

<b>ČEZ distribuce, E.ON distribuce, E.ON ČR, PRE distribuce, ČEPS a ZSE</b>	<b>VÝPOČETNÍ HODNOCENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ ODBĚRATELŮ A ZDROJŮ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV</b>	<b>PNE 33 3430-0</b>  4. vydání
<p><b>Odsouhlasení normy</b> Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., ČEZDistribuce, a.s., E.ON Česká republika, E.ONDistribuce, PREdistribuce, a.s. a ZSE, a.s.</p> <p><b>Předmluva</b> Tato norma platí pro plánování připojování a provozování elektrických zařízení distribučních soustav nn, vn a 110 kV z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz a zařízení hromadného dálkového ovládání. Tato norma neplatí pro spotřebiče pro domácnost, pro které platí ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 61000-3-3.</p> <p><b>Změny oproti předchozí normě:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doplnění o kapitolu vysvětlující vzájemnou závislost EMC a kvality energie (PQ)</li> <li>• Kapitoly 1 - Pojmy, ve které kromě konsekventního zohlednění EN 50160 CENELEC a mezinárodního elektrotechnického slovníku (IEV) IEC, byly doplněny případně precizovány jednotlivé definice pojmů</li> <li>• Kapitoly 2 - Zkratový výkon v níž je podrobněji vysvětleno určení impedance vedení a impedance sítě ve společném napájecím bodě</li> <li>• Kapitoly 3 - Změny napětí a flickr, změny se týkají především:       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precizování sumarizace flickru z jeho více zdrojů a intenzity flickru včetně jejího výpočtu analytickou metodou</li> <li>2. Doplnění části týkající se minimalizace flickru a jeho kompenzace.</li> <li>3. Přepřacování příkladů.</li> </ol> </li> <li>• Kapitoly 4 – Harmonické, změny se týkají:       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Určení mezních hodnot proudů harmonických a mezních emisních hodnot celkového harmonického zkreslení THDiA vztažených na proud základní harmonické I1.</li> <li>2. Použití a účinku sacích obvodů</li> <li>3. Zlepšení kvality napětí v síti aktivními filtry</li> </ol> </li> <li>• Kapitoly 6 – Meziharmonická napětí – která byla doplněna o jevy spojené s flickrem, způsobené kolísáním amplitudy meziharmonických v kritické oblasti flickru.</li> <li>• Kapitoly 7 - v níž byly rozlišeny požadavky na výrobní zařízení pro sítě nn s dodávaným proudem do 16 A se zřetelem na:       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rušivé emise jednotlivých <i>provozních prostředků</i></li> <li>2. Sumární účinek provozních prostředků v určité síťové oblasti týkající se <i>znaků kvality energie</i>.</li> <li>3. Přípustné zvýšení napětí ve <i>společném napájecím bodě</i>.</li> </ol> </li> </ul>		
Nahrazuje: PNE 33 3430-0: 2005, třetí vydání		Účinnost od : 1.1.2009

## Citované normy a doporučení

- [1] ČSN 33 0120 Normalizovaná napětí IEC (mod HD 472 S1:1989+A1:1995)
- [2] ČSN EN 50160 ed.2 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
- [3] 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.
- [4] ČSN EN 61000-2-4 ed. 2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 2: Prostředí Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech
- [5] ČSN EN 61000-2-6: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 2: Prostředí Oddíl 6: Určování úrovní emise nízkofrekvenčních rušení šířených vedením v síťovém napájení průmyslových závodů
- [6] IEC 61000-2-12: Electromagnetic Compatibility (EMC)- Part 2-2 Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems – Technical specification, 1998
- [7] ČSN EN 61000-3-2 ed. 2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-2: Meze – Meze pro emise harmonického proudu (zařízení se vstupním fázovým proudem do 16 A včetně)
- [8] ČSN EN 61000-3-3: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 3 Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem  $\leq 16$  A
- [9] ČSN IEC 61000-3-4: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 3-4: Omezování emise harmonických proudů v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A.
- [10] ČSN IEC 1000-3-5: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 3: Meze Oddíl 5: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A
- [11] IEC/TR3 61000-3-6:1996 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3: Limits - Section 6: Limitation of emission of harmonic currents for equipments connected to medium and high voltage power supply systems - Technical report type II, 1995
- [12] IEC/TR3 61000-3-7:1996 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3: Limits - Section 7: Limitation of voltage fluctuations and flicker for equipments connected to medium and high voltage power supply systems - Technical report type II, 1995
- [13] 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  $\leq 75$  A, které je předmětem podmíněného připojení
- [14] IEC 61400-21: Wind Turbine Generator Systems. Part 21: Power quality requirements for grid connected wind turbines
- [15] PNE 33 3430-1: Parametry kvality elektrické energie. Část 1: Harmonické
- [16] PNE 33 3430-2: Parametry kvality elektrické energie, Část 2: Kolísání napětí
- [17] PNE 33 3430-3: Parametry kvality elektrické energie. Část 3: Nesymetrie napětí
- [18] PNE 33 3430-4: Parametry kvality elektrické energie. Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí
- [19] PNE 33 3430-6: Omezení zpětných vlivů na zařízení hromadného dálkového ovládní
- [20] D-A-CH-CZ Technická pravidla pro posuzování zpětných vlivů na síť
- [21] Grundsätze für die Beurteilung von Netzrückwirkungen, VDEW, 3.Ausgabe, 1992 (Zásady pro posuzování zpětných vlivů na síť, VDEW, 3. vydání, 1992)

- [22] VDEW, VEÖ, VSE, VCS Empfehlungen zur Vermeidung unzulässiger Rückwirkungen auf die Tonfrequenz-Rundsteuerung. (Doporučení VDEW, VEÖ, VSE, VCS pro zamezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání)
- [23] Richtlinie für den Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Niederspannungsnetz des Elektrizitätsunternehmens (EVU), VWEW
- [24] Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz VDEW
- [25] EEG-Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz, VDN
- [26] ČSN 33 3022-1 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů podle IEC 60909-0
- [27] ČSN EN 60909-0 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů
- [28] ČSN 60076-1 + A11: Výkonové transformátory Část 1 Všeobecně
- [29] ČSN 35 1121: Trojfázové olejové distribuční transformátory 50 Hz od 50 do 2 500 kVA a s nejvyšším napětím pro zařízení nepřevyšujícím 36 kV. Část 1: Všeobecné požadavky a požadavky na transformátory s nejvyšším napětím pro zařízení nepřevyšujícím 24 kV, 1996
- [30] PNE 38 2530: Hromadné dálkové ovládání, automatiky, vysílače a přijímače.

### **Vypracování normy**

Zpracovatelé: Ing. Karel Procházka, CSc., Ing. Jaroslav Hanžlík, CSc.

EGC- EnerGoConsult, s.r.o. Č. Budějovice,

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

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>1. POJMY A DEFINICE</b> .....	<b>7</b>
<b>2. ZKRATOVÝ VÝKON</b> .....	<b>17</b>
2.1. Obecné .....	17
2.2. Určení impedancí .....	17
2.2.1. Impedance nadřazené sítě .....	17
2.2.2. Impedance transformátoru .....	18
2.2.3. Impedance vedení .....	18
2.2.4. Synchronní stroje .....	19
2.2.5. Asynchronní stroje .....	19
2.2.6. Impedance sítě v přípojném bodě .....	20
2.3. Vztažná impedance .....	20
2.4. Příklad výpočtu zkratového výkonu .....	21
<b>3. Změny napětí, flickr a nesymetrie</b> .....	<b>23</b>
3.1. Obecné .....	23
3.2. Relativní změna napětí a flickr .....	24
3.2.1. Změna napětí vyvolaná symetrickou změnou zatížení .....	24
3.2.2. Výpočet změny zatížení ve speciálních případech .....	29
3.2.3. Výpočet emise flickru .....	30
3.3. Posouzení .....	33
3.3.1. Odběry připojované do sítí nn .....	33
3.3.2. Posuzování připojitelnosti v sítích vn a 110 kV .....	40
3.4. Nesymetrie napětí .....	42
3.4.1. Obecné .....	42
3.4.2. Výpočet nesymetrií .....	43
3.4.3. Účinky nesymetrií .....	43
3.4.4. Přípustné hodnoty .....	44
3.5. Opatření .....	44
3.6. Příklady .....	45
3.6.1. Rozběh motoru .....	45
3.6.2. Připojení centra pro zpracování plechu .....	46
3.6.3. Bodová svářečka .....	51
<b>4. HARMONICKÉ</b> .....	<b>53</b>
4.1. Výpočet impedancí sítí na tónových frekvencích .....	53
4.1.1. Impedance v přípojném bodu "V" .....	54
4.1.2. Impedance transformátorů .....	54
4.1.3. Podélná impedance vedení .....	54
4.1.4. Příčná impedance vedení a kondenzátorů .....	55
4.1.5. Impedance zátěže sítě .....	55
4.1.6. Impedance průmyslových sítí .....	55
4.2. Mezní emisní hodnoty .....	55
4.2.1. Mezní emisní hodnoty pro proudy jednotlivých harmonických $I_h$ .....	56
4.2.2. Mezní emisní hodnota pro celkový činitel harmonického zkreslení $THD_{IA}$ .....	57
4.3. Posouzení vlivu na síť .....	58
4.3.1. Poměr výkonů $S_{kV} / S_A$ .....	59
4.3.2. Podíl zatížení harmonickými ze zařízení uživatele sítě $S_{os} / S_a$ .....	60
4.3.3. Posouzení podílu výkonu harmonických $S_{OS} / S_A$ .....	62
4.4. Opatření pro snížení vlivu harmonických .....	63
4.4.1. Sací obvody .....	63
4.4.2. Aktivní kompenzace harmonických .....	64

4.5.	Příklad .....	64
4.6.	Zařízení pro kompenzaci jalového výkonu .....	66
<b>5.</b>	<b>KOMUTAČNÍ POKLESY .....</b>	<b>68</b>
5.1.	Mezní emisní hodnoty .....	69
5.2.	Opatření .....	70
	5.2.1. Zvýšení reaktance $X_{Kom}$ .....	70
	5.2.2. Vliv kompenzačních zařízení .....	71
	5.2.3. Další opatření .....	71
5.3.	Příklad .....	72
<b>6.</b>	<b>MEZIHARMONICKÉ .....</b>	<b>72</b>
6.1.	Přípustné úrovně .....	73
6.2.	Opatření .....	74
<b>7.</b>	<b>ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE .....</b>	<b>74</b>
7.1.	Obecné .....	74
7.2.	Posouzení .....	76
	7.2.1. Obecné .....	76
	7.2.2. Zvýšení napětí .....	77
	7.2.3. Změny napětí vyvolané manipulacemi .....	79
	7.2.4. Flickr .....	81
	7.2.5. HARMONICKÉ .....	84
	7.2.6. KOMUTAČNÍ POKLESY .....	84
	7.2.7. ZPĚTNÉ VLIVY NA ZAŘÍZENÍ HDO A RUŠENÍ SIGNÁLU HDO .....	84
7.3.	Příklady .....	86
	7.3.1. Připojení většího počtu větrných elektráren k síti 22 kV – příklad 1 .....	86
	7.3.2. Připojení více větrných elektráren k síti 22 kV – příklad 2 .....	90
	7.3.3. Paralelní provoz malé vodní elektrárny .....	94
	7.3.4. Připojení blokové teplárny (BHKW) .....	97
	7.3.5. Připojení zařízení na bioplyn .....	99
<b>8.</b>	<b>Výpočetní programy pro určení zpětných vlivů .....</b>	<b>101</b>
<b>9.</b>	<b>Příloha 1 Parametry venkovních vedení a kabelů .....</b>	<b>102</b>

## ÚVOD

Vlivem rostoucího využívání výkonové elektroniky a s tím spojeného přibývání nelineárních spotřebičů ve všech úrovních sítě vznikají ve stále vyšší míře zpětné vlivy na síť, které lze pozorovat v nežádoucích změnách

- velikosti napětí
- tvaru křivky síťového napětí.

V důsledku toho mohou být rušivě ovlivňovány ostatní k síti připojené provozní prostředky a elektrotechnická zařízení; rozlišovat je třeba:

- výpadky funkcí
- chybné funkce
- nepřímé a bezprostřední škody včetně eventuálních následných škod.

Možná rušení závisí na amplitudě, četnosti a době trvání zpětných vlivů na síť i stupni rozšíření určitých druhů provozních prostředků. Dále je třeba respektovat koeficient soudobosti provozu provozních prostředků a elektrotechnických zařízení, které v provozu zpětné vlivy na síť způsobují.

Zpětné vlivy na vlastní síť se mohou projevit např. takto:

- zhoršením účinníku (zvýšením přenosových ztrát a snížením hospodárnosti)
- nedostatečnou kompenzací zemních spojení.

V zájmu všech je:

- udržet rovnováhu mezi přibývajícím emisemi rušení do sítě a ochranou ostatních k síti připojených provozních prostředků a elektrotechnických zařízení
- přes vzrůstající tlak na náklady dostát citelně rostoucím kvalitativním požadavkům moderních přístrojů a procesů
- udržet existující vysokou úroveň kvality při měnící se struktuře výroby a z toho vyplývajících dalších požadavků na síť.

Z tohoto důvodu musí mít provozovatelé sítě možnost udržet zpětné vlivy na síť a jejich účinky, způsobené provozními prostředky a zařízeními připojenými k jejich sítím, i za měnících se rámcových podmínek ve smluvním rozsahu.

Podle věcného rozdělení výsledné zodpovědnosti přicházejí pro to v úvahu následující oblasti činností:

- vhodná investiční a operativní opatření v sítích při zvážení objektivních požadavků na kvalitu a ekonomické únosnosti
- přiměřená úprava mezních hodnot pro požadavky na elektrické přístroje a zařízení v normách týkajících se EMC a jejich dodržování
- v nutných případech ve smyslu Energetického zákona 458/2000 §24 (4) d) 9 je zákazník povinen provést dostupná technická opatření pro zmírnění zpětných vlivů na síť

Při více přístrojích stejného druhu v jednom zařízení uživatele sítě a při připojování přístrojů a elektrotechnických zařízení, které neodpovídají podmínkám vpředu uvedených pravidel, je však posouzení připojení ze strany provozovatele sítě potřebné.

Rozsahy hodnot pro jednotlivé charakteristiky napětí v sítích nn a vn jsou stanoveny v ČSN EN 50160 [2g, která udává podstatné charakteristiky napájecího napětí v předávacím místě k

uživatelé ve veřejných sítích nn a vn za normálních provozních podmínek, pro sítě 110 kV jsou stanoveny v PPDS, Příloze 3.

## 1. POJMY A DEFINICE

Použité formulace byly pokud možná převzaty z existujících norem a pravidel.

### **Četnost opakování r změny zatížení, event. napětí**

Během doby sledování, která by měla být obvykle 10 provozních cyklů provozního prostředku nebo nejméně 2 hodiny, se udává četnost změn napětí jako četnost opakování r jednotlivých změn:

r četnost opakování  
N počet změn v době sledování T [1/min]  
T doba sledování [min].

Pozn.: Dvě následující změny napětí s odstupem < 40 ms se počítají jen jako jedna změna. Rampovitě průběhy změny napětí s dobou nárůstu nebo poklesu > 1 s se při určování četnosti opakování neberou v úvahu.

### **Činitel flikru; fázový úhel flikru $\varphi_f$**

Hodnota flikru zařízení c charakterizuje společně s fázovým úhlem flikru  $\varphi_f$  vlastnosti výrobního zařízení z hlediska flikru za normálních provozních podmínek (spínací děje se přitom neberou v úvahu). Obě hodnoty udává výrobce nebo nezávislý zkušební institut.

Pozn.: Úhel flikru  $\varphi_f$  není ovlivnitelný mechanicky připojovanými kompenzačními kondenzátory.

### **Dodávaný výkon, maximální: $S_{rE_{max}}$**

Maximální dodávaný výkon je nejvyšší střední hodnota zdánlivého výkonu, která se vyskytla během definovaného časového intervalu v předávacím místě výroby.

Pozn.: U větrných zařízení může být maximální dodávaný výkon  $S_{rE_{max}}$  pro 1-minutový, příp. 10-minutový interval vypočítán z hodnot relativního maxima činného výkonu  $p_{1min}$ , event.  $p_{10min}$ , jmenovitého (činného) výkonu  $P_{nG}$  a účinníku  $\lambda_n$ , udaných ve zkušební zprávě:

$$S_{rE_{max}} = \frac{(p_{1min} \text{ ev. } p_{10min}) \cdot P_{nG}}{\lambda_n}, \quad (1)$$

přičemž účinník  $\lambda_n$  se vypočítá při respektování všech harmonických.

### **Elektrický provozní prostředek (krátce:provozní prostředek) [12]**

Předmět (stroj, přístroj atd.), určený jako celek nebo v jednotlivých částech k výrobě, vedení nebo ke spotřebě elektrické energie.

Pozn.: K výrobě, vedení a spotřebě elektrické energie patří všechna použití el. energie, jako např. akumulace, transformace, změna formy a rozvod el. energie, dále sběr, ukládání, přenos, zpracování a další přenos informací i měření fyzikálních veličin a vypínání, regulace, řízení, vyhlazování a tlumení jevů v elektrické síti.

### **Elektromagnetická kompatibilita (EMC) [3]**

Schopnost zařízení nebo systému uspokojivě pracovat v jeho elektromagnetickém prostředí, aniž samo do tohoto prostředí, ke kterému též patří další zařízení, přidává nepřípustné elektromagnetické rušivé veličiny.

EMC a kvalita napětí spolu vzájemně souvisejí. Pro EMC jsou určující směrnice EU 89/336/EEG a v nich publikované normy mezních emisních hodnot a požadavků na odolnost proti rušení; kvalita napětí v sítích nn a vn je v podstatě popsána v ČSN EN 50160.

### **Flikr [2]**

Flikr (blikání): pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase

Pozn.: Kolísání napětí vyvolává změny hustoty osvětlení žárovek, které mohou vyvolávat opticky vnímané, jako flikr označené jevy. Flikr působí nad určitou mezní hodnotou rušivě. Rušivý účinek roste velmi rychle s amplitudou kolísání. Při určitých hodnotách opakování mohou být rušivé už malé amplitudy.

Odkaz: Jako měřená veličina pro flikr se používá intenzita flikru.

### **Harmonická**

Sinusový průběh, jehož kmitočet je celočíselným násobkem základní harmonické. Efektivní hodnota se označuje  $U_v$  (napětí harmonické), event.  $I_v$  (proud harmonické).

### **Intenzita flikru [2]**

Intenzita rušivého účinku flikru, stanovená a posuzovaná metodou měření flikru UIE-IEC [ČSN EN 61000-4-15] pomocí těchto veličin:

- krátkodobá míra vjemu flikru  $P_{st}$ , měřená v časovém okně 10 minut

Pozn.: Hodnota flikru  $P_{st}$  je rozhodující pro normalizování výrobků.

- dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{lt}$ , vypočítaná ze sledu 12 hodnot  $P_{st}$  pro 2-hodinový interval podle rovnice:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st,i}^3}{12}} \quad (2)$$

Pozn.:  $P_{lt}$  je hodnota flikru podstatná pro kvalitu napětí.

### **Jmenovitá hodnota**

Určitá hodnota fyzikální veličiny (např. napětí, proudu nebo výkonu), kterou udává výrobce pro stanovení podmínek, za kterých je zaručen řádný provoz přístroje nebo zařízení.

Pozn.: Pro označení jmenovitých hodnot se používá jak index n (jmenovitá), tak i index r (rated). V této normě je dána přednost indexu r.

### **Jmenovité napětí sítě $U_n$ [2]**

Napětí, které síť označuje nebo identifikuje a vztahuje se k určitým provozním charakteristikám.



Viz také napájecí napětí.

### Činitel celkového harmonického zkreslení THD

Poměr efektivní hodnoty všech harmonických až do 50. řádu k efektivní hodnotě základní harmonické. THD lze udávat jak pro napětí, tak i pro proud:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{50} U_v^2}}{U_1} \quad \text{ev.} \quad THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{50} I_v^2}}{I_1} . \quad (3)$$

Pozn.: Sledování harmonických až do 50. řádu vychází z ČSN EN 61 000 –2-2 [3].

V některých normách – jako ČSN EN 50160 [2] - je také uvedena horní hranice pro sledování řádů 40. Přídavný příspěvek harmonických s řády 41 až 50 je – s výjimkou rezonančních jevů – malý.

### Kolísání napětí [2]

Sled změn napětí nebo periodická změna obálek křivky napětí.

### Komutace

Převádění proudu z jedné vodivé větve usměrňovače k další v cyklickém pořadí bez přerušení stejnosměrného proudu. Během doby komutace vedou obě větve současně.

### Komutační pokles

Periodický transientní pokles napětí, který se může objevit na střídavé straně sítě řízeného usměrňovače, vyvolaný komutací.

Relativní hloubka komutačního poklesu  $d_{Kom}$  je definována jako největší odchylka  $\Delta U_{Kom}$  napětí sítě od okamžité hodnoty základní harmonické, vztažená k vrcholové hodnotě  $\hat{U}_1$  základní harmonické:

$$d_{Kom} = \frac{\Delta U_{Kom}}{\hat{U}_1} . \quad (4)$$

### Komutační zákmity

Zákmity napětí, související s komutačním poklesem.

Skokové změny napětí vyvolávají v sítích s kapacitami zákmity, které exponenciálně doznívají. Kmitočet těchto kmitů je většinou v pásmu kilohertzů. V případě velmi malých kapacit (např. kapacit kabelů) se mohou vyskytnout tak vysoké kmitočty, že se vyznačuje elektromagnetické vlnění.

### Kvalita napětí – kvalita napájecího napětí – Power Quality [ČSN EN 61000-4-30]

Charakteristiky elektrického napětí v určitém bodě elektrické sítě, vyjádřené řadou referenčních technických parametrů.

Pozn.: Tyto parametry mohou být v některých případech vztaženy ke kompatibilitě mezi dodávanou elektřinou a zátěžemi připojenými k této síti.

### Meziharmonické napětí $U_\mu$ [2]

Sinusové napětí, jehož kmitočet je mezi kmitočty harmonických, tzn. jeho kmitočet není celočíselným násobkem základní harmonické.

Pozn.: Meziharmonická napětí s vzájemně blízkými kmitočty se mohou vyskytnout současně a tvořit přitom širokopásmové spektrum.

### **Meziharmonické napětí, jeho úroveň**

Poměr efektivní hodnoty meziharmonického napětí  $U_h$  ( $U_m$ ) k efektivní hodnotě základní harmonické  $U_1$ .

Pozn.: Směrné hodnoty viz ČSN EN 61 000-2-2 [3], tab.B.1.

### **Mezní velikost rušení**

Stanovená hodnota rušivé veličiny, která slouží jako základ pro koordinaci EMC v el. sítích. Cílem koordinace EMC je zajistit, aby při společném působení všech zdrojů rušení v jednom systému byla dodržena úroveň kompatibility. Pro to stanoví provozovatel sítě mezní emisní hodnoty jak pro jednotlivé úrovně sítě, tak i pro zařízení uživatele sítě, odpovídající struktuře sítě i zatížení příslušného systému. Toto stanovení hodnot vychází z platných národních norem, příp. této normy.

### **Napájecí napětí $U$ [2]**

Efektivní hodnota napětí v předávacím místě v určitém okamžiku, měřená v průběhu určitého časového intervalu.

Pozn.: V sítích vn lze stanovit odlišně od jmenovitého napětí sítě „sjednané napájecí napětí“ v předávacím místě, k němuž se vztahují charakteristiky kvality napětí.

### **Napájecí napětí, jeho kmitočet [2]**

Kmitočet základní harmonické napájecího napětí, měřený během určitého časového intervalu.

### **Napájecí napětí, maximální: $U_{max}$**

Maximální napájecí napětí  $U_{max}$  představuje pro sítě nn normalizovanou horní mez rozsahu napájecího napětí v síti kolem jejího jmenovitého napětí. V případě sjednaného napájecího napětí ( $U_c$ ) v síti vn je tato horní mez závislá na síti a zadává ji provozovatel sítě.

### **Napájecí napětí, sjednané: $U_c$**

Sjednané napájecí napětí  $U_c$  se v normálním případě rovná jmenovitému napětí  $U_n$  sítě. Mezi provozovatelem sítě a uživatelem sítě lze dohodnout v předávacím místě napětí  $U_c$ , odlišující se od jmenovitého napětí.

Pozn.: V sítích nn jsou sjednané napětí  $U_c$  a jmenovité napětí  $U_n$  obecně shodná.

### **Napětí v přípojném bodě $U_V$**

Napětí, které se používá pro posouzení zpětných vlivů na síť v určitém přípojném bodě. Napětí  $U_V$  odpovídá jmenovitému, příp. dohodnutému napětí sítě, v níž přípojný bod leží.

### **Nesymetrie napětí [2]**

Stav v třífázové síti, při kterém efektivní hodnoty fázových napětí nebo úhly mezi následujícími fázemi nejsou stejné.

### **Nízké napětí (nn) [1]**

Napětí pro distribuci elektřiny, jehož jmenovitá hodnota (efektivní) je nejvýš 1000 V.

### **Normální provozní podmínky [2]**

Provozní stav v distribuční síti, při kterém je kryta poptávka po elektřině, provádějí se manipulace a poruchy jsou likvidovány automatickými ochrannými systémy, aniž by existovaly mimořádné okolnosti z důvodů vnějších vlivů nebo větších úzkých míst v zásobování.

### **Počet pulsů p**

Charakteristická hodnota zapojení usměrňovače, vyjádřená jako počet nesoučasných komutací během jedné periody střídavého napětí.

### **Pokles napětí [2]**

Náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90% a 1% dohodnutého napájecího napětí  $U_c$ , po němž v krátké době následuje obnova napětí. Doba trvání poklesu napětí je podle dohody mezi 10 ms a 1 min. Hloubka poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou napětí během poklesu a dohodnutým napětím  $U_c$ . Změny napětí, při kterých napětí neklesne pod 90% dohodnutého napětí  $U_c$ , se neposuzují jako poklesy.

### **Předávací místo**

Jako takový označený a smluvně stanovený bod v elektrické síti, v němž se elektrická energie vyměňuje (předává) mezi smluvními partnery. Předávací místo může být identické s měřicím bodem (obchodního měření) a s hranicí vlastnictví.

Předávací místo může být odlišné od přípojného bodu a od hranice vlastnictví. Předávací místo je ten bod, k němuž se vztahují obecné podmínky přístupu k distribuční síti energetického podniku, týkající se předávání, event. odebrání elektrické energie se smluvně dohodnutou kvalitou a poskytování pomocných služeb.

### **Přípojný bod V**

Jako přípojný bod V (Point of Common Coupling-PCC) se označuje ten bod ve (veřejné) síti, ke kterému jsou nebo mohou být připojena další zařízení jiných uživatelů sítě a k němuž se tedy vztahuje posuzování zpětných vlivů na síť, vyvolaných zařízeními uživatele sítě.

### **Přípojný výkon zařízení uživatele sítě $S_A$**

Přípojný výkon  $S_A$  je zdánlivý výkon, na který je zařízení příslušného uživatele sítě dimenzováno.

Pozn.: U zákazníků se zvláštní smlouvou odpovídá přípojný výkon  $S_A$  zpravidla sjednanému výkonu, event. smluvnímu výkonu.

### **Proud zařízení $I_A$**

Proud zařízení  $I_A$  je proud určený z přípojného výkonu  $S_A$  zařízení uživatele sítě:

$$I_A = \frac{S_A}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (5)$$

$I_A$  proud zařízení

$S_A$  přípojný výkon zařízení uživatele sítě

$U_n$  jmenovité napětí zařízení uživatele sítě (sdružené napětí).

### **Průběh efektivní hodnoty napětí $U(t)$ [8]**

Časový průběh efektivní hodnoty napětí, určený jako řada jednotlivých hodnot pro každou následující půlperiodu mezi průchody zdrojového napětí nulou.

### **Průběh změny napětí $\Delta U(t)$ [8]**

Časový průběh změny efektivní hodnoty napětí, určený jako jednotlivá hodnota pro každou následující půlperiodu mezi průchody zdrojového napětí nulou, a to mezi intervaly, v nichž je napětí po dobu min. 1s konstantní.

Pozn.: Protože se tato veličina používá jen pro posuzování na základě výpočtů, předpokládá se napětí v nakmitávaném stavu jako konstantní uvnitř pásma přesnosti měření.

### **Řád $h$ (harmonické)**

Poměr kmitočtu jedné harmonické k základní harmonické.

### **Reaktance $X_{Kom}$**

Reaktance  $X_{Kom}$  je suma všech účinných reaktancí (tlumivek a transformátorů) mezi přípojným bodem a usměrňovačem na kmitočtu sítě. Aby bylo možné lépe zobrazit různé souvislosti, je účelné vyjádřit reaktanci  $X_{Kom}$  příslušným relativním napětím nakrátko  $u_{kKom}$ . Obě tyto veličiny jsou v tomto vzájemném vztahu:

$$u_{kKom} = X_{Kom} \cdot \frac{S_{rStr}}{U^2}, \quad (6)$$

$u_{kKom}$  relativní napětí nakrátko reaktance  $X_{Kom}$

$X_{Kom}$  součet reaktancí mezi přípojným bodem a souborem usměrňovače

$S_{rStr}$  výkon usměrňovače

$U$  napájecí napětí.

### **Řídicí úhel $\alpha$**

Časový interval, vyjádřený v měřítku elektrického úhlu, o který je řídicí impuls usměrňovače nebo střídače posunut proti vztažnému okamžiku. U zařízení řízených sítí odpovídá vztažný okamžik plnému vybuzení zařízení v usměrňovacím provozu.

### **Rozběhový proud $I_a$**

Rozběhový proud  $I_a$  je efektivní hodnota nejvyššího proudu, který odebírá motor včetně jakýchkoliv rozběhových zařízení během rozběhu bez respektování přechodných jevů.

Při rozběhu asynchronních strojů je tento proud bez pomocného opatření mezi 3- a 8-násobkem jmenovitého proudu motoru.

Rozběhový proud se liší od záběrového proudu, nepředstavuje žádný normalizovaný pojem a je často různě interpretován.

### **Rušivá veličina [3]**

Elektromagnetický jev, jehož přítomnost v elektromagnetickém okolí může ovlivnit správný provoz elektrického přístroje (provozního prostředku, zařízení).

Elektromagnetická (také elektrická nebo magnetická) veličina, která může v elektrickém zařízení vyvolat nežádoucí ovlivnění. Tato veličina se nazývá rušivá i tehdy, nevede-li k narušení, event. nežádoucímu ovlivnění.

### **Sítí řízený usměrňovač**

Usměrňovač, u kterého napětí potřebné pro komutaci dodává distribuční síť.

### **Sít'ové tlumivky**

Sít'ové tlumivky (zvané též komutační tlumivky) se zapojují do přívodů usměrňovače. Používají se ke zmenšení hloubky komutačních poklesů.

### **Špička rozběhového proudu**

Je to vrcholová hodnota největší půlvlny proudu ( $t = 10$  ms), která se vyskytne při rozběhu.

Pozn.: Hodnota závisí na okamžiku sepnutí během půlperrody sít'ového napětí a může být např. při rozběhu hvězda – trojúhelník po přepnutí na trojúhelník vyšší, než při rozběhu v zapojení do hvězdy z klidového stavu.

### **Systémy orientace toků elektrických veličin**

Při výpočtu elektrických sítí a zobrazení el. strojů je třeba zavést pro proudy, napětí a výkony pravidla pro znaménka, která udávají určitý směr. Vzájemné přiřazení šipek pro napětí a proud se označuje jako „systém orientace toků elektrických veličin“. Rozlišuje se spotřebičová a zdrojová orientace. Oba systémy lze použít jak pro odběry, tak i pro výrobní zařízení.

#### **Spotřebičová orientace**

Tento systém se většinou používá při sít'ových výpočtech. Šipky pro počítání napětí a proudů u téhož prvku sítě ukazují též směr. Z toho plynou tyto vztahy:

- ohmický odpor odebírá kladný činný výkon
- induktivní odpor odebírá induktivní jalový výkon
- kapacitní odpor dodává induktivní jalový výkon (odebírá kapacitní jalový výkon)
- přebuzený synchronní generátor odebírá záporný činný a záporný induktivní jalový výkon.

#### **Zdrojová orientace**

Tento systém se s výhodou používá pro zobrazení a výpočet generátorů. Při dodržení směru šipek u napětí se obrátí šipky u proudů. Z toho plyne:

- ohmický odpor dodává záporný činný výkon
- induktivní odpor dodává záporný induktivní jalový výkon
- kapacitní odpor dodává kladný induktivní jalový výkon (odebírá kapacitní jalový výkon)
- přebuzený synchronní generátor dodává kladný činný a kladný induktivní jalový výkon.

Výpočty s komplexními čísly, při nichž se šipky u napětí a proudů obvykle vyznačují, se přitom člení do 4 oblastí, ve kterých se určují znaménka pro činný a jalový výkon. Úhel  $\varphi$  se zjistí, jde-li se od šipky proudu proti směru hodinových ručiček (kladný směr) až k šipce napětí. Tyto oblasti úhlů jsou shrnuty v následující tabulce:

Příklad	Zdrojová orientace	Spotřebičová orientace
Synchronní generátor (přebuzený)	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$
Synchronní motor (přebuzený)	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

### Účinnost

Účinnost  $\lambda$  je podíl činného výkonu a zdánlivého výkonu při respektování koeficientu celkového zkruslení.

Účinnost je měřítkem toho, v jakém rozsahu se vedle činného výkonu odebírá i jalový výkon.

Pozn.: Smlouvy mohou obsahovat ustanovení o dodržování určitého účinnosti nebo rozsahu účinností. Přitom se zpravidla účinnost počítá jako podíl činné a zdánlivé el. práce za určitý časový interval (např. ¼ hodiny). To pak odpovídá střední hodnotě účinnosti v tomto určitém časovém intervalu.

Pozn.: Při čistě sinusových základních harmonických proudu  $I_1$  a napětí  $U_1$  platí  $\lambda = |\cos \varphi|$ .

### Účinnost základní harmonické $\cos \varphi$

Účinnost základní harmonické  $\cos \varphi$  je podíl činného výkonu a zdánlivého výkonu (50Hz). Je měřítkem toho, v jakém rozsahu se vedle činného výkonu odebírá i jalový výkon.

Pozn.: Při čistě sinusové základní harmonické proudu  $I_1$  a napětí  $U_1$  platí  $1/\cos \varphi = \lambda$  (účinnost).

### Úroveň (hladina) kompatibility [3]

Stanovená elektromagnetická úroveň rušení, která se používá ve stanoveném okolí jako vztažná úroveň pro koordinaci při určování mezních hodnot emisí rušení a odolnosti proti rušení.

Pozn.: Úroveň kompatibility se dohodami volí tak, aby byla skutečnou úrovní rušení překročena jen s malou pravděpodobností.

### Úroveň rušení [3]

Velikost a výška elektromagnetické rušivé veličiny, která se měří a určuje (počítá) stanoveným způsobem.

### Uživatel sítě

Každá fyzická nebo právnická osoba nebo výdělečná společnost, která elektřinu do sítě dodává nebo ze sítě odebírá.

### Vlastní výrobní zařízení

Zařízení pro výrobu elektrické energie, v podstatě pro vlastní spotřebu, ve vlastnictví podniku, provozu nebo soukromé osoby, jejichž hlavní činností není provozování distribuční sítě.

### Výkon zařízení $S_r$

Výkon přístroje  $S_r$  je výkon udaný na typovém štítku přístroje (jmenovitý výkon). U současně zapnutých přístrojů, jako např. u osvětlovacího zařízení s více žárovkami, je  $S_r$  celkový výkon zařízení.

Pozn.: Pro označení sledovaného provozního prostředku se používají další písmena, jako  $S_{rT}$  pro transformátory nebo  $S_{rStr}$  pro usměrňovače.

### **Výrobní jednotka**

Výrobní jednotka pro elektrickou energii je podle určitých kritérií vymežitelná jednotka elektrárny pro výrobu elektřiny. Může se přitom jednat např. o elektrárenský výrobní blok, soustrojí vodní elektrárny, plynové a parní zařízení, větrné energetické zařízení, event. větrnou elektrárnu, blokovou teplárnu, ale také o sestavu palivových článků, o solární modul nebo o libovolné jiné technologie, sloužící k výrobě nebo přeměně el. energie.

### **Výrobní zařízení (elektrárna)**

Výrobní zařízení (elektrárna) je zařízení určené k tomu, aby vyrábělo energetickou přeměnou elektrickou energii. Může sestávat z více výrobních jednotek. Toto zařízení obsahuje také všechny příslušné pomocné provozy a vedlejší zařízení.

### **Vysoké napětí (vn) [1]**

Napětí pro distribuci el. energie, jehož jmenovitá hodnota (efektivní) je mezi 1kV a 35 kV.

### **Záběrový proud**

Největší efektivní hodnota ustáleného proudu, který motor odebírá ze sítě při pevně zabrzděném rotoru, ve všech polohách rotoru, při hodnotách napětí a kmitočtu, na které je dimenzován.

Záběrový proud se liší od rozběhového proudu a představuje – na rozdíl od něho – normalizovaný pojem. Z tohoto důvodu se doporučuje zeptat se na metodu výpočtu udaného rozběhového proudu.

### **Zařízení uživatele sítě (zákaznické zařízení)**

A: Ve smyslu TOR se pod pojmem zařízení uživatele rozumí elektrotechnické zařízení uživatele sítě. Zahnuje toto zařízení nebo souhrn zařízení, sloužící k výrobě (např. generátor) nebo ke spotřebě elektrické energie. Zařízení uživatele sítě představuje souhrn zařízení, která jsou ve vlastnictví uživatele sítě.

### **Základní harmonická**

Sinusový průběh s jmenovitým kmitočtem sítě ( $f=50$  Hz). Efektivní hodnota se označuje napětí základní harmonické ( $U_1$ ), event. proud základní harmonické ( $I_1$ ).

### **Zatížení zařízení uživatele sítě harmonickými $S_{OS}$**

Nejvýše očekávatelný vyhodnocený součtový výkon všech těch přístrojů a zařízení v jednom zařízení uživatele sítě, které je třeba sledovat jako zdroj harmonických.

### **Zkratový výkon sítě v přípojném bodě $S_{KV}$**

Třífázový zkratový, příp. síťový zkratový výkon v přípojném bodě V, směrodatný pro posouzení zpětných vlivů na síť. Při výpočtu je třeba vzít v úvahu takové za normálních provozních podmínek možné stavy sítě, které dávají nejnižší hodnotu.

Pozn.: Zkratový výkon (sítě)  $S_{kV}$  je nižší než zkratový výkon  $S_k$ , potřebný pro dimenzování sítí.

### **Změna napětí $\Delta U$**

Změna napětí  $\Delta U$  (hodnota) je (maximální) rozdíl mezi napájecími napětími v libovolném bodě sítě před a po manipulaci, podmíněné odběrovým nebo výrobním zařízením připojeným ke sledované síti.

### **Změna napětí, největší: $\Delta U_{\max}$ [8]**

Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší efektivní hodnotou napětí během průběhu napěťových změn.

### **Změna napětí, relativní: $d$**

Změna napětí  $\Delta U$  vztahovaná k napájecímu napětí  $U$  se označuje jako „relativní změna napětí“  $d$ .

Změna napětí  $\Delta U$  se měří jako rozdíl za sebou následujících 10 ms – RMS hodnot (efektivní hodnota).

$$d = \frac{\Delta U}{U} . \quad (7)$$

Pozn.:  $d_{\max}$  = největší relativní změna napětí.

### **Změna zatížení (změna zdánlivého výkonu) $\Delta S_A$**

Pro posouzení zpětných vlivů na síť směrodatná změna zdánlivého výkonu přístrojů a zařízení (změna činného a jalového výkonu).

### **Zpětné vlivy na síť**

Pod zpětnými vlivy na síť se rozumí:

- jak vzájemné ovlivňování provozních prostředků (přístrojů a zařízení) přes síť
- tak i od těchto provozních prostředků vycházející ovlivňování sítě samotné.

Zpětné vlivy na síť poškozují především kvalitu napájecího napětí, ale mohou také postihovat síťové impedance a přenosy signálů po síti.

### **Zvýšení napětí $\Delta U_{An}$**

Trvalé zvýšení napětí je rozdíl  $\Delta U_{An}$  mezi

- napájecím napětím při napájení ze sítě (distribuční síť napájená z nejbližší vyšší napěťové úrovně) a ze všech výroben v příslušné části sítě a
- napájecím napětím při odpojení těchto výroben v libovolném bodě sítě.

Relativní zvýšení napětí  $\Delta u_{An}$  se získá, vztáhne-li se  $\Delta U_{An}$  k napětí v přípojném bodě  $U_V$  :

$$\Delta u_{An} = \frac{\Delta U_{An}}{U_V} . \quad (8)$$

Pozn.: Provoz výroben zpravidla napájecí napětí zvyšuje. Proto se zde označuje stacionární změna napětí vyvolaná dodávkou výroben jako „zvýšení napětí“.



## 2. ZKRATOVÝ VÝKON

### 2.1. OBECNÉ

Všechny druhy zpětných vlivů na síť se musí posuzovat pro přípojný bod V. Základem pro posouzení je v každém případě zkratový výkon  $S_{kV}$  v přípojném bodě V.

Pozn.: Uvnitř zařízení uživatele sítě se mohou vyskytovat vlivem dalších impedancí (např. transformátory, vedení) vyšší zpětné vlivy na síť.

Při určování zkratového výkonu se musí vycházet z těch normálních provozních podmínek, při nichž je zkratový výkon nejnižší. Přejídné mimořádné konfigurace sítě podmíněné provozem se neberou v úvahu.

Impedance sítě v přípojném bodě V sestává z impedance nadřazené sítě a z impedancí transformátorů a vedení. Vliv k síti připojených přístrojů a zařízení i svodových odporů a kapacit vedení lze obvykle zanedbat.

### 2.2. URČENÍ IMPEDANCÍ

#### 2.2.1. Impedance nadřazené sítě

Pro dimenzování zařízení na účinky zkratových proudů je soustava obvykle charakterizována maximálním zkratovým proudem  $I''_k$  nebo výkonem  $S''_k$  [26], tato hodnota je u provozovatelů DS běžně dostupná.

Vztah mezi  $I''_k$ ,  $S''_k$  a impedancí soustavy je v místě Q (podle [26] pro elektricky vzdálené zkraty v distribučních soustavách):

$$Z''_{kQ} = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{kQ}} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (9)$$

kde  $S''_{kQ}$  je počáteční rázový (souměrný) zkratový výkon (zdánlivý),

$c$  je napěťový součinitel ekvivalentního napěťového zdroje,

$U_n$  je jmenovité napětí soustavy, sdružené (efektivní),

$Z''_{kQ}$  je ekvivalentní impedance soustavy v místě Q,

$I''_{kQ}$  je počáteční rázový souměrný zkratový proud (efektivní)

Pro tlumení zpětných vlivů na síť jsou však určující minimální hodnoty těchto proudů nebo výkonů za normálního provozního stavu soustavy při symetrických bezodporových zkratech (a jim odpovídající maximální impedance soustavy), které již běžně dostupné nejsou.

Při posuzování zpětných vlivů proto doporučujeme používat náhradní impedanci soustavy podle vztahu

$$Z_{kQ} = c \cdot Z''_{kQ} \quad (10)$$

Při určení minimálních proudů (výkonů) pro posuzování zpětných vlivů proto doporučujeme vycházet z upravených hodnot  $S_{kQ}$ :

$$S_{kQ} = \frac{U_{nQ}^2}{Z_{kQ}} \quad (11)$$

Pokud je bod sítě Q se známými zkratovými parametry i společným napájecím bodem "V", pak i platí že zkratový výkon  $S_{kV} = S_{kQ}$ . V ostatních případech se vypočte zkratový výkon  $S_{kV}$  z činné složky  $R_{kV}$  a induktivní složky  $X_{kV}$  impedance sítě ve společném napájecím bodě "V". Tyto složky dostaneme součtem impedance v bodě "Q" a výsledné impedance transformátorů a vedení mezi body "Q" a "V".

## 2.2.2. Impedance transformátoru

Z parametrů známých transformátoru se určí činná a jalová složka  $R_T$  a  $X_T$  impedance transformátoru následujícím způsobem

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (12)$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{1000 \cdot S_{nT}^2} \quad [\Omega, \text{kW}, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (13)$$

$$X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)} \quad (14)$$

kde  $u_k$  je jmenovité napětí nakrátko  
 $U_{nT}$  jmenovité napětí  
 $S_{nT}$  jmenovitý výkon  
 $P_{knT}$  jmenovité ztráty nakrátko

Velikosti základních parametrů pro transformátory je zapotřebí získat z podkladů výrobců. Jako příklad pro transformátory 22/0.4 kV jsou uvedeny v TAB.1 základní parametry podle [29] i vypočtené impedance.

Rezistance a reaktance jsou vypočteny pro jmenovité primární napětí 22 kV, pro odlišná jmenovité napětí je zapotřebí použít vztahy (4) až (6).

Pozn.1: Pro některé speciální typy výpočtů může být důležitý i proud naprázdno transformátorů, zejména vyskytují-li se ve větším počtu a předmětem posuzování je i účinník odběru/zdroje. Protože tyto údaje jsou závislé jak na výrobci, tak i technologii, je zapotřebí si je v případě potřeby od nich vyžádat.

TAB.1.

Napětí [kV] prim./ sek.	Výkon [kVA]	Napětí nakr. $u_k$ [%]	Ztráty nakrátko $P_{knT}$ [kW]	Ztráty naprázdno $P_{0nT}$ [kW]	rezistance $R_t$ [ $\Omega$ ]	reaktance $X_t$ [ $\Omega$ ]
*22/0,4	50	4	1,10	0,19	213,0	323,4
	100	4	1,75	0,32	84,7	174,1
	160	4	2,35	0,46	44,4	112,6
	250	4	3,25	0,65	25,2	73,2
	400	4	4,60	0,93	13,9	46,4
	630	4	6,50	1,30	7,73	29,7
	630	6	6,70	1,20	8,23	45,4
	1000	6	10,50	1,70	5,08	28,6
	1600	6	17,00	2,60	3,21	17,9
	2500	6	26,5	3,80	2,05	11,4

## 2.2.3. Impedance vedení

Pokud nejsou známa přesná data pro konkrétní vedení, doporučujeme pro sítě nn a vn použít měrné hodnoty uvedené v Příloze 1<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Vzhledem k velkému počtu průřezů a typů vodičů, jejich uspořádání i účelu a rozsahu této normy není možné uvádět data pro všechny vyskytující se a v úvahu přicházející případy vedení a kabelů, především u nových typů izolovaných a slaněných vodičů je zapotřebí využívat podklady výrobců.

Pozn.1.: Výpočet  $R_L$  při jiných teplotách než  $20^\circ\text{C}$  lze korigovat teplotními koeficienty.

Pozn.2: Impedance platí pro symetrické poměry; v nesymetrickém případě je třeba použít příslušné impedance fází, event. středního vodiče.

#### 2.2.4. Synchronní stroje

Z parametrů synchronního generátoru nebo motoru se určí činná a jalová složka  $R_G$  a  $X_G$  impedance následujícím způsobem

Impedance generátorů:

$$Z_{Gk} = R_G + jX_G \quad (15)$$

kde

$$X_G = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (16)$$

$x_d''$  je procentní subtranzientní reaktance generátoru

$U_{rG}$  je jmenovité napětí generátoru

$S_{rG}$  je jmenovitý výkon generátoru

$R_G$  je fiktivní rezistance generátoru, pro kterou se použije:

$R_{Gf} = 0,07 X_d''$  pro generátory s  $U_{rG} > 1 \text{ kV}$  a  $S_{rG} \leq 100 \text{ MVA}$

$R_{Gf} = 0,15 X_d''$  pro generátory s  $U_{rG} < 1 \text{ kV}$

Pro posuzování vlivů synchronního stroje při připojování k síti je dále důležitým parametrem poměr mezi největším rozběhovým, popř. zapínacím proudem  $I_a$  a jmenovitým proudem generátoru  $I_{nG}$ , definovaný jako

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \quad (17)$$

U synchronních strojů s jemnou synchronizací nebo střídačů je obvykle  $k_{i\max} = 1$ .

#### 2.2.5. Asynchronní stroje

Asynchronní stroje (motory i generátory) vn i nn přispívají při symetrických zkratech k hodnotě rázového zkratového proudu  $I''_{kQ}$ , při nesouměrných zkratech i k ustálenému zkratovému proudu  $I_k$ .

Pokud impedance asynchronního stroje  $Z_M = R_M + j X_M$  není udána výrobcem, určí se jako

$$Z_M = \frac{1}{k_{i\max}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{k_{i\max}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (18)$$

kde je:  $U_{rM}$  jmenovité napětí stroje

$I_{rM}$  jmenovitý proud

$S_{rM}$  jmenovitý zdánlivý výkon

$k_{i\max}$  poměr rázového proudu při zabrzděném rotoru a jmenovitého proudu

Ze známého poměru  $R_M/X_M$  se určí  $X_M$  jako

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{(1 + R_M / X_M)^2}} \quad (19)$$

Pro  $R_M/X_M$  lze užít s dostatečnou přesností:

$R_M/X_M = 0,1$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,995$  pro stroje vn s  $P_{rM} \geq 1 \text{ MW/pól pár}$

$R_M/X_M = 0,15$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,989$  pro stroje stroje vn s  $P_{rM} < 1 \text{ MW/pól pár}$

$R_M/X_M = 0,42$  - tedy s  $X_M/Z_M = 0,922$  pro skupiny strojů nn propojených kabely

Při výpočtu napěťových poklesů při připojování asynchronních generátorů k distribuční síti se použijí jako směrné hodnoty [24]:

$k_{imax} = 4$  generátory připojované při 95 až 105 % synchronních otáček  
 $k_{imax} = I_a/I_{nG}$  asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě  
 $k_{imax} = 8$  pokud není známo  $I_a$ .

### 2.2.6. Impedance sítě v přípojném bodě

Pro výpočet výsledné impedance sítě  $Z_{kV}$  v přípojném bodě V se musí všechny předtím určené dílčí impedance přepočítat na napětí přípojného bodu. Impedance vztahované k napětí přípojného bodu se označují „'“.

Přepočet se provede dělením složek dílčích impedancí kvadrátem poměru napětí jejich napěťové úrovně U k napětí  $U_V$  přípojného bodu V.

Výsledná impedance sítě  $Z_{kV}$  je součtem transformovaných dílčích impedancí:

$$\begin{aligned} R_{kV} &= \Sigma R' \\ X_{kV} &= \Sigma X' \\ Z_{kV} &= \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{úhel impedance sítě} \quad Z_{kV} &= \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} \\ \underline{Z}_{kV} &= R_{kV} + jX_{kV} = Z_{kV} \cdot e^{j\psi} = Z_{kV} \cdot \cos \psi + jZ_{kV} \cdot \sin \psi \end{aligned} \quad (21)$$

$Z_{kV}$  výsledná impedance sítě v přípojném bodě  
 $R_{kV}$  výsledná rezistance sítě v přípojném bodě  
 $X_{kV}$  výsledná reaktance sítě v přípojném bodě.

### 2.3. VZTAŽNÁ IMPEDANCE

Pro posouzení rušivých emisí přístrojů nn do 16 A [4,5], přípustných na základě prohlášení výrobce nebo typové zkoušky, se používá následující vztažná, event. referenční impedance  $Z_{ref}$  pro síť nn:

$R_{Au} = 0,24\Omega$                        $X_{Au} = 0,15\Omega$                       (pro fázový vodič)  
 $R_{Ne} = 0,16\Omega$                        $X_{Ne} = 0,10\Omega$                       (pro střední vodič).

Jednofázové připojení (mezi fázový a střední vodič):

$$\underline{Z}_{1kref} = (R_{Au} + R_{Ne}) + j(X_{Au} + X_{Ne}) = 0,4 + j0,25 = 0,47 \cdot e^{j32^\circ} \Omega.$$

Třífázové připojení:

$$\underline{Z}_{3k\text{ref}} = R_{Au} + jX_{Au} = 0,24 + j0,15 = 0,28 \cdot e^{j32^\circ} \Omega.$$

3-fázový zkratový výkon náhradní sítě nn pro přístroje do 16 A:

$$S_{3k\text{ref}} = \frac{U_n^2}{Z_{3k\text{ref}}} = \frac{(400)^2}{0,28} \approx 570 \text{ kVA}.$$

Pro posouzení rušivých emisí přístrojů nn do 75 A, přípustných na základě prohlášení výrobce nebo typové zkoušky k připojení do veřejné sítě nn s trvalou proudovou zatížitelností 100 A, se používá stanovená zkušební impedance  $Z_{\text{test}}$ , na které musí být dodrženy mezní emisní hodnoty podle EN 61000-3-11 [13].

Zkušební impedance  $Z_{1k\text{test}}$  při jednofázovém připojení:

$$\underline{Z}_{1k\text{test}} = 0,25 + j0,25 = 0,35 \cdot e^{j45^\circ} \Omega.$$

Zkušební impedance  $Z_{3k\text{test}}$  při třífázovém připojení:

$$\underline{Z}_{3k\text{test}} = 0,15 + j0,15 = 0,21 \cdot e^{j45^\circ} \Omega.$$

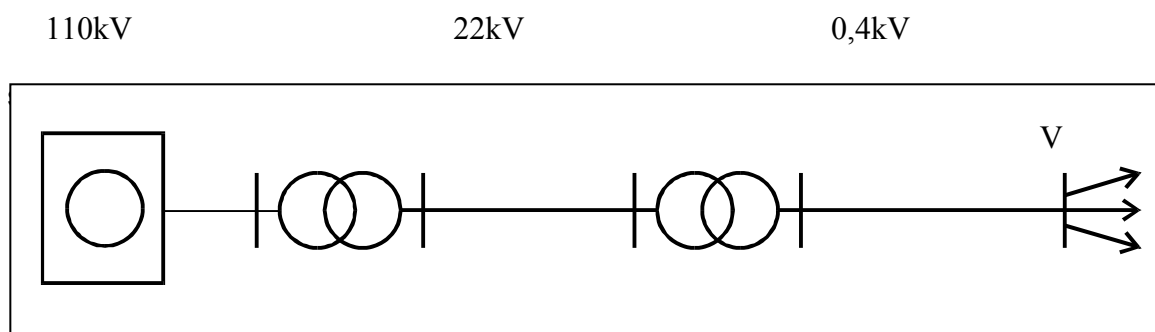
Výsledek zkoušky s touto zkušební impedancí použije výrobce k tomu, aby deklaroval impedanci sítě, příp. zkratový výkon, potřebné pro připojení bez technických přidavných opatření.

3-fázový zkratový výkon náhradní sítě nn pro přístroje do 75 A:

$$S_{3k\text{test}} = \frac{U_n^2}{Z_{3k\text{ref}}} = \frac{(400)^2}{0,21} \approx 760 \text{ kVA}.$$

## 2.4. PŘÍKLAD VÝPOČTU ZKRATOVÉHO VÝKONU

Konfigurace sítě:



síť 110 kV	trafo T1	venkovní vedení V1	trafo T2	kabel K1
$S_{kQ}'' =$ 600 MVA	110/22 kV	22 kV	22 /0,4 kV	0,4 kV
	$S_{rT1} = 25$ MVA	$l_1 = 6$ km	$S_{rT2} = 630$ kVA	$l_2 = 0,2$ km
	$P_{k1} = 160$ kW	$r_{L1} = 0,284$ Ω/km	$P_{k2} = 6,5$ kW	$r_{L2} = 0,258$ Ω/km
	$u_{k1} = 11$ %	$x_{L1} = 0,369$ Ω/km	$u_{k2} = 4$ %	$x_{L2} = 0,069$ Ω/km

Přípojný bod V s napětím 0,4 kV

**Impedance sítě:**

$$Z_Q = X_Q = 1,1 \cdot \frac{110^2}{600} = 22,18 \Omega \quad \text{vztaženo na napětí 110 kV}$$

Vztaženo na napětí 0,4 kV

$$X_Q' = X_Q \cdot \left(\frac{U_V}{U_Q}\right)^2 = 22,18 \cdot \left(\frac{0,4}{110}\right)^2 = 0,293 m\Omega$$

**Transformátor T1**

$$Z_{T1} = \frac{u_{kT1} \cdot U_{nT1}^2}{100 \cdot S_{nT1}} = 11 \cdot \frac{110^2}{100 \cdot 25} = 53,24 \Omega$$

$$R_{T1} = \frac{P_{knT1} \cdot U_{nT1}^2}{1000 \cdot S_{nT1}^2} = \frac{160 \cdot 110^2}{1000 \cdot 25^2} = 3,0976 \Omega$$

$$X_{T1} = \sqrt{(Z_{T1}^2 - R_{T1}^2)} = \sqrt{(53,24^2 - 3,0976^2)} = 53,15 \Omega$$

Impedance při 0,4 kV

$$Z_{T1}' = Z_{T1} \cdot \frac{1}{p_{T1}^2} \cdot \frac{1}{p_{T2}^2} = 53,24 \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 0,704 m\Omega$$

**Transformátor T2**

Impedance při 22 kV

$$Z_{T2} = \frac{u_{kT2} \cdot U_{nT2}^2}{100 \cdot S_{nT2}} = 4 \cdot \frac{22^2}{100 \cdot 0,63} = 30,73 \Omega$$

$$R_{T2} = \frac{P_{knT2} \cdot U_{nT2}^2}{1000 \cdot S_{nT2}^2} = \frac{6,5 \cdot 22^2}{1000 \cdot 0,63^2} = 4,9937 \Omega$$

$$X_{T2} = \sqrt{(Z_{T2}^2 - R_{T2}^2)} = \sqrt{(30,73^2 - 4,9937^2)} = 30,322 \Omega$$

Impedance při  $U_V=0,4$  kV

$$Z_{T2}' = Z_{T2} \cdot \frac{1}{p_{T2}^2} = 30,73 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 10,159 m\Omega$$

### Venkovní vedení V1

$$U_{V1} = 22 \text{ kV}$$

$$R_{V1} = r_{V1} \cdot l_1 = 0,284 \cdot 6 = 1,704 \Omega$$

$$X_{V1} = x_{V1} \cdot l_1 = 0,369 \cdot 6 = 2,214 \Omega$$

$$Z_{V1} = \sqrt{R_{V1}^2 + X_{V1}^2} = \sqrt{1,704^2 + 2,214^2} = 2,794 \Omega$$

Impedance při 0.4 kV

$$Z_{V1}' = Z_{V1} \cdot \frac{1}{p_{T2}^2} = 2,794 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 0,924 \text{ m}\Omega$$

### Kabel K1

$$R_{K1} = r_{K1} \cdot l_2 = 0,258 \cdot 0,2 = 0,0516 \Omega$$

$$X_{K1} = x_{K1} \cdot l_2 = 0,069 \cdot 0,2 = 0,0138 \Omega$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,0516^2 + 0,0138^2} = 0,0534 \Omega$$

Impedance v přípojném bodě V

$$Z_V = Z_{K1} + Z_{T2}' + Z_{V1}' + Z_{T1}' + Z_Q' = 0,0534 + 10,159 \cdot 10^{-3} + 0,924 \cdot 10^{-3} + 0,704 \cdot 10^{-3} + 0,293 \cdot 10^{-3}$$
$$Z_V = 0,0655 \Omega$$

Zkratový výkon v přípojném bodě V

$$S_{k3V} = \frac{U_N^2}{Z_V} = \frac{0,4^2}{0,0655} = 2,443 \text{ MVA}$$

Zkratový výkon na přípojnici nn transformátoru T2

$$S_{k3T2nn} = \frac{U_N^2}{(Z_V - Z_{K1})} = \frac{0,4^2}{(0,0655 - 0,0534)} = 13,223 \text{ MVA}$$

## 3. Změny napětí, flikr a nesymetrie

### 3.1. OBECNÉ

Každá změna zatížení vyvolá změnu proudu v síťovém přívodu a v důsledku toho změnu napětí  $\Delta U$  v přípojném bodě V.

Změny napětí mohou být vyvolány:

- připojením větších zatížení, např. motorů, transformátorů, kondenzátorů
- motory provozovanými s proměnným zatížením (katry, drtiče kamení, výtahy..)

- svářecími stroji
- řízenými zatíženími (spínání na určitý počet period napájecího napětí, termostátové řízení atd.)
- obloukovými pecemi
- proměnnými dodávkami (např. větrné zdroje VTE).

Změny napětí se musí omezit, aby

- v důsledku jednotlivých hlubokých poklesů napětí (např. při zapnutí motorů) nevypadávaly přístroje
- nebo se při opakovaných změnách napětí (např. katry) nevyskytoval rušivý flickr.

### 3.2. RELATIVNÍ ZMĚNA NAPĚTÍ A FLIKR

#### 3.2.1. Změna napětí vyvolaná symetrickou změnou zatížení

Změna napětí  $\Delta U$  vztažená k napětí  $U_V$  v přípojném bodě V se označuje jako „relativní změna napětí“. Změna napětí  $\Delta U$  se má měřit jako rozdíl následujících 10 –ms hodnot RMS (efektivní hodnota).

V případě symetrické změny zatížení dochází u všech napětí třífázového systému k téže relativní změně napětí:

V případě symetrické změny zatížení dochází u všech napětí třífázového systému k téže *relativní změně napětí*:

$$d = \frac{\Delta U}{U_V} \approx \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi)^*) = \frac{\Delta P_A}{S_{kV}} \cdot \cos \psi + \frac{\Delta Q_A}{S_{kV}} \cdot \sin \psi \quad (22)$$

$$\psi = \arctan \frac{X_V}{R_V},$$

d	relativní změna napětí
$\Delta U$	změna napětí
$U_V$	sdílené napětí v přípojném bodě
$\Delta S_A$	změna zatížení (změna zdánlivého výkonu)
$S_{kV}$	zkratový výkon (sítě) v přípojném bodě
$\psi$	síťový úhel (úhel impedance sítě)
$\varphi$	úhel změny zatížení
$\Delta P_A$	změna činného výkonu
$\Delta Q_A$	změna jalového výkonu
$X_V$	reaktance sítě v přípojném bodě
$R_V$	rezistance sítě v přípojném bodě.

\*) Při neznámém úhlu zatížení se za kosinový člen dosadí 1.

Přibližný vzorec pro výpočet relativní změny napětí d respektuje jen podélné složky  $\Delta U_L$  komplexního poklesu napětí, nikoliv příčný pokles napětí  $\Delta U_Q$ . Z toho plynoucí chyba, zobrazená ve fázovém diagramu v obr1, může být obecně při výpočtu změn napětí zanedbána.



Přibližný vzorec pro velikost změny napětí:

$$\begin{aligned} \Delta U &\approx \Delta U_L = \Delta I \cdot (R_V \cdot \cos \varphi + X_V \cdot \sin \varphi) = \\ &= \Delta I_{Wirk} \cdot R_V + \Delta I_{Blind} \cdot X_V = \frac{\Delta P_A}{U_V} \cdot R_V + \frac{\Delta Q_A}{U_V} \cdot X_V \end{aligned} \quad (23)$$

$\Delta U \approx \Delta U_L$

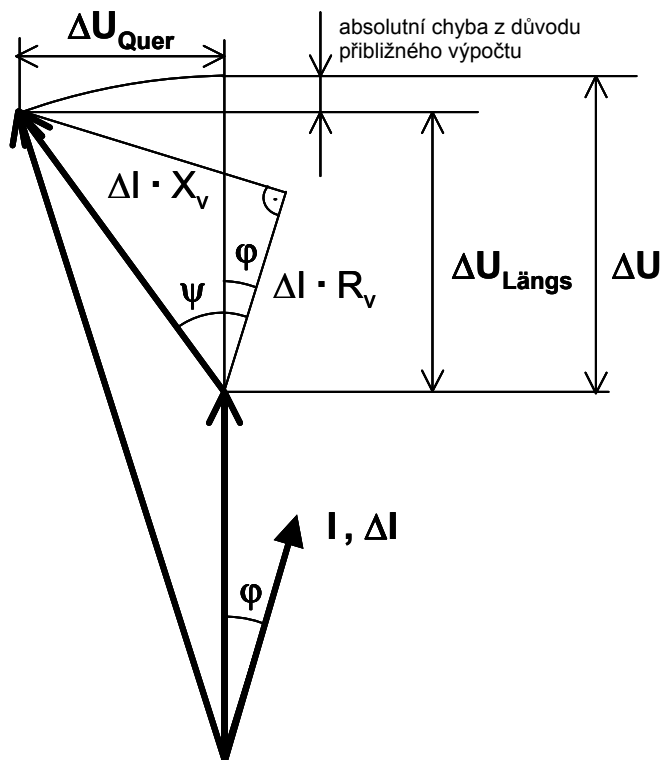
$$= \Delta I \cdot (R_V \cdot \cos \varphi + X_V \cdot \sin \varphi) = \Delta I_{Wirk} \cdot R_V + \Delta I_{Blind} \cdot X_V = \frac{\Delta P_A}{U_V} \cdot R_V + \frac{\Delta Q_A}{U_V} \cdot X_V.$$

Relativní změna napětí:

$$\begin{aligned} d &= \frac{\Delta U}{U_V} \approx \frac{\Delta P_A}{U_V^2} \cdot R_V + \frac{\Delta Q_A}{U_V^2} \cdot X_V = \frac{\Delta P_A}{S_{kV}} \cdot \cos \psi + \frac{\Delta Q_A}{S_{kV}} \cdot \sin \psi = \\ &= \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot (\cos \psi \cdot \cos \varphi + \sin \psi \cdot \sin \varphi) = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi) \end{aligned} \quad (24)$$

\*) Při neznámém úhlu zatížení se za kosinový člen dosadí 1.

Přibližný vzorec pro výpočet relativní změny napětí  $d$  respektuje jen podélné složky  $\Delta U_L$  komplexního poklesu napětí, nikoliv příčný pokles napětí  $\Delta U_Q$ . Z toho plynoucí chyba, zobrazená ve fázovém diagramu v obr. 1, může být obecně při výpočtu změn napětí zanedbána.



Obr. 1.: Fázový diagram podélné a příčné změny napětí vyvolané změnou zatížení

Zvláštní případ:

Je-li úhel změny zatížení  $\varphi = \psi - 90^\circ$ , je kosinový člen v rovnici pro relativní změnu napětí d roven nule. V tomto případě nenastane při změně zdánlivého výkonu  $\Delta S_A$ , příp. změně proudu  $\Delta I_A$  žádná změna velikosti napětí (=podélná změna napětí  $\Delta U_L$ ), ale jen změna úhlu fázoru napětí (fázorový skok).

#### 4.2.2 Změna napětí vyvolaná nesymetrickou změnou zatížení (jednofázové zatížení)

Je třeba rozlišovat připojení mezi dvěma fázovými vodiči a připojení mezi fázovým a nulovým vodičem. Největší relativní změna napětí d je v závislosti na druhu připojení zátěže:

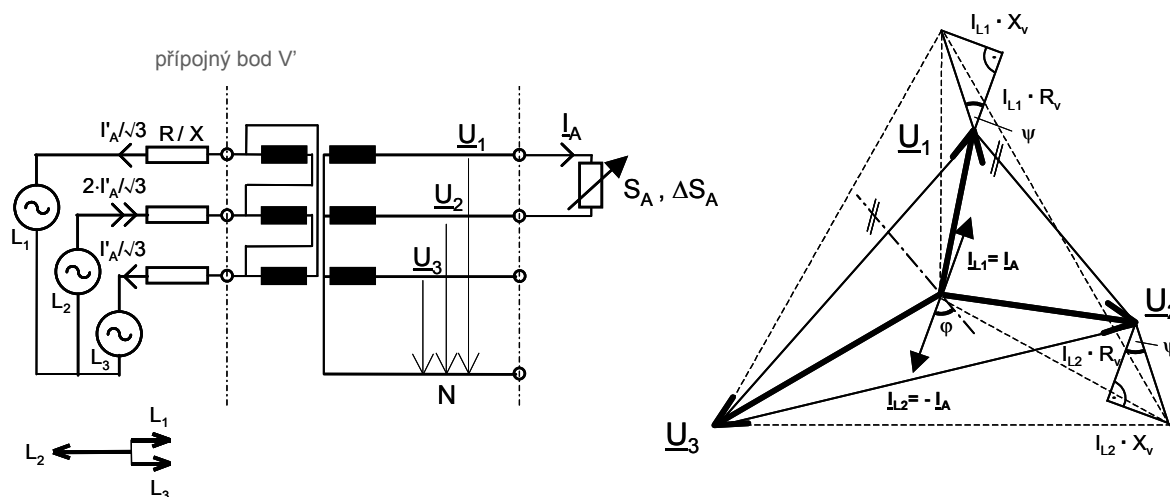
a) Zátěž mezi fázovými vodiči:

$$d = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi + \alpha) \quad (25)$$

V závislosti na zvoleném napětí má řídicí úhel  $\alpha$  hodnoty  $0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 60^\circ$ .

\*) Při neznámém úhlu zatížení se dosadí za kosinový výraz 1.

Např. zatížení  $S_A$  mezi fázovými vodiči L1 a L2 : symetrická impedance sítě



Obr. 2.: Náhradní schéma jednofázového zatížení v síti s fázorovým diagramem síťového napětí v přípojném bodě V na straně nižšího napětí

- Změny napětí v přípojném bodě V (strana nižšího napětí):

relativní změny napětí mezi fázovým a střední vodičem:

$$d_{L1-N} = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi - 30^\circ)) \quad (26)$$

$$d_{L2-N} = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi + 30^\circ)) \quad (27)$$

$$d_{L3-N} = 0, \quad (28)$$

relativní změny napětí mezi fázovými vodiči:

$$d_{L1-L2} = 2 \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi) \quad (29)$$

$$d_{L2-L3} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi + 60^\circ)) \quad (30)$$

$$d_{L3-L1} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi - 60^\circ)). \quad (31)$$

- Změny napětí v přípojném bodě V' (strana vyššího napětí):

Na straně vyššího napětí (=napětí vn) jsou změny napětí mezi fázovými vodiči určující pro flickr, pozorovatelný na straně nn u osvětlovacích zařízení.

Přibližné vzorce pro změny napětí na straně vyššího napětí při použití třífázových transformátorů v zapojení trojúhelník – hvězda nebo hvězda – lomená hvězda s hodinovým úhlem 5 nebo 11, např. (Dy5) nebo (Yz5):

relativní změny napětí mezi fázovými vodiči:

$$d_{L1-L2} = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi - 30^\circ)) \quad (32)$$

$$d_{L2-L3} = \sqrt{3} \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi + 30^\circ)) \quad (33)$$

$$d_{L3-L1} = 0. \quad (34)$$

Přibližné vzorce pro změny napětí na straně vyššího napětí při použití třífázových transformátorů v zapojení hvězda – hvězda s hodinovým úhlem 0 (Yy0):

relativní změny napětí mezi fázovými vodiči:

$$d_{L1-L2} = 2 \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi) \quad (35)$$

$$d_{L2-L3} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi + 60^\circ)) \quad (36)$$

$$d_{L3-L1} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - (\varphi - 60^\circ)). \quad (37)$$

Pozn.: Použije-li se třífázový transformátor s neobvyklým zapojením hvězda – hvězda (Yy), udá přibližný výpočet změn napětí o max. 15% vyšší změny napětí – odpovídající poměru 2/ - proti obvyklým a rovnocenným zapojením trojúhelník-hvězda a hvězda – lomená hvězda. Různá zapojení síťových transformátorů se tedy liší s ohledem na velikost flickr vyvolávajících změn napětí na straně vyššího napětí jen málo.

Mezi zapojením třífázových transformátorů s trojúhelníkovým vyrovnávacím vinutím nebo zapojením lomená hvězda – lomená hvězda se pro tento případ zatížení (jednofázové zatížení mezi dvěma fázovými vodiči) stupeň nesymetrie nezmění, i když se tím proudy na straně vyššího napětí rozdělí na všechny tři fázové vodiče. Rozložení proudu na symetrické složky nedá v tomto případě žádnou nulovou složku, který by bylo možné vyrovnávacím vinutím v transformátoru eliminovat, nýbrž co do velikosti stejně velký sousledný a zpětný systém, který třífázový transformátor nezávisle na zapojení plně přenáší.

b) Zátěž mezi fázovým a středním vodičem:

$$d \approx 6 \cdot \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi)^*) . \quad (38)$$

Předpoklad: Zfázového vodiče = Znulového vodiče .

Předpoklad platí, když

- průřezy fázových vodičů a středního vodiče jsou stejné a
- vliv uzemnění středního vodiče na jeho impedanci je malý.

d      relativní změna napětí  
 $\Delta S_A$     změna zatížení (změna zdánlivého výkonu)  
 $S_{kV}$     zkratový výkon (sítě) v přípojném bodě  
 $\psi$       síťový úhel (úhel impedance sítě)  
 $\varphi$       úhel změny zatížení.

\*) Při neznámém úhlu zatížení se za kosinový člen dosadí 1.

Při napájení (dodávce) se napětí v síti zvýší. Poznatzky týkající se výroben jsou v kap. 7. Mnohé systémy pohonů (např. u výtahů a lanovek, CNC strojů, jeřábů) při brzdění dodávají do sítě jako generátory, a proto se musí také brát v úvahu i při posuzování zvyšování napětí v síti. Doporučuje se vyžádat si příslušné vysvětlení uživatele sítě.

### 3.2.2. Výpočet změny zatížení ve speciálních případech

#### Rozběh motoru

$$I_a = (3 \text{ až } 8) \cdot I_r$$

$\cos\varphi_a = 0,2 \text{ až } 0,6$  při rozběhu

$$\Delta S_A = \sqrt{3} \cdot I_a \cdot U_r \cdot ; \quad (39)$$

$I_a$  záběrový proud

$I_r$  jmenovitý proud motoru

$U_r$  jmenovité napětí motoru

$\Delta S_A$  změna zdánlivého výkonu (změna zatížení).

Při větších relativních změnách napětí je třeba podle okolností dbát na to, aby velikost změn zatížení byla zmírněna. Při rozběhu s přepínáním hvězda-trojúhelník je také třeba vzít v úvahu změnu zatížení  $\Delta S_A$  při přepnutí do trojúhelníku. Při rozběhu s pomocnými rozběhovými prostředky se dosadí skutečný, redukovaný rozběhový proud.

Při připojení asynchronního stroje bez pomocného rozběhového prostředku a stojícím rotorem odpovídá rozběhový proud záběrovému proudu. Pro zmenšení změny zdánlivého výkonu  $\Delta S_A$  je v každém případě třeba předpokládat podle výkonu stroje možné pomocné rozběhové prostředky.

#### Svářecí stroje

Změna zatížení  $\Delta S_A$  se určí buď ze jmenovitého výkonu při 50%-ní době sepnutí, nebo ze zkratového výkonu odporové svářečky.

$$\Delta S_A = (3 \text{ až } 5) \cdot S_{50\%ED}$$

příp.

$$\Delta S_A = 0,8 S_{kM}$$

$\Delta S_A$  změna zdánlivého výkonu (změna zatížení)

$S_{50\%ED}$  jmenovitý výkon při 50%-ní době sepnutí

$S_{kM}$  zkratový výkon odporové svářečky.

#### Odporová svářečka

Pro posouzení flikru odporových svářeček (odporové bodové, hrbolkové (peckové), na tupo, švové sváření) je určující změna zdánlivého výkonu  $\Delta S_A$  během nejvyššího svářecího výkonu a míra opakování  $r$  (= četnost svářecích impulzů za minutu).

Uvedený vzorec pro výpočet změny zdánlivého výkonu  $\Delta S_A = (3 \text{ až } 5) \cdot S_{50\%ED}$  při maximálním svářecím výkonu pro odporové svářečky není principiálně obecně použitelný, protože odporové svářečky mohou mít různou konstrukci a způsob provozu.

Důležité je uvážit, že jmenovitý výkon je většinou výrazně nižší, než nejvyšší svářecí výkon. Jmenovitý výkon vychází ve většině případů z doby sepnutí (= poměr doby pulzu k taktovací periodě)  $ED = 50\%$ , tzn., že doba sváření a doba přestávky jsou stejné. Při nižší době sepnutí je podle následující rovnice možný vyšší svářecí výkon.

$$S_X = S_{50\%} \cdot \sqrt{\frac{ED_{50\%}}{ED_X}}, \quad (40)$$

$S_X$  možný zdánlivý výkon při době sepnutí  $ED = X$   
 $S_{50\%}$  jmenovitý výkon svářecího transformátoru při  $ED = 50\%$   
 $ED_X$  doba sepnutí  $X$  (= poměr doby sváření k taktovací periodě)  
 $ED_{50\%}$  doba sepnutí  $50\%$ .

Tato závislost bere v úvahu jen tepelné namáhání svářecího transformátoru. V praxi však závisí maximální svářecí výkon na konstrukci svářecího transformátoru, proudové zatížitelnosti polovodičových součástek (diody, tyristory) a na svářecím odporu, event. typu svářečky. Účinník  $\cos \varphi$  je u svářeček zpravidla mezi 0,7 a 0,9.

Flikr lze značně redukovat nasazením dynamického kompenzačního zařízení s příslušnou reakční dobou [20].

### Připojení kondenzátorů a indukčností

Proudy vyskytující se v okamžiku sepnutí mohou mnohonásobně překročit ustálené provozní proudy.

Připojný proud lze minimalizovat tak, že se kondenzátory připojí v okamžiku průchodu napětí nulou, příp. indukčností v okamžiku maxima napětí.

### Připojení transformátorů naprázdno

Z důvodu zapínacího rázu se mohou vyskytnout vysoké zapínací proudy (v závislosti na typu a parametrech i více než desetinásobky jmenovitého proudu).

Připojením v maximu napětí lze zapínací proud minimalizovat.

### 3.2.3. Výpočet emise flikru

Flikr je subjektivní vjem nestálosti vizuálních pocitů, vyvolávaný světelnými podněty, časovým kolísáním hustoty světla nebo spektrálního rozložení.

Vnímatelná změna hustoty světla se pociťuje rušivě až od určité míry opakování  $r$ . Při míře vjemu flikru  $P_{st} > 1$  je kolísání hustoty světla vyvolané kolísáním napětí u 50% pokusných osob pociťováno jako rušivé.

Rušivá emise jednotlivého přístroje nebo zařízení uživatele sítě je změna napětí  $d_i$ , příp. míra vjemu krátkodobého flikru  $P_{sti}$ , vyvolaná v přípojném bodě  $V$  pouze provozem tohoto přístroje (tzn. změnou jeho zatížení).

### Zákon o superpozici více (m) nesynchronních zdrojů rušivého flikru

$$P_{st} = \sqrt[3]{P_{st1}^3 + P_{st2}^3 + P_{st3}^3 + \dots + P_{stm}^3} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^m P_{sti}^3}, \quad (41)$$

$P_{st}$  míra vjemu krátkodobého flikru [ bezrozměrná ]

$i$  index pro jednotlivý přístroj, příp. zařízení (až do  $m$ ).

Obecná formulace zákona o superpozici jednotlivých zdrojů flikru  $P_{sti}$  zní [21]:

$$P_{st} = \alpha \sqrt{\sum_{i=1}^m P_{sti}^\alpha} \quad (42)$$

Koeficient  $\alpha$  je obvykle v rozsahu 1 až 4 a závisí hlavně na charakteristice hlavních (dominantních) zdrojů flikru:

- $\alpha=4$  obloukové pece, u kterých je zamezena **současnosti** natavovací fáze
- $\alpha=3$  používá se pro většinu druhů změn napětí, které vykazují malou pravděpodobnost koincidence, tzn., že změny napětí jednotlivých odběrů se překrývají v malé míře
- $\alpha=3,2$ : tato hodnota odpovídá stoupání přímkové části křivky  $P_{st} = 1$  v obr. 3
- $\alpha=2$  používá se pro superpozici příspěvků  $P_{st}$  zařízení větrných elektráren
- $\alpha=1$ : vysoká pravděpodobnost koincidence změn napětí, vyvolaných jednotlivými zdroji flikru.

### Šíření flikru

V paprskových sítích se zmenšuje intenzita flikru od místa zařízení, které ho vyvolává (přípojného bodu), směrem k napájecí síti v poměru zkratového výkonu  $S_{kV}$  v přípojném bodě ke zkratovému výkonu  $S_{kX}$  ve sledovaném bodě sítě X.

$$P_{stiX} = \frac{S_{kV}}{S_{kX}} P_{stiv} \quad (43)$$

- $P_{st}$  míra vjemu krátkodobého flikru ve sledovaném bodě sítě X nebo přípojném bodě V  
 $S_{kV}$  zkratový výkon v přípojném bodě V  
 $S_{kX}$  zkratový výkon ve sledovaném bodě sítě X  
*i* index pro jednotlivé přístroje, ev. zařízení uživatele sítě.

Superpozice nesynchronních zdrojů flikru téhož druhu se určí jako druhá odmocnina součtu kvadrátů jednotlivých měř vjemu flikru.

Superpozice synchronních zdrojů flikru téhož druhu se určí prostým součtem jednotlivých měř vjemu flikru.

### Výpočet míry vjemu flikru

Míra vjemu flikru je měřená veličina flikru, která popisuje s pomocí následujících veličin intenzitu rušivého účinku flikru, zjišťovanou a posuzovanou metodou měření flikru UIE – IEC [22]:

- míra vjemu krátkodobého flikru  $P_{st}$ , měřená v časovém okně 10 minut

Pozn.: Hodnota flikru  $P_{st}$  je směrodatná pro normalizaci výrobků.

- míra vjemu dlouhodobého flikru  $P_{lt}$ , vypočítaná ze sledu 12-ti hodnot  $P_{st}$  ( $n = 12$ ) v 2-hodinovém intervalu podle této rovnice:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{stn}^3}{12}} \quad (44)$$

n index 10-minutových hodnot uvnitř 2-hodinového intervalu.

Míra vjemu dlouhodobého flikru  $P_{lt}$  v přípojném bodě se vytvoří z více ( $n$ ) za sebou následujících hodnot  $P_{st}$  [5, 9].

Pozn.  $P_{lt}$  je hodnota flikru podstatná pro kvalitu napětí.

Obecně je u přístrojů nn potřebné určení hodnoty  $P_{lt}$  pro všechny přístroje a zařízení ( se jmenovitým proudem  $\leq 16A$  na vodič) při obvyklé nepřerušované době využití větší než 30 minut [8].

Jestliže např. nějaký přístroj má provozní periodu 45 min., je třeba během celkové doby sledování 50 min. změřit 5 následujících hodnot  $P_{st}$  a zbývajících 7 hodnot  $P_{st}$  dvouhodinové doby sledování dosadit s nulovou hodnotou [8].

Při pravidelně se opakujících pravoúhlých změnách napětí lze pomocí křivky mezního flikru ( $P_{st} = 1$ ) – ( obr. 3) určit míru vjemu flikru jednoho přístroje nebo jednoho zařízení uživatele sítě takto:

míra vjemu krátkodobého flikru  $P_{sti} = \frac{d_i}{d_{ref}} \cdot P_{ref}$  (při určitém  $r_i$ ), (45)

míra vjemu dlouhodobého flikru  $P_{lti} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{stin}^3}{12}}$ , (46)

$d_{ref}$  relativní změna napětí [%] podle křivky mezního flikru ( $P_{ref} = 1$ )

$i$  index pro jednotlivé přístroje, event. zařízení uživatele sítě

$n$  index 10- minutových hodnot během 2-hodinového intervalu.

Vedle měření flikru a metody s křivkou mezního flikru ( $P_{st} = 1$ ) existují ještě simulační metoda a analytická metoda určení míry vjemu flikru.

#### • **Simulace**

Při známém průběhu relativních změn napětí  $d(t)$  lze hodnotu  $P_{st}$  určit počítačovou simulací. Přitom se do programu počítače přenesou algoritmy normou stanovené metody UIE – IEC měření flikru pro „digitální“ flikrmetr.

#### • **Analytická metoda**

Přibližně lze spočítat míru vjemu flikru pro určité tvary křivky průběhu změn napětí pomocí analytické metody s chybou do  $\pm 10\%$  ve srovnání s přímým měřením, příp. referenční metodou.

Analytická metoda by se neměla používat, jestliže časový interval mezi koncem jedné napěťové změny a začátkem následující napěťové změny je menší než 1s.

Každý průběh relativní změny napětí se přitom vyjádří svou dobou prodlouženého působení flikru  $t_f$ :



$t_f = 2,3 [s] \cdot (100 \cdot F \cdot d)^{3,2}$   
 $d$  relativní změna napětí  $\Delta U/U$   
 $F$  koeficient tvaru.

Pomocí koeficientu tvaru  $F$  se přepočítají speciální tvary (dvojité skoky, rampy, pravoúhlé a trojúhelníkové změny napětí, rozběhy motorů) z průběhů změn napětí na flikru rovnocenné napět'ové skoky. Průběhy podle ČSN EN 61000-3 - 3 [8]) jsou na obr.4 až obr.7.

Výsledná míra vjemu flikru, vztažená k určující době intervalu, se přibližně vypočítá z dob prodlouženého působení flikru  $t_f$ :

$$P_{st} = \sqrt[3,2]{\frac{\sum t_f}{10 [\text{min}]}} = \left( \frac{\sum t_f [s]}{60 \cdot 10 [s]} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (47)$$

$$P_{it} = \sqrt[3,2]{\frac{\sum t_f}{2 [h]}} = \left( \frac{\sum t_f [s]}{60 \cdot 10 \cdot 12 [s]} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (48)$$

Při pravidelných změnách napětí téhož tvaru a hloubky lze znak součtu v rovnici pro určení míry vjemu flikru nahradit počtem změn napětí, příp. mírou opakování  $r$  za minutu.

Příklad:

Pravoúhlé kolísání napětí s kmitočtem 0,05 Hz a hloubkou poklesu  $d = 1,52\%$  se projeví každých 10s skokovou změnou napětí. Míra opakování je tedy  $r = 6 \text{ min}^{-1}$ . Pro skokové změny napětí je koeficient tvaru  $F = 1$ . Rovnici pro výpočet míry vjemu flikru lze pak napsat takto:

$$P_{st} = 36,1 \cdot F \cdot d \cdot \sqrt[3,2]{r} = 36,1 \cdot 1 \cdot 0,0152 \cdot \sqrt[3,2]{6} = 0,96 \quad [\text{bezrozměrné}].$$

Určí-li se úroveň flikru pro kontrolu pomocí křivky mezního flikru, lze pro změnu napětí  $d = 1,52\%$  při míře opakování  $r = 6 \text{ min}^{-1}$  přímo odečíst z obr. 3 hodnotu  $P_{st}$  rovnou 1. Analytická metoda tedy dá pro tento příklad míru vjemu flikru cca o 4% nižší.

### 3.3. POSOUZENÍ

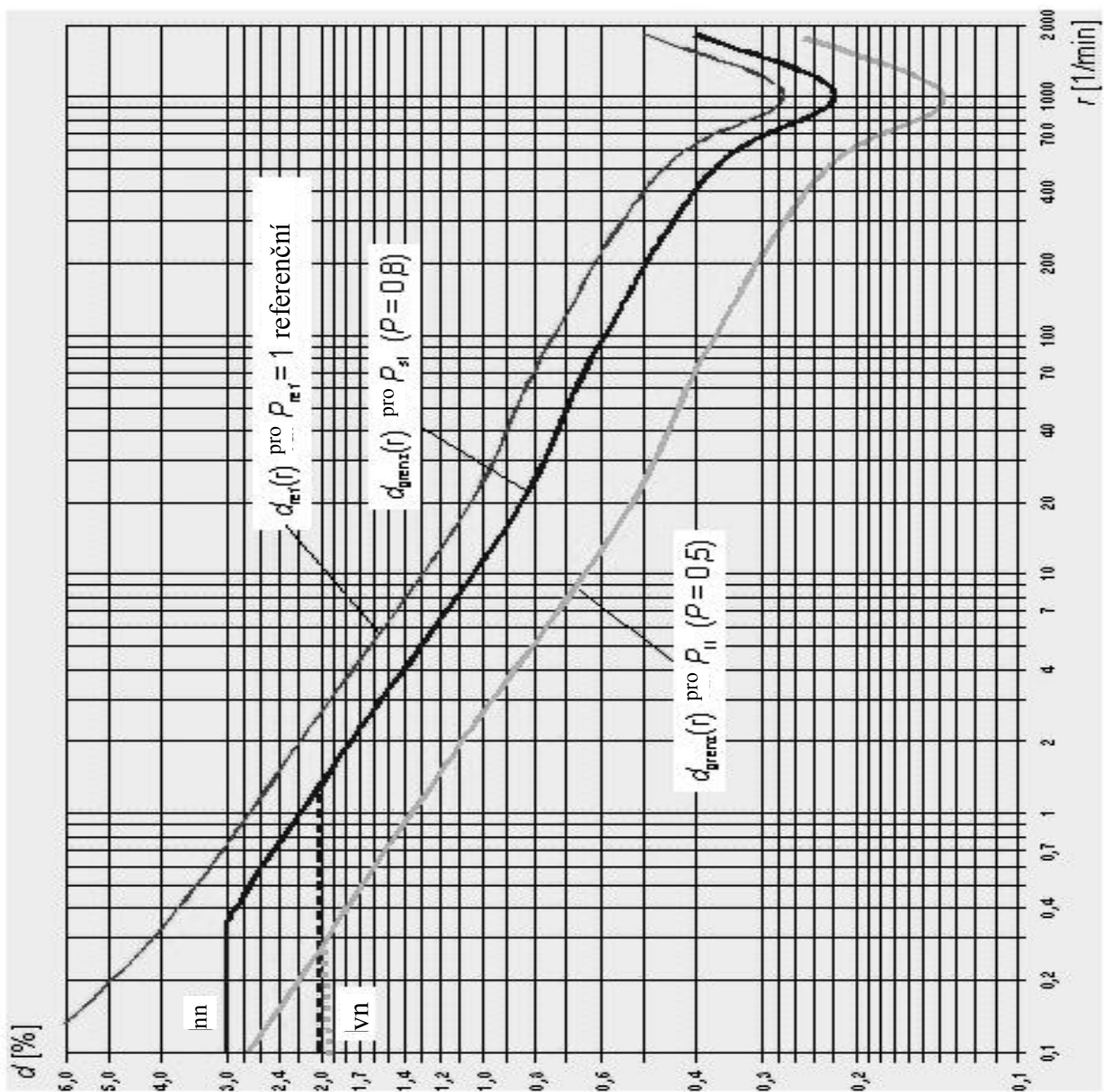
#### 3.3.1. Odběry připojované do sítí nn

Posuzování se netýká domácích spotřebičů a podobných elektrických zařízení, vyhovujících [8].

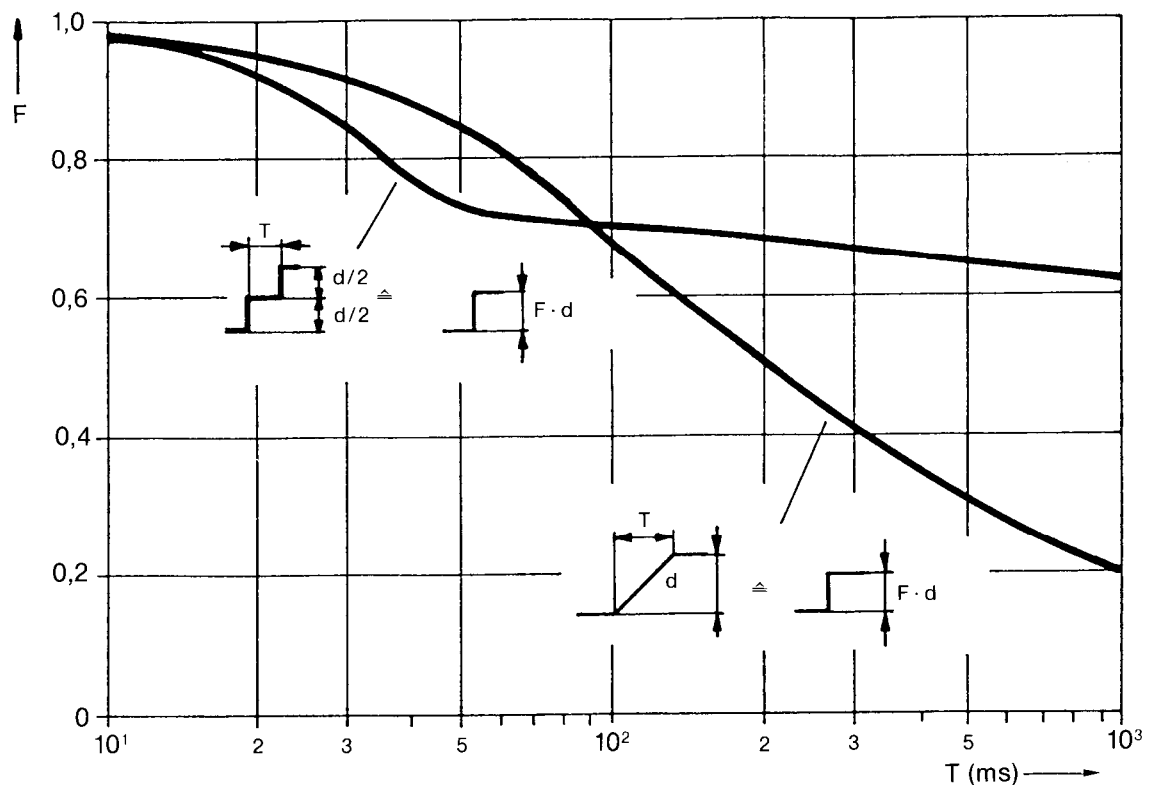
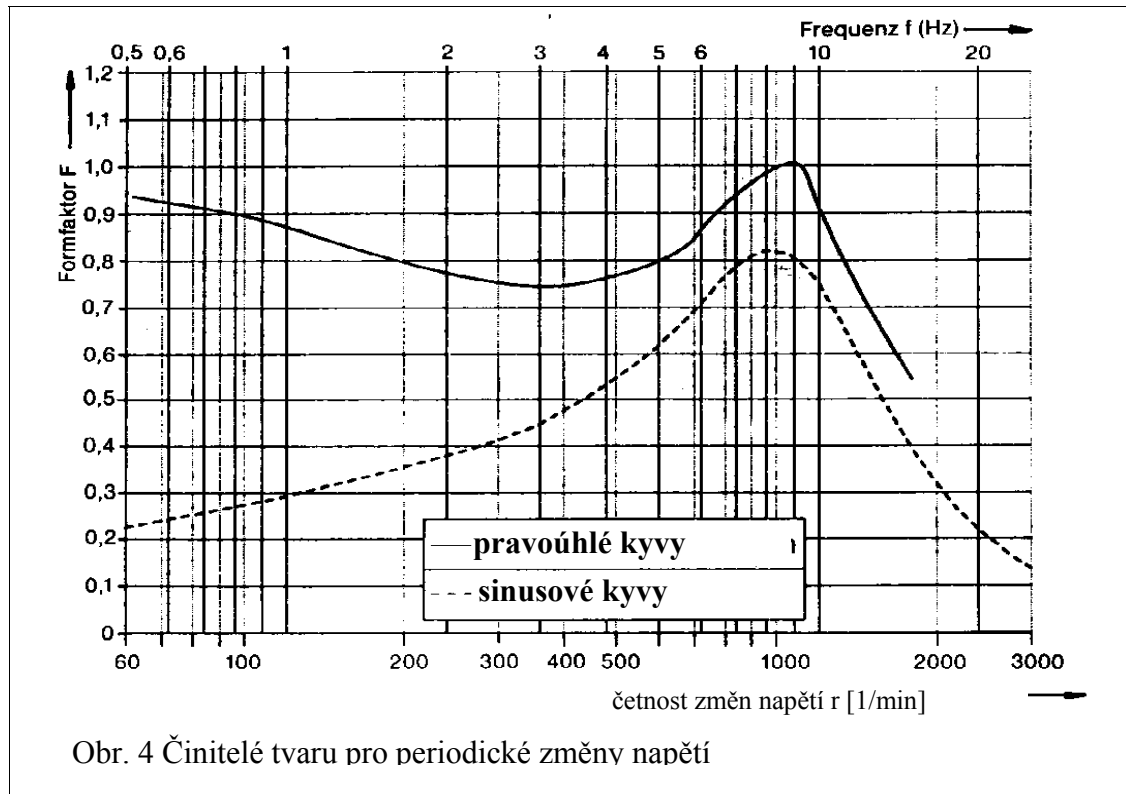
Postup při posuzování je naznačen na obr.8. Přípustné hladiny pro pravidelné pravoúhlé ustálené změny napětí v sítích nn podle normy [3] jsou uvedeny na obr.3.

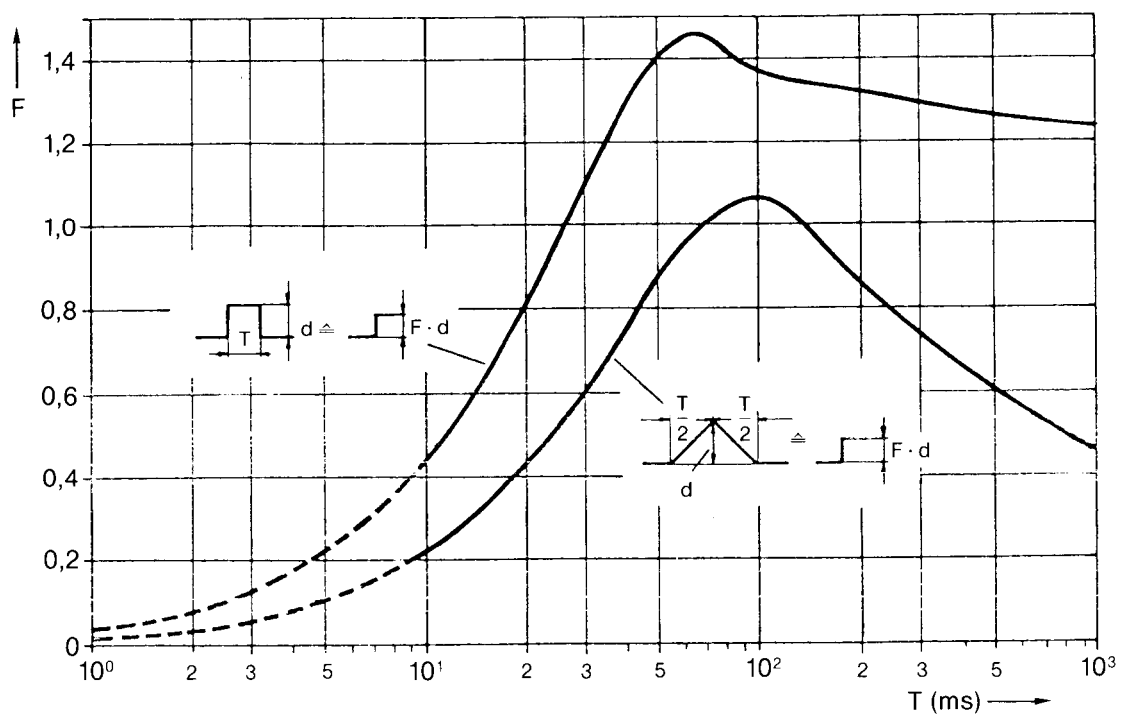
Aby bylo možné dodržet toleranční pásmo napětí podle [2] jsou změny napětí i při jejich malé četnosti omezeny na 3 %. U maximálních (přechodných) změn napětí lze přitom podle připustit změnu napětí  $d_{max} 4 \%$ . Při ručním spínání nebo četnosti menší než jednou za hodinu jsou přípustné hodnoty 1.33 krát větší.

Souhrnně jsou přípustné velikosti relativních změn napětí i činitelů flikru uvedeny v TAB. 3.

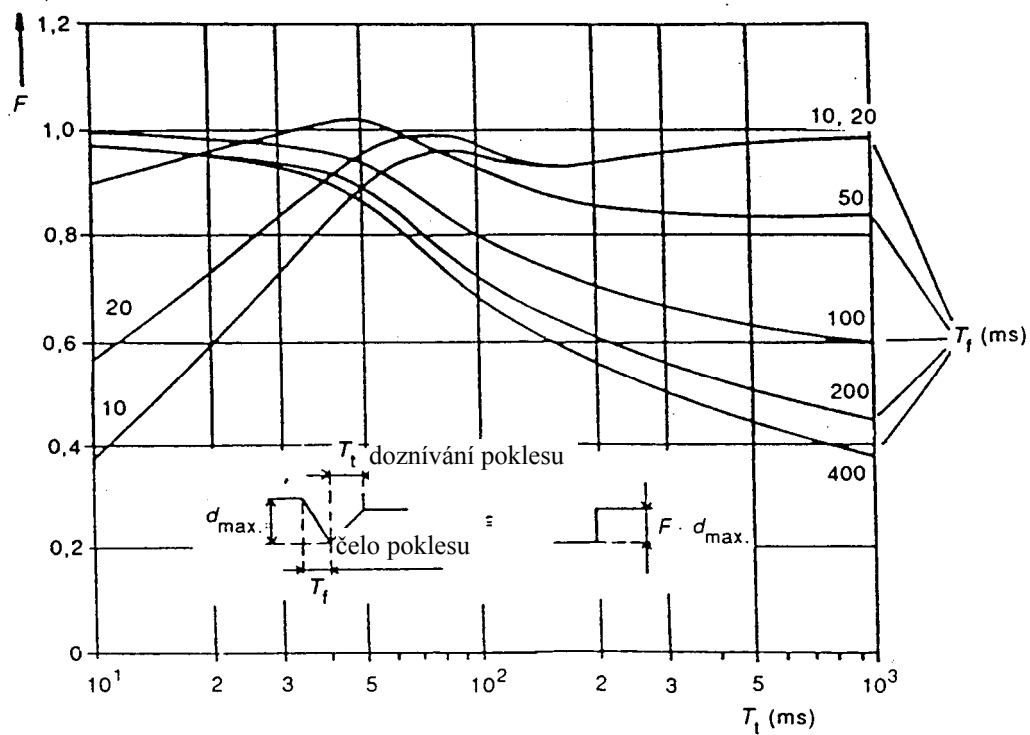


Obr.3 Činitelé tvaru pro pravoúhlé změny napětí





Obr. 6 Činitelé tvaru pro pravoúhlé a trojúhelníkové pulsy



Obr. 7 Činitelé tvaru pro spouštění motorů

TAB. 2 Směrné hodnoty pro posouzení flikru a kolísání napětí

Přípustné limity rušení	Plt	Pst	d/dmax
síť			
nn	0,80	1	
vn	0,70	0,9	
110 kV	0,60	0,8	
Příspěvek všech odběratelů napěťové hladiny			
nn	0,5	0,72	
vn	0,61	0,78	
110 kV	0,60	0,80	
jeden odběratel			
nn	0,50	0,80	0,03/0,06
vn	0,25	0,35	0,02/0,03
110 kV	0,25	0,35	0,02/0,03
jeden zdroj			
nn	0,46		0,03/0,04
vn	0,46		0,02/0,03
110 kV	0,25		

Pozn. 1 Směrná hodnota příspěvku všech odběratelů pro hladinu 110 kV je převzata z [12]. Platí za předpokladu, že zkratový výkon na hladině 110 kV je mnohonásobně vyšší, než v napájené síti vn. Pro zkratové výkony v síti 110 kV nižší než např. 1000 MVA doporučujeme respektovat přenos flikru z hladiny vn v poměru zkratových výkonů.

Pozn. 2: Asynchronní stroje připojované přibližně se synchronními otáčkami mohou vlivem svých vnitřních přechodových jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro síť vn 4 %, pro síť nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

Z TAB. 2 vychází následující schéma pro posuzování změn a kolísání napětí na obr.8.

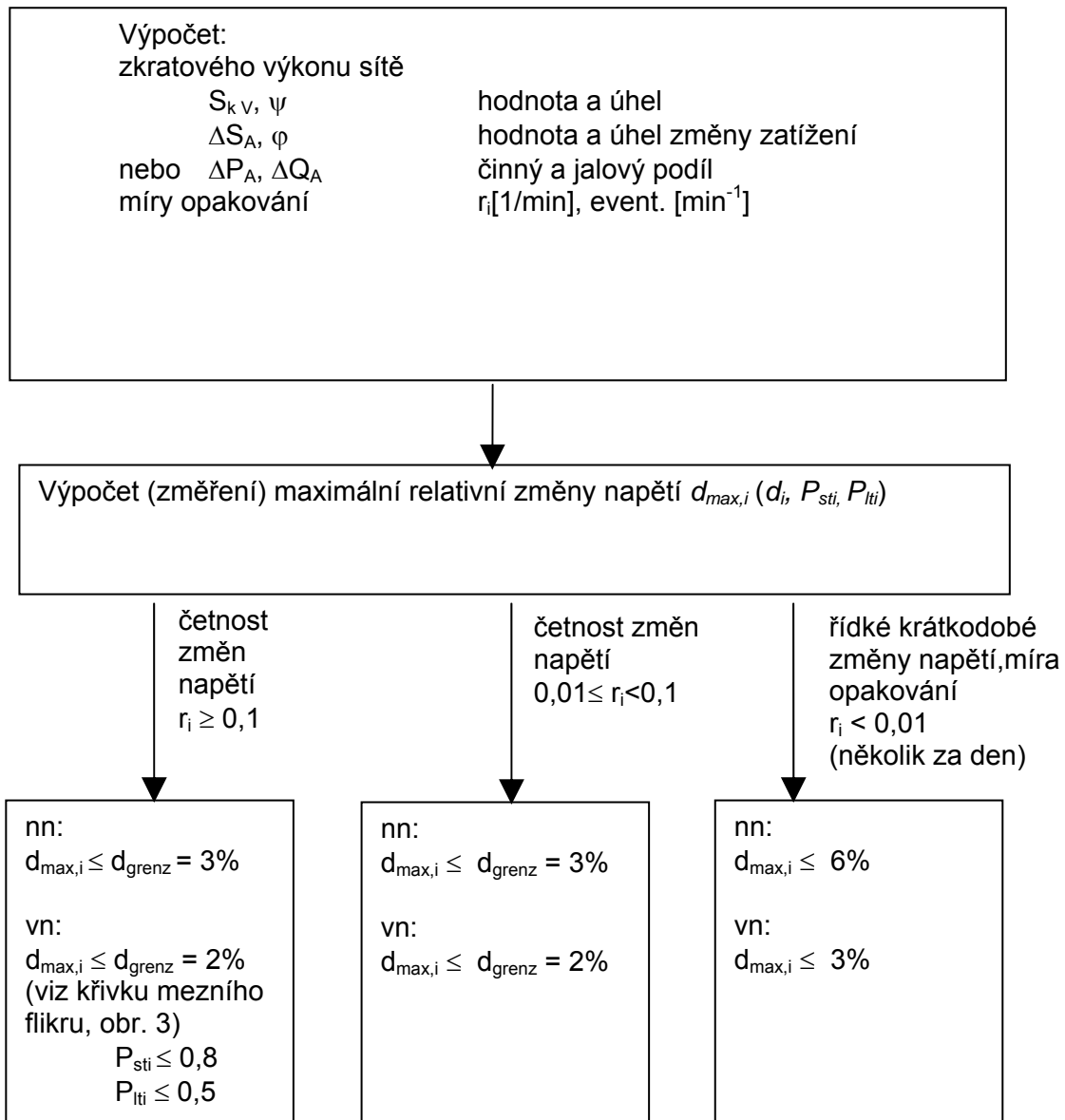
Přístroje zkoušené podle EN 61000 -3 -11 [6] (přístroje a zařízení se jmenovitým proudem  $\leq \square 75A$ , které podléhají zvláštní podmínce připojení), dodrží normou stanovené meze změn napětí , kolísání napětí a flikru, když jsou v přípojném bodě zařízení uživatele sítě splněny výrobcem stanovené síťové podmínky (trvalá proudová zatížitelnost sítě  $\geq \square 100A$  na fázový vodič (jmenovité napětí 400/230 V), příp. impedance sítě nižší, než max. přípustná impedance  $Z_{max}$ ). Tato norma pro elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) určuje mezní hodnoty změn napětí vyvolávaných přístroji a zařízeními, které se zkouší za stanovených podmínek.

Pozn.: Dodržení následujících síťových podmínek (odpovídajících platným normám) však samo o sobě nestačí obecně k tomu, aby se připojení ve všech případech posoudilo jako přípustné. Souhlas provozovatele sítě závisí navíc také na posouzení v síti už existujících rušivých veličin a daných zatěžovacích podmínek v síti. Tyto existující rušivé veličiny a dané zatěžovací podmínky provozovatel sítě prokáže.

Údaje výrobců (o přístrojích) sice posouzení připojitelnosti ulehčují, neodstraňují ale jeho nezbytnost.

Změny napětí je třeba posoudit jak co do jejich velikosti, tak i co do účinků flikru podle posuzovacího schématu na obr.8. Posouzení se provádí pro pravidelné obdélníkové změny napětí podle křivky mezních emisí – křivky mezního flikru v obr. 3.

Zjednodušené posouzení se může také provést podle tab. 3. Jsou –li dodrženy tam udané směrné hodnoty pro poměr  $S_{kV}/S_r$  (u výkonů se nerozlišuje mezi kVA a kW), neočekávají se žádné rušivé změny napětí..



Obr.8 Posuzovací schéma pro změny napětí a flikr

TAB.3

<u>Typ přístroje/zařízení</u>		<u>Příklad</u>	<u>Potřebný poměr <math>S_{KV} / S_r</math> při připojení k</u>			
			1~230V (1~400V)		3~400V	
<u>Elektrické teplo</u>	s malou četností spínání	topení, zkoušené průtokové ohřívače, svářečky <sup>1)</sup>	>120 >600 (>400)	>30 >150 >250		
	s velkou četností spínání	bodové svářečky <sup>2)</sup> kopírky, laserové tiskárny, faxy, řízení spínáním na určitý počet period	>1000 (>500) >1000	>250		
<u>Osvětlovací zařízení</u>	ručně spínané	osvětlení hal, osvětlení sálů	>400	>100		
	stálá změna světla	světelné varhany, disco	>1000	>250		
<u>Motory<sup>3)</sup></u>	ručně spínané	přenosné nářadí	přímé sepnutí >500	rozběhové zařízení >250	přímé sepnutí >125	rozběhové zařízení >70
	automat. spínané s malou četností	chladicí přístroje, tepelná čerpadla, výtahy v obytných domech	>600	>300	>150	>75
	automat. spínané s velkou četností	výtahy v komerční oblasti	>1000	>500	>250	>125
		katry, řezací stolice			>500 (až 1500) >250 (až 750)	

• Přístroje a zařízení s kombinovaným využitím motorů a tepla se mají posuzovat jako oddělené jednotlivé přístroje, pokud se nespínají současně.

• Nerozlišují se údaje výkonu v kVA a kW.

• Dodrží-li se udané směrné hodnoty pro poměr  $S_{KV} / S_r$ , neočekávají se žádné rušivé změny napětí.

<sup>1)</sup> stejnosměrné svářečky

<sup>2)</sup>  $S_r = 50\%$  doba zapnutí (ED)-výkon se zpravidla udává na typovém štítku

<sup>3)</sup> motory s elektronickým řízením pohonu se musí posuzovat také podle **Kap. 5** (Harmonické)

Hodnoty v tabulce 3 pocházejí ze zkušeností s různými typy přístrojů a dávají první záchytnou hodnotu pro posouzení připojovaných přístrojů.

Jestliže je poměr  $S_{kV} / S_{kr}$  lepší, než hodnota udaná v TAB. 3, lze vycházet z toho, že se v tomto přípojném bodě nevyskytne žádný problém s flikrem, vyvolaný tímto přístrojem.

Je ale třeba zvážit, zda už případně neexistuje problém s flikrem v tomto přípojném bodě, vyvolaný jinými přístroji zařízení téhož uživatele sítě, pak je nutné ho respektovat podle zákona superpozice.

Posuzuje se jak podle  $P_{st}$  (mez : 0,8), tak podle  $P_{lt}$  (mez : 0,5).

Metoda posouzení vychází z pravidelných změn napětí během min. 10 minut.

Vyskytují-li se pravidelné změny napětí během 2 nebo více hodin, může se provést posouzení rovnocenné s výpočtem z 12 jednotlivých hodnot  $P_{st}$  vyhodnocením dlouhodobého flikru pomocí mezní křivky pro  $P_{lt} = 0,5$  (obr. 3).

Nepravidelné změny napětí lze posoudit výhradně měřením nebo speciálními simulacemi.

### 3.3.2. Posuzování připojitelnosti v sítích vn a 110 kV

Pro sítě vn a vvn uvádí [12] postup posuzování, který má na jedné straně zamezit složitějšímu podrobnému posuzování v těch případech, kdy již jednoduchý postup vyloučí nepřipustné rušení sítě, na straně druhé při podrobnějším posuzování umožní připojit i odběratele nebo zdroje, které by při zjednodušeném posuzování výše uvedeným podmínkám nevyhověli. Schématicky je tento třístupňový přístup uveden na obr. 9.

#### ETAPA 1: ZJEDNODUŠENÉ VYHODNOCENÍ RUŠIVÉHO KOLÍSÁNÍ NAPĚTÍ

Kolísající zatížení může být do sítě vn připojeno bez podrobné analýzy, jestliže změny zdánlivého příkonu (S ve společném napájecím bodu) vyhoví mezím podle následující tabulky. Tyto meze závisí na počtu r změn napětí za minutu (pokles napětí následovaný obnovením původního napětí jsou dvě změny napětí):

TAB. 4

r (min-1)	DS / Sk (%)
$r > 200$	0,1
$10 \leq r \leq 200$	0,2
$r < 10$	0,4

kde  $S_k$  je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu.

Pozn.: Změna příkonu DS může být menší, stejná nebo větší než jmenovitý příkon SN vyšetřovaného zařízení (např. u motoru se musí brát v úvahu zdánlivý příkon při rozběhu, který může být  $DS = 5+6 SN$ ).

Pro sítě 110 kV může posuzování v etapě 1 vycházet z obecné podmínky pro orientační posouzení potřeby ověřování zpětných vlivů vyjádřené již v části 3.3.1.

Největší připojitelný výkon odběru (zdroje)  $S_{maxi}$ , který lze připojit v místě se zkratovým výkonem  $S_{kV}$  bez dalšího posuzování musí vyhovovat podmínce

$$\frac{S_{kV}}{S_{maxi}} \geq 1000 \text{ pro odběry, } \frac{S_{kV}}{S_{maxi}} \geq 500 \text{ pro zdroje}$$



## ETAPA 2 PŘIPOJITELNOST PODLE VÝPOČTU RUŠIVÝCH VLIVŮ

V této etapě se při posuzování připojitelnosti se nejprve určí:

a) celkový dovolený příspěvek posuzované napěťové hladiny k dosažení plánovacích limitů (směrných hodnot)

Tato mez pro krátkodobou míru vjemu flikru  $G_{Pstvn}$  se pro hladinu vn určí podle následujícího vztahu:

$$G_{Pstvn} = \sqrt[3]{L_{Pstvn}^3 - T_{PstHM}^3 \cdot L_{Pstvvn}^3}$$

kde  $L_{Pstvn}$  je plánovací úroveň pro síť vn – (hodnota 0,9 podle TAB. 2)

$L_{Pstvvn}$  je plánovací úroveň pro síť vvn – (hodnota 0,8 podle TAB. 2)

THM je přenosový koeficient pro flikr z nadřazené sítě vvn do sítě vn

Pozn.: Obvyklá hodnota THM pro Pst i Plt je 0,8, zatímco TML (přenos do sítě nn je obvykle blízký jedničce ( $TML \gg 0,95$ ))

Podobně platí pro dovolený příspěvek hladiny vn k dlouhodobé míře vjemu flikru  $G_{Plt}$

$$G_{Pltvn} = \sqrt[3]{L_{Pltvn}^3 - T_{PltHM}^3 \cdot L_{Pltvvn}^3}$$

kde  $L_{Pltvn}$  je plánovací úroveň pro síť vn – (hodnota 0,7 podle TAB. 2)

$L_{Pltvvn}$  je plánovací úroveň pro síť vvn – (hodnota 0,6 podle TAB. 2)

THM je přenosový koeficient pro flikr z nadřazené sítě vvn do sítě vn

Pro směrné hodnoty Pst a Plt pro hladiny nn, vn a 110 kV a přenosové koeficienty THM = 0,8 (mezi hladinou 110 kV a vn) a TML = 0,95 pro přenos mezi vn a nn jsme určili přípustné příspěvky zařízení v jednotlivých napěťových hladinách, uvedené ve čtvrtém řádku TAB. 2.

b) podíl odběratele (zdroje) na celkovém kolísajícím zatížení (dodávce) v síti  
Přípustný podíl jednotlivých odběratelů na kolísání napětí – flikru se určí podle podílu sjednaného příkonu  $S_i$  a celkového přenositelného výkonu sítě. Dále se zavádí činitel soudobosti  $F_{vn}$ , který respektuje, že ne všechna kolísající zatížení (odběry) se projevují v síti současně – podle [12] jsou typické hodnoty  $F_{vn}$  0,2 až 0,3.

Mez pro přípustnou hodnotu krátkodobé míry vjemu flikru odběratele (zdroje)  $i$ , tj.  $E_{Psti}$  pak určíme

$$E_{Psti} = G_{Pstvn} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{vn}} \cdot \frac{1}{F_{vn}}}$$

Pro přípustnou hodnotu dlouhodobé míry vjemu flikru odběratele (zdroje)  $i$ ,  $E_{Plti}$  platí obdobně

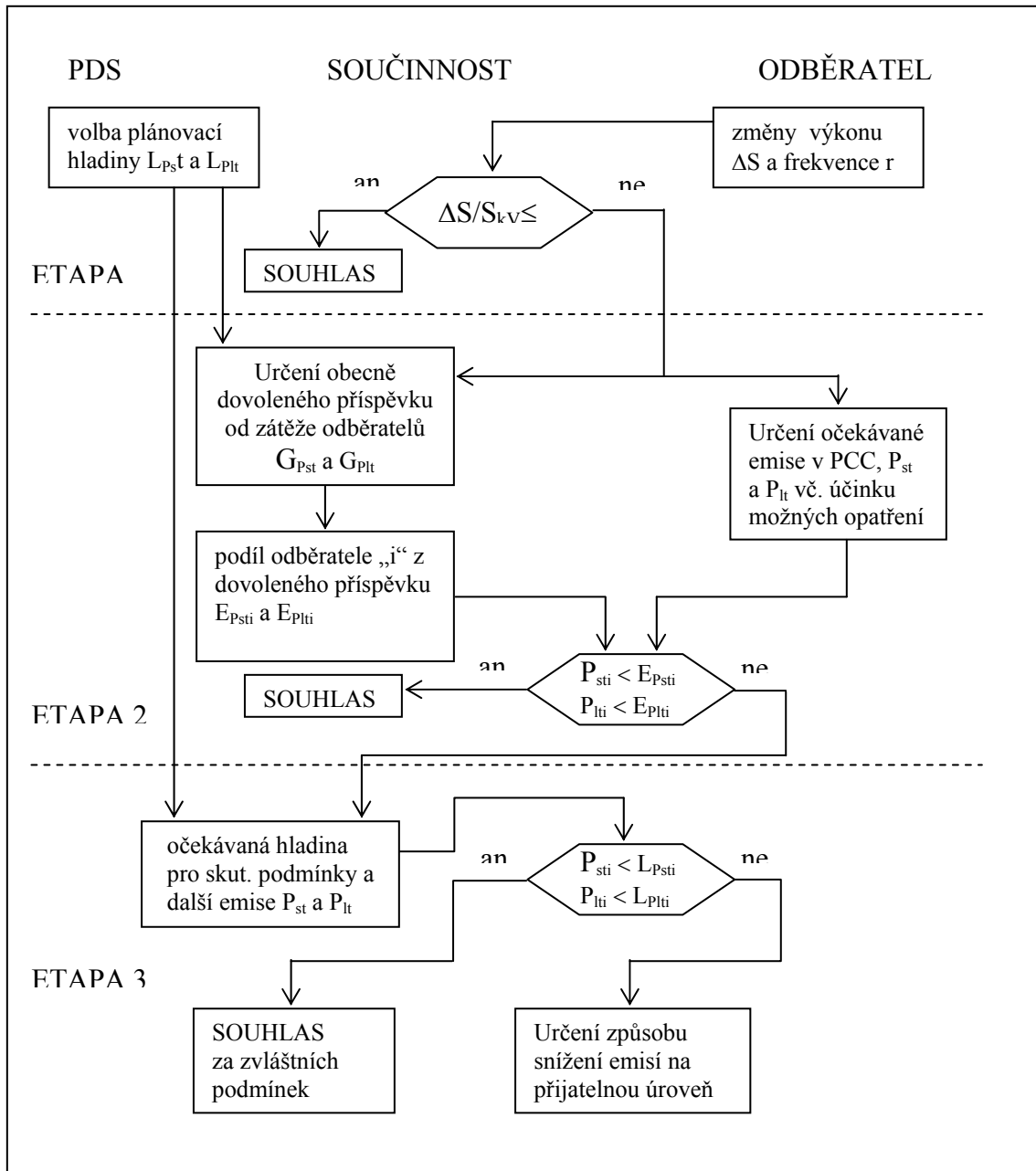
$$E_{Plti} = G_{Pltvn} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{vn}} \cdot \frac{1}{F_{vn}}}$$

Analogické vztahy platí pro stanovení přípustného podílu odběratele (zdroje) v síti 110 kV.

Při určování celkového přenositelného výkonu sítě se podle [12] doporučuje uvažovat pouze přímé odběry (zdroje) pracující do sítě 110 kV.

Pozn.1: Toto doporučení vychází z předpokladu, že z nižší napěťové hladiny (vn) se do sítě 110 kV nepřenáší kolísání napětí a flikr. U sítě 110 kV s nízkým zkratovým výkonem (např. pod 1000 MVA doporučujeme uplatnit i přenos flikru z hladiny vn, snížený v poměru zkratových výkonů v síti vn a 110 kV.

Pozn.2: Pro uživatele s relativně malým sjednaným příkonem může přinášet výše uvedený přístup příliš přísná omezení. Proto se doporučuje každému odběrateli (zdroji) poskytnout určité minimální meze pro  $E_{Psti}$  i  $E_{Plti}$ . Tyto hodnoty jsou uvedeny ve čtvrtém řádku TAB.2.



Obr.9 Schéma třístupňového postupu při posuzování připojitelnosti

### 3.4. NESYMETRIE NAPĚTÍ

#### 3.4.1. Obecné

Nesymetrie vznikají nerovnoměrným zatížením jednotlivých fází třífázového systému. Typickými příklady nesymetrických spotřebičů jsou jedno- a dvoufázové zátěže, připojené mezi fázový a střední vodič, příp. mezi dva fázové vodiče.

Mnohá průmyslová zařízení v sítích vn a vvn jsou připojena jako dvoufázové zátěže mezi dva fázové vodiče-např.:

- indukční pece se síťovým kmitočtem
- odporové tavicí pece
- konduktivní ohřívací zařízení
- odporové pece pro výrobu elektrod
- oblouková ohřívací zařízení
- odporové svářečky
- obloukové ocelářské tavicí pece
- transformovny střídavé trakce.

V síti nn dochází rozdělením jednotlivých jedno-, příp. dvoufázových zatížení ke značné symetrizaci, kromě toho jsou jednofázové jednotlivé spotřebiče většinou výkonově velmi malé.

### 3.4.2. Výpočet nesymetrií

Jako charakteristická veličina pro nesymetrie slouží stupeň nesymetrie napětí  $k_u$ .

Pro dvoufázové zátěže mezi dvěma fázovými vodiči a jednofázové zátěže mezi fázovým a střední vodičem platí přibližně:

$$k_u \approx \frac{S_A}{S_{kV}}, \quad (49)$$

$k_u$  stupeň nesymetrie  
 $S_{kV}$  zkratový výkon sítě v přípojném bodě V  
 $S_A$  výkon jedno-/dvoufázového zatížení.

### 3.4.3. Účinky nesymetrií

Nesymetrie mohou způsobit:

- zvýšení proudového zatížení a ztrát

Při témž výkonu spotřebiče mohou být proudy ve vodičích dvou- až trojnásobné, ztráty v přívodech dvou- až šestnásobné. Podle toho lze vedení a transformátory zatěžovat jenom na polovinu, příp. třetinu jejich jmenovitého výkonu.

- ztráty v elektrických strojích

Pole vytvořené inverzním systémem proudů se otáčí proti směru otáčení rotoru a indukuje v něm proudy, které vedou k vyššímu tepelnému zatížení. U synchronních strojů smí být inverzní systém proudů max. 5 až 10% jmenovitého proudu, čemuž odpovídá stupeň nesymetrie napětí  $k_u = 1$  až 2%.

- U asynchronních strojů se vyskytují od  $k_u = 1\%$  přídavná oteplení. Vyšší nesymetrie mohou vést k podstatnému zkrácení životnosti.

- Dalším účinkem nesymetrie jsou vibrační momenty v elektrických strojích, které vedou ke zvýšenému mechanickému namáhání.

#### 3.4.4. Přípustné hodnoty

Přípustná hodnota (úroveň kompatibility) pro stupeň nesymetrie vyvolaný součinností všech spotřebičů v síti v ustáleném provozu je stanovena

$$k_u \leq 2 \% .$$

Pro jednotlivá spotřebitelská zařízení je výsledná hodnota stupně nesymetrie omezena na

$$k_{u,i} \leq 0,7 \% ,$$

přičemž určovat je ho třeba po dobu 10 minut.

### 3.5. OPATŘENÍ

Rušivé emise způsobené změnami napětí lze zmírnit, použijí-li se tato opatření:

#### opatření u zákazníků:

- motory s nízkým rozběhovým proudem nebo s omezením rozběhového proudu
- setrvačné hmoty pro vyrovnání rázů zatížení, pružné spojky
- blokování pro zabránění superpozičním efektům
- rovnoměrné rozdělení jednofázového zatížení na všechny fázové vodiče
- použití kompenzačních zařízení:
- předřazení podélných tlumivek
- paralelní připojení řízených jalových zátěží
- řízené tlumivky (pomocí tyristorů)
- řízené kondenzátory
- dynamická kompenzační zařízení

#### opatření na straně sítě:

- Zvýšení zkratového výkonu (sítě) v přípojném bodě:
  - posílení přívodů
  - zvláštní přívod z bodu sítě s vyšším zkratovým výkonem
  - výměna transformátoru za trafo s vyšším jmen. výkonem nebo nižším napětím nakrátko
- připojení k vyšší napěťové úrovni

Pro zmenšení stupně nesymetrie  $k_u$  jsou možná tato opatření:

- rozdělení jednofázových zátěží a jejich rovnoměrné rozložení do fází
- instalace kompenzačních zařízení pro symetrizaci pomocí kondenzátorů a tlumivek (při proměnných zatíženích musí být symetrizační zařízení regulovatelné; současná kompenzace jalového výkonu je možná)
- oddělení měničovou soupravou z třífázového motoru a jednofázového generátoru
- připojení přes usměrňovač

- připojení v přípojném bodě s vyšším zkratovým výkonem sítě  $S_{kV}$  nebo zvýšení zkratového výkonu sítě  $S_{kV}$  opatřeními v síti.

### 3.6. PŘÍKLADY

#### 3.6.1. Rozběh motoru

Má se posoudit připojení motoru za těchto předpokladů (viz bod 3.2.3):

Síť:  $S_{kV} = 2,13 \text{ MVA}$ ,  $\psi = 29,5^\circ$ .

Max. 5 rozběhů motoru (N) za 10 minut (T) při následujícím klidovém stavu min. 2 hodiny, takže není potřebné posouzení dlouhodobého flikru.

Motor:

$$U_r = 400\text{V}, I_r = 5,8\text{A}, \frac{I_a}{I_r} = 8, \cos \varphi_a = 0,5.$$

Četnost opakování:

$$r = \frac{N}{T} = \frac{5}{10} = 0,5 \frac{1}{\text{min}}.$$

Na rozběh motoru se počítá jen jedna změna napětí .

Změna zdánlivého výkonu při rozběhu:

$$\Delta S_A = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot \Delta I_a = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot (8 \cdot 5,8) = 32,15 \text{ kVA}$$

$$\varphi_a = \arccos(\cos \varphi_a) = \arccos(0,5) = 60^\circ.$$

Změna napětí:

$$d_{\max,i} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi) = \frac{32,15}{2130} \cdot \cos(29,5 - 60) = 1,3\% .$$

Z křivky mezních emisí pro nn (obr. 3) plyne pro  $r_i = 0,5 \text{ min}^{-1}$  maximálně přípustná změna napětí

$$d_{\text{grenz}} = 2,7\%.$$

Rozběh motoru vyvolá však změnu napětí jen 1,3% a tím při zadané četnosti opakování  $r_i = 0,5 \text{ min}^{-1}$  intenzitu flikru, odvozenou z křivky mezních emisí (křivka mezního flikru  $P_{st} = 1$  – obr. 3):

$$P_{sti} = \frac{d_{\max,i}}{d_{ref}} \cdot P_{ref} = \frac{1,3\%}{3,3\%} \cdot 1 = 0,39.$$

Protože  $d_{\max,i}(r) = 1,3\% \leq d_{\text{grenz}}(r) = 2,7\%$   
a tím je  $P_{sti} = 0,39 < 0,8$ ,  
je připojení motoru **přípustné**.

Pozn.: Pro respektování pravoúhelných změn napětí lze použít činitele podle ČSN EN 61000 –3 –3 +A1 [8].

### 3.6.2. Připojení centra pro zpracování plechu

V síti nn má být připojen průmyslový závod (zpracování plechu). Pro posouzení připojení se mají určit a vyhodnotit zpětné vlivy na síť. Připojné vedení nn je zemní kabel 4x 150 Al délky 150m od trafostanice k přípojnému bodu V a dalších 50 m k předávacímu místu.

Data zařízení uživatele sítě:

přípojný výkon zařízení:	$S_A = 29 \text{ kVA}$
jmenovité napětí motoru:	$U_r = 400 \text{ V}$
rozběhový proud motoru 11 kW:	$I_{Anz} = 33 \text{ A}$ ( $\varphi_{Anz}$ cca $60^\circ$ )

(největší motor – hvězda – trojúhelník) přepnutí na trojúhelník – z 4,5A na 35,7A.

Stroj se zpravidla zapne jednou za den a je pak celý den v provozu.

Efektivní odběr proudu pohonů během vysekávání a polohování kolísá mezi 19A a 39A ( $\Delta I_A = 20A$ ) ( $\cos\varphi$  cca 0,8  $\rightarrow$   $\varphi$  cca  $37^\circ$ ) s četností opakování cca 240-krát za minutu v trvalém provozu (8 hodin v pracovní dny).

Data o síti:

zkratový výkon sítě (vn):	$S_{kvn} = 100 \text{ MVA}$ (přípojnice 22 kV)
úhel impedance sítě:	$\psi = 72^\circ$ (přípojnice 22 kV)
jmenovité napětí (vn):	$U_{vn} = 22 \text{ kV}$
jmenovitý výkon transformátoru:	$S_{rT} = 315 \text{ kVA}$ (22/0,4 kV)
napětí nakrátko:	$u_k = 4\%$
ztráty nakrátko transformátoru:	$P_k = 8 \text{ kW}$
činný odpor na km vedení:	$r_L = 0,2 \Omega/\text{km}$
jalový odpor na km vedení:	$x_L = 0,08 \Omega/\text{km}$
jednoduchá délka vedení:	$l = 0,15 \text{ km}$ (až k přípojnému bodu)
napětí v přípojném bodě:	$U_V = 400 \text{ V}$ .

#### • Výpočet

Podle kap. 3 se vypočítá zkratový výkon v přípojném bodě V (nn) takto:

**Impedance sítě:**

$$X_{MS} = \frac{U_{MS}^2}{S_{kMS}} = \frac{(22 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 4,84 \Omega$$

$$X'_{MS} = X_{MS} \cdot \left( \frac{U_V}{U_{MS}} \right)^2 = 4,84 \cdot \left( \frac{0,4 \text{ kV}}{22 \text{ kV}} \right)^2 = 1,6 \text{ m}\Omega \quad \text{(vztaženo na 0,4 kV)}$$

**Transformátor:**

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{4 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 0,315} = 20,32 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{1000 \cdot S_{nT}^2} = \frac{8 \cdot 0,4^2}{1000 \cdot 0,315} = 4,06 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)} = \sqrt{(20,32^2 - 4,06^2)} = 19,9 \text{ m}\Omega$$

(vypočteno při 0,4 kV)

**Kabel:**

$$R_L = r_L \cdot \ell = 0,2 \Omega/\text{km} \cdot 0,15 \text{ km} = 30 \text{ m}\Omega = R'_L$$

$$X_{L2} = x_{L2} \cdot \ell = 0,08 \Omega/\text{km} \cdot 0,15 \text{ km} = 12 \text{ m}\Omega = X'_L$$

**Impedance a úhel impedance sítě v přípojném bodě V:**

Je zjištěno, že výsledná impedance sítě nn je určena hlavně impedancí síťového transformátoru a impedancí vedení nn. Proto se impedance nadřazené sítě  $X'_{MS}$  zanedbává.

$$R_{kV} = \sum R' = R'_T + R'_L = (4,06 + 30) = 34,06 \text{ m}\Omega$$

$$X_{kV} = \sum X' = X'_T + X'_L = (19,9 + 12) = 31,9 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{kV} = \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} = \sqrt{(34,06 \text{ m}\Omega)^2 + (31,9 \text{ m}\Omega)^2} = 46,67 \text{ m}\Omega$$

$$\psi_V = \arctan \frac{X_{kV}}{R_{kV}} = \arctan \frac{31,9}{34,06} = 43,12^\circ$$

**Zkratový výkon v přípojném bodě V:**

$$S_{kV} = \frac{U_V^2}{Z_{kV}} = \frac{(400 \text{ V})^2}{46,67 \cdot 10^{-3} \Omega} = 3,428 \cdot 10^6 \text{ VA} = 3,428 \text{ MVA}$$

Je zjištěno, že výsledná impedance sítě nn je určena hlavně impedancemi síťového transformátoru a vedení nn.

- Zapínací děj**

Denně jeden zapínací děj s max.  $I_{Anz} = 33 \text{ A} \rightarrow$  tedy  $d_{\max,i} \leq 6\%$  (viz bod 3.3.1).

Změna zdánlivého výkonu při rozběhu (přímo se dosadí rozběhový proud):

$$\Delta S_A = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_{Anz} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 33 \text{ A} = 22.863 \text{ VA} \approx 22,9 \text{ kVA}.$$

**Změna napětí:**

$$d_{\max, i} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi_V - \varphi_{Anz}) = \frac{22,9 \text{ kVA}}{3428 \text{ kVA}} \cdot \cos(43,12^\circ - 60^\circ) = 0,0064 \Rightarrow 0,64 \% < 6 \%$$

Zapínání nezpůsobí žádnou nepřijatelnou změnu napětí.

- **Flikr**

změna provozního proudu:  $\Delta I_A = 20 \text{ A}$   
 četnost opakování:  $r = 240 \text{ 1/min}$

Z křivky emisí pro nn (obr.3) plyne pro  $r_i = 240$   
 maximálně přípustná změna napětí ( $P_{\text{ref}} = 1$ ):

$$d_{\text{ref}} = 0,59\%.$$

Změna zdánlivého výkonu za provozu:

$$\Delta S_A = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot \Delta I_A = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 20 \text{ A} = 13.856 \text{ VA} = 13,856 \text{ kVA}.$$

Změna napětí:

$$d_{\max, i} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi_V - \varphi_A) = \frac{13,856 \text{ kVA}}{3428 \text{ kVA}} \cdot \cos(43,12^\circ - 37^\circ) = 0,0040 \Rightarrow 0,4 \%$$

Krátkodobý flikr:

$$P_{sti} = \frac{d_{\max, i}}{d_{\text{ref}}} \cdot P_{\text{ref}} = \frac{0,4}{0,59} \cdot 1 = 0,68 < 0,8.$$

Emise krátkodobého flikru je v přípustném pásmu (menší než 0,8).

Dlouhodobý flikr:

$$P_{lti} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{sti, n}^3}{12}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 0,68^3}{12}} = 0,68 > 0,5.$$

Dlouhodobý flikr se musí z důvodu četnosti opakování (viz posuzovací schéma v kap. 3.3.1) vypočítat. Z důvodu plynulého sledu změn napětí lze předpokládat krátkodobý flikr jako konstantní. Emise dlouhodobého flikru je při hodnotě 0,68 nad mezní hodnotou  $P_{lt} = 0,5$ . Musí se proto provést technická opatření, aby se emise dlouhodobého flikru omezila na přípustnou hodnotu.



### Možné opatření:

Přeložení přípojného bodu V k trafostanici (strana nn transformátoru).

Impedance a úhel impedance sítě v přípojném bodě V:

$$R_{kV} = \sum R' = R'_T = 4,06 \text{ m}\Omega$$

$$X_{kV} = \sum X' = X'_T = 19,9 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{kV} = \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} = \sqrt{(4,06 \text{ m}\Omega)^2 + (19,9 \text{ m}\Omega)^2} = 20,32 \text{ m}\Omega$$

$$\psi_V = \arctan \frac{X_{kV}}{R_{kV}} = \arctan \frac{19,9}{4,06} = 4,9^\circ.$$

Zkratový výkon v přípojném bodě V:

$$S_{kV} = \frac{U_V^2}{Z_{kV}} = \frac{(400 \text{ V})^2}{20,32 \cdot 10^{-3} \Omega} = 7,874 \cdot 10^6 \text{ VA} = 7,874 \text{ MVA}.$$

Zde se vypočítá zkratový výkon sítě (nn) 7874 kVA, úhel impedance sítě  $\Delta V = 4,9^\circ$ .

Změna napětí:

$$d_{\max, i} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi_V - \varphi_A) = \frac{13,856 \text{ kVA}}{7874 \text{ kVA}} \cdot \cos(4,9^\circ - 37^\circ) = 0,0015 \Rightarrow 0,15 \%$$

Krátkodobý flickr:

$$P_{sti} = \frac{d_{\max, i}}{d_{ref}} \cdot P_{ref} = \frac{0,15}{0,59} \cdot 1 = 0,25 < 0,8.$$

Emise krátkodobého flickru je v přípustném pásmu.

Dlouhodobý flickr:

$$P_{lti} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{sti, n}^3}{12}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 0,25^3}{12}} = 0,25 < 0,5.$$

Emise dlouhodobého flickru je při hodnotě 0,25 pod mezní hodnotou  $P_{lti} = 0,5$  (podle posuzovacího schématu v kap. 3.3.1) a je tedy také v přípustném pásmu.

**Posouzení emise flickru v předávacím místě** (posouzení pro přístroje v zařízení uživatele sítě):

200 m zemního kabelu 4 x 150 Al z přípojného bodu V na transformátoru až k předávacímu místu.

Kabel:

$$R_L = r_L \cdot \ell = 0,2 \Omega/\text{km} \cdot 0,2 \text{ km} = 40 \text{ m}\Omega = R'_L$$

$$X_{L2} = x_{L2} \cdot \ell = 0,08 \Omega/\text{km} \cdot 0,2 \text{ km} = 16 \text{ m}\Omega = X'_L$$

Impedance a úhel impedance sítě (v předávacím místě):

$$R_{kV} = \sum R' = R'_T + R'_L = (4,06 + 40) = 44,06 \text{ m}\Omega$$

$$X_{kV} = \sum X' = X'_T + X'_L = (19,9 + 16) = 35,9 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{kV} = \sqrt{R_{kV}^2 + X_{kV}^2} = \sqrt{(44,06 \text{ m}\Omega)^2 + (35,9 \text{ m}\Omega)^2} = 56,83 \text{ m}\Omega$$

$$\psi_V = \arctan \frac{X_{kV}}{R_{kV}} = \arctan \frac{35,9}{44,06} = 39,17^\circ$$

Zkratový výkon v předávacím místě:

$$S_{kV} = \frac{U_V^2}{Z_{kV}} = \frac{(400 \text{ V})^2}{56,83 \cdot 10^{-3} \Omega} = 2,815 \cdot 10^6 \text{ VA} = 2,815 \text{ MVA}$$

Změna napětí:

$$d_{\max, i} = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi_V - \varphi_A) = \frac{13,856 \text{ kVA}}{2815 \text{ kVA}} \cdot \cos(39,17^\circ - 37^\circ) = 0,0049 \Rightarrow 0,49 \%$$

Krátkodobý flickr:

$$P_{sti} = \frac{d_{\max, i}}{d_{ref}} \cdot P_{ref} = \frac{0,49}{0,59} \cdot 1 = 0,83 < 1$$

Emise krátkodobého flickru je pod úrovní kompatibility  $P_{st} = 1$ . Mezní hodnota emise  $P_{sti} = 0,8$  vztahující se ke společnému napájecímu bodu se nemá v předávacím v místě u odběratele zásadně používat.

Dlouhodobý flickr:

$$P_{lfi} = \sqrt[3]{\sum_{n=1}^{12} \frac{P_{sti, n}^3}{12}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 0,83^3}{12}} = 0,83 > 0,65$$

Emise dlouhodobého flickru je však v tomto případě nad mezní hodnotou  $P_{lt} = 0,65$ . Je proto možné, že citlivé přístroje provozu budou rušeny (podle ČSN EN 61 000-3-3 – přístroje se jmenovitým proudem  $\leq 16 \text{ A}$  na fázi a ČSN EN 61 000 – 3 – 11- přístroje a zařízení se jmenovitým proudem  $\leq 75 \text{ A}$  – mají mezní hodnotu pro  $P_{lt} = 0,65$ ).

Při spolupůsobení s ostatními přístroji ve veřejné síti nebo v zařízení uživatele sítě samotném lze předpokládat, že dlouhodobá míra vjemu flikru v předávacím místě rovněž překročí hodnotu  $P_{lt} = 1$  podle ČSN EN 50160. Už jediný přístroj menšího výkonu s  $P_{sti} = P_{lti} = 0,65$  by společně s centrem pro zpracování plechu způsobil intenzitu flikru  $P_{lt} > 1$ .

- **Posouzení**

1. Aby bylo možné dodržet mezní hodnotu emise dlouhodobého flikru  $P_{lti} = 0,5$  v přípojném bodě, musí se vzhledem k aktuálnímu připojení provést opatření. Jako příklad se přeložil přípojný bod (bod, kde se posuzuje) na přípojnici nn transformátoru.

2. Protože nelze vyloučit v zařízení uživatele sítě nežádoucí účinky z důvodu překročení mezní hodnoty přístrojů a zařízení pro dlouhodobou míru vjemu flikru  $P_{lt} = 0,65$ , doporučuje se kromě toho položení druhého, paralelního, 200 m dlouhého zemního kabelu 4 x 150 Al od trafostanice k předávacímu místu.

### 3.6.3. Bodová svářečka

V zákaznickém zařízení má být připojena jednofázová bodová svářečka ke dvěma fázovým vodičům třífázové sítě. Tato odporová svářečka představuje dominantní zdroj flikru v zákaznickém zařízení, t.zn., že ostatní zdroje flikru lze v porovnání s touto svářečkou zanedbat. Přípojný bod je na straně vn transformační stanice. Jsou známa tato data:

$$S_{kv} = 125 \text{ MVA}, \psi = 67^\circ$$

$$S_{A \max} = 360 \text{ kVA}, \cos\varphi = 0,8$$

$$r = 120 \text{ svářecích impulsů za minutu}, t_p = 240 \text{ ms}$$

zapojení síťového transformátoru: Dy1

doba provozu přesahuje 2-hodinový interval.

#### Výkonový poměr

Výkonový poměr

$$\frac{S_{kv}}{S_{A \max}} = \frac{125 \text{ MVA}}{360 \text{ kVA}} = 347 < 700$$

je nižší než orientační hodnota 700 (bod 4.1), t.zn., že pro připojení je potřebné podrobnější posouzení.

#### Výpočet intenzity flikru

Koeficient tvaru svářecích impulsů s dobou trvání  $t_p = 240 \text{ ms}$  je 1,3 (viz obr.6). Protože četnost opakování je asi 120 svářecích impulsů za min., neměla by se podle bodu 3.2.4 použít analytická metoda, protože časový interval mezi koncem jedné změny napětí a začátkem další změny napětí je při 0,5 s menší než 1 vteřina. Pro výpočet intenzity flikru se tedy použije křivka mezního flikru v obr.3.

K tomu se změny napětí vyvolávané svářečkou převedou na ekvivalentní pravidelné obdélníkové změny napětí

Přepočtení změn napětí relevantních pro flikr na straně vyššího napětí třífázového transformátoru trojúhelník – hvězda pomocí přibližného vzorce pro jednofázové zatížení připojené mezi dva fázové vodiče (3.2.2) na skoky napětí ekvivalentní pro flikr násobením odečteným koeficientem tvaru  $F = 1,3$ :

$$P_{\text{lti}} = \frac{d_{\text{max},i}}{d_{\text{ref}}} \cdot P_{\text{ref}} = \frac{0,65}{0,7} \cdot 1 = 0,93.$$

Pro posouzení se použije přípustná emise dlouhodobého flikru  $Plt_{zul} = 0,5$  (bod 3.4). Očekávaný flikr je tedy hodně nad přípustnou mezní hodnotou. Zařízení nelze v této podobě připojit k tomuto bodu sítě.

## Opatření

Má-li se flikr omezit na  $Plt_{zul} = 0,5$ , lze provést tato opatření:

- **Změny v síti**

Připojení v bodě se zkratovým výkonem nejméně 220 MVA. Tak vysoké hodnoty lze dosáhnout jen v bezprostřední blízkosti transformovny a při příslušném jmenovitém výkonu transformátoru.

- **Změny u svářečky**

Mnoho z těchto opatření je v praxi nepoužitelných, protože ovlivňují negativně nejen plánovaný výrobní proces, ale i kvalitu svařování. Přesto se v dalším uvádějí některé možnosti, aby bylo možné demonstrovat základní souvislosti:

- redukce nejvyššího svařovacího výkonu  $S_{\text{max}}$  na 194 kVA
- redukce četnosti opakování  $r$  ze 120 na 9 svařecích pulzů za minutu
- redukce  $S_{\text{max}}$  na 240 kVA a  $r$  na 40 min<sup>-1</sup>
- redukce doby svaření  $t_p$ ; přitom je problém:  $t_p$  by se muselo nastavit na 20 až 30 ms, to je však technicky sotva proveditelné.

- **Použití svářečky s třífázovým připojením**

Při týchž technických datech a stejném způsobu provozu svářečky vyplyne pro flikr:

$$d_{\text{max},i} = 1,3 \cdot \frac{0,36 \text{ MVA}}{125 \text{ MVA}} \cdot \cos(67^\circ - 37^\circ - 30^\circ) = 0,37\%$$

$$P_{\text{lti}} = \frac{d_{\text{max},i}}{d_{\text{ref}}} \cdot P_{\text{ref}} = \frac{0,37}{0,7} \cdot 1 = 0,53.$$

Protože je mezní emisní hodnota 0,5 překročena jen nepatrně, bylo by možné s připojením a provozem svářečky souhlasit.

- **Dynamické kompenzační zařízení**

Pomocí dynamické kompenzace lze flikr značně omezit. To ale předpokládá, že má kompenzační zařízení odpovídající reakční dobu a je přizpůsobeno poměrům v síti a způsobu provozu svářečky.

## 4. HARMONICKÉ

Synchronní generátory elektráren je možné za cenu přijatelných zjednodušení považovat za zdroje sinusových napětí 50 Hz a rovněž tak lze vycházet z představy, že el. sítě, tj. zejména transformátory, přenášejí proudy a napětí síťového kmitočtu bez podstatných zkreslení. Naproti tomu proudy tekoucí do zařízení řady odběratelů připojených k el. sítím jsou nesinusové. Tyto proudy vyvolávají na impedancích sítí nesinusové úbytky napětí, které kromě složky s kmitočtem sítě, obsahují též podíl harmonických.

Zkreslení průběhů křivky napětí ve společném napájecím bodu způsobuje dodatečná namáhání zařízení dalších odběratelů i zařízení REAS a může docházet k poruchám jejich funkce, či zkrácení životnosti.

Nelineární odběry lze podle teoretických rozborů i praktických zkušeností považovat za proudové zdroje harmonických.

Každá hodnota napětí harmonických vyskytující se v síti je výslednou hodnotou k níž přispívají všechna zařízení odběratelů svými emisemi proudů harmonických a závisí zejména na:

- impedanci sítě pro harmonické
- amplitudě a fázi proudů harmonických emitovaných každým odběratelem
- počtu zařízení odběratelů připojených současně k síti.

S ohledem na uvedené negativní vlivy je nutné ve smyslu ustanovení odstavce 5.4 nově připojované odběry posuzovat případ od případu a stanovit příspěvek příslušného odběratele k celkové úrovni harmonických v dané napěťové úrovni, který je měřítkem přípustnosti připojení příslušné technologie.

Velký obsah harmonických v síťovém napětí může vést k nežádoucím ovlivněním jak zařízení sítě, tak i přístrojů a zařízení uživatelů sítě.

Posouzení, zda je provoz zařízení uživatele sítě přípustný z hlediska harmonických, vychází ze stanovených mezních emisních hodnot. Předpokládá se, že tyto hodnoty jsou uživateli sítě předepsány v průběhu zpracování dotazníku k žádosti o připojení a on je za jejich dodržení zodpovědný.

Aby bylo možné uživateli sítě při plánování jeho zařízení napomoci, byl vytvořen postup posuzování, znázorněný na obr.10. Pomocí tohoto postupu lze jednoduše odhadnout, zda jsou nebo nejsou potřebná přídatná opatření pro snížení emise proudů harmonických.

Hodnocení „přípustné“ nezbujuje uživatele sítě povinnosti dodržet předepsané mezní emisní hodnoty. Není vyloučeno, že v některých případech bude nutné na uživateli sítě požadovat dodatečná opatření pro redukci harmonických, aby byly dodrženy mezní emisní hodnoty.

### 4.1. VÝPOČET IMPEDANCÍ SÍTÍ NA TÓNOVÝCH FREKVENCÍCH

Je zřejmé, že impedance el. sítí na tónových frekvencích jsou podstatně odlišné od jejich impedancí při kmitočtu 50 Hz, pro kterou je síť navržena. Zvláštní pozornost je při jejich určování nutné věnovat rezonančním jevům. V případech rezonancí sítí na frekvenci některé harmonické může její napětí nabývat obzvláště vysokých hodnot, čímž se podstatně zvyšuje nebezpečí rušení dalších odběratelů. Při určování impedance sítě ve společném napájecím bodu lze v řadě případů vycházet ze zjednodušeného náhradního schématu sítě. V něm je celková kapacita sítě složená z kapacit vedení a ev. kapacit kondenzátorových baterií pro

kompenzaci účinníku koncentrována na přípojnicí a síť se chová jako paralelní rezonanční obvod<sup>2</sup>. Jeho induktivní reaktance je tvořena převážně reaktancí napájecího transformátoru s níž je v sérii reaktance v nadřazeném síťovém bodu "Q" vypočtená ze zkratového výkonu. Tlumící rezistance obvodu tvoří pak zejména činné zatížení sítě. Rezananční kmitočet obvodu je dán vztahem:

$$f_{rez} \cong 50 \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} \quad [\text{Hz}; \text{MVA}; \text{MVA}r] \quad (50)$$

kde  $S_k$  je zkratový výkon na přípojnicí a  $Q_c$  je nabíjecí výkon sítě.

#### 4.1.1. Impedance v přípojném bodu "V"

V návaznosti na vztah (11) platí pro tuto impedanci

$$Z_{kQh} = h \cdot \frac{U_n^2}{S_{kv}} \quad [\Omega; \text{V}; \text{MVA}] \quad (51)$$

kde řád harmonické  $h = \frac{f}{50}$  je poměr tónového kmitočtu k síťovému kmitočtu.

Pro další zjednodušené výpočty lze s dostatečnou přesností uvažovat pouze s induktivní složkou této impedance, která je:

$$X_{kQh} \cong Z_{kVh} \quad (52)$$

#### 4.1.2. Impedance transformátorů

Impedance transformátorů pro kmitočet sítě je dána vztahy v odstavci 2.2.2.

Pro ohmický odpor transformátoru lze při zjednodušených výpočtech použít rovnici (13), případně tuto rezistanci zanedbat. Impedance transformátoru je pak přibližně rovna jeho reaktanci, tj.

$$Z_{Th} \cong X_{Th} = h \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\%; \text{V}; \text{MVA}] \quad (53)$$

#### 4.1.3. Podélná impedance vedení

Při jejím určování se vychází z údajů v kapitole 2.2

##### Rezistance vedení

Při zjednodušených výpočtech na tónových frekvencích se vliv skin efektu zpravidla neuvažuje, t.j. počítá se s hodnotami pro 50 Hz.

##### Induktivní reaktance vedení

Na tónových frekvencích se určí podle následující rovnice:

$$X_{Vh} = h \cdot X \cdot l \quad [\Omega; \Omega/\text{km}; \text{km}; ] \quad (54)$$

<sup>2</sup> Impedanci sítě lze s větší přesností určit výpočtem na počítači pomocí vhodného programu a tak lépe respektovat skutečné schéma sítě a závislost jejích jednotlivých komponent na frekvenci. Při realizaci tohoto záměru však obvykle vyplynou obtíže spojené se získáním věrohodných vstupních hodnot, které je třeba zadat. To platí zejména pro zátěže sítě. Impedanci zátěže na tónových frekvencích nelze jednoduše odvodit z měřených hodnot 50 Hz, které jsou obvykle k dispozici, nýbrž je potřeba hlubších znalostí o jejím charakteru (motorická, činná, kompenzace). Tento problém je obtížně řešitelný zejména v sítích vn s ohledem na značný počet transformací vn/nn a zpravidla je potřeba přistoupit k vhodnému zjednodušení náhradního schématu sítě. Z tohoto přístupu vychází i výpočty uvedené v této normě. Obecně však platí, že tam kde je k dispozici příslušná databáze sítě a znalosti v oblasti impedancí zátěže na tónových frekvencích, je výhodné uvedených programů využívat.

#### 4.1.4. Příčná impedance vedení a kondenzátorů

Kapacitní jalové výkony sítě  $Q_c$  jsou určeny hlavně jalovými výkony jejích vedení  $Q_v$  a jalovými výkony kondenzátorů pro kompenzaci účinníku  $Q_k$

$$Q_c = Q_v + Q_k \quad (55)$$

Svodové odpory lze zanedbat a výsledná příčná impedance sítě je pak přibližně rovna její kapacitní reaktanci:

$$Z_c \cong X_c = \frac{1}{h} \cdot \frac{U_n^2}{Q_c} \quad [\Omega, \text{kV}, \text{MVar}] \quad (56)$$

#### 4.1.5. Impedance zátěže sítě

Velikost impedance sítě na frekvenci blízké první paralelní rezonanci závisí na tlumícím účinku ohmické zátěže. Činnou složku rozběhové impedance motorů lze zanedbat. Impedance sítě dosahuje nejvyšších hodnot při minimální činné zátěži  $P_{\zeta \min}$ . V sítích energetiky je  $P_{\zeta \min}$  rovno asi 2/3 minimálního zatížení sítě (cca 1/3 je motorická zátěž).

#### 4.1.6. Impedance průmyslových sítí

V případech, kdy má být připojena nová technologie do průmyslové sítě, je určení úrovně harmonických ve společném napájecím bodu komplikováno zpravidla složitým zapojením sítě průmyslového podniku. V těchto případech je potřebné zaměřit pozornost zejména na získání správných údajů o kondenzátorových bateriích pro kompenzaci účinníku a ev. filtraci harmonických, včetně variant jejich provozu. Z nich je pak potřebné vypočítat hodnoty impedance sítě pro jednotlivé harmonické. Následně se pak určí proudy těchto harmonických, které potečou do distribuční sítě ve společném napájecím bodu. Výpočet je možné realizovat zjednodušeným způsobem při využití rovnic této kapitoly, nebo pokud jsou k dispozici potřebná data o síti vhodným programem pro šíření harmonických. Na základě znalostí proudů harmonických a přípojného výkonu lze připojení daného zařízení posoudit podle metody této normy.

Problematika rezonancí vznikajících v souvislosti s kondenzátorovými bateriemi pro kompenzaci účinníku je zpracována v kapitole 4.7.

### 4.2. MEZNÍ EMISNÍ HODNOTY

Aby bylo možné dodržet normalizovanou hladinu kompatibility pro napětí harmonických v síti, je nutné omezit proudy harmonických  $I_h$  zařízení jednotlivých uživatelů sítě.

Napětí harmonických se určí z proudů harmonických a z impedance sítě.

K tomu jsou stanoveny mezní emisní hodnoty jak pro některé individuální proudy harmonických, tak i celkový činitel harmonického zkreslení  $THD_i$ .

Mezních emisních hodnot používá provozovatel sítě při posuzování připojitelnosti a při měřeních pro kontrolu zařízení uživatelů sítě.

Metoda posuzování vlivu harmonických daného zařízení zákazníka na síť vychází ze známého empirického sumačního zákona [11] ve tvaru:

$$U_h = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_{hi}^\alpha} \quad (57)$$

kde:

$U_h$  je výsledné napětí harmonické řady  $h$  ve společném napájecím bodu

$U_{hi}$  je napětí  $i$ -tého zdroje harmonické řady  $h$

$\alpha$  je sumační koeficient.

Výhodou této metody je její nezávislost na konfiguraci sítě. Toho se dosáhlo tím, že pro účely posuzování se uvažuje, že všechna zařízení zákazníků emitující harmonické jsou připojena k přípojnici.

Aby byly kompatibilní úrovně harmonických dodrženy i ve vzdálených místech sítě, kde je vyšší impedance, byly na přípojnici stanoveny jejich nižší přípustné úrovně.

Jako kritérium pro posuzování je stanoveno, že každý uživatel sítě smí do sítě dodávat výkon harmonických, který je úměrný jeho smluvnímu výkonu, tj. podíl zdánlivého výkonu harmonických k zdánlivému výkonu připojovaného zařízení musí být konstantní.

V následujících rovnicích jsou mezní emisní hodnoty obsaženy jako relativní veličiny. Přitom jako vztažná veličina slouží proud  $I_A$ , který se vypočítá z připojovaného výkonu  $S_A$  zařízení uživatele sítě.

#### 4.2.1. Mezní emisní hodnoty pro proudy jednotlivých harmonických $I_h$

Mezní emisní hodnoty pro jednotlivé harmonické jsou udány jen pro nejdůležitější řady  $h$ , typické pro usměrňovače. Pro proudy harmonických  $I_h$  vztažené k proudu zařízení zákazníka  $I_A$  platí následující podmínka:

$$\frac{I_h}{I_A} \leq \frac{p_h}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \quad [A; A; kVA; kVA] \quad (58)$$

$I_h$	proud harmonické řady $h$ emitované do sítě
$I_A$	proud zařízení zákazníka
$p_h$	poměrový koeficient
$h$	řád harmonické
$S_{kV}$	zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu
$S_A$	přípojný výkon zařízení uživatele sítě.

Hodnoty koeficientu  $p_h$  jsou v následující tabulce :

TAB.6.

$h$	3	5	7	11	13	17	19	> 19
$p_h$	6 (18)* <sup>3</sup>	15	10	5	4	2	1,5	1

<sup>3</sup> V sítích se středním vodičem (sítě nn) jsou proudy lichých harmonických, jejichž řád je dělitelný třemi, ve třech fázových vodičích přibližně ve fázi, tzn. že je lze sčítat aritmeticky. Musí se proto rozlišovat, zda se sleduje proud harmonické uvedených řádů ve fázovém nebo ve středním vodiči. Hodnoty udané v závorkách platí pro střední vodič.



TAB.5.: Přípustné hodnoty  $u_h$  pro jednotlivé frekvence harmonických v sítích nn podle ČSN EN 50160.

Napětí harmonických v sítích nn [ % $U_n$ ]	
<b>Liché hodnoty h nedělitelné 3</b>	
5 [Z]	6,0
7 [S]	5,0
11 [Z]	3,5
13 [S]	3,0
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$
<b>Liché hodnoty h dělitelné 3</b>	
3 [0]	5
9 [0]	1,5
15 [0]	0,5
21 [0]	0,5
$21 \leq h \leq 45$ [0]	0,2
<b>Sudé hodnoty h</b>	
2 [Z]	2,0
4 [S]	1,0
6 [0]	0,5
8 [Z]	0,5
$10 \leq h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$

[Z] zpětná složka, [S] sousledná složka, [0] nulová složka

Úroveň kompatibility pro celkový obsah harmonických je  $THD_U = 8\%$ .

Vztažnou hodnotou pro úroveň kompatibility je jmenovitá hodnota síťového napětí základní harmonické

#### 4.2.2. Mezní emisní hodnota pro celkový činitel harmonického zkreslení $THD_{iA}$

Kromě omezení proudů jednotlivých harmonických musí být rovněž omezena hodnota celkového harmonického zkreslení  $THD_{iA}$  proudu zařízení uživatele sítě. Ta musí vyhovět následující podmínce:

$$THD_{iA} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_A} \leq \frac{20}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} \cdot 100 \quad [\%; A; A; kVA; kVA] \quad (59)$$

$THD_{iA}$  celkové harmonické zkreslení proudu zařízení uživatele sítě  
 $I_h$  proud harmonické

$I_A$	proud zařízení vypočtený z jeho výkonu
$h$	řád harmonické
$S_{kV}$	zkratový výkon ve společném napájecím bodu
$S_A$	přípojný výkon zařízení uživatele sítě.

Jestliže spektrum ukazuje monotónní pokles úrovní harmonických, postačí zpravidla sledovat jen jednotlivé harmonické řádů 3., 5., 7., 11., 13., 17. a 19.,

Hodnota  $THD_{iA}$  není zpravidla identická s hodnotou  $THD_i$ , která se podle definice vztahuje k proudu základní harmonické  $I_1$ . Mezi oběma veličinami platí následující vztah:

$$THD_{iA} = THD_i \cdot \frac{I_1}{I_A} \quad (60)$$

$THD_{iA}$	koeficient celkového zkreslení zařízení uživatele sítě
$THD_i$	koeficient celkového zkreslení, vztahený k základní harmonické
$I_1$	efektivní hodnota proudu základní harmonické
$I_A$	efektivní hodnota proudu zařízení.

### 4.3. POSOUZENÍ VLIVU NA SÍŤ

Postup posuzování je koncipován pro posouzení vlivu nově připojovaných zařízení zákazníků a vychází z následujících zásad:

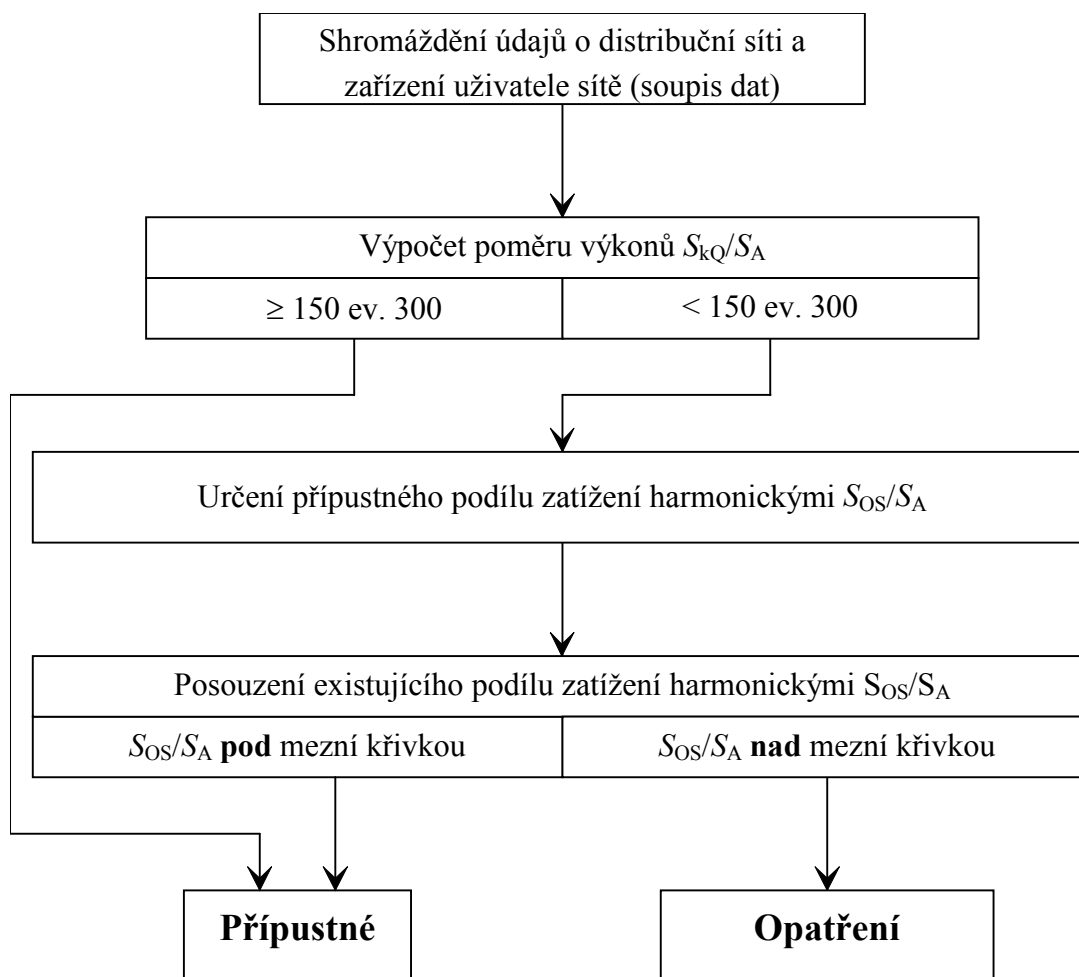
- Používají se hodnoty výkonů na síťovém kmitočtu 50 Hz a nedělá se rozdíl mezi údaji v kW a kVA
- Nesledují se jednotlivé přístroje nebo zařízení uvnitř objektu uživatele sítě, nýbrž zařízení uživatele sítě jako celek
- Mají být dodrženy mezní emisní hodnoty uvedené v TAB.5.

Posouzení má tři kroky:

- Výpočet poměru zkratového výkonu a výkonu zařízení  $\frac{S_{kV}}{S_A}$
- Určení podílu výkonu harmonických a výkonu zařízení  $\frac{S_{OS}}{S_A}$
- Posouzení podílu výkonu harmonických a výkonu zařízení  $\frac{S_{OS}}{S_A}$ .

Zvláštní poměry v síti, zejména rezonance v sítích vn, netypické struktury zatížení a sítě, kumulace synchronně pracujících přístrojů a zařízení téhož druhu by se měly stát předmětem speciálního posuzování.

Na obr.10 je průběh posuzování znázorněn formou diagramu.



Obr.10. Schéma pro posouzení vlivu harmonických

Uvedená metoda posuzování je prostředkem, jímž lze jednoduše odhadnout eventuální nutnost realizace opatření. Je to výhodné na příklad v plánovacím stadiu, kdy nejsou zpravidla známy mnohé detaily související se zpětnými vlivy na síť, jako např. emise harmonických jednotlivých přístrojů a zařízení, doba jejich provozu apod.

Od této metody posuzování, která má dát výsledky odpovídající praxi, tzn. nikoliv zbytečně opatrné, nelze tedy očekávat, že každé zařízení uživatele sítě, které bylo shledáno jako „přípustné“, také skutečně dodrží mezní emisní hodnoty. Pokud se v jednotlivých případech po uvedení do provozu skutečně změní větší proudy harmonických, musí provozovatel sítě po zvážení místních poměrů v síti a velikosti napětí harmonických rozhodnout, zda tyto proudy může akceptovat, nebo zda musí od uživatele sítě požadovat opatření pro omezení harmonických.

#### 4.3.1. Poměr výkonů $S_{KV} / S_A$

Další posuzování připojení může odpadnout, jestliže poměr zkratového výkonu ve společném napájecím bodu  $S_{KV}$  (kap.2) k přípojnému výkonu zařízení uživatele sítě  $S_A$  vyhovuje následující podmínce:

$$\text{nn: } \frac{S_{kQ}}{S_A} \geq 150 \quad (61)$$

$$\text{vn } \frac{S_{kQ}}{S_A} \geq 300 \quad (62)$$

#### 4.3.2. Podíl zatížení harmonickými ze zařízení uživatele sítě $S_{os}/S_a$

Metoda posuzování spočívá v tom, že se všechny významné zdroje harmonických v zařízení uživatele sítě sloučí do výsledného zatížení harmonickými  $S_{os}$  tak, aby toto výsledné zatížení představovalo očekávané chování zařízení uživatele sítě z hlediska harmonických. Tato metoda je koncipována výhradně pro zařízení odběratelů.

Zatížení harmonickými jednoho uživatele sítě zahrnuje vedle nově připojovaných zdrojů harmonických i zdroje již existující. Zařízení se jak bylo uvedeno rozčlení do dvou skupin, podle obsahu harmonických v proudu :

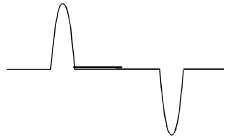
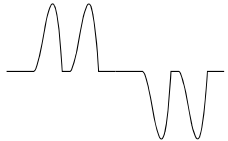

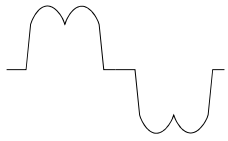
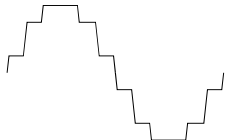
**Skupina 1:** Do této skupiny patří přístroje a zařízení s **nízkou** emisí harmonických (**10 % ≤ THD<sub>i</sub> ≤ 25 %**), jako např. usměrňovače s počtem pulsů  $\geq 12$ , zářivky a jiné plynem plněné lampy s předřazenou tlumivkou.

**Skupina 2:** Do této skupiny patří přístroje a zařízení se **střední** a **vysokou** emisí harmonických (**THD<sub>i</sub> > 25 %**), jako např. 6-pulsní usměrňovače, třífázové měniče, invertorové svářecí přístroje, elektronicky regulované střídavé motory, stmívače, televizní přijímače, počítače vč. periferních přístrojů, kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem a přístroje zábavné elektroniky.

Zařízení s **THD<sub>i</sub> < 10 %** se při stanovení zatížení harmonickými neuvažují.

V následující tabulce jsou shrnuty charakteristiky některých typických zdrojů harmonických.

Tab. 7: Charakteristiky typických zdrojů harmonických

Druh zapojení	Tvar křivky proudu	$THD_i$	Příklady
1-fázový usměrňovač s vyhlazovacím kondensátorem		$\approx 165 \%$ (Skupina 2)	spínané zdroje (televizory, kompaktní zářivky, zařízení na zpracování dat, přístroje zábavní elektroniky)
6-pulzní usměrňovače s vyhlazovacím kondensátorem		$\approx 100 \%$ (Skupina 2)	zařízení USV, měniče kmitočtu pro třífázové motory (čerpadla, ventilátory, dmychadla, extrudery, mlýny, drtiče, pojezdy jeřábů, výtahy, těžební zařízení, míchačky, papírenské stroje, pohony navijáků, kalandry, pásové pily, zvedací zařízení, klimatizace)
6-pulzní usměrňovače s vyhlazovacím kondenzátem a tlumivkou		40 - 70 % (Skupina 2)	
6-pulzní tyristorové usměrňovače s vyhlazovací tlumivkou		25 - 40 % (Skupina 2)	
12-pulzní tyristorové usměrňovače s vyhlazovací tlumivkou		$\approx 15 \%$ (Skupina 1)	stejnoseměrné pohony s vysokým výkonem (válcovací trati, lanovky), střídače pro větrné elektrárny

Výkony všech zdrojů harmonických je tedy třeba při respektování očekávané soudobosti sloučit do skupiny  $S_{Gr.1}$ , event.  $S_{Gr.2}$ . Při slučování se nerozlišuje mezi údaji výkonu v kW a kVA. Účinné zatížení harmonickými se pak získá z rovnice :

$$S_{OS} = 0,5 \cdot S_{Gr.1} + S_{Gr.2} \quad (63)$$

$S_{OS}$  výkon harmonických zařízení uživatele sítě  
 $S_{Gr}$  výkon zdrojů harmonických podle skupin.

Pro posouzení přípustnosti je pak rozhodující podíl zatížení harmonickými  $\frac{S_{SO}}{S_A}$ .

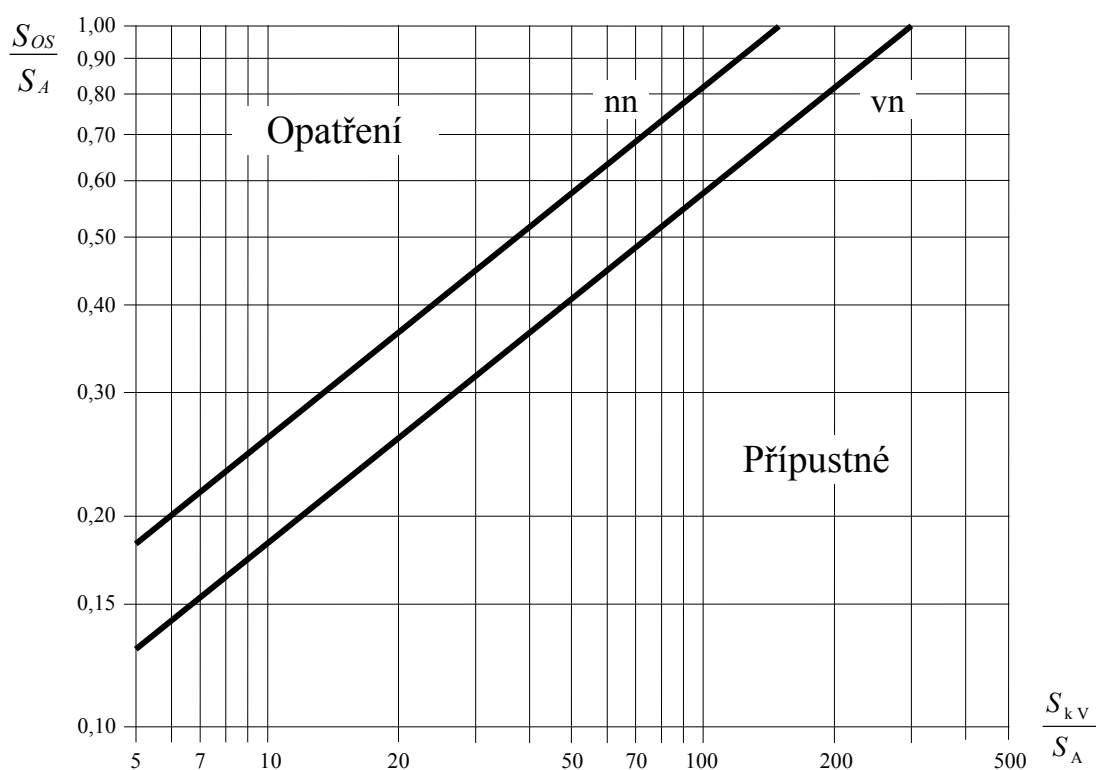
Poznámky:

- usměrňovače, které v důsledku taktování vysokým kmitočtem odebírají téměř sinusový proud, se při začleňování do skupin neuvažují a nepočítají se tak k zatížením produkujícím harmonické.

- pro usměrňovače řízené síťovým kmitočtem je navíc potřebné posouzení komutačních poklesů podle kap. 5
- pohony s řízením otáček produkují meziharmonické a musí proto také dodržet podmínky podle kap. 6
- jednofázové přístroje (kompaktní zářivky, televizory, počítače atd.) jsou významné zvláště tam, kde jich je v zařízení uživatele sítě větší počet. Předpokládá se, že tyto přístroje jsou rozděleny přibližně rovnoměrně do tří fází třífázového systému. Z důvodu sčítání proudů lichých harmonických jejichž řád je dělitelný třemi v středním vodiči, je tento vodič potřeba dostatečně dimenzovat.

#### 4.3.3. Posouzení podílu výkonu harmonických $S_{OS} / S_A$

Pro posouzení zařízení uživatele sítě z hlediska harmonických slouží diagram na obr.11.



Obr. 11. Diagram pro posouzení vlivu zařízení zákazníka na síť

Nejprve se v diagramu vyznačí bod, určený předem zjištěnými hodnotami poměru výkonů  $S_{kv}/S_A$  a podílu výkonu harmonických  $S_{OS}/S_A$ .

Pro následující posouzení je rozhodující poloha tohoto bodu vzhledem k příslušné křivce. Podle toho, v jaké napěťové úrovni přípojný bod je, použije se křivka pro nn nebo křivka pro vn:

- Je-li vyznačený bod **pod** křivkou, lze očekávat, že budou dodrženy mezní emisní hodnoty podle TAB.5. Je tedy velmi pravděpodobné, že nebudou potřebná **žádná opatření pro omezení harmonických**.
- Je-li naopak vyznačené místo **nad** křivkou, jsou **opatření** pro omezení harmonických nutná.

Křivky v obr.11 vycházejí z následující rovnice:

$$\frac{S_{OS}}{S_A} = b \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}}, \quad (64)$$

$S_{OS}$  zatížení harmonickými ze zařízení uživatele sítě v kVA

$S_A$  přípojný výkon zařízení uživatele sítě v kVA

$S_{kV}$  zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu v kVA

$b = 0,082$  pro nn a  $0,058$  pro vn

#### 4.4. OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ VLIVU HARMONICKÝCH

Opatření pro snížení úrovně harmonických jsou možná jak v zařízení uživatele sítě (redukce proudů harmonických dodávaných do sítě), tak i v distribuční síti (redukce účinků proudů harmonických):

- **V zařízení uživatele sítě se nabízí nasazení:**

- zařízení s nižším celkovým obsahem harmonických THD<sub>i</sub> v odebíraném proudu
- sacího obvodu
- aktivní kompenzace harmonických

- **V distribuční síti**

jde zpravidla o zvýšení zkratového výkonu ve společném napájecím bodu, např. posílením vedení, instalací vlastního vedení k trafostanici, zvýšením výkonu transformátoru nebo připojením k síti vyšší napěťové úrovně.

##### 4.4.1. Sací obvody

Sací obvody slouží k zmenšení zkreslení napětí sítě. Sací obvod je rezonanční obvod s rezonanční frekvencí blízké nebo rovné příslušné harmonické frekvenci. Obvykle se používá více sacích obvodů současně, které jsou naladěny na frekvence různých harmonických, případně na frekvenci HDO.

Aby nevznikaly rušivé paralelní rezonance na jedné z uvedených charakteristických harmonických, musí být k dispozici sací obvody pro všechny harmonické bez výjimky počínajíc nejnižším řádem.

Sací obvody se připínají vždy počínajíc obvodem s nejnižším řádem a končí se řádem nejvyšším. Při vypínání se postupuje v obráceném pořadí.

- **Minimální sací účinek sacího obvodu**

Poměr impedance sacího obvodu  $Z_{vS}$  k impedanci sítě v místě připojení sacího obvodu  $Z_{vN}$  má být:

$$\frac{Z_{vS}}{Z_{vN}} \leq 0,5 \quad (65)$$

$Z_{vS}$	Impedance sacího obvodu ( vztažená na rád h sacího obvodu ) v $\Omega$
$Z_{vN}$	Impedance distribuční sítě v místě připojení sacího obvodu (vztažená na rád h sacího obvodu ) in $\Omega$

- **Minimální impedance na frekvenci HDO**

Vzhledem k tomu, že sací obvody mohou nepříznivě ovlivňovat HDO musí na frekvenci HDO vykazovat určitou minimální impedanci [19].

#### 4.4.2. Aktivní kompenzace harmonických

Aktivní filtr snímá na přívodu odběratele (nebo distribuční sítě) který je kompenzován, pomocí proudového měniče proud obsahující harmonické Vhodným řízením třífázového střídače se ve společném napájecím bodě aktivního filtru emituje do sítě kompenzační proud. Proud odběratele a opačně orientovaný kompenzační proud se v připojovacím bodě vzájemně kompenzují. Výsledný proud odebíraný ze sítě obsahuje pouze základní harmonickou. Vzhledem k tomu, že impedancemi sítě netečou žádné proudy harmonických, neprodukuje aktivní filtr společně se zátěží sítě žádná napětí harmonických.

Moderní výkonové moduly (střídače IGBT) a řízení pomocí digitálních signálových procesorů (DSP) umožňují dynamickou kompenzaci harmonických a jalového výkonu. Nejnovější generace aktivních filtrů může mimo to zmenšovat flicker a nesymetrii.

Aktivní filtry jsou zpravidla schopny dodávat proudy nejen s násobky síťové frekvence, mohou rovněž dodávat proud se síťovou frekvencí a to sice s libovolnou fází vzhledem k napětí. Tak je možné kompenzovat jak induktivní, tak i kapacitní jalový proud. Je možné nastavit požadovaný účinník; kompenzace jalového výkonu probíhá dynamicky a plynule.

Pro rozšíření pracovního rozsahu může být aktivní filtr kombinován s pevnými kompenzačními stupni. V době nízkého zatížení se případné překompenzování neutralizuje aktivním filtrem. V době maximálního zatížení je k dispozici součet pevného kompenzačního výkonu a aktivního kompenzačního výkonu.

#### 4.5. PŘÍKLAD

Častým zdrojem harmonických jsou usměrňovače měničů řízených pohonů. Postup při posuzování jejich vlivu na síť je uveden na příkladu pohonu lanovky.

Má se připojit pohon lanovky s výkonem  $S_A = 500$  kVA přes transformátor s výkonem  $S_{rT} = 630$  kVA ( $u_{kT} = 4\%$ ) k síti vn. Stejnsměrný motor je napájen z třífázového 6-ti pulzního usměrňovače řízeného kmitočtem sítě. Zkratový výkon v přípojném bodě (strana vn transformační stanice) je  $S_{kV} = 60$  MVA.

Podrobnější posouzení připojení je nutné, protože poměr výkonů

$$\frac{S_{kV}}{S_A} = \frac{60 \text{ MVA}}{0,5 \text{ MVA}} = 120$$



je nižší než 300.

Protože pohon lanovky se musí přiřadit **skupině 2**, zjistí se pro zatížení harmonickými z rovnice (63) :

$$S_{OS} = 500 \text{ kVA} .$$

Z rovnice 64 plyne pro podíl zatížení harmonickými:

$$\frac{S_{OS}}{S_A} = \frac{500 \text{ kVA}}{500 \text{ kVA}} = 1$$

Vynese-li se tato hodnota při poměru výkonů  $S_{kV} / S_A = 120$  do obr.9, leží příslušný bod **nad** křivkou pro úroveň vn. Jsou proto nutná opatření pro redukci proudů harmonických (např. zabudování sacího obvodu).

Mezní emisní hodnoty:

Při proudu zařízení na straně 400 V

$$I_A = \frac{S_A}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 722 \text{ A}$$

vypočteme pro napěťovou úroveň 400 V následující hodnoty:

h	3	5	7	11	13	17	19	> 19
$p_h$	6 (18)*	15	10	5	4	2	1,5	1
$I_h / I_A$ [%]	6,6 (20)*	16	11	5,5	4,4	2,2	1,6	1,1
$I_h$ [A]	47 (142)*	119	79	40	32	16	12	7,9

\* Hodnoty v závorkách platí pro střední vodič.

Pro přípustné  $THD_{iA}$  platí:

$$THD_{iA} = \frac{20}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_A}} = \frac{20}{1000} \cdot \sqrt{120} \cdot 100 = 22 \% .$$

Sací obvod musí být dimenzován tak, aby byly dodrženy uvedené mezní emisní hodnoty proudů harmonických. Další kriteria pro návrh sacího obvodu jsou v kapitole 6.8

Při větším počtu pohonů téhož druhu v zařízení zákazníka, (např. lyžařský areál) může být pro dodržení hladiny kompatibility nutné použít sací obvody i pro pohony s nižším výkonem, případně realizovat aktivní kompenzaci harmonických.

#### 4.6. ZAŘÍZENÍ PRO KOMPENZACI JALOVÉHO VÝKONU

Zařízení uživatele sítě s vysokým odběrem jalového induktivního výkonu musí být zpravidla vybavena zařízením pro kompenzaci účinníku.

Centrální kompenzace se instaluje zpravidla v předávacím místě, zatímco individuální kompenzace se připíná a odpíná vždy s určitým zařízením, zpravidla motorem.

Kompenzační kondensátory tvoří společně s předřazenou impedancí sítě rezonanční obvod. Pro jeho rezonanční kmitočet  $f_{res}$  platí obdoba rovnice 50:

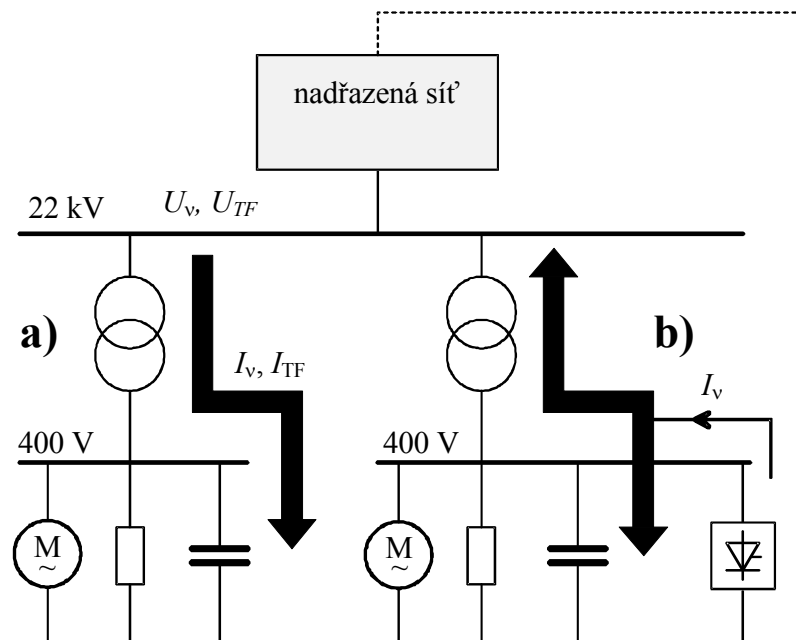
$$f_{res} = 50 \cdot \sqrt{\frac{S_{kv}}{Q_v + Q_k}} \quad [\text{Hz}; \text{MVA}; \text{MVA}r] \quad (66)$$

Kde  $S_{kv}$  je zkratový výkon sítě ve společném napájecím bodu,  $Q_v$  je nabíjecí výkon sítě a  $Q_k$  je kompenzační výkon.

U regulovaných kompenzačních zařízení se mění kmitočet rezonance s počtem zapnutých stupňů. Z toho plyne relativně velká pravděpodobnost, že dojde k nežádoucím rezonančním jevům.

Podrobný popis této problematiky z hlediska vlivu na HDO je v [19].

Obr.12. ukazuje na příkladu transformace vn/nn, že podle situování zdroje harmonických, který rezonanční obvod budí, je třeba rozlišovat dva případy:



Obr.12 Schématické znázornění možných rezonancí  
a) sériová rezonance      b) paralelní rezonance

- Při pohledu ze sítě vn, tvoří kondensátor společně se síťovým transformátorem **sériový rezonanční obvod obr.12a**, který v rezonanci vykazuje nízkou impedanci. Problémy lze očekávat v případě že rezonanční

kmitočet je shodný s kmitočtem signálu HDO  $U_{TF}$  nebo s kmitočtem harmonické  $U_h$ , vyskytující se v síti vn. V tomto případě může úroveň signálu HDO v síti vn nepřipustně poklesnout, event. silně vzroste úroveň příslušné harmonické v síti nn.

- Při pohledu ze strany zařízení uživatele sítě představuje distribuční síť společně s kompenzačním zařízením **paralelní rezonanční obvod obr.12b**. Ten je v případě, že jeho kmitočet souhlasí s kmitočtem příslušné harmonické proudy této harmonické vznikajícími v zařízení uživatele rozkmitáván. V důsledku rezonančních proudů, které tečou přes kondensátor a síťový transformátor, vzroste nejen zkraslení napětí sítě nn, ale i zatížení obou těchto prvků. Přetížení lze očekávat zejména u předřadných tlumivek kondensátorů .

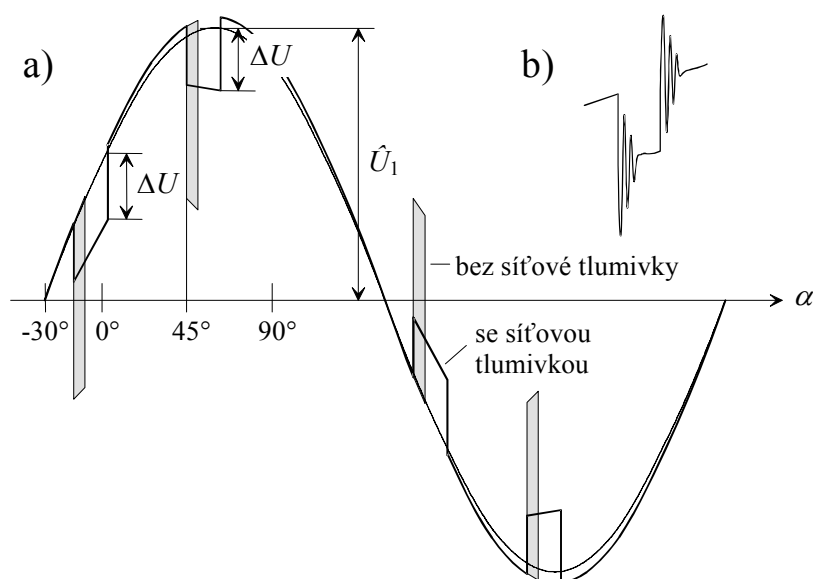
Rezonanční jevy lze odstranit, předřadí-li se kondensátorům vhodná tlumivka. Indukčnost této tlumivky se volí zpravidla tak, aby rezonanční kmitočet byl pod kmitočtem 5. harmonické (250 Hz).

Požadavky na předřadné tlumivky z hlediska signálu HDO jsou uvedeny v [19]:

## 5. KOMUTAČNÍ POKLESY

Pro provoz usměrňovačů řízených sítí je charakteristický periodický výskyt krátkodobých poklesů napětí sítě. Důvodem je zkrat mezi dvěma fázovými vodiči který vzniká při každé komutaci a trvá až do úplného převzetí proudu další diodou. Hloubka těchto komutačních poklesů závisí mimo jiné také na úhlu otevření  $\alpha$  a je maximální při  $\alpha = 90^\circ$ .

Obr.13a) ukazuje teoretický průběh fázového napětí 6-pulzního usměrňovače v přípojném bodě, který má úhel otevření  $\alpha = 45^\circ$ . Na začátku a na konci poklesu jsou často vidět superponované komutační zákmity obr.13b).



Obr.13.: Komutační poklesy ve fázovém napětí  
a) teoretický průběh napětí u 6-pulzního usměrňovače  
b) pokles s komutačními zákmity (detailní výřez průběhu a) )

Poklesy zobrazené v obr.13a) šedě vzniknou v případě, že by se usměrňovač připojil k společnému napájecímu bodu sítě přímo. Hloubka poklesů se zmenší předřazením síťové tlumivky, přičemž ale doba jejich trvání vzroste.

Komutační poklesy se ve frekvenční oblasti projeví jako široké pásmo frekvencí, sahající až k několika desítkám kilohertzů. Do kompatibilních úrovní napětí harmonických tak komutační poklesy spadají jen z malé části. Pro posouzení vlivu komutačních poklesů na síť má podstatně větší vypovídací schopnost jejich sledování v časové oblasti.

Komutační poklesy včetně superponovaných zákmitů způsobují zejména následující vlivy:

- akustické rušení u elektromagnetických prvků (motory, transformátory a tlumivky v elektrických přístrojích)
- přenos vyšších frekvencí přes síť do elektronických zařízení; u elektroakustických přístrojů mohou být slyšitelné z reproduktorů
- rušení obrazu na monitorech
- vyzařování do radiových zařízení

- chybný údaj času u hodin, odvozujících čas od průchodů napětí sítě nulou.

Posouzení vlivů z hlediska komutačních poklesů je nutné pouze u usměrňovačů řízených kmitočtem sítě.

Posouzení přípustnosti provozu zařízení uživatele sítě z hlediska komutačních poklesů je založeno na mezních emisních hodnotách stanovených v následujícím. Předpokládá se, že tyto hodnoty budou uživateli sítě předepsány v průběhu zpracování dotazníku k připojení a ten že bude za jejich dodržení zodpovědný.

Aby bylo možné uživateli sítě při plánování jeho elektrotechnického zařízení napomoci, jsou v odstavci 5.2.1; uvedeny vzorce, podle nichž lze přibližně vypočítat indukčnost předřazené síťové tlumivky, její použití závisí samozřejmě na tom, zda toto řešení provoz usměrňovače připouští. Protože vypočtená hodnota leží spíše na bezpečné straně, není třeba očekávat, že s takto dimenzovanou síťovou tlumivkou překročí změřené komutační poklesy mezní emisní hodnotu.

### 5.1. MEZNÍ EMISNÍ HODNOTY

Relativní hloubka komutačního poklesu  $d_{Kom}$  je stanovena jako největší odchylka  $\Delta U$  napětí sítě od okamžité hodnoty napětí základní harmonické, vztažená k vrcholové hodnotě  $\hat{U}_1$  základní harmonické (viz obr.13)

Relativní hloubka komutačních poklesů  $d_{Kom}$  v přípojném bodě nemá v nejnepříznivějším provozním stavu překročit následující hodnoty:

$$\begin{aligned} nn : \quad d_{Kom} &= 0,10 \\ vn : \quad d_{Kom} &= 0,05 \end{aligned}$$

přičemž  $d_{Kom}$  se vypočítá takto:

$$d_{Kom} = \frac{\Delta U_{Kom}}{\hat{U}_1} \quad (67)$$

$d_{Kom}$  relativní hloubka komutačního poklesu (periodický přechodný pokles napětí)

$\Delta U_{Kom}$  největší odchylka napětí sítě od okamžité hodnoty základní harmonické

$\hat{U}_1$  vrcholová hodnota základní harmonické

Vzhledem k tomu, že pravděpodobnost sčítání komutačních poklesů je malá, stačí posuzovat každý usměrňovač zařízení zákazníka samostatně. Pokud by se vědomě provozovalo více usměrňovačů synchronně, je třeba dbát na to, aby jejich celkový vliv byl pod příslušnou mezní emisní hodnotou.

Přídavné komutační zákmitý na začátku a konci poklesu se neberou v úvahu, pokud jejich amplituda nepřekračuje mezní emisní hodnotu.

## 5.2. OPATŘENÍ

### 5.2.1. Zvýšení reaktance $X_{Kom}$

Aby bylo možné dodržet mezní emisní hodnoty, předradí se usměrňovači většinou vhodná síťová tlumivka. Tím se změní z hlediska přípojného bodu poměr reaktance sítě  $X_N$  a reaktance  $X_{Kom}$ .

V síti s induktivní impedancí se zmenší hloubka komutačních poklesů v přípojném bodě v následujícím poměru děliče napětí

$$\frac{X_{kV}}{X_{kV} + X_{Kom}} \quad [\Omega; \Omega] \quad (68)$$

$X_{kV}$  reaktance sítě v přípojném bodě  
 $X_{Kom}$  součet reaktancí mezi přípojným bodem a usměrňovačem.

Indukčnost komutační tlumivky je:

$$L_{Kom} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot u_{kKom} \cdot \frac{U^2}{S_{rStr}} \quad [H; Hz; V; VA] \quad (69)$$

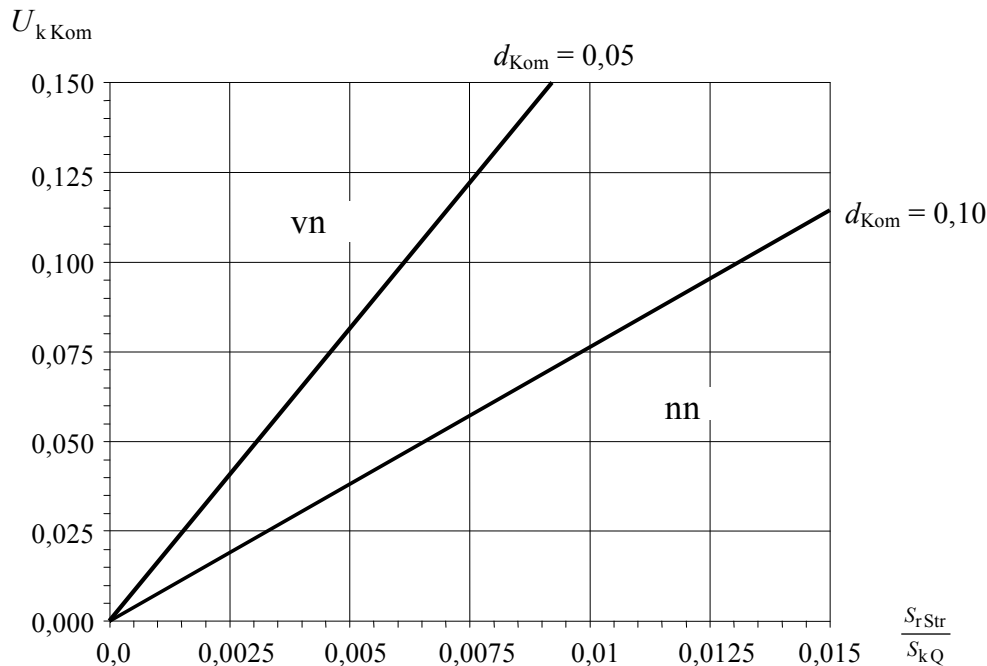
$L_{Kom}$  indukčnost komutační tlumivky  $X_{Kom}$   
 $f$  kmitočet sítě (50 Hz)  
 $u_{kKom}$  relativní napětí nakrátko komutační tlumivky  $X_{Kom}$   
 $U$  sdružené napětí sítě  
 $S_{rStr}$  výkon usměrňovače.

Tuto rovnici lze použít v případě, že reaktance  $X_{Kom}$  sestává pouze z komutační tlumivky.

Existuje-li už transformátor s výkonem  $S_{rT}$  a napětím nakrátko  $u_{kT}$ , platí pro zbývající indukčnost  $L_D$  síťové tlumivky:

$$L_D = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \left( u_{kKom} \cdot \frac{U^2}{S_{rStr}} - u_{kT} \cdot \frac{U^2}{S_{rT}} \right) [H; Hz; V; VA; V; VA] \quad (70)$$

$L_D$  indukčnost síťové tlumivky  
 $f$  kmitočet sítě (50 Hz)  
 $u_{kKom}$  relativní napětí nakrátko komutační tlumivky  $X_{kom}$   
 $U$  sdružené napětí sítě  
 $S_{rStr}$  výkon usměrňovače  
 $u_{kT}$  napětí nakrátko transformátoru  
 $S_{rT}$  výkon transformátoru.



Obr.14.: Relativní napětí nakrátko  $u_{kKom}$  komutační tlumivky v závislosti na poměru  $S_{rStr} / S_{kV}$

Odečtená hodnota  $u_{kKom}$  je přímo použitelná pro 6-pulsní usměrňovače, zatímco pro 12-pulsní usměrňovače je třeba hodnotu dělit dvěma.

### 5.2.2. Vliv kompenzačních zařízení

Kompenzační zařízení a sací obvody mohou při vhodném návrhu především ve společných napájecích bodech s relativně malým zkratovým výkonem přispívat k významnému zmenšení doby trvání a hloubky komutačních poklesů. Aby se dodržely mezní emisní hodnoty, stačí pak reaktance  $X_{Kom}$ , která je nižší než hodnota, určená podle odstavce 5.2.1. Výpočet skutečného vlivu lze ovšem provést jen pomocí počítačové simulace.

Kompenzační zařízení bez předřadných tlumivek mohou však vytvořit kritická nová rezonanční místa a tím zesílit komutační zákmity.

### 5.2.3. Další opatření

Pro vysoké výkony usměrňovačů se nabízejí tyto možnosti:

- **Zvýšení zkratového výkonu sítě** ve společném napájecím bodu např. posílením vedení, instalací vlastního vedení k trafostanici, zvýšením výkonu transformátoru nebo připojením k vyšší úrovni sítě
- **Volba jiného druhu usměrňovače** místo usměrňovače řízeného kmitočtem sítě to může být např. nezávisle řízený usměrňovač s vysokým řídicím kmitočtem.

### 5.3. PŘÍKLAD

Má se připojit pohon lanovky s výkonem  $S_{rStr} = 500$  kW přes transformátor s výkonem  $S_{rT} = 630$  kVA ( $u_{kT} = 4\%$ ) k síti vn. Stejnoseměrný motor je napájen ze 6-ti pulzního usměrňovače řízeného kmitočtem sítě v třífázovém můstkovém zapojení. Zkratový výkon v přípojném bodě (strana vn trafostanice) je 60 MVA.

Posouzení:

Poměr výkonu usměrňovače ke zkratovému výkonu je:

$$\frac{S_{rStr}}{S_{kQ}} = \frac{0,5MVA}{60 MVA} = 0,008.$$

Tento poměr výkonů vyžaduje podle obr.14 relativní napětí nakrátko  $u_{kKom}$  reaktance  $X_{Kom}$ :

$$u_{kKom} \geq 0,13$$

Z rovnice (69) plyne pro minimální indukčnost síťové tlumivky na straně 400 V:

$$L_D = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \left( u_{kKom} \cdot \frac{U^2}{S_{rStr}} - u_{kT} \frac{U^2}{S_{rT}} \right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \left( 0,13 \cdot \frac{400^2}{500000} - 0,04 \cdot \frac{400^2}{630000} \right) = 0,1mH$$

Pokud se dojde k závěru, že pro dodržení úrovně harmonických bude nutná instalace sacích obvodů může mít tlumivka menší indukčnost.

## 6. MEZIHARMONICKÉ

Uvedeným pojmem jsou označena všechna sinusová napětí a proudy, jejichž frekvence nejsou celočíselnými násobky kmitočtu sítě. Způsobují přídavná zkreslení sinusovky síťového napětí, která na rozdíl od harmonických nejsou periodická vůči frekvenci sítě. Zdroje mezharmónických jsou např. následující zařízení:

- Elektrické obloukové pece na tavení oceli
- Středofrekvenční pece
- Usměrňovače pro pohony
- Zařízení řízená spínáním proměnného počtu period
- Odporové svářecí stroje
- Asynchronní stroje
- Pohony s podsynchronními kaskádami
- Cizí systémy HDO

Dalšími zdroji mezharmónických jsou stroje s periodickými změnami zatížení s nízkou frekvencí jako např. pohony s excentry, kovářské lisy, dále pak mohou mezharmónické vzniknout v zařízeních emitujících harmonické u nichž kolísá odběr elektrické energie.

Modulací síťového kmitočtu proudy mezharmónických vznikají na spotřebičích s nelineární závislostí proudu na napětí, připojených k síti, další mezharmónické napětí se zrcadlovými



kmitočty s odstupem  $n \times 50 \text{ Hz}$  od příslušné meziharmonické. z nichž nejvýznamnější jsou ta, která mají odstup  $\pm 100 \text{ Hz}$ .

Meziharmonické mohou především způsobovat flickr nebo nepříznivě ovlivňovat zařízení HDO.

### 6.1. PŘÍPUSTNÉ ÚROVNĚ

Vztažná hodnota meziharmonických užívaná v dalším je vyjádřena vztahem:

$$u_m = \frac{U_m}{U_n} \cdot 100 \quad [%; V; V] \quad (71)$$

Napětí meziharmonických je nutné omezovat zejména z následujících důvodů:

- Leží-li kmitočet meziharmonické v blízkosti frekvence 40 nebo 60 Hz, může dojít k flickr-efektu již při hodnotách  $u_m = 0,15 \%$
- Mohou být rušeny přijímače HDO v případech, kdy sumárním působením všech rušivých frekvencí dojde k překročení prahu citlivosti přijímačů<sup>4</sup>.

Vzhledem k uvedené minimální prahové citlivosti přijímačů HDO byla definována přípustná úroveň meziharmonických

$$U_m = 0,2 \%$$

K aritmetickému sčítání úrovní napětí meziharmonických z více zdrojů v síti může dojít pouze při jejich stejné frekvenci a fázi. S ohledem na charakter těchto zdrojů (odběry z proměnným zatížením ap.) k tomu dochází jen náhodně a po krátkou dobu. Podle [3] lze při libovolném počtu zdrojů počítat maximálně s dvojnásobkem nejvyššího napětí meziharmonické.

Pokud tedy úroveň napětí meziharmonické produkované jedním zařízením nepřekročí hodnotu

$$U_m = 0,1 \%$$

Lze očekávat, že nedojde k rušení. V případech, kdy PDS chce připustit vyšší hodnoty, potom úrovně frekvencí, které přitom vzniknou nesmějí překračovat hodnoty kritérií pro flickr-efekt (viz kap.3.2) a nesmějí být v blízkosti frekvence HDO používané v příslušné distribuční společnosti a v blízkosti jejích postranních pásem ležících  $\pm 100 \text{ Hz}$  od této frekvence HDO (viz kap. 4.8). Přitom je s ohledem na zapojení sítě nutné respektovat i frekvence HDO sousedních distribučních společností.<sup>5</sup>

U vedlejších kmitočtů  $\pm 100 \text{ Hz}$  od kmitočtu HDO nesmí  $U_m$  překročit hodnotu 0,3%.

Směrné hodnoty pro úroveň meziharmonických v síti nn jsou v doplňku B2 EN 61000-2-2:2002 [3].

<sup>4</sup> Minimální hodnota citlivosti přijímačů HDO podle mezinárodních doporučení je  $0,3 \% U_n$ . V našich systémech HDO 217 Hz se s ohledem na přeslechy používá prahových citlivostí v okolí  $0,7 \% U_n$  i více. S ohledem na přechod na další nízké frekvence v některých REAS, kdy při určování citlivosti přijímačů nehrají přeslechy roli a na návaznost na mezinárodní předpisy, se i zde uvádí práh citlivosti  $0,3\% U_n$ .

<sup>5</sup> Problematika zpětných vlivů způsobených meziharmonickými se studuje.

Jako typické je zde třeba jmenovat dva případy:

- Kmitočtové měniče pro připojení v síti *nn* jsou obvykle navrženy jako napěťové měniče. Rušivé ovlivňování HDO není potřeba očekávat, když zkratový výkon  $S_{kV}$  v přípojném bodě je nejméně 100-násobkem výkonu měniče  $S_{um}$ :

$$\frac{S_{kQ}}{S_{um}} \geq 100,$$

$S_{kQ}$             zkratový výkon (sítě) v přípojném bodě V  
 $S_{um}$             výkon měniče (přístroje a zařízení).

- U usměrňovačů s pulzně šířkovou modulací není potřeba očekávat ovlivňování HDO, když taktovací kmitočet modulace nebo jeho násobek není v pásmu kmitočtu HDO ( $0,7 f_{HDO} \dots 1,3 f_{HDO}$ ) nebo když je zkratový výkon (sítě)  $S_{kV}$  ve společném napájecím bodu více než 1000-násobkem výkonu  $S_{um}$  přístrojů a zařízení:

$$\frac{S_{kV}}{S_{um}} \geq 1000.$$

## 6.2. OPATŘENÍ

- Přeložení připojení technologie do společného napájecího bodu s vyšším zkratovým výkonem.
- Zvýšení zkratového výkonu (sítě) v přípojném bodě  $S_{kQ}$ , např. zesílením vedení, instalací vlastního vedení k trafostanici, zvýšením transformačního výkonu nebo připojením do sítě vyšší úrovně.
- Zlepšení filtrace v meziobvodu měničů.

# 7. ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

## 7.1. OBECNÉ

Posouzení připojení a mezní emisní hodnoty podle této kapitoly se týkají výrobních zařízení s přípojným bodem v síti *nn* a *vn* a 110 kV. Pro začlenění výrobních zařízení, které slouží především pro udržení a zajištění napájení do sítě, jsou zpravidla rozhodující také další aspekty.

Posouzení připojení a stanovení mezních emisních hodnot pro zařízení uživatelů sítě je v souladu s dlouhodobým dodržováním ČSN EN 50 160 [2]. Přitom se vychází z předpokladu,

že se elektrická energie vyrábí pokud možno bez rušivých emisí a že se souhrn přípustných zpětných vlivů na síť rozdělí na všechna připojená, příp. v budoucnu připojovaná zařízení uživatelů sítě.

Pokud by i výrobní zařízení způsobovaly zpětné vlivy na síť v míře, která odpovídá zpětným vlivům běžných zařízení uživatelů sítě (odběrů), docházelo by k nepřípustnému negativnímu ovlivňování kvality napětí. Z tohoto důvodu musí výrobní zařízení, s výjimkou těch nejmenších, dodržet nižší mezní emisní hodnoty, než běžná zařízení uživatelů sítě (odběrová zařízení).

Provozovatel výrobního zařízení by měl zásadně dbát na to, aby také ve vlastním zařízení zajistil dodržení kvality napětí podle ČSN EN 50 160 [2]. Jinak by mohly být rušeno i jeho vlastní zařízení.

Výrobní zařízení pracují do nízkého napětí s dodávaným proudem do 16 A je třeba navrhnout a provozovat tak, aby byly dodrženy mezní hodnoty rušivých emisí podle ČSN EN 61 000-3-2/3 [4, 5].

Připojení fotovoltaických zařízení do 4,6 kVA na jednu fázi a další technické aspekty týkající se výrobních zařízení, jako je připojení k síti, odpojovací zařízení, ochrany, regulace jalového výkonu a napětí jsou popsány v Příloze 4 PPDS.

Pod pojmem přípojný bod se rozumí, pokud není řečeno něco jiného, vždy přípojný bod posuzovaného zařízení uživatele sítě.

Ten odpovídá většinou předávacímu místu podle ČSN EN 50160, v němž se musí dodržet kvalita napětí.

Pozn.: Odchytky od ní vyžadují zvláštní dohodu se všemi dotčenými uživateli sítě. Přitom je třeba respektovat, že v připojeném objektu se musí brát v úvahu decentrální zdroj i ostatní zařízení (např. byty, řemeslné provozy atd.).

Dodržení kvality napětí podle ČSN EN 50160 nejen v předávacím místě, ale i v odběrovém zařízení samotném může pro provozovatele decentrálního výrobního zařízení představovat určitý problém, který má osvětlit příklad.

Dodávka elektrického činného výkonu do sítě znamená – neodebírání-li se současně jalový výkon - minimálně v okolí zvýšení úrovně napětí. Pro posouzení účinků tohoto fenoménu jsou pro ustálený provoz udány v bodě 2.3 „Pomalé změny napětí“ normy ČSN EN 50160 mezní hodnoty napětí (define values), které se ale vztahují k předávacímu místu.

Zatímco provozovatel sítě je zodpovědný za dodržování úrovně napětí ve veřejné síti, musí provozovatel decentrální výroby dbát i na účinky jím způsobeného přídavného zvýšení napětí ve svém vlastním zařízení.

Z praxe známé problémy jsou:

- Nadbytečná funkce odpojovacích zařízení (vypnutí a odpojení decentrální výroby), zejména při slabém zatížení sítě.

Pomocí může vyšší nastavení popudové hodnoty, řízení jalového výkonu nebo snížení impedance sítě (veřejné sítě a / nebo zařízení zákazníka).

Při jednofázové dodávce (např. u fotovoltaických zařízení) je tento fenomén podstatně pravděpodobnější, než při třífázové dodávce.

- **Žárovky**  
Šířce pásma kolísání napájecího napětí kolem jmenovitého napětí, nutné při provozu sítě, lze co se týče horního rozsahu napájecího napětí vyhovět použitím žárovek s vyšším konstrukčním napětím (např. 240 V) nebo použitím zdrojů světla necitlivých na napětí (např. kompaktních zářivek).

## **7.2. POSOUZENÍ**

### **7.2.1. Obecné**

Z hlediska zpětných vlivů na síť mají při paralelním provozu výroben význam tyto body:

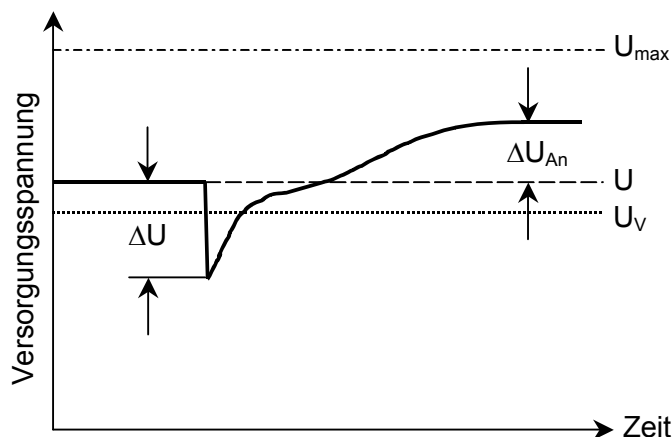
- zvýšení napětí
- změny napětí vyvolané manipulacemi
- flikr
- harmonické
- komutační poklesy
- nesymetrie
- kompensace jalového výkonu
- zpětné vlivy na zařízení pro přenos signálů po distribuční síti (např. HDO).

Podle druhu zdroje (např. generátor s přímou dodávkou do sítě, dodávka do sítě přes měnič) vznikají co do závažnosti různé zpětné vlivy na síť.

Provoz výrobního zařízení je z hlediska zpětných vlivů na síť přípustný, když jsou dodrženy podmínky uvedené v tomto odstavci. Vede-li posouzení k negativnímu výsledku, je účelné už ve fázi plánování dojednat příslušná pomocná opatření mezi provozovatelem sítě a předpokládaným provozovatelem výrobního zařízení.

Kontrolní měření dodržení mezních emisních hodnot není v reálném provozu výrobního zařízení vždy zcela jednoduché. Často se totiž překrývají určitá posuzovací kritéria, jako zvýšení napětí a flikr, se zpětnými vlivy ostatních zařízení uživatele sítě. Kontrolní měření s dostatečnou přesností je možné jen v těch případech, kdy zpětné vlivy výroby výrazně dominují. Ve všech ostatních případech je třeba důvěřovat výsledkům výpočtů, event. simulaci.

Obr.15 ukazuje jako příklad souvislost mezi krátkodobou změnou napětí  $\Delta U$ , způsobenou připojením asynchronního generátoru (změna napětí vyvolaná manipulací) a ustáleným zvýšením napětí  $\Delta U_{An}$  v důsledku dodávky energie do sítě:



Obr.15: Souvislost mezi krátkodobou změnou napětí  $\Delta U$  a ustáleným zvýšením napětí  $\Delta U_{An}$

- $U_{max}$  maximální napájecí napětí
- $U_V$  napětí v přípojném bodě
- $U$  napájecí napětí
- $\Delta U_{An}$  zvýšení napětí (zde vztažené k napájecímu napětí)
- $\Delta U$  změna napětí.

Pozn.: Mohou se vyskytnout i krátkodobé změny napětí  $\Delta U$ , když se např. během dodávky přepne (zvýší) počet pólů asynchronního generátoru. Tento rush-efekt se při posuzování změn napětí nebere v úvahu.

Zpravidla se  $\Delta U_{An}$ , event.  $\Delta U$  vztahují k napětí v přípojném bodě  $U_V$  a označují se  $\Delta u_{An}$ , event. d.

### 7.2.2. Zvýšení napětí

Mezní emisní hodnoty

Celkové relativní zvýšení napětí  $\Delta u_{An}$  způsobené všemi v síti provozovanými zdroji nesmí v tom přípojném bodě, v němž se zvýšení napětí nejvíce projevuje (nejnepříznivější přípojný bod), překročit tyto přípustné hodnoty:

- síť nn:  $\Delta u_{An} = 3 \%$
- síť vn:  $\Delta u_{An} = 2 \%$ .

Pozn.: Ve zvláštních případech může provozovatel sítě zadat odlišné, vyšší mezní hodnoty, dovoluje-li to druh a způsob provozu sítě, příp. musí provozovatel sítě zadat nižší hodnoty, vyžadují-li to druh a způsob provozu sítě nebo např. převládající hladina napětí v síti, způsobená už jinými výrobkami.

Provozovateli sítě je tím umožněno při kumulované současné dodávce více decentrálních zdrojů do úrovně vn a úrovně nn řídit napětí při respektování možné sumy (worst case)

$$\Sigma \Delta u_{An} = 5\%$$

V každém případě poskytne při redukci mezních hodnot provozovatel sítě uživateli sítě, kterého se to týká, podrobné zdůvodnění (např. síťová data, výpočet toků zatížení).

Pozn.: Posouzení provozovatelem sítě probíhá v rámci jeho provozních povinností a celkové zodpovědnosti za dodržování ČSN EN 50160 ve veřejné distribuční síti až k předávacímu

místu; zodpovědnost za hodnoty napětí mimo meze ČSN EN 50160 uvnitř zařízení zákazníka a za realizaci příslušné nutných opatření má výrobce.

## Výpočet

### Vysvětlení k výpočtům

Síťové transformátory vn/nn se připočítávají k hodnotám nn.

a) Ve velmi jednoduchých jednotlivých případech v sítích nn může být manuální výpočet užitečný jako hrubý odhad. Především ale při proměnlivé dodávce jalového výkonu nebo při sledování úrovně napětí ve více uzlech se doporučuje použití počítačové analýzy toků zatížení, zejména jestliže se přitom také mají respektovat ještě kompenzační kondenzátory.

b) Pro výsledky výpočtů je především při dodávkách důležité použít zatížení změřených v síti současně.

Chybí-li přesnější údaje, jsou přípustné tyto odhady jako nejhorší případ:

- síť nn: síť bez zatížení s plnou dodávkou ze zdrojů
- síť vn: síť přenáší při slabém zatížení cca 25 % maximálního zatížení (smíšená struktura odběrů).

Relativní zvýšení napětí  $\Delta u_{An}$  lze vypočítat takto:

a) dodávka jen do jednoho přípojného bodu sítě (jedno nebo více výrobních zařízení připojených v témž bodě sítě):

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE_{max}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E), \quad (72)$$

$\Delta u_{An}$  relativní zvýšení napětí  
 $S_{rE_{max}}$  maximální dodávaný výkon

$S_{kV}$  zkratový výkon v přípojném bodě

$\psi$  úhel impedance sítě

$\varphi_E$  úhel dodávky, úhel mezi činným a zdánlivým výkonem zdroje (při maximálním dodávaném výkonu).

Pozn.: Výraz „ $\cos(\psi - \varphi_E)$ “ se v následujících vysvětleních zkráceně označuje „kosinový člen“.

Určení znamének odpovídá zdrojové orientaci:

- U výrobních zařízení, které dodávají do sítě (induktivní) jalový výkon (např. přebuzené synchronní generátory, pulzní měniče), platí:

$$P > 0 \text{ a } Q > 0 \\ 0^\circ \leq \varphi_E \leq 90^\circ.$$

- U výrobních zařízení, které odebírají ze sítě (induktivní) jalový výkon (např. asynchronní generátory, podbuzené synchronní generátory, síť řízené střídače) platí:

$$P > 0 \text{ a } Q < 0 \\ 270^\circ \leq \varphi_E \leq 360^\circ \text{ (-}90^\circ \leq \varphi_E \leq 0^\circ).$$

Pozn.: Je potřeba vzít v úvahu kompenzační kondenzátory.

- b) Při dodávce více výrobních zařízení ve více přípojných bodech a především u komplikovaných konfigurací sítě, jako jsou kruhové a zasmyčkové sítě, je třeba určit relativní zvýšení napětí  $\Delta u_{An}$  výpočtem toků zatížení.

## Opatření

Není-li z důvodu zvýšení napětí provoz výrobního zařízení možný, jsou možná tato opatření:

- připojení v přípojném bodě s vyšším zkratovým výkonem
- zvýšení zkratového výkonu sítě  $S_{KV}$  technickými opatřeními v síti
- řízení, event. regulace jalového výkonu
- omezení max. možného dodávaného výkonu.

### 7.2.3. Změny napětí vyvolané manipulacemi

Při posuzování změn napětí vyvolaných připojením nebo odpojením decentrálního zdroje je třeba podle druhu generátoru vzít v úvahu:

- dodávku přes měnič nebo střídač

Změna zatížení  $\Delta S_A$  odpovídá jmenovitému výkonu výrobní jednotky.

Kritické je odpojení, protože začátek dodávky (při připojení) většinou začíná s plynulým nárůstem v oblasti částečného výkonu.

- synchronní generátory

Připojení generátoru nevyvolává při dodržení obvyklých synchronizačních kritérií žádnou významnou změnu zatížení  $\Delta S_A$

- asynchronní generátory

U asynchronních generátorů, které se připínají s přibližně synchronními otáčkami (95 %-105 %), je změna zatížení většinou nižší, než 4-násobek výkonu generátoru. To platí při zanedbání prvních dvou celých kmitů (rush – efekt).

V první půlminu lze očekávat proudové špičky až k 8-násobku jmenovitého proudu.

### Mezní emisní hodnoty

Při připínání a odpínání výrobních zařízení k síti (např. připojení generátorů, přepnutí pólů asynchronních generátorů) nesmí v přípojném bodě sledované výrobní velikosti relativní změny napětí d překročit přípustnou hodnotu.

Pro změny napětí s četností opakování  $r$  např.  $r < 0,1 \text{ min}^{-1}$  (1 změna za 10 minut) platí:

síť nn:	$d_{zul} = 3 \%$
síť vn:	$d_{zul} = 2 \%$

Pro zřídka se vyskytující krátkodobou změnu napětí (např. občasné najetí ne častěji než jednou denně, četnost opakování  $r_i \leq 0,01 \text{ min}^{-1}$ ) lze ve výjimečném případě připustit vyšší hodnotu:

síť nn:	$d_{zul} = 6 \%$
síť vn:	$d_{zul} = 3 \%$

## Výpočet

Pomocí následujícího vzorce (viz také bod 3.2.1) lze vypočítat relativní změnu napětí d:

$$d_c = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi), \quad (73)$$

- d relativní změna napětí
- $\Delta S_A$  změna zatížení (změna zdánlivého výkonu)
- $S_{kV}$  zkratový výkon (sítě) v přípojném bodě
- $\psi$  úhel impedance sítě (bod 3.3).
- $\varphi$  úhel změny zatížení.

Pozn.: Počítá-li se ve spotřebičové orientaci, znamená kladné d snížení napětí.

Za změnu zatížení  $\Delta S_A$  se dosadí podle druhu výrobní hodnota odpovídající spínacímu pochodu. Platí tyto směrné hodnoty:

- dodávka přes měnič nebo střídač  
Připojení nevyvolá při dodržení obvyklých synchronizačních kritérií žádnou významnou změnu zatížení  $\Delta S_A$ . Při odpínání odpovídá změna zatížení  $\Delta S_A$  cca jmenovitému výkonu výrobní jednotky.
- synchronní generátory  
Připojení generátoru nezpůsobí při dodržení obvyklých synchronizačních kritérií žádnou významnou změnu zatížení  $\Delta S_A$ . Při odpínání odpovídá změna zatížení  $\Delta S_A$  cca jmenovitému výkonu výrobní jednotky.
- asynchronní generátory  
U asynchronních generátorů s motorickým rozběhem může být  $\Delta S_A$  až 10-násobkem jmenovitého výkonu. Není-li známa přesná hodnota, počítá se obvykle s činitelem 8.

U asynchronních generátorů, které se připínají při přibližně synchronních otáčkách, je změna zatížení  $\Delta S_A$  většinou nižší, než 4-násobek jmenovitého výkonu generátoru.

Při přepínání pólů asynchronních generátorů se vyskytuje obdobně vysoká změna zatížení  $\Delta S_A$  jako při motorickém rozběhu.

Pro spínání u větrných elektráren se najde v protokolu o zkouškách „na síti závislý koeficient spínacího proudu“  $k_{i\psi}$ , který se udává pro různé úhly impedance sítě  $\psi$  (bod 2.3). S jeho pomocí lze spolu s výkonem výrobní jednotky  $S_{rE\max}$  určit fiktivní relativní změnu napětí takto:

$$d = \frac{k_{i\psi} \cdot S_{rE\max}}{S_{kV}}$$

Výsledek musí rovněž dodržet příslušnou mezní emisní hodnotu  $d_{zul}$ .



Není-li úhel  $\varphi$  znám, musí se buď určit na základě hodnot z praxe, nebo se provede odhad pro nejhorší případ tak, že se za kosinový člen dosadí 1.

Určení znamének odpovídá spotřebičové orientaci. Pro důležitý případ spínání asynchronních generátorů plynou pro  $\varphi$  tyto rozsahy úhlů:

- odběr činného výkonu a odběr (induktivního) jalového výkonu (např. připojení asynchronních generátorů):

$$P > 0 \text{ a } Q > 0$$

$$0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$$

- dodávka činného výkonu a odběr (induktivního) jalového výkonu (např. zabrzdění při přepnutí pólů asynchronních generátorů):

$$P < 0 \text{ a } Q > 0$$

$$90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ.$$

## Opatření

Zmírnění změny napětí  $\Delta U$  vyvolané manipulací u asynchronních generátorů:

- omezení spínacího proudu
  - tlumivkami
  - odpory
  - rozběhovým transformátorem nebo
  - zařízením pro omezení třífázového proudu,které se po rozběhu přemostí
- zvláštní provedení asynchronního generátoru
- připojení v přípojném bodě s vyšším zkratovým výkonem
- zvýšení zkratového výkonu sítě  $S_{kV}$  technickými opatřeními v síti.

Zpracování změn napětí vychází z ustanovení v kap.3.

Posouzení změn napětí vyvolaných spínáním je nutné především při připojování asynchronních generátorů.

Současnému spínání v jednom výrobním zařízení s více generátory je třeba za účelem minimalizace zpětných vlivů na síť zabránit vhodným blokováním a časovým zpožděním (>1 min.).

### 7.2.4. Flickr

Mezní emisní hodnoty

Přípustná hodnota dlouhodobého flickru  $Plt$  (interval 2 hodiny), který smějí celkově produkovat všechna výrobní zařízení v nejnepříznivějším přípojném bodě v síti, je:

$$P_{ltzul} = 0,46$$

## Výpočet

a) Síť s jen jedním výrobním zařízením, relevantní z hlediska flickru

Jsou-li známy činitel flickru zařízení  $c$  a fázový úhel flickru  $\varphi_f$  výrobní jednotky (např. ze zkušebního protokolu větrné elektrárny), lze s pomocí údajů o síti vypočítat emisi flickru v přípojném bodě:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi + \varphi_f)|, \quad (74)$$

$S_{rE}$  jmenovitý výkon výrobní jednotky  
 $S_{kV}$  zkratový výkon (sítě) v přípojném bodě  
 $\psi$  úhel impedance sítě (bod 3.3)  
 $c$  činitel flickru zařízení  
 $\varphi_f$  fázový úhel flickru (viz následující vysvětlení).

Pozn.: Je-li ve zkušebním protokolu zařízení vypočítána hodnota činitele flickru  $c$  pro úhel impedance sítě  $\psi$  a tím je udána jen hodnota  $c_\psi$ , použije se tato hodnota flickru. Přitom je však třeba vzít v úvahu, že v tomto případě se už kosinový člen nerespektuje, event. se dosazuje roven 1.

Pro jednoduchý odhad emise flickru nebo když není  $\varphi_f$  znám, lze za kosinový člen dosadit 1:

$$P_{lt} \leq c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}}. \quad (75)$$

b) Více výrobních zařízení, event. výrobních jednotek v jednom přípojném bodě, relevantních z hlediska flickru

Sestává-li výrobní zařízení z více jednotek s jmenovitými výkony  $S_{rEi}$ , vypočítá se flickr  $P_{lt i}$  pro každou jednotku zvlášť podle bodu a). Výsledný flickr lze pak určit podle následujícího vzorce:

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_{lti}^2} \quad (76)$$

U výroby s  $n$  stejnými jednotkami je výsledný flickr:

$$P_{lt} = \sqrt{n} \cdot P_{lti} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{rEi}}{S_{kV}}. \quad (77)$$

Výsledný flickr musí být v přípojném bodě nižší než  $P_{lt zul}$ .

c) Více výrobních zařízení v **různých** přípojných bodech, relevantních z hlediska flickru

• Jednostranně napájená odbočka s  $n$  výrobními zařízeními:

$P_{lt,jk}$  označuje flickr, který výrobní zařízení  $j$ , dodávající do přípojného bodu  $j$ , vyvolává v přípojném bodě  $k$ , přičemž platí  $j, k = 1, 2, \dots, n$ .

Výsledný flickr lze odhadnout takto:

Pro každé výrobní zařízení  $j$  se vypočítá flickr  $P_{lt,jj}$  v jeho přípojném bodě  $k = j$  podle a) a b).  
Pro každé výrobní zařízení  $j$  se vypočítá příspěvek flickru  $P_{lt,jk}$  v ostatních přípojných bodech  $k \neq j$  (bod 3.2.4):

$$S_{kVj} < S_{kVk} : \quad P_{lt,jk} = P_{lt,jj} \cdot \frac{S_{kVj}}{S_{kVk}}$$

$$S_{kVj} \geq S_{kVk} : \quad P_{lt,jk} = P_{lt,jj}$$

$S_{kVj}$  zkratový výkon v přípojném bodě  $j$   
 $S_{kVk}$  zkratový výkon v přípojném bodě  $k$   
 $P_{lt}$  dlouhodobá míra vjemu flickru.

Výsledný flickr v přípojném bodě  $k$  je:

$$P_{ltk} = \sqrt{\sum_{j=1}^n P_{lt,jk}^2} \quad (78)$$

Výsledný flickr ve všech přípojných bodech musí být nižší než  $P_{lt,zul}$ .

- U komplikovaných konfigurací sítě, jako jsou kruhové a zasmyčkové sítě, se musí výsledný flickr zjistit simulačním výpočtem.

## Opatření

Není-li z důvodu flickru provoz výrobního zařízení možný, nabízejí se tato opatření:

- volba typu zařízení s nižší hodnotou flickru zařízení
- připojení v přípojném bodě s vyšším zkratovým výkonem
- zvýšení zkratového výkonu sítě  $S_{kV}$  technickými opatřeními v síti
- instalace dynamického kompenzačního zařízení.

## Vysvětlení

Zpracování flickru vychází z ustanovení v kap.3.

Posouzení flickru je normálně potřebné jen u větrných elektráren, protože hodnota flickru zařízení - především u větrných elektráren s asynchronními generátory – může být až 50.

Na rozdíl od kubického superpozičního zákona v bodě 3.2.4 se zde používá kvadratická superpozice. Praktické poznatky o spolupůsobení více větrných elektráren totiž ukázaly, že se u změn napětí jedná o stochastické jevy, které se – stejně jako při tvorbě efektivní hodnoty střídavých napětí různých kmitočtů – superponují kvadraticky.

Na rozdíl od vzorců pro výpočet zvýšení napětí a změny napětí vyvolaných manipulacemi má tento vzorec znaménko plus v kosinovém členu. Platí tedy pro činný výkon zdrojová orientace a pro jalový výkon spotřebičová orientace, tzn. činný výkon  $P$  dodávaný do sítě a (induktivní)

jalový výkon  $Q$  odebíraný ze sítě jsou kladné. Tímto určením znamének je možné úhel flikru ze zkušební zprávy větrné elektrárny přímo dosadit do příslušného vzorce.

### 7.2.5. HARMONICKÉ

#### Mezní emisní hodnoty

Pro výrobní zařízení se připouští 50 % mezních emisních hodnot, určených podle TAB.5.

#### Vysvětlení

Posouzení z hlediska harmonických je potřebné jen tehdy, dodávají-li zdroje energii do sítě přes měniče nebo střídače. Další informace týkající se harmonických jsou v kapitole 6.

U výrobních zřízení je třeba dbát na to, aby odděleným posuzováním odběrů a výrobního zařízení uživatele sítě nebyla stanovena příliš vysoká emisní hodnota harmonických, která by mohla vést k nepřijatelné kvalitě napětí ve sledované části sítě. V tomto případě je třeba volit postup, odchylující se od zde uvedených ustanovení.

### 7.2.6. KOMUTAČNÍ POKLESY

#### Mezní emisní hodnoty

Pro výrobní zařízení se připouští 50 % mezních emisních hodnot udaných v kapitole 5, tedy:

sít' nn:	$d_{Kom}=0,05$
sít' vn:	$d_{Kom}=0,025$ .

#### Vysvětlení

Komutační poklesy mají význam jen u takových zařízení, u nichž se energie dodává přes střídače řízené sítí (viz **kap.5**).

### 7.2.7. ZPĚTNÉ VLIVY NA ZAŘÍZENÍ HDO A RUŠENÍ SIGNÁLU HDO

Provoz systémů HDO přináší s sebou z hlediska zpětných vlivů oba zmíněné aspekty, tj. jednak zpětné vlivy odběratelů a výrobců elektriny na provoz systémů HDO, a jednak rušení odběratelů signálem HDO. Vzhledem k šíři problematiky byla pro posouzení zpracována norma [19].

Aby byla zaručena spolehlivá funkce systému HDO, musí být v elektrické síti, která slouží pro signály HDO jako přenosová cesta, zajištěna taková napěťová úroveň signálů tónové frekvence, která s dostatečnou rezervou převyšuje náběhové napětí přijímačů. Zařízení odběratelů nesmí nepřijatelnou měrou snižovat či zvyšovat úroveň signálu HDO a emitovat rušivá napětí (harmonické a meziharmonické) s frekvencemi ležícími v oblasti frekvence HDO používané v dané distribuční společnosti.

K rušení přijímačů HDO může dojít i vlivem modulačních efektů mezi rušivými signály a frekvencí sítě vznikajících na nelinearitách v síti. Jejich napěťová úroveň je úměrná velikosti rušivého signálu a nelinearity sítě, kterou lze s dostatečnou přesností charakterizovat úrovní páté a sedmé harmonické v příslušném místě sítě. Je tedy potřeba sledovat i rušivé emise odběratelů na frekvencích  $f_{\text{HDO}} \pm 50$ ;  $\pm 100$  a  $\pm 200$  Hz. Největší nebezpečí rušení způsobují frekvence  $f_{\text{HDO}} \pm 100$  Hz.

Rušivá napětí na frekvenci HDO nebo v její bezprostřední blízkosti způsobená zařízením odběratele nesmí překročit hodnotu  $0,1 \% U_n$  [19].

Rušivá napětí na frekvencích  $f_{\text{HDO}} \pm 100$  Hz nebo v jejich bezprostřední blízkosti nesmí být vyšší než  $0,3 \% U_n$  [19].

Oblast bezprostřední blízkosti frekvence HDO je dána šířkou pásma použitých přijímačů HDO.

Zařízení odběratelů a výrobců energie (zejména generátory) nesmí nepřipustnou měrou zatěžovat vysílače HDO.

Rozptýlená výrobní zařízení mohou síť impedančně odlehčit, zatěžují však přidavně vysílače HDO; proto může být potřebné nasazení hradicích členů už u generátorů o výkonu 500 kVA. Nepříznivě se generátory velkých výkonů (vztaheno k výkonu transformátoru napájecího sítě) projevují u frekvencí HDO v okolí 200 Hz. Posuzování přípustnosti jejich připojení k sítím vychází z výpočtů šíření signálů HDO.

Změny úrovně signálu HDO jsou rovněž způsobeny kondenzátorovými bateriemi pro kompenzaci účinníku. Z těchto důvodů je nutné klást určité podmínky pro jejich připojování k sítím. Z nich v závislosti na použité frekvenci HDO plyne potřeba hrazení těchto kondenzátorů nebo předřazování tlumivek.

Kondenzátory usměrňovačů s kapacitní filtrací jsou po dobu nabíjení připojeny k síti (viz 5.2.1.) a mohou tudíž ovlivňovat úroveň signálu HDO, zejména u vyšších frekvencí.

Pro zamezení rušení zařízení odběratelů připojených k síti nesmí úroveň signálu HDO překračovat hodnoty uvedené v [19].

K vzájemnému ovlivňování může v důsledku síťových rezonancí docházet i přes více síťových úrovní k takovému ovlivňování, pokud kmity příslušných systémů HDO jsou shodné nebo jejich vzájemný odstup je  $\pm 100$  Hz.



Úhel dodávky je ( $\cos\varphi_E = 1 \approx \lambda$ ):  $\varphi_E = \arccos\varphi_E = \arccos(1) = 0^\circ$ .

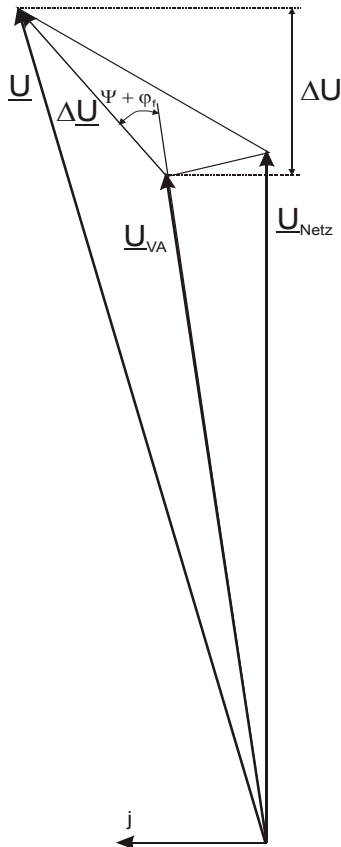
Relativní zvýšení napětí se vypočítá (pro všechny větrné elektrárny) takto:

$$\Delta U_{An} = \frac{S_{rE \text{ ges } 1 \text{ min}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{14,7 \text{ MVA}}{280 \text{ MVA}} \cdot \cos(70^\circ - 0^\circ) = 0,018 \Rightarrow 1,8 \% < 2 \%$$

Relativní zvýšení napětí je v síti vn pod přípustnou hodnotou (viz bod 7.2.2) 2 %.

Pozn.: Změny výkonu vyvolávají podle vlastností generátorového systému komplexní změny napětí, sestávající z činné a jalové složky  $\Delta P$  a  $\Delta Q$ . Ty zase způsobují na impedancích sítě, sestávajících z činné složky  $R$  a jalové složky  $X$ , kolísající změny napětí  $\Delta U$ , přičemž napětí v přípojném bodě  $V$  sítě také kolísá.

Graficky lze například pro změnu výkonu znázornit vedle sebe změnu napětí z napětí  $\underline{U}_{VA}$  na  $\underline{U}$ .



Při znalosti hodnot výkonu výrobního zařízení a činné, event. jalové složky impedance sítě lze změnu napětí jednoduše vypočítat (vzorec pro jednofázovou změnu zatížení):

$$\Delta U = \frac{\Delta P \cdot R + \Delta Q \cdot X}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Netz}}} \quad (79)$$

$\Delta U$	změna napětí na fázi
$\Delta P$	změna činného výkonu na fázi
$\Delta Q$	změna jalového výkonu na fázi
$R$	činná složka impedance sítě na fázi
$X$	jalová složka impedance sítě na fázi
$U_{\text{Netz}}$	napětí sítě (fázové).

Odtud je patrné, že se změny činného výkonu projevují především na ohmických impedancích sítě, změny jalového výkonu vyvolávají naopak změny napětí na induktivní složce impedance sítě. To znamená, že čisté změny činného výkonu v síti pouze s induktivní reaktancí by nevyvolávaly žádné, příp. jen malé změny napětí. Dále lze zjistit, že změny napětí jsou ovlivněny také změnami jalového výkonu, konkrétně dodávaným nebo odebíraným jalovým výkonem.

- **Změny napětí vyvolané manipulacemi**

Největší proud, vyskytující se při spínání 7 větrných elektráren, je podle zkušební zprávy udán okamžitým výkonem  $p_{\text{mom}} = 1,2$ . Odtud plynoucí změna napětí v přípojném bodě se zjednodušeně vypočítá takto:

$$d = \frac{\Delta S_{rE \text{ ges mom}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{\left( \frac{n \cdot P_{nG} \cdot p_{\text{mom}}}{\cos \varphi_E} \right)}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) =$$

$$= \frac{\left( \frac{7 \cdot 2 \text{ MVA} \cdot 1,2}{1} \right)}{280 \text{ MVA}} \cdot \cos(70^\circ - 0^\circ) = 0,0205 \Rightarrow 2,05 \% < 3 \%$$

Co se týče změn napětí vyvolaných manipulacemi (viz bod 7.2.3) je podmínka  $d \leq 3\%$  dodržena.

Pozn.: Tato změna napětí vyvolaná manipulacemi se vztahuje ke všem 7 výrobním jednotkám (současně) a představuje tedy teoretickou maximální hodnotu, která ale může být snížena časově odstupňovaným připínáním, event. odpínáním výrobních jednotek. Pro jednotlivý případ se musí provést výpočet pro jedno zařízení – viz následující výpočet. Je-li hodnota  $d \leq 3\%$  v případě nouzového odpojení celé větrné farmy překročena, nevyhodnocuje se to.

Dále je patrné, že účínkem (induktivní, ohmický, kapacitní) mohou být ovlivněny jak tyto změny napětí v důsledku manipulací, tak i zvýšení napětí (viz také definici zdrojové a spotřebičové orientace a **bod 7.2.2** – výpočet), a proto se musí provést individuální posouzení napětí pro každou výrobní jednotku a přípojný bod. Toto varírování účínku je však omezeno typem, příp. druhem výrobního zařízení.

Pro výpočet změny napětí při připojení jedné VTE se jmenovitým výkonem se předpokládá úhel rozběhu  $\varphi_a$  VTE  $60^\circ$ :

$$d = \frac{\Delta S_{rE}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_a) = \frac{\Delta \left( \frac{P_{nG}}{\cos \varphi_a} \right)}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_a) =$$

$$= \frac{\left( \frac{2 \text{ MVA}}{\cos(60^\circ)} \right)}{280 \text{ MVA}} \cdot \cos(70^\circ - 60^\circ) = 0,0141 \Rightarrow 1,41 \% < 3 \%$$

Výpočet pro připojení je možný také pomocí koeficientu maximálního spínacího proudu  $k_{i\text{max}}$ , vycházejícího z „na síti závislého koeficientu spínacího proudu“  $k_{i\psi}$  je-li k dispozici. Tak se dostane následující změna napětí vyvolaná manipulacemi – pro **jedno** zařízení ( $S_{rE}$  je jmenovitý výkon výrobní jednotky):

$$d = \frac{k_{i\psi} \cdot S_{rE}}{S_{kV}} = \frac{k_{i\psi} \cdot \left( \frac{P_{nG}}{\cos \varphi_E} \right)}{S_{kV}} = \frac{0,5 \cdot \left( \frac{2 \text{ MVA}}{1} \right)}{280 \text{ MVA}} = 0,00357 \Rightarrow 0,357 \% < 3 \%$$



Manipulace nevyvolávají žádné nepřipustné změny napětí, je-li zaručeno, že jednotlivá spínání probíhají postupně s časovým odstupem. Nouzové odpojení všech VTE se zanedbává.

- **Flikr**

Protože se jedná o sedm týchž zařízení, vypočítá se dlouhodobý flikr (viz bod 7.2.4) takto:

$$P_{lt} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{rE \max 1 \min}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi + \varphi_f)| = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{\left( \frac{P_{nG} \cdot p_{1 \min}}{\cos \varphi_E} \right)}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi + \varphi_f)| =$$

$$= \sqrt{7} \cdot 4 \cdot \frac{\left( \frac{2 \text{ MVA} \cdot 1,05}{1} \right)}{280 \text{ MVA}} \cdot |\cos(70^\circ + 11^\circ)| = 0,012 < 0,46 .$$

Flikr produkovaný větrnou farmou je hluboko pod přípustnou hodnotou 0,46. Tento výpočet ukazuje také velký vliv hodnoty flikru c, úhlu impedance sítě  $\psi$  a úhlu flikru  $\varphi_f$  na skutečné zpětné vlivy na síť.

- **Posouzení**

Při dodržení následujících podmínek je provoz větrné farmy v předpokládaném *přípojném bodě* možný:

- v přípojném bodě nesmí být překročeno maximálně přípustné napájecí napětí (sjednaná hodnota – podle bodu 7.2.2)
- jako žádaná hodnota pro regulaci napětí, která se může provádět regulací činného nebo jalového výkonu, může být smluvně stanovena hodnota napětí
- aby se zajistilo dodržení max. přípustného napájecího napětí nezávisle na interní regulaci napětí, je navíc potřebná v předávacím místě instalace kdykoliv ověřitelného sledování napětí (přepěťová ochrana); toto opatření zajistí, že se v závislosti na době trvání překročení jednotlivé výrobní jednotky úspěšně odpojí od *sítě*
- současnému spínání více větrných zařízení se musí zabránit blokováním a časovým odstupňováním po min. 1 minutě.

Je patrné, že pro každý přípojný bod vyroben se musí provést individuální vyhodnocení. Viz také příklad výpočtu v bodě 7.3.2.

### 7.3.2. Připojení více větrných elektráren k síti 22 kV – příklad 2

#### Popis sítě a výrobního zařízení

Plánuje se 12 větrných elektráren (VTE) s výkonem generátorů po 2,3 MVA. Jednotlivé VTE jsou vybaveny kompenzačním zařízením, takže jmenovitý výkon  $S_{rE}$  jedné VTE je 2,3 MW = 2,3 MVA.

U těchto 12 VTE se jedná o asynchronní generátory s přepínáním pólů, které se přes dvoustupňové pohony spínají průměrně – podle nabídky větru – zhruba 6-krát denně.

Je k dispozici zkušební protokol.

Vzhledem k celkovému výkonu  $S_{rE ges}$  všech 12 VTE 27,6 MW není připojení k existujícímu vedení 22 kV z důvodu tepelné zatížitelnosti možné.

Existující síť 110 kV má ještě potřebné rezervy.

Posouzení zpětných vlivů na síť pro přípojný bod se provede pro přípojnicí 22 kV příslušné transformovny.

Data pro výpočet:

jmenovitý výkon výrobní jednotky:	$S_{rE} = 2\,300\text{ kVA}$
počet zařízení:	$n = 12$
1 – min. střední hodnota:	$p_{1min} = 1,1$
okamžitá hodnota:	$p_{mom} = 1,3$
jmenovité napětí:	660 V (VTE)
činitel flikru ( $\psi = 87^\circ$ ):	$c_\psi = 4$
koeficient spínacího proudu ( $\psi = 87^\circ$ ):	$k_{i\psi} = 0,3$
proud harmonických:	$I_5 / I_A = 2,62\%$ (vztaženo na řád 5)
účinník:	$\cos \varphi_E = 1 \approx \lambda$ (v přípoj. bodě)
zkratový výkon sítě:	$S_{kV} = 204\text{ MVA}$ (přípojnice 20 kV)
úhel impedance sítě:	$\psi = 87^\circ$ (přípojnice 20 kV).

#### Výpočet zpětných vlivů na síť

- **Zvýšení napětí**

Pro výpočet zvýšení napětí se nejdřív určí zdánlivý výkon všech 12 VTE, vztažený k 1-min. střední hodnotě.

$$S_{rE ges 1min} = n \cdot S_{rE max 1min} = n \cdot S_{rE} \cdot p_{1min} = 12 \cdot 2,3\text{ MVA} \cdot 1,1 = 30,36\text{ MVA}.$$

Úhel dodávky je ( $\cos \varphi_E = 1 \approx \lambda$ ):

$$\varphi_E = \arccos \varphi_E = \arccos(1) = 0^\circ.$$

Relativní zvýšení napětí se vypočítá (pro všechny VTE):

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE \text{ ges } 1 \text{ min}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{30,36 \text{ MVA}}{204 \text{ MVA}} \cdot \cos(87^\circ - 0^\circ) = 0,0078 \Rightarrow 0,78 \% < 2 \%$$

Relativní zvýšení napětí (pro všechny VTE) je v síti vn pod přípustnou hodnotou 2 % (viz bod 7.2.2).

- **Změna napětí vyvolaná manipulacemi**

- a) Výpočet vztahující se k přepínání pólů  
Protože je těchto 12 VTE provedeno jako asynchronní generátory s přepínáním pólů, musí se maximální změna napětí vypočítat z četnosti opakování  $r$  (12 VTE, 2–stupňový převod, cca 6 přepnutí za den):

$$r = \frac{N}{T} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 6}{24 \cdot 60} = 0,1 \text{ min}^{-1}$$

Maximálně přípustná změna napětí pro  $r = 0,1 \text{ min}^{-1}$  se musí určit s využitím posuzovacího schématu pro vn – bod 3.3.1:

$$d_{\text{grenz}} = 2 \%$$

Posouzení změny napětí vyvolané manipulacemi při respektování  $d_{\text{grenz}} = 2 \%$ :

$$d = \frac{k_{i\psi} \cdot S_{rE}}{S_{kV}} = \frac{0,3 \cdot 2,3 \text{ MVA}}{204 \text{ MVA}} = 0,0034 \Rightarrow 0,34 \% \leq 2 \%$$

- b) Výpočet vztahující se k připojení a odpojení  
Nejvyšší proud vyskytující se při spínání 12 VTE je podle zkušební zprávy dán okamžitým výkonem  $p_{\text{mom}}$  s hodnotou 1,3. Odtud plynoucí změna napětí v přípojním bodě se zjednodušeně vypočítá takto:

$$\begin{aligned} d &= \frac{\Delta S_{rE \text{ ges } \text{mom}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{n \cdot S_{rE} \cdot p_{\text{mom}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \\ &= \frac{12 \cdot 2,3 \text{ MVA} \cdot 1,3}{204 \text{ MVA}} \cdot \cos(87^\circ - 0^\circ) = 0,0092 \Rightarrow 0,92 \% < 3 \%. \end{aligned}$$

Co se týče změn napětí vyvolaných manipulacemi (viz bod 7.2.3), je podmínka  $d \leq 3 \%$  dodržena.

Pozn.: Tyto změny napětí vyvolané manipulacemi (připínáním a odpínáním) se vztahují ke všem 12 výrobním zařízením (současně) a představují tedy teoretickou maximální hodnotu, kterou však lze časově odstupňovaným připínáním, příp. odpínáním jednotlivých výroben snížit. Pro jednotlivý případ se musí provést výpočet pro jedno zařízení – viz dále. Překročí-li se hodnota  $d \leq 3 \%$  v případě nouzového odpojení celé větrné farmy, nehodnotí se to.  
Dále je patrné, že účinníkem (induktivní, ohmický, kapacitní) mohou být ovlivněny jak tyto změny napětí vyvolané manipulacemi, tak i zvýšení napětí (viz také definici systému šipek pro počítání a bod 9.2.2 – výpočet), a proto je třeba provést individuální hodnocení napětí pro každou výrobní a přípojný bod. Tyto změny účinníku jsou však omezeno typem, příp.druhem výrobního zařízení.

Pro výpočet změny napětí při připojení jedné VTE se předpokládá úhel při náběhu  $\varphi_a$  VTE roven  $60^\circ$ :

$$d = \frac{\Delta S_{rE}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_a) = \frac{2,3 \text{ MVA}}{204 \text{ MVA}} \cdot \cos(87^\circ - 60^\circ) = 0,01 \Rightarrow 1\% < 3\%.$$

Výpočet pro připojení je možný také pomocí koeficientu maximálního spínacího proudu  $k_{i \max}$ , který vychází z „na síti závislého koeficientu spínacího proudu“  $k_{i\psi}$  je-li k dispozici. Tak se určí následující změna napětí vyvolaná manipulacemi – pro jedno zařízení ( $S_{rE}$  – jmenovitý výkon výrobní jednotky):

$$d = \frac{k_{i\psi} \cdot S_{rE}}{S_{kV}} = \frac{0,3 \cdot 2,3 \text{ MVA}}{204 \text{ MVA}} = 0,00338 \Rightarrow 0,338\% < 3\%.$$

Manipulace (ve vztahu k přepínání pólů i připínání a odpínání) nezpůsobují žádné nepřijatelné změny napětí, je-li zajištěno, že jednotlivé manipulace probíhají postupně s časovým odstupem. Nouzové odepnutí všech VTE se zanedbává.

- **Flikr**

Hodnota flikru  $c_\psi = 4$  se vztahuje k úhlu impedance sítě  $\psi = 87^\circ$ , lze tedy ve výpočtu dlouhodobé míry vjemu flikru dosadit za kosinový člen 1:

$$\begin{aligned} P_{lt} &= \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{rE \max 1 \min}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi + \varphi_f)| = \sqrt{n} \cdot c_\psi \cdot \frac{S_{rE \max 1 \min}}{S_{kV}} \cdot 1 = \sqrt{n} \cdot c_\psi \cdot \frac{S_{rE} \cdot p_{1 \min}}{S_{kV}} \cdot 1 = \\ &= \sqrt{12} \cdot 4 \cdot \frac{2,3 \text{ MVA} \cdot 1,1}{204 \text{ MVA}} \cdot 1 = 0,17 < 0,46. \end{aligned}$$

Emise dlouhodobého flikru je s hodnotou 0,17 hluboko pod mezní hodnotou  $P_{lt} = 0,46$  (viz bod 8.2.4).

- **Harmonické (viz bod 7.2.5)**

Výpočet se zde provádí jen pro proud harmonické 5.řádu:

$$\frac{I_5}{I_A} = 2,62\%.$$

Výpočet vychází z hodnot podle bodu 4.2.

$$\frac{p_5}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{S_{rE \text{ ges}}}} = \frac{p_5}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{kV}}{n \cdot S_{rE}}} = \frac{15}{1000} \cdot \sqrt{\frac{204 \text{ MVA}}{12 \cdot 2,3 \text{ MVA}}} = 0,0408 \Rightarrow 4,08\% \cdot 0,5 = 2,04\%.$$

Pro výrobní se připouští 50 % mezních emisních hodnot, určených podle bodu 5.2.

$$\frac{I_5}{I_A} \leq \frac{p_5}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{KV}}{S_{rE ges}}},$$

$$2,62\% \geq 2,04\%.$$

Emise harmonických všech větrných elektráren (12 VTE) je vyšší, než přípustná hodnota 2,04 %. Je proto třeba předpokládat pomocná opatření.

- **Hromadné dálkové ovládání (HDO)**

Podle [19], bod 7.2 mohou být u výrobních zařízení s celkovým výkonem v přípojném bodě větším než 500 kVA potřebná zvláštní opatření.

Výrobní zařízení, připojené k elektrické síti přes statické měniče bez filtru, nezpůsobují zpravidla žádné nepřijatelné zpětné vlivy na HDO. Z hlediska HDO nejsou tedy obecně potřebná ani žádná výkonová omezení pro připojení těchto výrobních zařízení, ale musí se dodržet přípustné mezní hodnoty týkající se rušivého napětí zařízení uživatele sítě v pásmu kmitočtu HDO. I když tyto výroby jsou obecně z hlediska HDO nekritické, měly by se s provozovatelem sítě odsouhlasit.

- **Posouzení**

Při dodržení následujících podmínek je provoz větrných elektráren v předpokládaném přípojném bodě možný:

- výměna existujících 20 – MVA – transformátorů za 40 – MVA – transformátory z důvodu nedostatečné přenosové kapacity (tepelné zatížení)
- instalace filtrů harmonických, protože mezní hodnota je překročena
- současnému spínání více větrných elektráren se musí zabránit blokováním a časovým odstupňováním po minimálně 1 min. (návrh: při respektování emise flikru např. 3min.).

Je patrné, že pro každý přípojný bod výrobních zařízení se musí provést individuální posouzení.

Viz také příklad výpočtu v bodě 7.3.1.

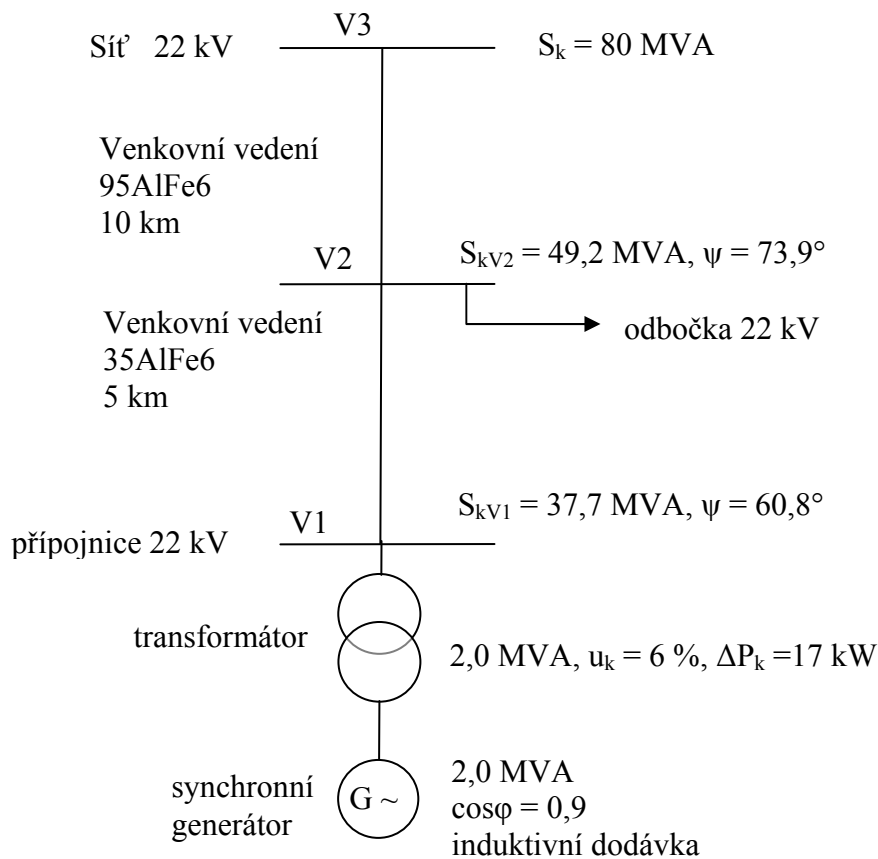
### 7.3.3. Paralelní provoz malé vodní elektrárny

#### Popis výroby a distribuční sítě

Vodní elektrárna: synchronní stroj  $S_{rE} = 2,0 \text{ MVA}$

Výroba ročních 5 500 MWh (max 1,8 MW od dubna do července) se celá dodává do sítě provozovatele sítě. Ve smlouvě o připojení je dohodnuta dodávka s účínkem  $\cos \varphi_E = 0,9$  (induktivní dodávka jalového výkonu).

Existující síť vn, do které se dodává se provozuje s 22kV.



#### Výpočet zpětných vlivů na síť

U tohoto druhu výrobního zařízení je třeba sledovat především zvýšení napětí dodávaným výkonem.

Úhel dodávky (induktivní dodávka) při požadovaném  $\cos \varphi_E = 0,9$  je:

$$\varphi_E = \arccos 0,9 = 25,8^\circ.$$

Pozn.: Protože se dodává (induktivní) jalový výkon, vychází podle zdrojové orientace kladný úhel.

Z něj se spočítá zvýšení napětí v přípojném bodě V1 (viz bod 7.2.2):

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE}}{S_{kV1}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{2,0 MVA}{37,7 MVA} \cdot \cos(60,8 - 25,8) = 0,0435 \Rightarrow 4,35\% > 2\%$$

Provozovatel sítě dimenzuje své sítě vn tak, aby na okrajích sítě byla změna napětí mezi silným a slabým zatížením nižší než 6 %. Dodávky malých výrobních zařízení bývají obvykle v nevhodné roční době ve vztahu ke kolísání poptávky vyvolaném počasím, neměly by však pokud možná zvětšovat rozsah kolísání napájecího napětí. Pro elektrárnu lze za daných poměrů v síti připustit změnu napětí  $\Delta u_{An} \leq 2\%$  uvnitř předpokládaného pásma kolísání.

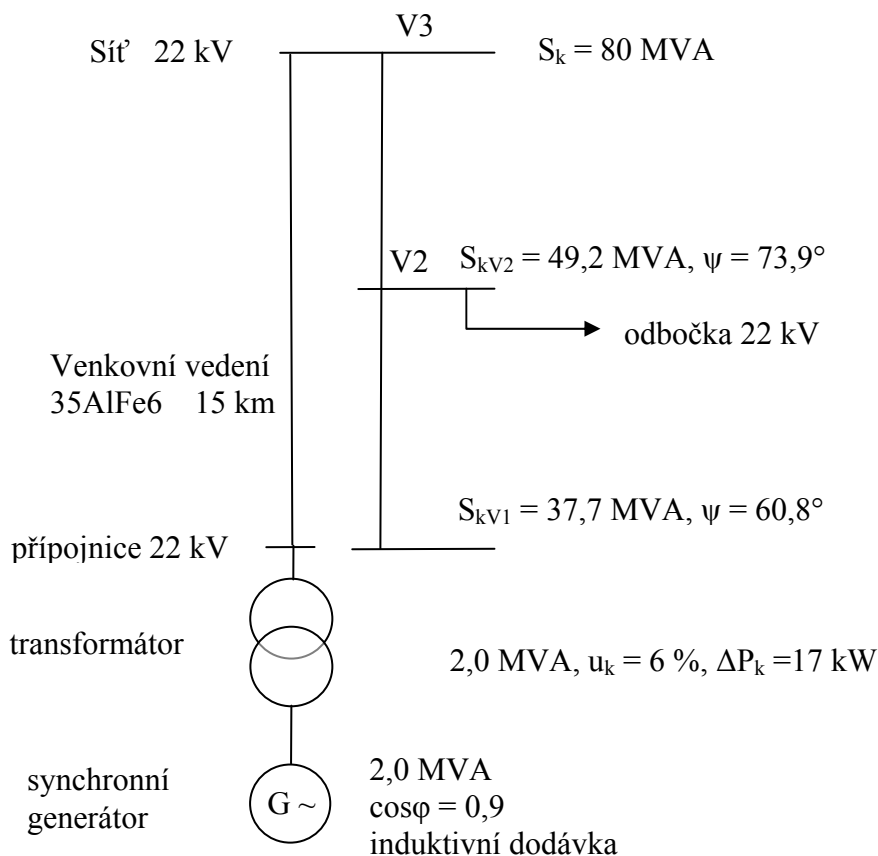
Vypočtená hodnota 4,35 % je větší, než tato hodnota. Provoz elektrárny proto v této formě není přípustný.

### Možná pomocná opatření

- **v elektrárně**
  - omezení výroby na 900 kW dodávky při  $\cos \varphi = 0,9$ , platné jen pro období duben až červenec.

Pozn.: Tento návrh má za následek značné snížení výnosů a zpochybňuje ekonomickou efektivnost celé investice.

- **v síti vn**
  - změna přípojného bodu (místo s vyšším zkratovým výkonem) což má za následek výstavbu nového vedení 22kV až do vyhovujícího místa připojení.



Zvýšení napětí v přípojném bodě V2 je:

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE}}{S_{kV2}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{2,0MVA}{49,2MVA} \cdot \cos(73,9 - 25,8) = 0,0272 \Rightarrow 2,72\% > 2\%$$

### Posouzení

Vypočtená hodnota 2,72 % je opět větší než přípustná hodnota změny napětí. Přicházejí tedy v úvahu opět dvě možná opatření:

- **v elektrárně**  
- omezení výroby na 1450 kW dodávky při  $\cos \varphi = 0,9$ , platné jen pro období duben až červenec.
- **v síti vn**  
- změna přípojného bodu (místo s vyšším zkratovým výkonem).

Zvýšení napětí v přípojném bodě V3 je:

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE}}{S_{kV3}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{2,0MVA}{80MVA} \cdot \cos(90 - 25,8) = 0,0109 \Rightarrow 1,09\% < 2\%$$

### Posouzení

Připojením zdroje do místa s vyšším zkratovým výkonem prostřednictvím nového přímého vedení je provoz malé elektrárny možný bez omezení. Dokonce lze v tomto úseku sítě připustit ještě další dodávky.



### 7.3.4. Připojení blokové teplárny (BHKW)

#### Popis sítě a výrobního zařízení

- **síť 10 kV:**

Zkratový výkon je 15,7 MVA při úhlu impedance sítě  $\psi = 42,1^\circ$ .

- **trafostanice:**

Dva transformátory 250 kVA paralelně,  $u_k = 5,65\%$ ,  $P_k = 3,71$  kW.

- **veřejná síť nn, vedení až k domovní přípojce:**

135 m kabelu E-PKBU 4x70 mm<sup>2</sup>.

Přípojným bodem je stávající domovní přípojka.

Bloková teplárna je koncipována jako zařízení se 2 stroji se závislostí výroby elektřiny na výrobě tepla, dimenzovaná pro 2 x 5,0 kW elektrických ( $P_{nG ges}$ ) a 2 x 11,0 kW tepelných. Očekává se, že elektrická výroba tohoto zařízení se spotřebuje hlavně v zařízení uživatele sítě a jen případný přebytek se musí dodávat do distribuční sítě.

- **asynchronní generátor:**

data generátoru:  $S_{rG} = 6,2$  kVA;  $\cos\varphi = 0,9$ ;  $U_r = 400$  V;  $I_r = 9$  A; 3045 U/min  
stejnoseměrný start ( $\Delta S_{ASt}$ ): 12,0 kVA  
asynchronní připojení ( $\Delta S_{AAs}$ ): 62,0 kVA (= 10 x  $S_{rG}$ ).

Agregát najíždí s usměrňovačem 12 V napájeným ze sítě a se startovacím motorem 1,2 kW a mezi 95% a 105 % synchronních otáček se bez napětí připojí přímo.

#### Výpočet zpětných vlivů na síť

Zkratový výkon v přípojném bodě se vypočte (viz **bod 3.6**):

$$S_{kV} = 2,56 \text{ MVA} \quad \text{a} \quad \psi = 34,7^\circ.$$

Předpokládá se, že oba agregáty nespustí současně a startovací děje lze posuzovat jako řídké jevy ve smyslu bodu 7.2.3.

- **stejnoseměrný start**

Pro výpočet se dosadí úhel  $\varphi_{St} = 0^\circ$  ( $\Delta S_{ASt} = 12$  kVA – podle zadání):

$$d_{St} = \frac{\Delta S_{ASt}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_{St}) = \frac{12,0 \text{ kVA}}{2,56 \text{ MVA}} \cdot \cos(34,7^\circ - 0^\circ) = 0,0038 \Rightarrow 0,38\% < 6\%.$$

- **asynchronní připojení**

Jako rozběhový úhel  $\varphi_a$  se předpokládá  $60^\circ$  ( $\Delta S_{AAs} = 62 \text{ kVA}$  – podle zadání):

$$d_{As} = \frac{\Delta S_{AAs}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_a) = \frac{62,0 \text{ kVA}}{2,56 \text{ MVA}} \cdot \cos(34,7^\circ - 60^\circ) = 0,0219 \Rightarrow 2,19 \% < 6 \%$$

- **zvýšení napětí (viz bod 7.2.2)**

Výpočet zvýšení napětí vychází z těchto dat:

účinník:	$\cos\varphi_E = 0,9$
činný výkon:	$P_{nG \text{ ges}} = 2 \times 5,0 \text{ kW} = 10,0 \text{ kW}$
zdánlivý výkon:	$S_{rE \text{ ges}} = \frac{P_{nG \text{ ges}}}{\cos\varphi_E} = \frac{10 \text{ kW}}{0,9} = 11,1 \text{ kVA}$
jalový výkon:	$Q_{l \text{ max}} = 5,12 \text{ kVAr}$ odběr.

Při úhlu dodávky (induktivní odběr)

$$\varphi_E = -\arccos 0,9 = -25,8^\circ$$

je zvýšení napětí:

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE \text{ ges}}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_E) = \frac{11,1 \text{ kVA}}{5405 \text{ MVA}} \cdot \cos(34,7^\circ + 25,8^\circ) = -0,0021 \Rightarrow 0,21 \% < 3 \%$$

Pozn.: Podle systému šipek pro počítání výkonů je třeba odběr (induktivního) jalového výkonu počítat se záporným znaménkem.

## Posouzení

Změny napětí jak pro stejnosměrný start, tak i pro asynchronní připojení jsou pod přípustnou hodnotou 6 %.

Očekávané zvýšení napětí je při hodnotě 0,21 % výrazně pod přípustnou hodnotou 3 %.

Podle údajů výrobce jsou mezní emisní hodnoty jak flikru, tak i proudů harmonických podle **kap. 3, event. kap. 4** dodrženy.

S provozem blokové teplárny v domovní přípojce tedy lze z hlediska zpětných vlivů na síť **souhlasit**.

### 7.3.5. Připojení zařízení na bioplyn

#### Popis sítě a výrobního zařízení

- **síť 20 kV:**

Zkratový výkon je 50,6 MVA při úhlu impedance sítě  $\varphi = 55,7^\circ$ .

- **trafostanice:**

Transformátor 250 kVA,  $u_k = 4,11 \%$ ,  $P_k = 3,69$  kW.

- **veřejná síť nn, vedení k domovní přípojce:**

465 m, kabel E- XA2Y 4 x 150 mm<sup>2</sup>.

Stávající domovní přípojka se předpokládá jako přípojný bod.

Plánované zařízení na bioplyn dodává celou výrobu elektřiny do distribuční sítě.

- **asynchronní generátor:**

data generátoru:  $S_{rG} = 125$  kVA;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $U_r = 400$  V

rozběhový proud (asynchronní připojení):  $I_{aAs} = 472,5$  A.

Agregát se rozbíhá plynovým motorem a mezi 95 % a 105 % synchronních otáček se bez napětí připojí přímo.

#### Výpočet zpětných vlivů na síť

Zkratový výkon v přípojném bodě (nn) se vypočítá (viz **bod 3.6**):

$$S_{kV} = 1329 \text{ kVA} \quad \text{a} \quad \psi = 29,5^\circ.$$

- **Asynchronní připojení (viz bod 9.2.3)**

Změna zatížení (změna zdánlivého výkonu)  $\Delta S_{AAs}$  (asynchronní připojení) se vypočítá pro asynchronní připojení takto:

$$\Delta S_{AAs} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_{aAs} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 472,5 = 327.358 \text{ VA} = 327,35 \text{ kVA}.$$

Jako rozběhový úhel  $\varphi_a$  se předpokládá  $60^\circ$ :

$$d_{As} = \frac{\Delta S_{AAs}}{S_{kV}} \cdot \cos(\psi - \varphi_a) = \frac{327,35 \text{ kVA}}{1329 \text{ kVA}} \cdot \cos(29,5^\circ - 60^\circ) = 0,2122 \Rightarrow 21,2 \% > 6 \%.$$

Pro případ položení zemního kabelu AYKY 4 x 150 mm<sup>2</sup> od přípojnice strany nn trafostanice k existujícímu bodu připojení (možné pomocné opatření, další viz **bod (7.2.3)** se změna napětí vypočítá znovu.

Pak je zkratový výkon (přípojný bod v trafostanici):

$$S_{kV2} = 5405 \text{ kVA} \quad \text{a} \quad \psi_2 = 72,3^\circ,$$

$$d_{As2} = \frac{\Delta S_{AAs}}{S_{kV2}} \cdot \cos(\psi_2 - \varphi_{As}) = \frac{327,35 \text{ kVA}}{5405 \text{ kVA}} \cdot \cos(72,3^\circ - 60^\circ) = 0,0592 \Rightarrow 5,92\% < 6\%.$$

V tomto případě je maximální změna napětí podle **bodu 7.2.3** dodržena.

- **Zvýšení napětí (viz bod 7.2.2)**

Výpočet zvýšení napětí vychází z těchto údajů:

účinník:	$\cos \varphi_E = 0,90$
činný výkon:	$P_{nG \text{ ges}} = 100 \text{ kW}$
zdánlivý výkon:	$S_{rE \text{ ges}} = \frac{P_{nG \text{ ges}}}{\cos \varphi_E} = \frac{100 \text{ kW}}{0,9} = 111,11 \text{ kVA}$
jalový výkon:	$Q_{l \text{ max}} = 48,4 \text{ kVAr}$ odběr.

Při úhlu dodávky (induktivní odběr)

$$\varphi_E = -\arccos(0,90) = -25,84^\circ$$

je zvýšení napětí na přípojnicí trafostanice (přípojný bod):

$$\Delta U_{An} = \frac{S_{rE \text{ ges}}}{S_{kV2}} \cdot \cos(\psi_2 - \varphi_E) = \frac{111,11 \text{ kVA}}{5405 \text{ kVA}} \cdot \cos(34,7^\circ + 25,84^\circ) = -0,0029 \Rightarrow -0,29\% < 3\%.$$

Pozn.: Podle zdrojové orientace je odběr (induktivního) jalového výkonu záporný.

- **Posouzení**

Změny napětí pro asynchronní připínání jsou pod přípustnou hodnotou 6 %.

Zvýšení napětí je záporné, to znamená, že dochází ke snížení napětí o 0,29 %, které je výrazně pod přípustnou hodnotou 3 %.

S provozem zařízení na bioplyn v přípojném bodě trafostanice (podle příkladu) lze tak z hlediska zpětných vlivů na síť souhlasit.

Při provozu zařízení na bioplyn v přípojném bodě trafostanice (podle příkladu) jsou mezní hodnoty pro posuzování zpětných vlivů na síť dodrženy.

Příklad však ukazuje, že v zařízení uživatele sítě není dodržena kvalita napětí podle ČSN EN 50160 a z toho mohou vyplynout omezení pro provoz výrobního zařízení. Kvůli tomu je třeba zvážit další možnosti (viz kap. 9.2.3), např. zřízení blízké trafostanice.

## 8. Výpočetní programy pro určení zpětných vlivů

K usnadnění, urychlení, a zpřesnění výpočtů zpětných vlivů se doporučuje používat vhodné výpočetní programy, jako jsou programy pro výpočty chodu ustáleného sítí nebo speciální programy vytvořené pro zpětné vlivy.

Programy pro výpočty ustáleného chodu sítí jsou bez větších problémů použitelné pro určení napěťových změn, vyvolaných připojením nového odběratele, popř. napěťových poklesů při zapínání spotřebičů. Pro výpočet dalších zpětných vlivů, navazujících na tyto napěťové změny jako např. flikr však vybavené nejsou. Při výpočtech impedancí sítí na frekvencích harmonických a meziharmonických umožňují tyto programy na rozdíl od zjednodušených výpočtů kromě dalšího též respektovat závislost ohmické složky impedance na frekvenci.

Speciální programy pro zpětné vlivy, využitelné pro jejich posuzování ve smyslu této normy mají vycházet z těchto zásad:

- pro výpočty zkratových výkonů, zkratových proudů nebo impedancí v místě připojení posuzovaného odběru se použijí minimální hodnoty zkratových výkonů (proudů) nebo maximální hodnoty impedancí soustavy podle části 3,

- pro impedance parametrů jednotlivých částí soustavy se použijí obvyklé hodnoty podle údajů používané při síťových výpočtech, podle podkladů výrobce nebo podle norem. U impedancí sítě na tónových frekvencích lze u nízkých frekvencí harmonických vycházet z údajů v kapitole 6. Výhodnější je ale využívat přesnější vztahy, které lépe respektují závislost impedancí na frekvenci a jsou obvykle součástí programu. U charakteristických hodnot zařízení odběratele je zapotřebí vycházet z podkladů předaných zřizovatelem, projektantem nebo výrobcem. Jedním z výstupů výpočetního programu musí být vždy přehled použitých vstupních hodnot.

- pro výpočet relativní změny napětí a činitele flikru se využije vztahů, přípustných hladin napěťových změn pro pravoúhlé změny i závislostí činitelů tvarů pro různé případy napěťových změn, i přípustných hodnot uvedených v části 4,

- pro výpočet vlivu harmonických, meziharmonických a vlivů na zařízení HDO se vychází ze vztahů a mezí uvedených v části 6.

Vzhledem k případné potřebě individuálního posouzení přípustnosti připojení s ohledem na místní síťové poměry je zapotřebí, aby výpočetní programy poskytovaly nejen porovnání s mezemi, ale i velikosti hodnot jednotlivých posuzovaných vlivů.

## 9. Příloha 1 Parametry venkovních vedení a kabelů

TAB. P1 Parametry venkovních vedení nn

Typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	I <sub>dov</sub> [A]
25AlFe6	1.206	0.312	122
35AlFe6	0.778	0.301	153
42/7AlFe	0.687	0.294	191
50AlFe6	0.596	0.285	195
70/11AlFe	0.401	0.276	248

TAB. P2 Parametry slaněných izolovaných vodičů nn<sup>6</sup>

	r <sub>k</sub> [ $\Omega$ /km]	x <sub>k</sub> [ $\Omega$ /km]	I <sub>dov</sub> [A]
1 - AES 4 x 16	1,91	0,0911	59
1 - AES 4 x 25	1,2	0,0904	87
1 - AES 4 x 35	0,868	0,0870	106
1 - AES 4 x 50	0,641	0,0860	129
1 - AES 4 x 70	0,443	0,0838	164
1 - AES 4 x 95	0,32	0,0831	204
1 - AES 4 x 120	0,253	0,0816	236

TAB. P3 Parametry venkovních vedení 22 kV<sup>7</sup>

Typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [A]
35AlFe6	0.778	0.398	1.33	153
42/7AlFe	0.687	0.392	1.41	191
50AlFe6	0.615	0.389	1.42	195
70/11AlFe	0.431	0.378	1.43	248
95AlFe6	0.301	0.370	1.45	295
110/22AlFe	0.259	0.361	1.46	318
120AlFe6	0.245	0.356	1.47	345

TAB. P4 Parametry venkovních vedení 35 kV

Typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [A]
35AlFe6	0.778	0.389	1.34	153
42/7AlFe	0.687	0.381	1.37	191
50AlFe6	0.615	0.396	1.4	195
70/11AlFe	0.431	0.385	1.43	248
95AlFe6	0.301	0.374	1.46	295
110/22AlFe	0.259	0.368	1.49	318
120AlFe6	0.245	0.363	1.51	345

<sup>6</sup> Technické podmínky pro vodič AES, Kablo Velké Meziříčí

<sup>7</sup> Hodnoty uvedené v TAB.3 platí pro rovinné uspořádání. Při jiném uspořádání vodičů (např. do trojúhelníku) se mohou lišit reaktance mezi krajními a střední fází až o cca 6 %, u vedení s izolovanými vodiči o více než 8 %.

TAB. P5 Parametry kabelů nn

Typ vodiče	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	I <sub>dov</sub> [ A ]
25AYKY	1.233	0.0811	103
35AYKY	0.879	0.0792	125
50AYKY	0.619	0.0773	147
70AYKY	0.442	0.0756	183
95AYKY	0.326	0.0744	216
120AYKY	0.258	0.0743	245
150AYKY	0.206	0.0736	278
185AYKY	0.167	0.0735	313
240AYKY	0.129	0.0727	359

TAB. P6 Parametry kabelů 10 kV-AXEKCY

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]			B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [ A ]
		trojúhelník	krajní	střední		
70 AXE..	0,443	0,1139	0,215	0,180	87	208
95 AXE..	0,32	0,123	0,207	0,174	97,7	248
120 AXE..	0,253	0,118	0,200	0,169	107,1	290
150 AXE..	0,206	0,115	0,193	0,165	116,5	315
185 AXE..	0,164	0,111	0,187	0,161	127,2	357
240 AXE..	0,125	0,107	0,180	0,157	141,3	413

TAB. P7 Parametry kabelů 22 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [ A ]
95ANKT..	0.39	0.13	80	211
120ANKT..	0.308	0.125	88	241
150ANKT..	0.246	0.121	95	273
185ANKT..	0.200	0.120	103	306
240ANKT..	0.154	0.113	113	353

TAB. P8 Parametry kabelů 22 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]			B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [ A ]
		trojúhelník	krajní	střední		
70 AXE..	0,443	0,138	0,207	0,182	62,83	210
95 AXE..	0,32	0,132	0,201	0,176	69,12	251
120 AXE..	0,253	0,126	0,195	0,17	75,40	285
150 AXE..	0,206	0,12	0,19	0,163	81,68	319
185 AXE..	0,164	0,116	0,185	0,16	87,96	361
240 AXE..	0,125	0,113	0,182	0,157	94,25	417

TAB. P9 Parametry kabelů 35 kV

Typ kabelu	R [ $\Omega$ /km]	X [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [A]
95 ANKT..	0.383	0.142	71	199
120 ANKT..	0.304	0.137	76	227
150 ANKT..	0.242	0.132	82	257
185 ANKT..	0.196	0.128	87	288
240 ANKT..	0.151	0.123	96	332

TAB. P10 Parametry kabelů 35- kV

Typ	r <sub>k</sub> [ $\Omega$ /km]	x <sub>k</sub> [ $\Omega$ /km]	B [ $\mu$ S/km]	I <sub>dov</sub> [A]
50 AXEKCY	0,641	0,155	42,7	174
70 AXEKCY	0,443	0,146	47,4	213
95 AXEKCY	0,32	0,139	51,8	254
120 AXEKCY	0,253	0,134	55,9	289
150 AXEKCY	0,206	0,129	60,0	322
185 AXEKCY	0,164	0,125	64,4	364
240 AXEKCY	0,125	0,12	71,3	422