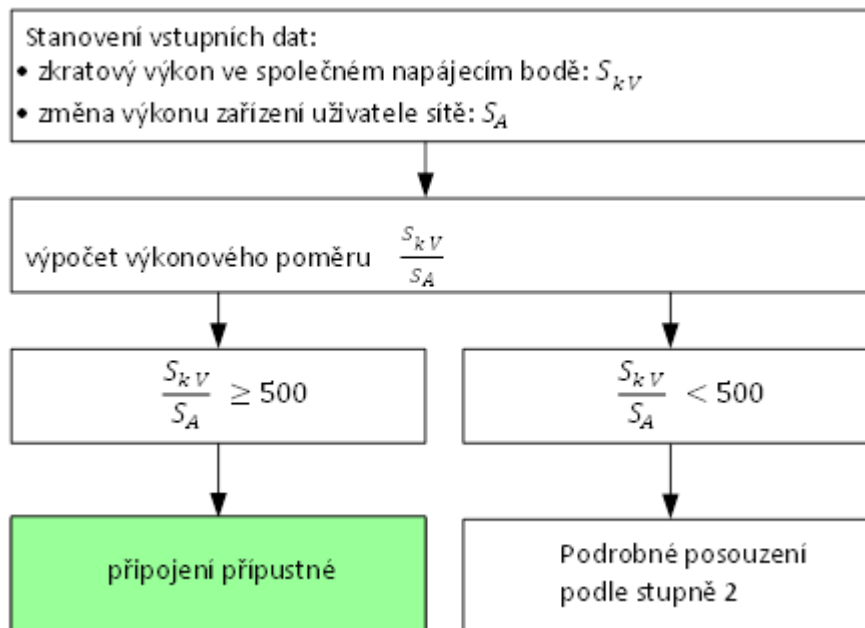
$S_{A\ un}$ přípustný nesymetrický výkon zařízení uživatele sítě

$S_{k\ V}$ zkratový výkon

k_{U2} příspěvek ke stupni nesymetrie napětí

Pokud mezní kritérium není splněno, je potřebné posouzení podle stupně 1.

2.3.2 Zjednodušené posouzení (stupeň 1)



Obr. 2-1 Schéma zjednodušeného posouzení nesymetrie v síti nn

Poznámka:

Za předpokladu, že nesymetrický výkon připojeného zařízení uživatele sítě za stanovených podmínek odpovídá instalovanému výkonu zařízení uživatele sítě, pak poměr $S_{kV}/S_A = 500$ vede k příspěvku ke stupni nesymetrie napětí $k_{U2} \approx 0,2 \%$.

2.3.3 Podrobné posouzení (stupeň 2)

Pokud jsou známy informace o podílu jednotlivých symetrických odběrných nebo výrobních jednotek v zařízení uživatele sítě, lze určit na základě následujících rovnic mezní poměr $S_{A \text{ unsym}}/S_A$ přičemž všechny výkony mají být dosazeny jako kladné:

$$\frac{S_{A \text{ unsym}}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{500}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (2-7)$$

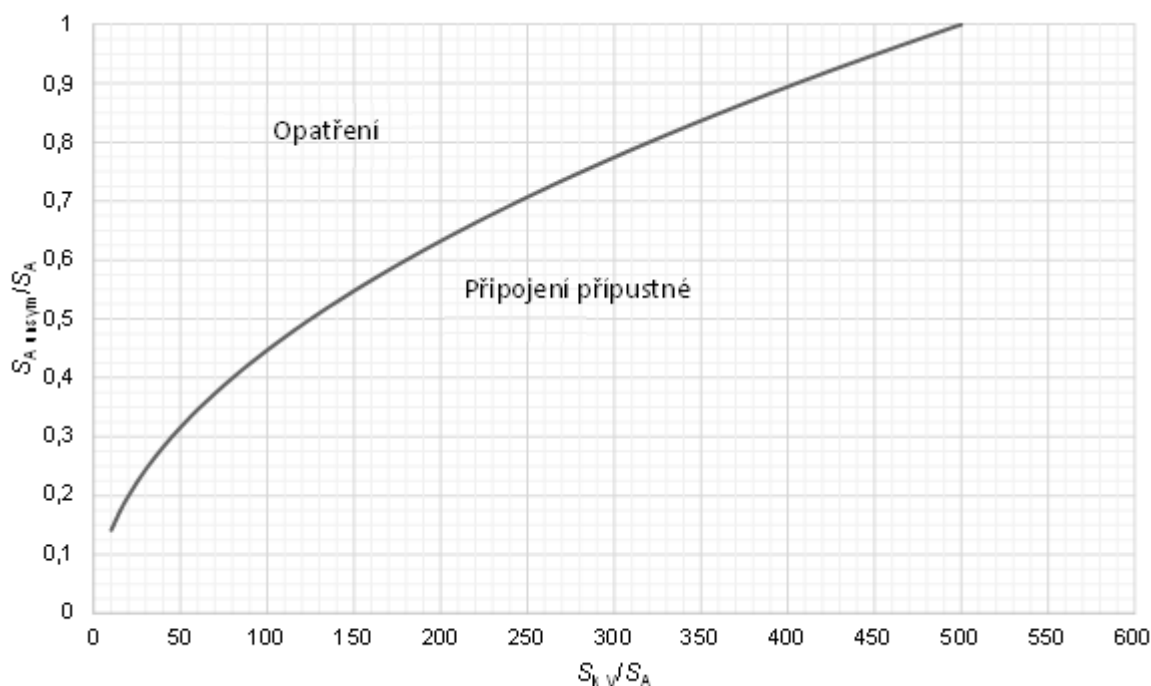
$$S_{A \text{ unsym}} = (S_{AE} - S_{AE \text{ sym}}) + (S_{AB} - S_{AB \text{ sym}}) + (S_{AS} - S_{AS \text{ sym}}) \quad (2-8)$$

$S_{A \text{ unsym}}$	nesymetrický podíl instalovaného výkonu zařízení uživatele sítě
S_{AE}	celkový výkon všech výrobních jednotek zařízení uživatele sítě
$S_{AE \text{ sym}}$	symetricky připojený výkon výrobních jednotek zařízení uživatele sítě
S_{AB}	celkový výkon všech odběrných jednotek zařízení uživatele sítě
$S_{AB \text{ sym}}$	symetricky připojený výkon odběrných jednotek zařízení uživatele sítě
S_{AS}	celkový výkon všech akumulčních jednotek zařízení uživatele sítě
$S_{AS \text{ sym}}$	symetricky připojený výkon akumulčních jednotek zařízení uživatele sítě
S_A	instalovaný výkon systému uživatele sítě
S_{kV}	zkratový výkon

Poznámka:

Nesymetrický podíl instalovaného výkonu zařízení uživatele sítě $S_{A \text{ unsym}}$ nijak nesouvisí s nesymetrickým výkonem $S_{A \text{ un}}$. Pokud hodnota $S_{A \text{ unsym}}$ převyšuje hodnotu S_A , použije se hodnota $S_{A \text{ unsym}}$ rovná S_A .

Alternativně lze pro posouzení použít následující obrázek (Obr. 2-2). Připojení zařízení uživatele sítě je přípustné, pokud dvojice hodnot $[S_{A \text{ unsym}}/S_A; S_{kV}/S_A]$ leží pod uvedenou křivkou.



Obr. 2-2 Diagram pro podrobné posouzení

Pokud leží dvojice hodnot $[S_{A \text{ unsym}}/S_A; S_{kV}/S_A]$ v nepřípustném rozsahu nad křivkou, musí se podle rovnice (2-1) vypočítat mezní hodnota emisí, kterou musí zařízení uživatele sítě dodržet.

Doporučuje se stanovit mezní hodnotu emise (absolutní hodnotu zpětné složky proudu I_{2V} nebo nesymetrického výkonu $S_{A \text{ un}}$) pro zařízení uživatele sítě, i když zařízení uživatele sítě leží v přípustném rozsahu.

Poznámka:

Pokud je zařízení uživatele sítě s instalovaným výkonem 50 kVA připojeno v místě připojení se zkratovým výkonem 10 MVA, musí být podíl symetricky instalovaného výkonu alespoň 36,8 % (18,4 kVA).

Rovnice (2-1) může vést k nepřiměřeně malým emisním limitům. Proto se připouští velikost příspěvku ke stupni nesymetrie napětí od každé zařízení uživatele sítě bez ohledu na jeho velikost $k_{U2} = 0,2\%$. Přípustný proud zpětné složky I_{2V} je pak dán vztahem:

$$I_{2V} = \frac{1}{500} \cdot \frac{S_{kV}}{\sqrt{3} \cdot U_V} \quad (2-9)$$

S_{kV} *zkratový výkon*
 I_{2V} *přípustný proud zpětné složky zařízení uživatele sítě*
 U_V *sdružené napětí*

Odpovídající nesymetrický výkon se vypočte podle

$$S_{Aun} = \frac{1}{500} \cdot S_{kV} \quad (2-10)$$

S_{kV} *zkratový výkon*
 S_{Aun} *nesymetrický výkon zařízení uživatele sítě*

3. Harmonické, meziharmonické, supraharmonické

Stanovení mezních hodnot emisí zařízení uživatele sítě je v zásadě založeno na rozdělení přípustných příspěvků ke zkreslení napětí. Pro snadnější posouzení se obvykle vyjadřují jako harmonické resp. meziharmonické nebo supraharmonické proudy zařízení uživatele sítě.

Zatímco sítě nn a vn jsou obvykle provozovány jako paprskové sítě s napájením z jedné strany (nebo otevřené kruhy), je síť VVN obvykle provozovaná jako mřížová a je napájena z více napájecích bodů. Rovnice pro výpočet mezních hodnot emisí se proto liší pro sítě nn/vn a vvn.

3.1 Harmonické

3.1.1 Kompatibilní úroveň

Kompatibilní úrovně pro harmonická napětí ve veřejných sítích nízkého napětí jsou uvedeny v normě [ČSN EN 61000-2-2].

Tab. 3-1 Kompatibilní úrovně pro harmonické složky napětí ve veřejných sítích nízkého napětí

Liché harmonické				sudé harmonické	
Různé od násobku 3		násobky 3 ^{a)}			
v	Harmonické napětí v %	v	Harmonické napětí v %	v	Harmonické napětí v %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3,0	21	0,3	8	0,5
$17 \leq v \leq 37$	$2,27 \cdot \left(\frac{17}{v}\right) - 0,27$	$27 \leq v \leq 39$	0,2	$10 \leq v \leq 40$	$0,25 \cdot \left(\frac{10}{v}\right) + 0,25$

a) Úrovně uvedené pro liché harmonické, které jsou násobkem 3, platí pro nulovou složku harmonické.

Kromě toho mohou být hodnoty harmonických 3. a 9. řádu v třífázové síti bez nulového vodiče nebo bez zátěže připojené mezi fází a zem v závislosti na nesymetrii sítě výrazně nižší než kompatibilní úrovně.

3.1.2 Mezní hodnoty emisí

Všechny mezní hodnoty pro harmonické řádu v se vztahují k příslušné harmonické podskupině podle [ČSN EN 61000-4-7].

Obecná rovnice pro výpočet mezní hodnoty emisí harmonického proudu řádu v zařízení uživatele sítě ve společném napájecím bodě je následující:

$$I_{v \text{ zul } V} = \frac{p_v}{1000} \cdot \frac{1}{k_v} \cdot \frac{1}{k_{XR}} \cdot \frac{1}{\sqrt{k_B + k_E + k_S}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-1)$$

p_v	činitel harmonické řádu v
$I_{v \text{ zul } V}$	přípustný proud harmonické zařízení uživatele sítě
I_A	jmenovitý proud zařízení uživatele sítě
S_{kV}	zkratový výkon
S_A	instalovaný výkon zařízení uživatele sítě
k_v	rezonanční činitel harmonické řádu v
k_{XR}	mpedanční úhlový faktor
k_B	činitel spotřeby
k_E	činitel výroby
k_S	činitel akumulace

Další informace a vysvětlení k jednotlivým činitelům naleznete v části A: Základy, oddíl 6.

Tab. 3-2 uvádí směrné hodnoty činitele harmonické p_v

Tab. 3-2 Směrné hodnoty činitele harmonické p_v pro výpočet přípustných harmonických proudů

v	p_v	v	p_v	v	p_v
2	4,5	15	0,3	28	0,4
3	5,7	16	0,9	29	1,0
4	2,9	17	2,6	30	0,3
5	13,1	18	0,5	31	0,9
6	1,1	19	2,1	32	0,4
7	7,8	20	0,7	33	0,1
8	1,2	21	0,2	34	0,4
9	1,2	22	0,6	35	0,7
10	1,6	23	1,6	36	0,2
11	5,1	24	0,4	37	0,7
12	0,8	25	1,4	38	0,3
13	3,7	26	0,5	39	0,1
14	1,0	27	0,1	40	0,3

Poznámka:

Harmonické dělitelné třemi vytváří především nulové složky, které se sčítají v nulovém vodiči. Proto jsou stanoveny odpovídajícím způsobem nižší činitele harmonických.

Pokud je o zařízení uživatele sítě známo, že nulové složky vytvářet nemůže (např. bez připojeného nulového vodiče) nebo je zařízení připojeno přímo k přípojnici transformátoru, lze po dohodě s provozovatelem sítě použít pro činitele harmonických dělitelných třemi vyšší hodnoty.

Doporučuje se stanovit činitele k v rovnici (3-1) pro posuzovanou síť individuálně. Poznámky a pokyny k tomuto tématu najdete v oddílech 6.2 a 6.3 v části A: Základy.

Nejsou-li k dispozici přesnější informace, lze přijmout následující zjednodušující předpoklady:

- Pokud nejsou činitele k_B , k_E , k_S známy, lze pro síť, v níž se připojení výroben a akumulace neočekává, akceptovat $k_B + k_E + k_S = 1$. V ostatních případech se doporučuje přijetí $k_B + k_E + k_S = 1,35$.
- Ve zkratové impedanci v místě připojení převládá její induktivní složka, takže pro impedanční úhlový faktor lze přijmout $k_{XR} = 1$.
- Pro všechny harmonické od 7. do 25. řádu se doporučuje hodnota rezonančního činitele $k_v = 1,15$. Toto doporučení vychází ze skutečnosti, že zejména v sítích s vysokou hustotou zařízení s výkonovou elektronikou lze v důsledku jejich kapacitního chování očekávat rezonanční body již v nižších řádech harmonických. Referenční hodnoty vycházejí z rozsáhlých měření a platí pro přibližně 90 % měřicích míst.

S přihlédnutím k těmto zjednodušujícím předpokladům lze pro výpočet přípustných mezních hodnot harmonických použít následující zjednodušenou rovnici

$$v = 7 \dots 25: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1150} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-2)$$

$$v \neq 7 \dots 25: \quad I_{v \text{ zul}} = \frac{p_v}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot I_A \quad (3-3)$$

Pro harmonické proudy v rozsahu $v = 16 \dots 40$ je přípustné překročení mezních hodnot až do 1 % I_A ($v = 16 \dots 30$) resp. až do 0,8 % I_A ($v = 31 \dots 40$). Vážené částečné zkreslení (PWHIDI) všech harmonických a meziharmonických proudových emisí

$$\text{PWHIDI} = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_\mu^2} \quad (3-4)$$

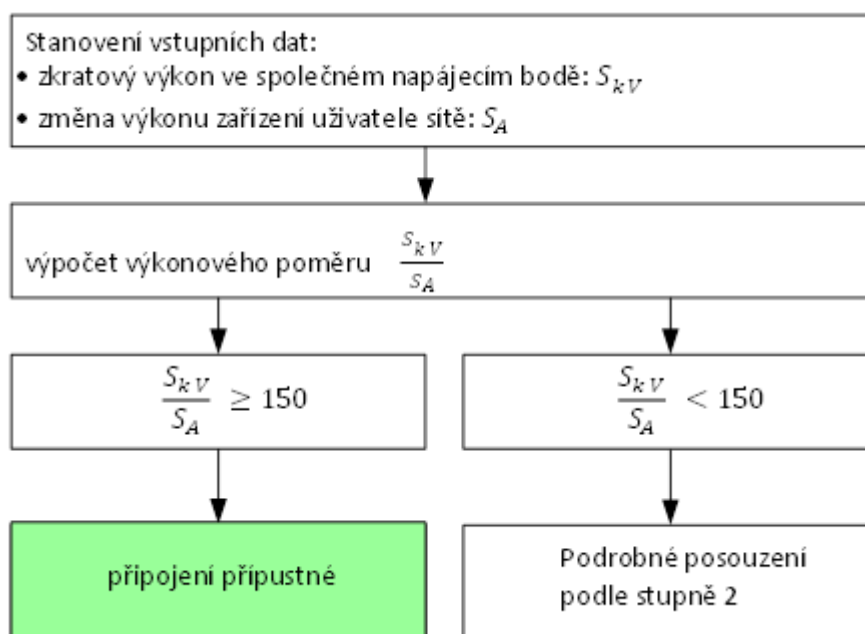
přitom nesmí překročit PWHIDI mezních hodnot nebo hodnotu 17% (platí vyšší hodnota, porovnej s odstavcem 3.2.2).

3.1.3 Posouzení

Zařízení, která splňují požadavky podle normy [EN 61000-3-2], lze obecně připojit bez dalšího prověřování. Pro zařízení, která splňují zvláštní požadavky na připojení podle [EN 61000-3-12], musí být zajištěno, že jejich hodnota impedance připojení je menší než stanovená hodnota impedance připojení. V každém případě je třeba zajistit, aby v případě kumulace jednotek v zařízení uživatele, které generují harmonické a mají vysoký činitel souběhu, byly dodrženy mezní hodnoty emisí zařízení.

3.1.3.1 Zjednodušené posouzení (stupeň 1)

Zjednodušené posouzení se provede podle schématu na Obr. 3-1.



Obr. 3-1 Schéma zjednodušeného posouzení

3.1.3.2 Podrobné posouzení (Stupeň 2)

Pokud jsou známy informace o podílu jednotlivých přístrojů nebo jednotek generujících harmonické uvnitř zařízení uživatele sítě, lze mezní poměr S_{OS}/S_A vypočítat na základě následujících rovnic:

$$\frac{S_{OS}}{S_A} = \frac{1}{\sqrt{150}} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad (3-5)$$

S_{OS} podíl generující harmonické v instalovaném výkonu zařízení uživatele sítě
 S_A instalovaný výkon zařízení uživatele sítě
 S_{kV} zkratový výkon ve společném napájecím bodě

Podrobné posouzení je založené na tom, že všechny významné jednotky v zařízení uživatele sítě, které generují harmonické, se sloučí do výsledného celkového výkonu S_{OS} generujícího harmonické.

Pro určení podílu generujícího harmonické v instalovaném výkonu zařízení uživatele sítě se při zohlednění případných souběhů rozdělí všechny jednotky generující harmonické do tří skupin podle oddílu 6.7 v části A: Základy a jejich celkový výkon se určí podle následující rovnice:

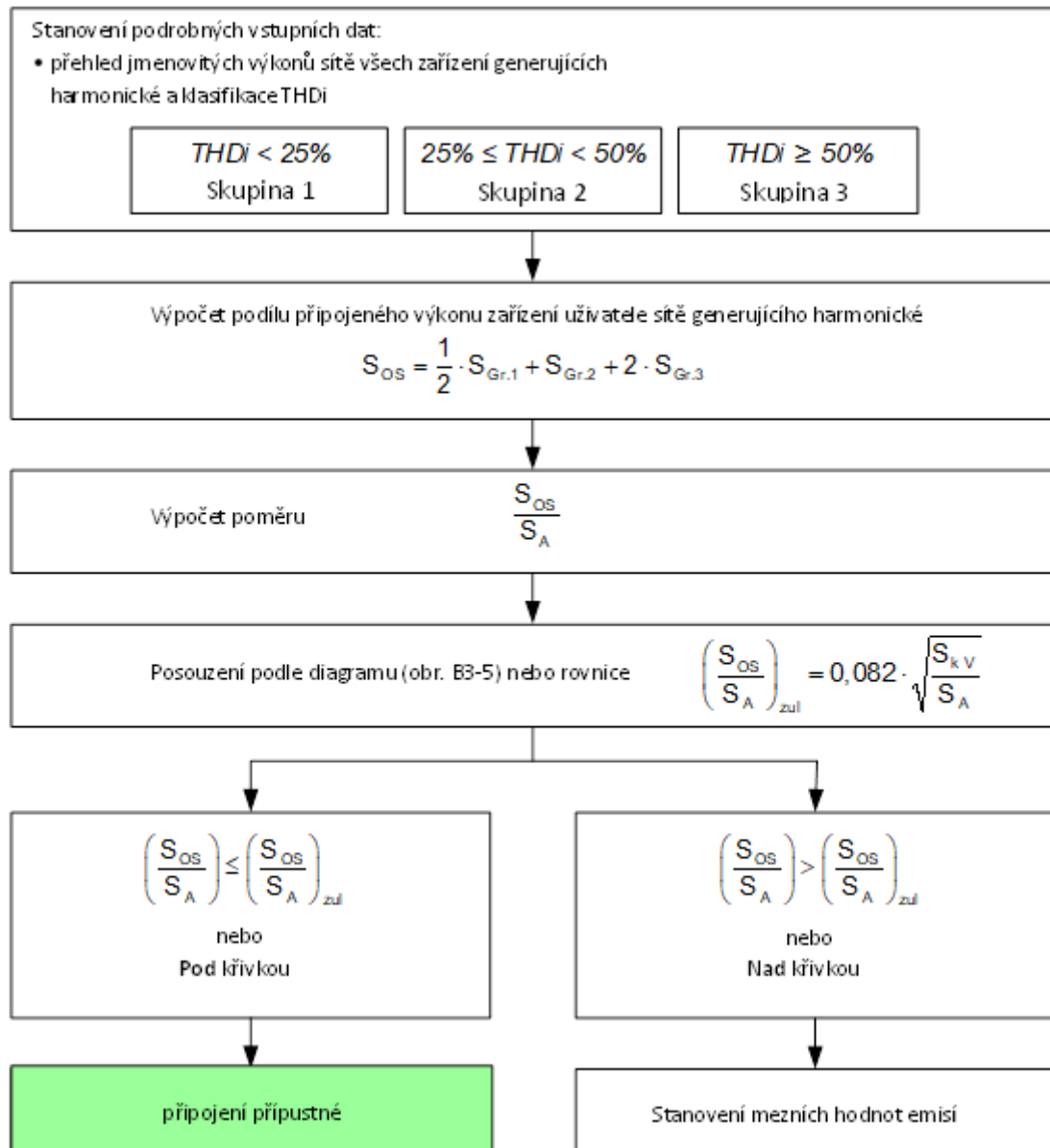
$$S_{OS} = \frac{1}{2} \cdot S_{Gr1} + S_{Gr2} + 2 \cdot S_{Gr3} \quad (3-6)$$

S_{OS} podíl generující harmonické v instalovaném výkonu zařízení uživatele sítě
 S_{Gr1} celkový výkon všech jednotek zařazených do skupiny 1 ($THDi \leq 25\%$)
 S_{Gr2} celkový výkon všech jednotek zařazených do skupiny 2 ($25\% < THDi \leq 50\%$)
 S_{Gr3} celkový výkon všech jednotek zařazených do skupiny 3 ($THDi > 50\%$)

Pokud hodnota S_{OS} přesáhne hodnotu S_A dosadí se S_{OS} rovné S_A . Při sčítání se použijí jmenovité výkony. Pokud zařízení uživatele sítě využívá kromě spotřebičů generujících harmonické také

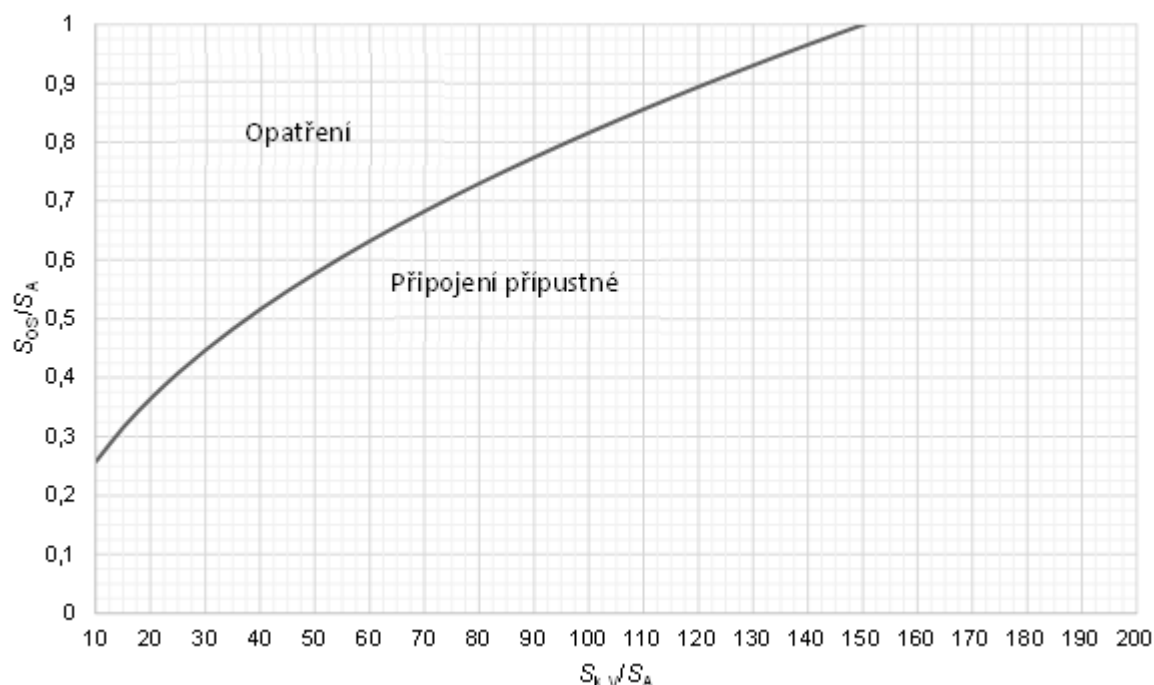
zařízení pro výrobu a/nebo akumulaci generující harmonické, berou se v úvahu jejich jmenovité výkony bez znaménka.

Podrobné posouzení se provede podle schématu na Obr. 3-2.



Obr. 3-2 Schéma podrobného posouzení

Připojení zařízení uživatele sítě je přípustné, pokud dvojice hodnot $[S_{OS}/S_A; S_{kV}/S_A]$ v grafu na Obr. 3-3 leží pod křivkou.



Obr. 3-3 Graf pro posouzení při přesné znalosti podílu generujícího harmonické v zařízení uživatele sítě

3.2 Meziharmonické

3.2.1 Kompatibilní úroveň

Kompatibilní úrovně (Tab. 3-3) vycházejí z informativních údajů uvedených v [EN 61000-2-2].

Tab. 3-3 Kompatibilní úrovně meziharmonického napětí ve veřejných sítích nízkého napětí

řád μ	Kompatibilní úroveň
1, 2	0,15%
$\mu > 2$ pro frekvenci HDO	0,1%
$\mu > 2$ mimo frekvenci HDO	0,3%

3.2.2 Mezní hodnoty emisí

Všechny mezní hodnoty pro meziharmonické řádu μ se vztahují k příslušné meziharmonické podskupině podle normy [EN 61000-4-7].

Obecná rovnice pro výpočet mezních hodnot emisí je následující:

$$I_{\mu \text{ zul}} = \frac{1}{k_{\mu}} \cdot \frac{g_{\mu}}{100} \cdot \frac{S_{KV}}{S_A} \cdot I_A \quad (3-7)$$

g_{μ}	činitel meziharmonické řádu μ
$I_{\mu \text{ zul}}$	přípustný meziharmonický proud
I_A	proud zařízení uživatele sítě
S_{KV}	zkratový výkon ve společném napájecím bodě
S_A	instalovaný výkon zařízení uživatele sítě
k_{μ}	rezonanční činitel meziharmonické řádu μ

Pro meziharmonickou μ zařízení uživatele sítě platí činitel meziharmonické g_{μ} podle tabulky Tab. 3-4.

Tab. 3-4 Činitelé meziharmonických g_{μ} pro zjednodušený výpočet přípustných meziharmonických proudů

μ	g_{μ}
1 .. 30	$0,2/(\mu+0,5)$
31 .. 39	$0,3/(\mu+0,5)$
3 .. 39 ¹⁾	$0,1/(\mu+0,5)$

¹⁾ platí pro meziharmonické na resp. v blízkosti frekvence HDO (srovnej s odstavcem 5.3).

Pro meziharmonické proudy v rozsahu $\mu = 16 \dots 39$ je přípustné překročení mezních hodnot na hodnoty až do 1 % z I_A ($\mu = 16 \dots 29$) resp. až do 0,8 % z I_A ($\mu = 30 \dots 39$), pokud tyto neleží v blízkém okolí frekvence HDO. Přitom vážené částečné zkreslení (PWHIDI) všech harmonických a meziharmonických proudových emisí

$$\text{PWHIDI} = \frac{1}{I_A} \cdot \sqrt{\sum_{v=16}^{40} v \cdot I_v^2 + \sum_{\mu=16}^{39} \mu \cdot I_{\mu}^2} \quad (3-8)$$

nesmí překročit mezní hodnotu PWHIDI nebo 17% (platí vyšší hodnota – srovnej s odstavcem 3.1.2).

3.2.3 Posouzení

Posouzení založené na poměrech výkonů se pro meziharmonické neprovádí.

3.3 Supraharmonické

3.3.1 Kompatibilní úrovně

Kompatibilní úrovně pro frekvenční pásmo se střední frekvencí b ve frekvenčním rozsahu od 2 kHz do 9 kHz pro náhodné symetrické rušivé emise podle [EN 61000-2-2] ukazuje Tab. 3-5.

Tab. 3-5 Kompatibilní úrovně pro supraharmónická napětí ve veřejných sítích nízkého napětí e frekvenčním rozsahu od 2 kHz do 9 kHz

Frekvenční rozsah (kHz)	Kompatibilní úroveň (%)
2 – 3	1,4%
3 – 9	$u_b = 3,02 \% \cdot b^{-0,7}$

3.3.2 Mezní hodnoty emisí

Všechny mezní hodnoty pro supraharmónické frekvenčního pásma b ve frekvenčním rozsahu od 2 kHz do 9 kHz se vztahují na odpovídající pásmo 200 Hz podle [EN 61000-4-7].

Pro výpočet maximálních přípustných supraharmónických proudů zařízení uživatele sítě se použije následující rovnice.

$$I_{b\text{ zul}} = \frac{1}{k_b} \cdot \frac{3,3 \cdot b^{-0,52} \cdot 1 \text{ A}}{\left(10,25 - \frac{9\text{ kHz} - b}{\text{kHz}}\right) \cdot \left(r + (1-r) \cdot \frac{0,57 \text{ MVA}}{S_{kV}}\right)} \quad (3-9)$$

$I_{b\text{ zul}}$	přípustný supraharmónický proud
k_b	činitel rezonance supraharmónické se střední frekvencí b
S_{kV}	zkratový výkon
b	střední frekvence frekvenčního pásma b
r	činitel rozdělení

Poznámka:

Rovnice platí pro jmenovité napětí sítě $U_n = 400 \text{ V}$. Pro jiná síťová napětí je možné provést lineární přepočty.

Pro činitel rozdělení r se použijí hodnoty z následující tabulky.

Tab. 3-6 Činitel rozdělení pro výpočet přípustných supraharmónických proudů

Zkratový výkon S_{kV} (MVA)	činitel rozdělení r
< 2	0,45
≥ 2	0,1

Poznámka:

Přípustné supraharmónické proudy podle rovnice (3-9) platí pro zařízení uživatelů sítě, která mají nulový vodič. Pro symetricky připojená zařízení zákazníků bez nulového vodiče lze povolit mezní hodnoty emisí vyšší o faktor 1,8.

3.3.3 Posouzení

Posouzení založené na poměrech výkonů se pro supraharmónické neprovádí.

4. Komutační poklesy

4.1 Kompatibilní úrovně

Kompatibilní úrovně pro komutační poklesy nejsou specifikovány.

4.2 Mezní hodnoty emisí

Relativní hloubka komunikačních poklesů d_{Kom} usměrňovačů řízených frekvencí sítě v zařízeních spotřeby, výroby nebo akumulace nesmí být ve společném napájecím bodě překročena ani v nejnejpříznivějším provozním stavu $d_{\text{Kom}} = 10\%$.

4.3 Posouzení

Posouzení připojitelnosti s ohledem na komutační poklesy je nutné pouze pro usměrňovače řízené frekvencí sítě.

Zařízení s usměrňovači řízenými frekvencí sítě provozované v síti nn mají zpravidla výrazné komutační poklesy, jejichž hloubka může být s dostatečnou přesností vypočítána podle rovnice (4-1). Při posuzování je třeba vždy počítat s provozem při nejnejpříznivější hodnotě řídicího úhlu. Je třeba vzít v úvahu také přechodové děje při rozběhu.

$$d_{\text{Kom}} = K \cdot \sin \alpha \cdot \frac{6}{p} \cdot \left(u_{\text{k Kom}} \cdot \frac{S_{\text{kV}}}{S_{\text{SRA}}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-1)$$

d_{Kom}	relativní hloubka komutačního poklesu (periodický přechodový napětový pokles)
K	činitel připojení v závislosti na typu zapojení (zapojení vinutí transformátoru)
$u_{\text{k Kom}}$	relativní napětí komutační reaktance nakrátko
S_{kV}	zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodě
S_{SRA}	instalovaný výkon zařízení s usměrňovačem
p	počet pulzů usměrňovače
α	řídící úhel usměrňovače

Pro přímé připojení bez transformátoru nebo při použití třífázového transformátoru s nestandardní vektorovou skupinou Dd5 nebo Yy0 (hvězda-hvězda) platí následující činitel $K = \sqrt{3}/2$. Pro připojení transformátoru se standardní vektorovou skupinou Dy5 nebo Yd5 (hvězda-trojúhelník) platí $K = 1$.

V případě, že nn strana usměrňovače je připojena přes komutační tlumivku a samostatný transformátor měniče s transformačním poměrem $\dot{U}_T = 1$, je výsledné relativní napětí komutační reaktance nakrátko dáno vztahem:

$$u_{\text{k Kom}} = u_{\text{k T}} + u_{\text{k D}} \quad (4-2)$$

$u_{\text{k T}}$	relativní napětí transformátoru usměrňovače nakrátko
$u_{\text{k D}}$	relativní napětí komutační tlumivky nakrátko

Za zjednodušujících předpokladů ($K = 1$, $\alpha = 90^\circ$, $p = 6$) dostáváme pro nejnepříznivější případ:

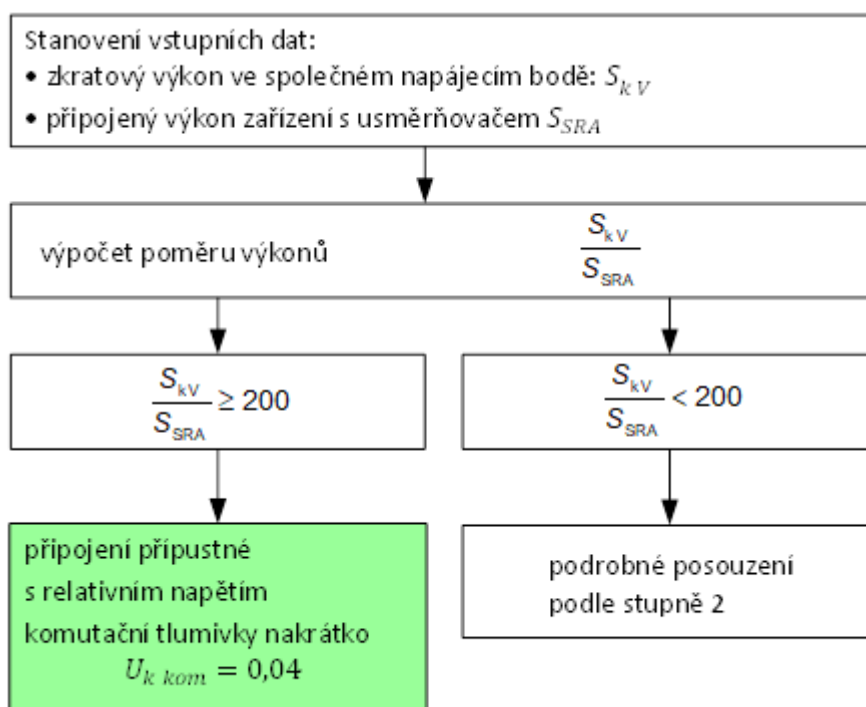
$$d_{Kom} = \left(u_{k\,Kom} \cdot \frac{S_{kV}}{S_{SRA}} + 1 \right)^{-1} \quad (4-3)$$

d_{Kom}	relativní hloubka komutačního poklesu (periodický přechodový napěťový pokles)
$u_{k\,Kom}$	relativní napětí nakrátko komutační reaktance (reaktance transformátoru a/nebo komutační tlumivky)
S_{kV}	zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodě
S_{SRA}	připojený výkon zařízení s usměrňovačem

Obecně stačí posuzovat každý usměrňovač samostatně, protože pravděpodobnost překrytí komutačních poklesů je nízká. Pokud je naopak provozováno několik usměrňovačů záměrně synchronně, je třeba dbát na to, aby nedošlo k překročení mezní hodnoty emisí v důsledku součtového účinku.

4.3.1 Stupeň 1 – Zjednodušené posouzení

Zjednodušené posouzení se provádí podle vývojového diagramu na Obr. 4-1.

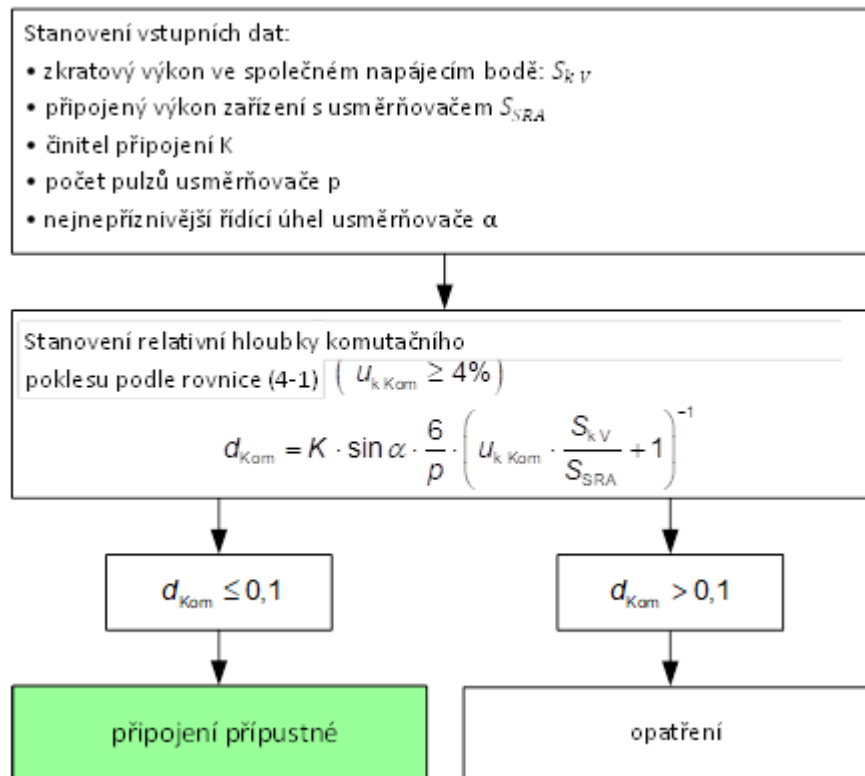


Obr. 4-1 Schéma zjednodušeného posouzení komutačních poklesů

Pokud zařízení obsahuje pouze jeden usměrňovač se známým jmenovitým výkonem $S_{r\,Str}$, použije se pro zjednodušené posouzení tato hodnota namísto výkonu zařízení s usměrňovačem S_{SRA} .

4.3.2 Stupeň 2 – Podrobné posouzení

Podrobné posouzení se provádí podle vývojového diagramu na Obr. 4-2.



Obr. 4-2 Schéma podrobného posouzení komutačních poklesů

5. Napětí signálů

5.1 Úroveň signálu

Aby byla zajištěna spolehlivá funkce přijímače HDO v distribuční síti, musí být minimální úroveň signálu pro všechny přijímače s dostatečnou rezervou nad jejich funkční úrovní.

Nepřípustně vysoké úrovně signálu mohou mít za následek rušení přístrojů nebo zařízení uživatelů sítě. Kompatibilní úrovně pro komunikaci v sítích jsou zadány v [EN 61000-2-2] (Tab. 5-1) a nesmějí být provozovatelem sítě překročeny.

Tab. 5-1 Kompatibilní úrovně pro komunikaci v sítích podle [EN 61000-2-2]

	Frekvenční rozsah	Úroveň signálu
HDO	0,11 kHz – 0,5 kHz	9 % U_n
	0,5 kHz – 3 kHz	9 % - 1,5 % (logaritmicky klesající s logaritmem frekvence)
PLC	3 kHz – 9 kHz	140 dB μ V
	9 kHz – 95 kHz	140 dB μ V – 128 dB μ V (lineárně klesající s logaritmem frekvence)
	95 kHz – 150 kHz	128 dB μ V

5.2 Posouzení

Pro posouzení se musí vzít v úvahu vliv frekvenčně závislé impedance zařízení uživatelů sítě resp. kompenzačních zařízení a také vliv neúmyslných emisí zařízení uživatelů sítě na úroveň signálu HDO.

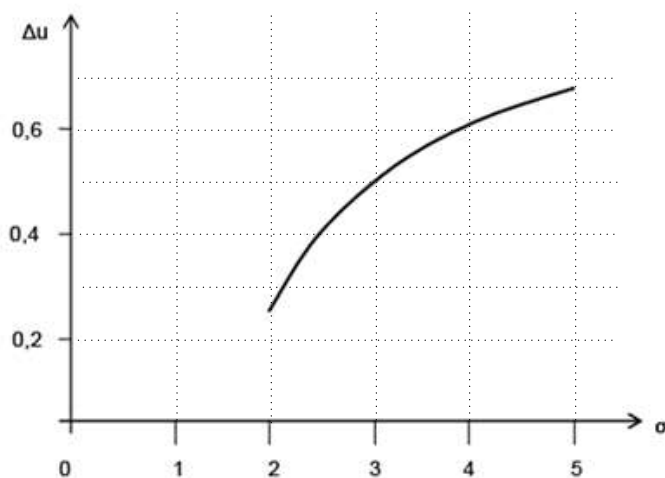
5.2.1 Ovlivnění úrovně zařízeními uživatelů sítě

Zařízení uživatelů sítě připojená k síti nn nesmí nepřipustným způsobem snižovat ani zvyšovat úroveň signálu v síti nn. Maximální přípustné snížení úrovně závisí na existující rezervě aktuální úrovně signálu HDO v síti VN vůči funkčnímu napětí přijímačů HDO. V následujícím grafu (Obr. 5-1) je znázorněna dostupná rezerva σ (činitel úrovně signálu), přičemž platí následující rovnice:

$$\sigma = \frac{U_{sMS}}{U_f} \quad (5-1)$$

$$\Delta u_{TRA} = \frac{U_{sMS} - U_{sE}}{U_{sMS}} = \frac{\sigma \cdot U_f - 1,5 \cdot U_f}{\sigma \cdot U_f} = 1 - \frac{1,5}{\sigma} \quad (5-2)$$

U_{sMS}	úroveň signálu HDO v síti vn
U_{sE}	úroveň signálu na přijímači HDO
U_f	funkční úroveň přijímače HDO
σ	činitel úrovně signálu
Δu_{TRA}	maximální přípustný pokles úrovně



Obr. 5-1 maximální přípustný pokles úrovně signálu HDO v závislosti na σ [1]

Pro frekvence HDO $f_{\text{TRA}} \leq 250$ Hz platí $\sigma = 2$ a tedy maximální přípustné snížení napětí o $\Delta u_{\text{TRA}} = 0,25$. Pro frekvence HDO $f_{\text{TRA}} > 250$ Hz se volí hodnota činitele úrovně signálu $\sigma > 2$.

Zvýšení úrovně signálu HDO nesmí nezávisle na hodnotě tónové frekvence překročit hodnotu 50%.

Přímé připojení točivých strojů (bez statických měničů) je v síti nn povoleno až do jmenovitého výkonu 5 kVA ve společném napájecím bodu nebo do 10 kVA síťové oblasti bez zvláštních opatření.

Aby bylo zajištěno, že maximální přípustné snížení nebo zvýšení úrovně signálu HDO v síti nn bude dodrženo i při součtu vlivů zařízení všech uživatelů sítě, stanoví se pro jednotlivá zařízení uživatele sítě mezní hodnota. Pokles nebo zvýšení úrovně signálu způsobené zařízením uživatele sítě nesmí překročit hodnotu $\Delta u_{\text{TRA}} = 5\%$.

Snížená úroveň signálu HDO musí v každém případě s dostatečnou rezervou přesáhnout funkční napětí přijímačů. Pokud tomu tak není, musí uživatel sítě nainstalovat hradicí členy nebo přijmout jiné účinné opatření. Velikost požadované rezervy určuje provozovatel sítě.

Provozovatel sítě může tolerovat vyšší hodnotu změny úrovně signálu způsobenou zařízením uživatele sítě, pokud má úroveň signálu HDO ve všech bodech sítě nn dostatečnou rezervu nad funkční úrovní přijímačů.

5.2.2 Zpětný vliv na úroveň signálu způsobený zařízeními pro kompenzaci účinníku

Z pohledu ze sítě VN tvoří kapacita kompenzačních kondenzátorů sériový rezonanční obvod s indukčností transformátoru vn/nn. S rostoucí kapacitou klesá jeho rezonanční frekvence. U kompenzačních zařízení s kondenzátory spínanými po stupních to vede ke vzniku více rezonančních frekvencí.

Zatlumení (hrazení) znamená, že kondenzátorům se předřazuje indukčnost. Tato indukčnost je navržena tak, aby rezonanční frekvence rezonančního obvodu byla nižší než frekvence HDO, takže rezonanční obvod má při frekvenci HDO vysokou impedanci.

Všechna kompenzační zařízení s výkonem $S_{\text{Komp}} \leq 25$ kvar musí být pro frekvence HDO $f > 350$ Hz hrazená. Všechna kompenzační zařízení s výkonem $S_{\text{Komp}} > 25$ kvar musí být vždy hrazená nezávisle na použité frekvenci HDO.

Míra hrazení se vyjadřuje činitelem zatlumení p , pro který platí následující vztah.

$$p = \left(\frac{f_N}{f_{\text{res}}} \right)^2 \quad (5-3)$$

p	činitel zatlumení
f_N	frekvence sítě
f_{res}	sériová rezonanční frekvence hrazeného kompenzačního zařízení

Pro činitel zatlumení se doporučují hodnoty odpovídající následující tabulce.

Tab. 5-2 Doporučený činitel zatlumení p

Frekvence HDO	Činitel zatlumení
< 250 Hz	≥ 14 %
250-350 Hz	≥ 7 %
>350 Hz	≥ 5 %

Poznámka:

Činitel zatlumení je poměr výkonu předřazené tlumivky na 50 Hz k výkonu kompenzační kapacity na 50 Hz.

Pro kompenzační zařízení s činitelem zatlumení $p = 7$ % vychází podle rovnice (5-3) rezonanční frekvence 189 Hz.

5.3 Emise způsobené zařízeními uživatelů sítě

Pokud zařízení uživatele sítě způsobuje emise, jejichž frekvence odpovídá frekvenci HDO v síti nízkého napětí nebo leží v její bezprostřední blízkosti, nesmí tyto emise překročit hodnotu 0,1 % U_c .

Pokud zařízení uživatele sítě způsobuje emise, jejichž frekvence odpovídá postranním frekvencím HDO $f_{\text{TRA}} \pm 100$ Hz nebo se nachází v jejich bezprostřední blízkosti, nesmí tyto emise překročit hodnotu 0,3 % U_c .

Seznam norem

IEC/TR 60725 ED. 3.0:2012 06

Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase

ČSN EN 61000-2-2:2020

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

ČSN EN 61000-3-2:2019

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

ČSN EN 61000-3-3:2014

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

ČSN EN 61000-3-11:2001

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 61000-3-12:2012

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

IEC/TR 61000-3-13 ED. 1.0:2008 02

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems

IEC/TR 61000-3-14 ED. 1.0:2011 10

Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-14: Assessment of emission limits for harmonics, interharmonics, voltage fluctuations and unbalance for the connection of disturbing installations to LV power systems

ČSN EN 61000-4-7:2003+A1:2009

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 61000-4-15:2011

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-15: Zkušební a měřicí technika - Flikrmetr - Specifikace funkce a dimenzování

Seznam literatury

- [1] E-Control TOR D3: „Tonfrequenz-Rundsteuerung; Empfehlung zur Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen.“, Version 2.1, 03/2006