

Kvalita dodávky elektrické energie

Odběratel elektrické energie požaduje dodávku elektrické energie v požadovaném množství a kvalitě. Množství je charakterizováno dodávkou elektrické práce, což představuje proudové zatížení elektrizační soustavy v závislosti na místě připojení odběratele. Kvalita elektrické energie znamená dodržení parametrů dodávky odběrového množství v příslušné hodnotě ze systému který provádí dodávku. Parametry elektrické energie – systémové veličiny tedy jsou:

- *frekvence*
- *napětí*

Elektrická energie vyrobená v elektrárnách v předepsané standardní kvalitě se prostřednictvím elektrizační soustavy (ES), tj. přenosových (PS) a distribučních sítí (DS) dodává až ke konečnému odběrateli. Během této cesty působí na elektrickou energii mnoho vnějších faktorů, které mohou mít vliv na konečnou kvalitu elektrické energie. Mezi takové faktory lze zařadit například:

- atmosférické vlivy (např. účinek blesku),
- vlivy způsobené používáním některých elektrických spotřebičů (např. elektronické regulátory výkonu a otáček, napájecí zdroje elektronických přístrojů apod.),
- vlivy způsobené nutnými provozními manipulacemi v síti,
- působení ochranných a automatizačních prostředků sloužících k omezení poruchových stavů v sítích,
- časté spínání velkých spotřebičů.

Kvalita elektrické energie je udávána provozními hodnotami (charakteristikami) systémových veličin, které jsou garantovány provozovatelem sítě během normálního stavu elektrizační soustavy. Jednotlivé kvalitativní ukazatele specifikují:

- A. kmitočet sítě
- B. velikost napájecího napětí
- C. odchylky napájecího napětí
- D. rychlé změny napětí
 - velikost rychlých změn napětí
 - míra vjemu flikru
- E. krátkodobé poklesy napájecího napětí
- F. krátkodobá přerušení napájecího napětí
- G. dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- H. dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- I. přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
- J. nesymetrie napájecího napětí
- K. harmonická napětí
- L. mezipřepětí úrovně napětí signálů v napájecím napětí.

Pro charakteristiky A) až d) a J) až M) která platí pro odběrná místa z distribuční soustavy s napětíovou úrovní nízkého a vysokého napětí se stanovují.

- zaručované hodnoty,
- měřicí intervaly,
- doby pozorování,
- mezní pravděpodobnosti splnění stanovených limitů.

Kvalitativní parametry elektrické energie jsou uvedeny v normách ČSN EN 50 160 a ČSN IEC 38. Pro spotřebitele elektrické energie jsou tyto hodnoty parametrů definovány pro společný napájecí (PPC – Point of Common Coupling) bod ke kterému jsou spotřebitelé připojeni. Napájecí bod je místo veřejné rozvodné sítě elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, ve kterém je nebo může být připojen jiný odběratel. Obvykle je to místo měření odběru elektrické energie odběratelem.

Regulační systémy v elektrizační soustavě musí udržet požadované parametry v příslušných mezích.

Pro charakteristiky E) až I) uvádí ČSN EN 50160 pouze informativní hodnoty. Podrobnosti k metodám měření jednotlivých charakteristik jsou vždy uvedena v Pravidlech Provozování Distribuční Soustavy.

1.1. Kmitočet

Jmenovitý kmitočet je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být kmitočet sítě v povolené toleranci $\pm 1\%$ po 99,5 % roku. Systémy pro udržení kmitočtu v příslušných mezích jsou primární a sekundární regulace v elektrizační síti.

1.2. Napětí

Hodnota napětí je definovaná pro PCC. Zátěžný proud, který teče přívodním vedením ke spotřebiteli vyvolává úbytky napětí, které jsou úměrné vzdálenosti spotřebitele od PCC. Zátěž na straně spotřebitele je proměnlivá v čase. Hodnota napětí je tedy funkční závislostí nejen vzdálenosti, ale i času. Za normálních provozních podmínek musí být napětí v síti v povolené toleranci $U_n = \pm 10\%$ v PCC. V této toleranci musí být 95% průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 min. během každého týdne. Do roku 2003 platily hodnoty $U_n = +10\% / -6\%$.

1.2.1. Definice úbytku napětí

Rozdíl mezi napětí v místě PPC U_1 a napětím v samotném místě odběru lze definovat vztahem:

$$\Delta U = U_1 - U \quad [V]$$
$$\Delta U = [(U_1 - U) / U_n] \times 100 \quad [\%]$$

kde:

U_1, U a U_n jsou absolutní hodnoty fázového napětí.

Úbytek se vyjadřuje vždy ve fázových hodnotách. Tj. lze ho spočítat:

$$\Delta U = I_\varepsilon R_S - I_j X_S \quad [V]$$

kde:

R_S a X_S je činná a induktivní část síťové impedance,

I_ε a I_j je činná a jalová (induktivní) část odběrového proudu.

Pro výpočet úbytku napětí pro základní harmonickou by měla být brána v úvahu impedance pro jednofázové odběry:

$$Z_f - Z_n \quad \text{fázový + střed vodič ,}$$

a

$$Z_f,$$

pro symetrické trojfázové odběry.

Pro analýzu spotřebitelské sítě nízkého napětí jsou doporučeny hodnoty impedancí:

$$Z_f = 0,24 + j0,15 \quad [\Omega]$$

$$Z_f = 0,16 + j0,1 \quad [\Omega]$$

Hodnota úbytku napětí, která může vzniknout na vodičích je 3% pro světelné vodiče a 5% jmenovité hodnoty napětí. Tato hodnota odpovídá úbytku napětí mezi napájecím bodem sítě

nízkého napětí a spotřebičem. Impedance, která způsobuje úbytek napětí je složena ze dvou částí, která je dána rozptylovou reaktancí transformátoru a odporem vodiče nízkého napětí. Vzhledem k poměru obou částí impedance je možné v sítích nízkého napětí předpokládat, že pokles napětí mezi napájecím bodem a spotřebičem bude:

$$\Delta U \approx RI^2 \quad [V]$$

1.2.2. Vlivy způsobené odchylkami napětí mimo povolené tolerance

Pokud bude hodnota napětí na spotřebičích větší povolená bude zkracovat jejich dobu životnosti a bude docházet ke stárnutí izolace. Budou také vyšší ztráty a zvýší se četnost poruch.

Při hodnotě napětí nižší než je povolená dojde k výraznému poklesu výkonů zařízení, špatné funkci zařízení nebo úplnému vypnutí zařízení (magnetické vypínače).

1.2.3. Měření napětí

Napětí je možné měřit v různých místech mezi PCC a spotřebičem. Pro spotřebitele je důležitá hodnota napětí v přípojném bodě.

Měřicím zařízením a měřicími metodami se zabývají normy ČSN EN 61004-7 a ČSN EN 50160. Měření je prováděno digitálními přístroji v reálném čase a základní měřené hodnoty se průměrkují za 8 nebo 16 period, z nichž je stanovena 3 sec hodnota pro tzv. Velmi krátký časový interval. Z těchto hodnot je pak vypočítávána a zaznamenávána průměrná hodnota každých 10 minut. Tímto způsobem je definována metoda měření pomalých změn napětí, jejíž pomocí je možné vytvořit statistické podklady pro vyhodnocení kvality napětí.

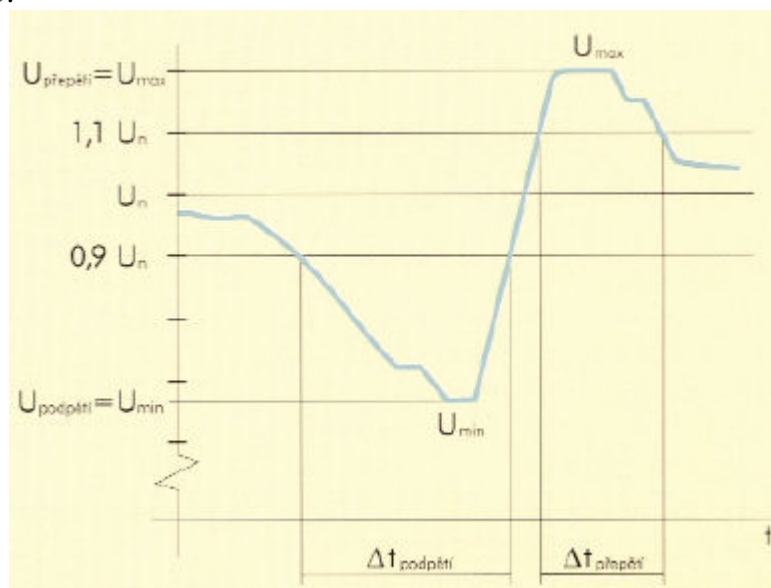
1.3. Pokles napětí a přepětí

1.3.1. Definice poklesu napětí a přepětí

Pokles napětí je definován pomocí efektivní hodnoty napětí a je charakterizován:

- Trváním napěťového poklesu
- Nejmenším poměrným napětím v době poklesu napětí

Časový interval se začíná měřit, když napětí poklesne pod 90% U_n a končí po jeho opětovném nárůstu nad 90%.



Obr.1

Pokud napětí poklesne pod 1% jmenovité hodnoty, nazýváme to přerušení napětí.

V trojfázovém systému považujeme normální pokles napětí v kterékoliv fázi za pokles napětí celého systému.

Přepětí je charakterizováno stejně, ale pro hodnotu překročení 110% U_n

1.3.2. Původy poklesu napětí a přepětí

Pokles napětí může být způsoben spotřebiteli nebo vlivem stavu v rozvodné síti. Ze strany DS může dojít:

- Přerušení napájení
- Poklesu napětí (přepětí)

Přerušení mohou být krátkodobého nebo dlouhodobého charakteru např. zkrat, OZ, chyby síťového zařízení. Delší přerušení se nazývá výpadek napájení.

Pokles napětí může být způsoben např. pomalým řízením regulace napětí v síti (náhlé odlehčení zátěže).

Pokles napětí nebo poruchové události způsobené uživateli mají v případě dobře navržené DS malý vliv na napětí v PCC. Tzn., že další spotřebitelé, kteří jsou připojeni k tomuto bodu nejsou ovlivněni.

1.3.3. Poruchy a jejich působení na spotřebitelskou síť

Události a faktory působící poklesy napětí a jejich následky:

Uvolněný vodič, který tvoří špatný kontakt nebo se úplně rozpojí:

- Změna velikosti napětí (charakter poklesu napětí)
- Rušení rádiové frekvence (TV, rádio)
- Opalování kontaktů, možnost požáru
- Selhání zařízení citlivých na pokles napětí

Spotřebiče s velmi dynamickým proudovým odběrem (mikrovlnné trouby, vysavače, bojler, různá svítidla atd.):

- Pokles napětí v průběhu dynamického proudového odběru
- Selhání zařízení citlivých na pokles napětí

1.3.4. Měření poklesu napětí a přepětí

Měřicí zařízení musí měřit skutečnou efektivní hodnotu v požadovaném nejkratším měřicím čase $\frac{1}{2}$ periody. Znázornění a vyhodnocení může být provedeno několika způsoby. Časový průběh efektivní hodnoty je zaznamenáván pro každou půlperiodu se začátkem a koncem měření nastavenými na okamžik, kdy se napětí dostane mimo stanovený rozsah, který je:

$$0,9 < \frac{U}{U_n} < 1,1$$

Je tedy možné provádět vypracování statistiky „off-line“.

Mnohem jednodušším způsobem je uložit data vyhovující definici spolu s časem prvního průchodu přes hranici povoleného napětí:

$$\left(\frac{U}{U_n} < 0,9 \right) \text{ nebo } \left(\frac{U}{U_n} > 0,9 \right)$$

a časem události.

Dalším zjednodušením pak je provádět „on-line statistiku“ v průběhu měření z údajů odpovídající definici (viz.obr.1), které zvyšují počet členů předem připravené matice. V tomto případě není zaznamenáván čas poklesů napětí nebo přepětí. Tabulka č.1 ukazuje matici, již je možno použít pro statistické vyhodnocení měření poklesu napětí a přepětí. Doporučená doba měření jsou 4 týdny.

$t \geq$ $t <$	20 ms 100 ms	100 ms 500 ms	500 ms 1 s	1 s 3 s	3 s 20 s	20 s 1 min	1 min 3 min	3 min
$10 < u \leq 15$								
$15 < u \leq 30$								
$30 < u \leq 60$								
$60 < u \leq 99$								
$99 < u$								
$110 < u \leq 120$								
$120 < u \leq 140$								
$140 < u \leq 160$								
$160 < u \leq 200$								
$200 < u$								

Tab.1

1.4. Harmonické zkreslení

1.4.1. Původ harmonických

Jak bylo řečeno úbytek napětí je způsoben průtokem proudu přes impedanci. Odběrový proud spotřebiče je sice periodický, ale nemusí být sinusový. Obr.2 ukazuje časový průběh napětí a proudu odebíraného televizorem. Tento druh časového průběhu může být popsán tzv. Fourierovou řadou, kde periodické funkce může být obecně vyjádřena jako součet nekonečného počtu kosinových a sinusových členů. Furierova řada periodické funkce s periodou T je:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + a_k \sin(k\omega t)]$$

kde:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad f = \frac{1}{T}$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) d(\omega t)$$

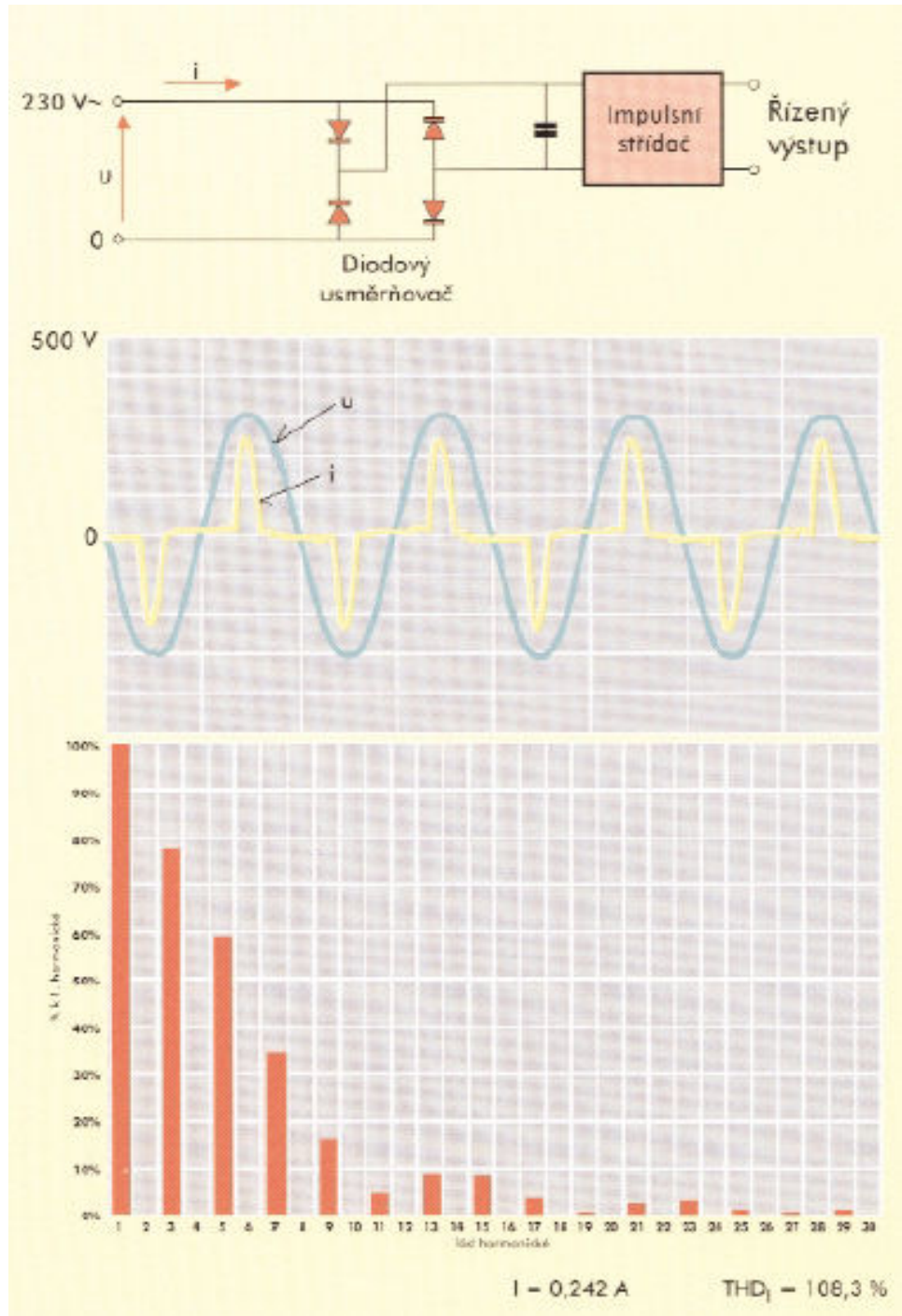
$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \cos(k\omega t) d(\omega t)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \sin(k\omega t) d(\omega t)$$

$$k = 1 \rightarrow \infty$$

Obrázek ukazuje jednotlivé složky Fourierovy řady. Horizontální osa je osou harmonických a na vertikální ose je procentní poměr harmonických k amplitudě základní harmonické. Složky, které mají frekvenci větší než základní harmonická se nazývají harmonické. Harmonické proudy tečou od nelineárního spotřebiče do sítě a vyvolávají napěťové úbytky na impedanci sítě. Tyto jednotlivé úbytky harmonických napětí vedou k deformaci časového průběhu napětí v porovnání s relativním čistým sinusovým průběhem. Harmonický charakterizujeme jejich frekvencí (např. 250 Hz) nebo poměrem jejich frekvence k frekvenci základní (např. 250/50=5). Toto číslo se nazývá řád harmonické.

Spotřebiče s takovýmto průběh odběru nazýváme nelineární spotřebiče. Jsou napájeny sinusovým napětím, neodebírají však periodický sinusový proud. Odběrový proud může být konstantní, nebo časově proměnný. V prvním případě je amplituda a frekvence harmonické proudu konstantní, v případě druhém závisí na rychlosti změn. Zátěžný proud má frekvenční spektrum buď tvaru čárového spektra (pomalé změny), nebo spektra spojitého (rychlé změny).



Obr.2

Příklady nelineárních zatížení na nn:

Časově proměnné:

- Spotřebiče nasycitelným železným jádrem
- Zařízení informační technologie
- Úsporná svítidla s elektronickým předřadníkem

Pomalé změny v čase:

- Svítidla řízená stmívačem
- Zařízení s tyristorovým řízením
- Mikrovlnné trouby

Rychlé změny:

- Pohony s regulací rychlosti
- Zátěže pulzně-modulovaným napájením
- Svářečí zařízení

Parametr který charakterizuje nelinearitu se nazývá činitel harmonického zkreslení proud THD_I (total harmonic distortion), (individuálně pak pro jednotlivé harmonické D_I):

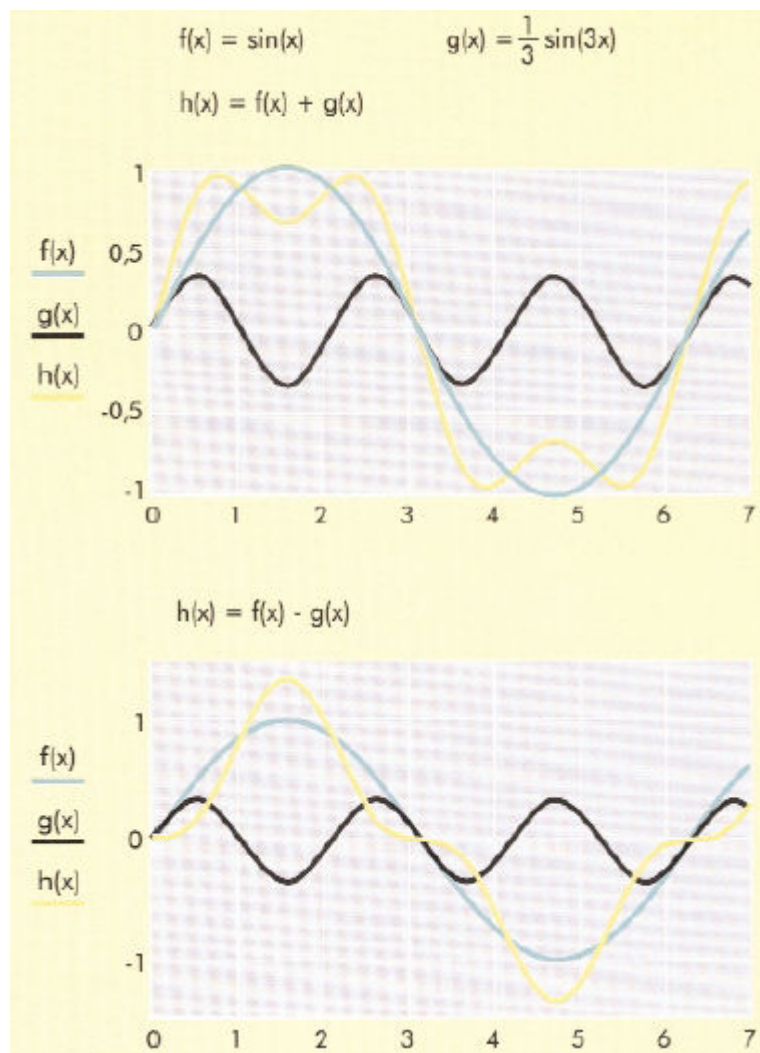
$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \quad D_I = \frac{I_k}{I_1}$$

kde:

I_1 je proud základní harmonické

I_k je proud k-té harmonické

Tento činitel je také používán pro napětí (THD_U). Výpočet pro napětí je obdobný výpočtu proud.



Obr.3

Pro spotřebiče nn napájené jednofázovým dvoucestným usměrňovačem s kapacitním filtrem ve stejnosměrném meziobvodu (obr.2) je nabíjecí proud „synchronizován“ do maximální hodnoty napájecího napětí, a proto všechny takové jedno- a trojfázové napájecí jednotky generují fázově identické harmonické proudy. To zvláště platí pro harmonické nižšího řádu, např. 3. a 5. harmonická, které mají největší amplitudy. Z toho důvodu je v sítích nn zkrácení pro tyto harmonické charakteristické jak pro proud, tak i pro napětí. Obr.3 ukazuje příklad vlivu 3. harmonické na tvar výsledného průběhu.

1.4.2. Harmonické a jejich šíření v síti

V trojfázovém systému jsou harmonické ve třech fázích, ale s frekvencí odpovídající jejich řádu. Harmonické mohou být reprezentovány fázory v kruhovém diagramu, stejně jako fázory základní harmonické, a jejich fázový posun je definován symetrickými složkami. Obr.4 ukazuje 3. a 5. harmonické pro případ souměrného zatížení v trojfázovém systému, tj. umístění třetí harmonické a zpětné složky páté harmonické v kruhovém diagramu. Obecně pro k-tou harmonickou platí:

$$I_k^b = I_k^a e^{-jk120^\circ} \quad a \quad I_k^c = I_k^a e^{-jk240^\circ}$$

Souměrný trojfázový systém sousledné, zpětné a nulové složky je následující:

Nulová harmonická složka:

$$k = 3n$$

Sousledná harmonická složka:

$$k = 3n + 1$$

Zpětná harmonická složka.

$$k = 3n - 1$$

kde:

k je řád harmonické

n = 1, 2, 3, ...

Z předešlého vyplývá, že třetí harmonické proudy se přidávají k nulovým složkám proudu, příspěvek proudu ve střední vodiči tedy potom odpovídá trojnásobku proudu třetí harmonické. Pokud je amplituda třetí harmonické proudu téměř rovna amplitudě základní harmonické, potom ve středním vodiči trojfázového systému poteče okolo dvoj až trojnásobku proudu fázového vodiči.

V případě symetrické zátěže přispívá pátá harmonická do zpětné složky proudu. Středním vodičem tedy tečou pouze asymetrické složky proudu – ty, které přispívají do nulové složky harmonických proudů, můžeme harmonické proudy generované nelineární zátěží sčítat také v asymetrickém případě.

Jednotlivé harmonické proudy zátěží lze počítat samostatně jako komplexní veličiny. Vektorový součet proudů zátěží potom vede k výsledkům pro každou větev a vektorový součet proudů jednotlivých větví dává výsledný proud transformátoru. Pro symetrickou zátěž lze použít jednofázový model:

- Harmonické proudy k-tého řádu jsou složky sousledné,
- Zpětné a nulové v souladu s pravidlem 3n+1, 3n-1, 3n.

1.4.3. Problémy způsobené harmonickými

Síťová rezonance pro určitou harmonickou může přepětím nebo zvýšeným proudem namáhat síťové prvky

- Přehřívání a přetěžování síťových prvků (kabely, transformátory)

- Chybná funkce ochran
- Rušení telekomunikačního vedení z důvodu indukovaného šumu generovaného nulovou složkou
- Špatná činnost řídicích obvodů elektronicky řízených zařízení

1.4.4. Měření harmonických

Měření harmonických může být provedeno přístroji vyhovující normě ČSN EN 61000-4-7. Tato norma se nezabývá požadavky na měřící přístroje a metody. Je zde uveden výčet nejdůležitějších kritériálních měřících přístrojů třídy „A“ pro měření harmonických:

- Frekvenční citlivost proudových vstupů v rozsahu 0 Hz – 20 kHz
- Přesnost 0,5 %
- Funkce Hanningova okna pro osm period
- Synchronní vzorkování
- Rychlá Fourierova transformace s korekcí fázového úhlu do 50. harmonické
- Spektrální analýza s možností vyhodnocení meziharmonických
- Nejmenší třísekundová vyhodnovací doba
- Možnost souvislého měření nejméně po dobu jednoho týdne
- Antialiasing filtr

1.4.5. Omezení problémů způsobenými harmonickými

Spotřebitelé:

- Zesílení a rekonstrukce vlastní sítě. Samostatná síť pro nelineární spotřebiče vyvedená do PCC s dvojnásobným průřezem středního vodiče.
- Filtrování nulové složky způsobené třetí harmonickou použitím vhodného zapojení napájecího transformátoru.
- Pasivní filtry harmonických, které mají malou impedanci pro vyladěnou frekvenci – zkrat.
- Aktivní filtry harmonických – výroba sinusových odběrových proudů pomocí elektronických prostředků

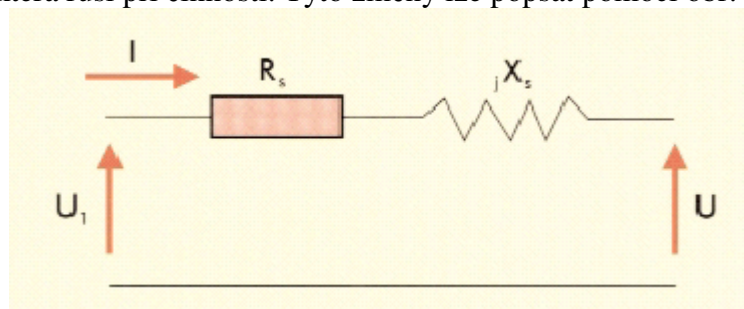
Dodavatelé:

- Zvětšení zkratového výkonu na straně napájení
- Filtrace harmonických

1.5. Rychlé změny napětí (flickr)

1.5.1. Definice

Rychlé periodické změny napětí, které se nazývá kolísání napětí. Tento jev se projevuje na světelných spotřebičích rychlou změnou světelného toku a způsobuje změnu zrakového vnímání (obr.6), která ruší při činnosti. Tyto změny lze popsat pomocí obr.4.



Obr.4

Napětí na spotřebiči je menší než napětí U_1 vlivem úbytku napětí. Úbytek napětí lze vyjádřit jako:

$$U = |U_1| - (I_c R_S + I_j X_S) = |U_1| - \frac{1}{3U^*} (PR_S + QX_S)$$

kde:

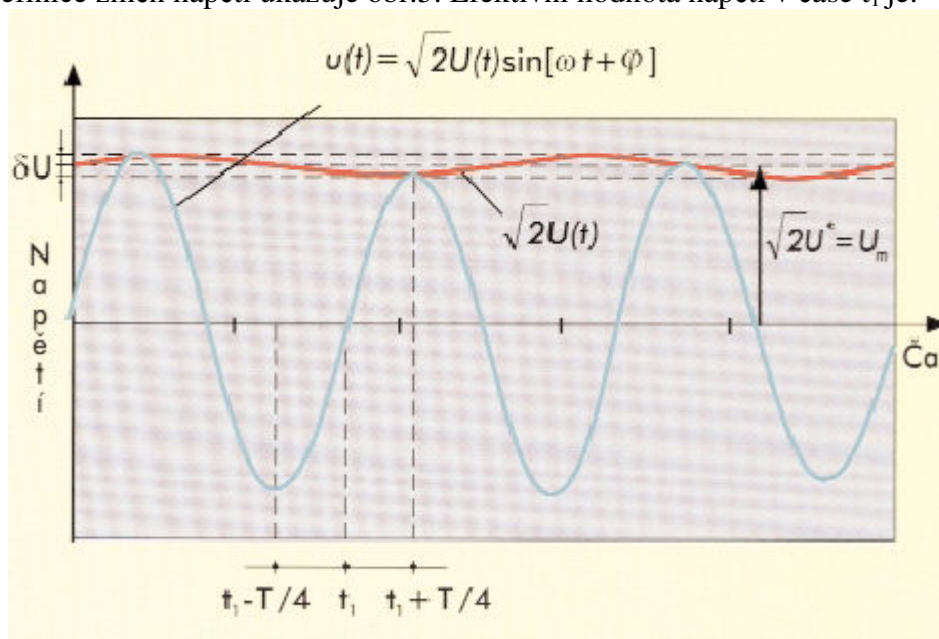
U je v reálné ose

Z výše uvedeného vyplývá, že změny napětí závisí na změnách činného a jalového výkonu.

Změny napětí při změnách zatížení lze vyjádřit:

$$\delta U \cong \frac{1}{3U^*} (\delta P R_S + \delta Q X_S) = \Delta I_c R_S + \Delta I_j X_S = \delta(\Delta U)$$

V případě konstantního zatížení jsou změny činného a jalového výkonu 0 a změna napětí je nulová. Definice změn napětí ukazuje obr.5. Efektivní hodnota napětí v čase t_1 je:



Obr.5.

$$U(t) = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{t_1 - T/4}^{t_1 + T/4} u^2(t) dt}$$

Kde. $T=20\text{ms}$ a $\omega=2\pi/T$.

Střední hodnota těchto efektivních hodnot je:

$$U_{stř} = \lim \left[\frac{1}{T} \int U(t) dt \right] = U^*$$

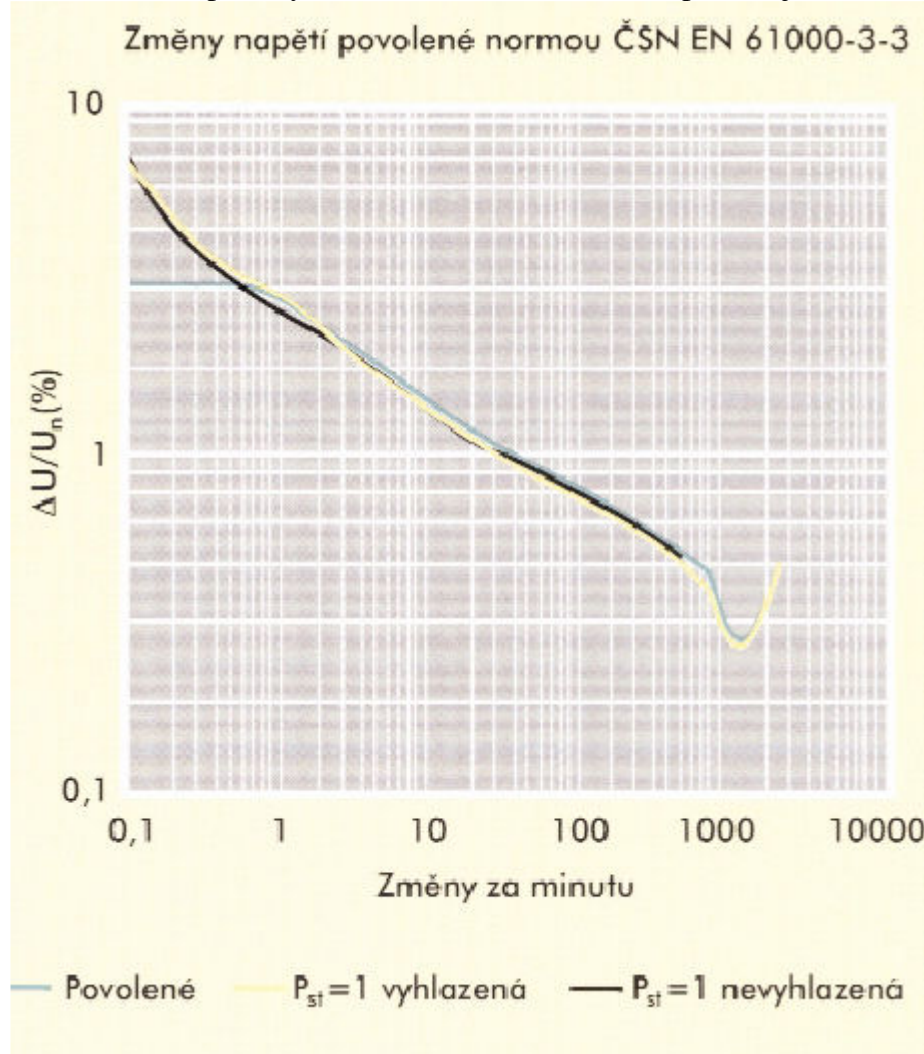
1.5.2. Spotřebiče a provozní stavy způsobující flickr

- Spínání velké zátěže
- Rozběh velkých motorů
- Proměnlivá zátěž
- Elektrické obloukové pece

1.5.3. Měření flikru

Je obtížné změřit rušivý jev flikru. Provádí se simulace řetězce napěťová změna – světelný zdroj – oko – proces vnímání. Metody definuje pozorovateli spolehlivým způsobem reakce na různé druhy flikru. Přístroj se jmenuje flikmetr (měřič blikání) (obr.6). Účelem jednotky 1 je přijmout vstupní signál a generovat vnitřní referenční napětí. Měření flikru pak může být prováděno nezávisle na napětí sítě a výsledky mohou být zpracovány v procentech. V jednotce 2 se oddělí napěťové změny způsobující flikr od základního napětí. To se provádí využitím kvadratické demodulace. Jednotka 3 obsahuje dva filtry a volič rozsahu. První filtr odstraní stejnosměrnou složku a dvojnásobným kmitočtem sítě na výstupu demodulátoru. Druhý filtr tvoří přenosovou funkci flikmetru, což je odezva na kolísání napětí (filtr simuluje frekvenční odezvu lidského zraku na změnu svítivosti žárovky způsobenou sinusovou modulací napětí). Jednotka 4 obsahuje kvadratickou násobičku a dolní propust prvního řádu. Výstupem z této jednotky je okamžitá míra vjemu flikru. Jednotka 5 obsahuje mikroprocesor, který provádí průběžné hodnocení úrovně flikru a umožňuje přímý výpočet důležitých parametrů.

Jelikož flikr je náhodná veličina je důležité zjistit nejen nejvyšší hodnotu ale překročení určité hodnoty během sledované periody (10 min). K tomuto účelu se používají statistické metody.



Obr.6

S následujícím postupem:

Nejdříve se roztídí hodnoty naměřených úrovní okamžité míry vjemu flikru na výstup jednotky

Po skončení sledované periody se spočítá distribuční funkce.
Dle normy je definován algoritmus pro stanovení krátkodobé míry flikru:

$$P_{stř} = \sqrt{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n}$$

kde:

K_1 až K_n jsou váhové koeficienty

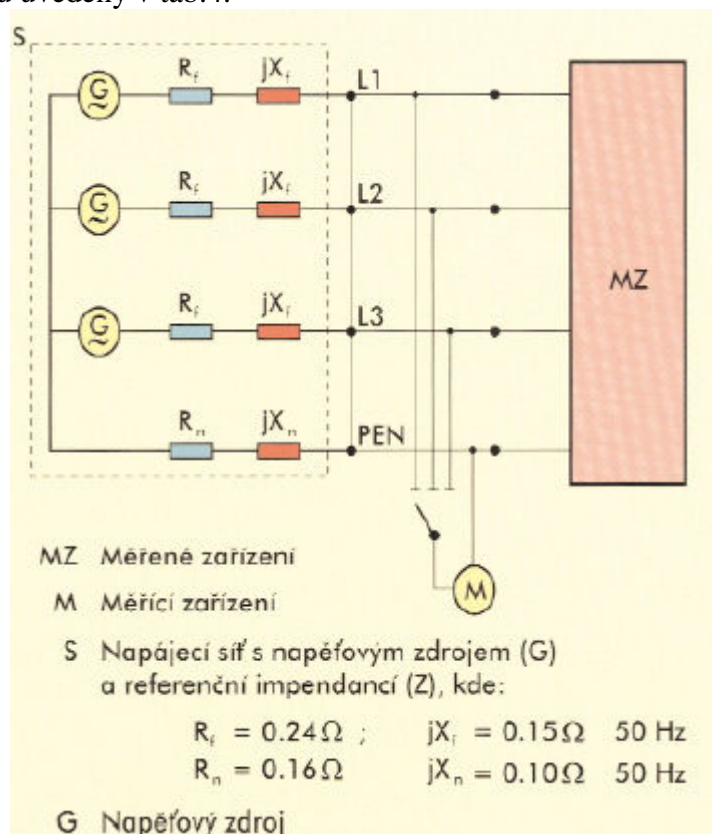
P_1 až P_n jsou úrovně překročení v distribuční funkci (percentily).

Normou jsou stanoveno pět úrovní překročení (0.1, 1, 3, 10 a 50%). Největší váhu má 10% překročení. Krátkodobá míra flikru se stanovuje pro jeden zdroj z měření v 10 minutách. Dlouhodobá z dvanácti 2 hodinových intervalů.

1.6. Doporučení

1.6.1. Harmonické

Normy stanoví úrovně rušení, testovací metody pro rušící zařízení a referenční napájecí síť pro testy. Obr.7 zobrazuje referenční napájecí síť. Tabulka č.2 udává mezní hodnoty harmonických proudů pro domácí spotřebiče s jmenovitým proudem do 16 A. Pro televizory a PC jsou mezní hodnoty uvedeny v tab.3. Procentní hodnoty harmonických pro distribuční síť nízkého napětí jsou uvedeny v tab.4.



Obr.7

Řád harmonické (k)	Největší dovolený harmonický proud [A]
<i>Liché harmonické</i>	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq k \leq 39$	$0,15 * 15 / k$
<i>Sudé harmonické</i>	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq k \leq 40$	$0,23 * 8 / k$

Tab.2

Řád harmonické (k)	Největší dovolený harmonický proud [A]
<i>Liché harmonické</i>	
3	2,3
5	1,14
7	0,77
9	0,4
11	0,33
13	0,21
$15 \leq k \leq 39$	$0,15 * 15 / k$
<i>Sudé harmonické</i>	
2	1,08
4	0,43
ostatní	$0,23 * 8 / k$

Tab.3

<i>Liché harmonické</i>				<i>Sudé harmonické</i>	
<i>Násobky třetí harmonické</i>		<i>ostatní liché harmonické</i>		řád harmonické	% k první harmonické
řád harmonické	% k první harmonické	řád harmonické	% k první harmonické		
3	5	5	6	2	2
9	1,5	7	5	4	1
15	0,5	11	3,5	6...24	0,5
21	0,5	13	3		
		17	2		
		19	1,5		
		23	1,5		
		25	1,5		

Tab.4

1.6.2. Poklesy napětí, flikr

Existují různé stupně poklesu napětí. Při hodnotě 85% jmenovitého napětí po dobu 20-40 ms zapůsobí přídržný obvod magnetické spínače a vypne. Napětí nad horní a spodní toleranční (obr.8) čarou způsobuje poruchový provoz zařízení informačních technologií, pokud jsou napájená v označených časových periodách.

Pro zjištění bezpečného provozu nesmí spínání velkých průmyslových spotřebičů způsobit poklesy pod 95% U_n . To souhlasí s přípustnou hodnotou flikru, kde změny napětí 5,32% stanoví EN 61000-3-3. Je to patrné z obr.9, kde je ukázána závislost Pst na trvání poklesu napětí vlivem proudového rázu. Na obrázku je ukázáno, že pro spínací časy 50-200 ms je pro zajištění bezpečnosti hodnota $Pst \leq 0,8$ (při mezní hodnotě je $Pst=1$).