

“Flicker” v elektrických sieťach, jeho negatívne vplyvy a eliminácia

Ing. Peter GARDIAN, Power Grid, s.r.o., Považská Bystrica

„Flicker“ je definovaný ako rýchle zmeny napätia elektrickej siete, ktoré sa prejavujú ako zmeny intenzity svetla zachytiteľné ľudským okom. Tieto rýchle zmeny napätia sú spôsobené hlavne rýchlymi zmenami záťaže, ktorá vyžaduje vysoký jalový výkon z elektrickej siete, a preto spôsobuje poklesy napätia na impedanciách. Tento jav je výrazný v „mäkkých“ elektrických sieťach, to znamená v sieťach s veľkou impedanciou. Hlavným zdrojom flickra sú bodové zväzky, oblúkové pece a im podobné zariadenia. Prejavy flickra sú rôzne. Najmarkantnejším je „blikanie“ elektrických svietidiel (resp. znižovanie intenzity svetla), ktoré je badateľné aj vo veľkých vzdialenostiach od zdroja flickra. Pre väčšinu zariadení predstavuje pokles napätia v sieti výrazný problém, pri ktorom nemôžu spoľahlivo pracovať, takže sa objavujú náhodné poruchy, ktoré sú veľmi často zle vyhodnotené a tým aj riešené.

Podniky nevyhľadávajú na inštalovanie výrobných zariadení vždy iba miesto v typických priemyselných oblastiach s veľkým skratovým výkonom siete, ale aj v malých priemyselných zónach. Tu je však vďaka zmiešanej štruktúre spotreba výkonu zväčša relatívne nízka. Preto sú tieto zóny často zabezpečené malým skratovým výkonom. Skratové výkony značne pod 100 MVA nie sú žiadnou zriedkavosťou. Pre moderné výrobné zariadenia však môže nízky skratový výkon siete predstavovať výrazné obmedzenie ich činnosti.

Príčina vzniku nežiadúcich javov v elektrickej sieti spočíva často aj v snahe zvýšiť produktivitu pomocou nasadenia výkonnejších výrobných zariadení bez ohľadu ich vplyvu na kvalitu napätia v sieti.

Pre problematiku flickra a jeho odstránenie je dôležitý parameter „Flicker faktor“:

$$A_f = 2.3 * (\Delta U * F)^3 * f \quad (\text{zdroj EN 60555, časť 3})$$

kde je:

- 2.3: konštanta
- $\Delta U[\%]$: zmena napätia
- $f [1/s]$: frekvencia zmien napätia (takt stroja)
- F: tvarový faktor, závisí od záťaže (obrázok 2)

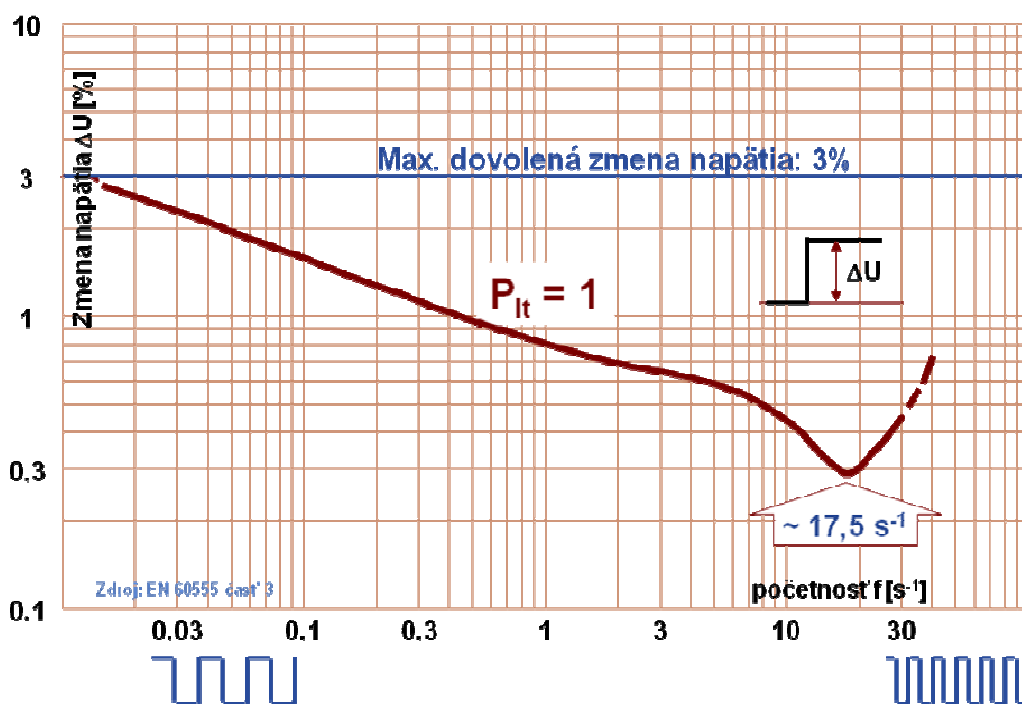
Sú definované ako dovolené úrovne flickra v elektrickej sieti pričom platí, že jednotlivý zákazník môže spôsobovať nasledovné hodnoty (pre všetky napäťové úrovne):

A_{st} (short time = krátkodobo – 10 min): 0.2

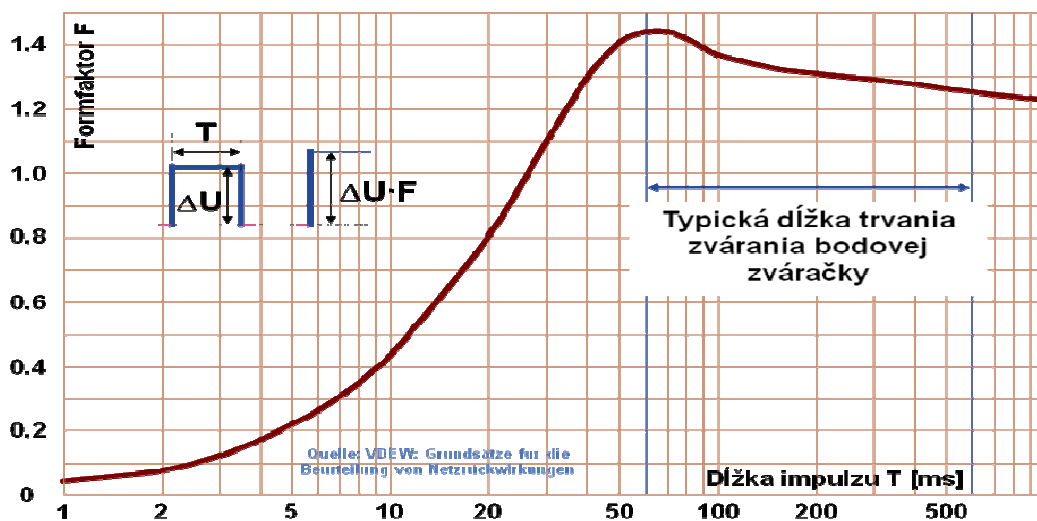
A_{lt} (long time = dlhodobý): 0.05

Maximálna zmena napätia pritom musí byť $\Delta U < 3\%$ pre nízkonapäťové siete, max. 2% pre vysokonapäťové siete.

Pre charakteristiku flickra je tiež známy parameter P (P_{st} , P_{lt}), pričom platí $P^3 = A$.



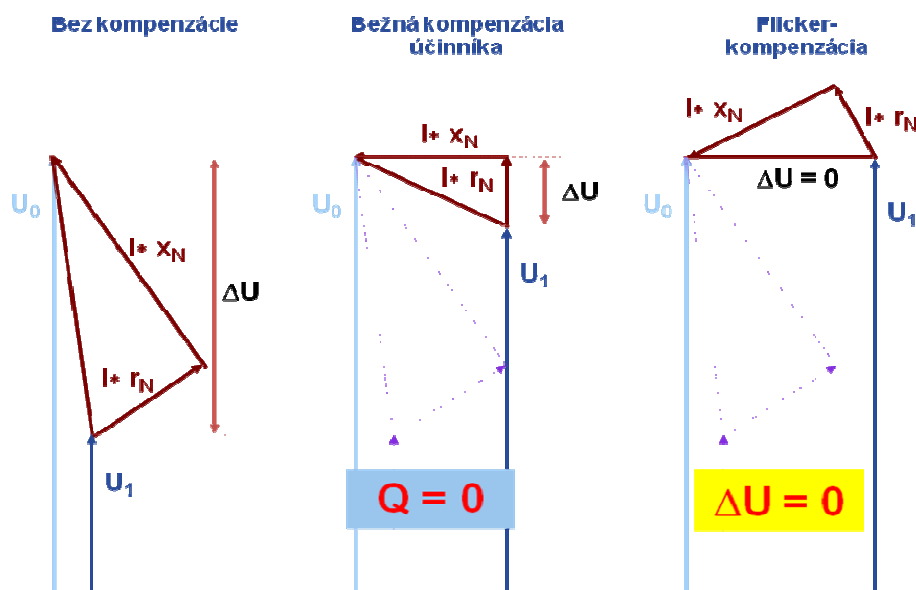
Obrázok 1: Závislosť flickra pre pravidelné pravouhlé impulzy, pre hraničnú hodnotu $P_{lt}=1$



Obrázok 2: Tvarový faktor pre pravouhlé impulzy v závislosti na dĺžke trvania impulzu

Zo vzťahu pre A_f je zrejmé, že zdvojnásobenie taktovania f spôsobuje tiež dvojnásobný A_f . Zdvojnásobenie výkonu, napr. dvojnásobný počet súčasne zváraných bodov, a tým zdvojnásobenie zmeny napätia ΔU , spôsobí dokonca osemnásobný účinok porúch z dôvodu flicker efektu. Zredukovanie dĺžky trvania napr. zvárania má naproti tomu len relatívne nepatrný vplyv na flicker.

Cieľom zariadení odstraňujúcich flicker efekt je zmenu napätia zredukovať na hodnotu blízku nule. Kompenzovanie účinníka je v tomto prípade len „bočný produkt“. Rozdiel medzi bežnou kompenzáciou a flicker kompenzáciou je zřejmý z obrázka 3.



Obrázok 3: Porovnanie stavu bez kompenzácie, s bežnou kompenzáciou účinníka a flicker kompenzáciou.

Pre výpočet zmeny napätia platí:

2-fázova záťaž:

$$\Delta U \approx 100 \cdot \sqrt{3} \cdot S_A / S_K \cdot \cos(\psi - \varphi \pm 30^\circ)$$

3-fázova záťaž:

$$\Delta U \approx 100 \cdot S_A / S_K \cdot \cos(\psi - \varphi)$$

ΔU : zmena napätia [%]

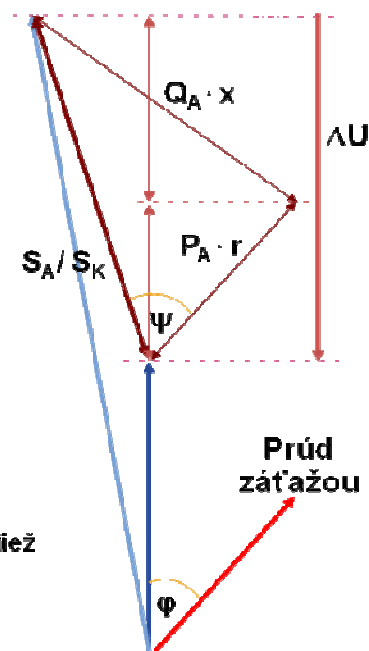
S_A : zdánlivý výkon záťaže [MVA]

S_K : skratový výkon [MVA]

ψ : fázový uhol impedancií siete ($\Rightarrow \tan \psi = X_N / R_N$)

φ : fázový uhol záťaže ($\Rightarrow \tan \varphi = Q_A / P_A$)

2-fázová záťaž a tiež iné nevyvážené záťaže potrebujú tiež symetrizáciu



V prípade 2-fázovej záťaže faktor $\sqrt{3}$ vyplýva z príslušného väčšieho fázového prúdu voči 3-fázovému výkonu. Dodatočný fázový uhol $\pm 30^\circ$ zodpovedá fázovému posunu fázových napätí voči združenému napätiu, na ktorom je záťaž napojená.

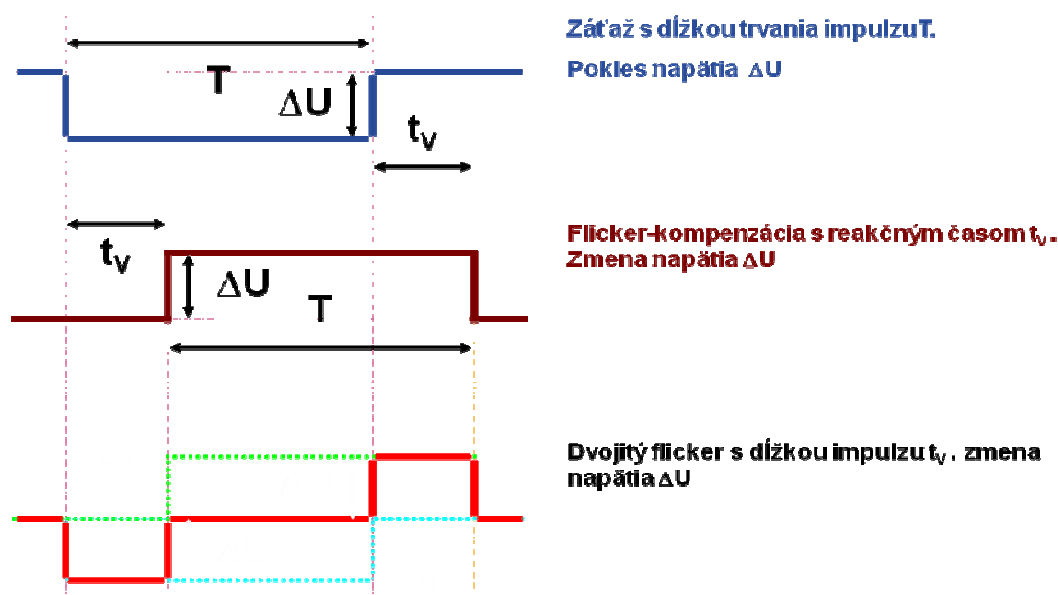
Príklad: 3-fázová bodová zväračka

Sieť:	$S_k = 118 \text{ MVA}$ $\text{tg}\psi = 1,46$	(VN úroveň) $\Rightarrow \psi = 55,6^\circ$
Záťaž:	$S_L = 1200 \text{ kVA}$ $\cos\varphi = 0,60$ $T = 200 \text{ ms}$ $f = 30 \text{ min}^{-1}$	(= 1,2 MVA) $\Rightarrow \varphi = 53,1^\circ$ $\Rightarrow F = 1,32 \text{ (z grafu)}$ $\Rightarrow f = 0,5 \text{ s}^{-1}$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 100 \cdot S_L / S_k \cdot \cos(\psi - \varphi) \\ &= 100 \cdot 1,2 / 118 \cdot \cos(55,6^\circ - 53,1^\circ) \\ &= 1,016\% \end{aligned} \quad \text{maximálne dovolené } 2\%$$

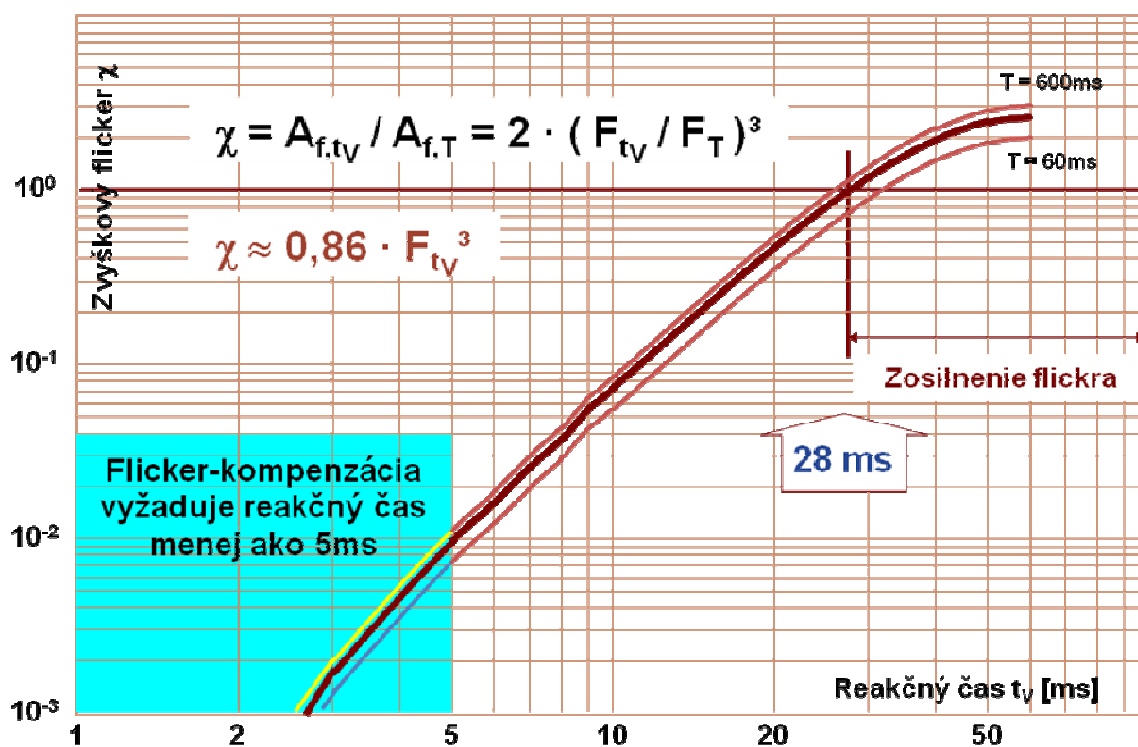
$$\begin{aligned} A_f &= 2,3 \cdot (\Delta U \cdot F)^2 \cdot f \\ &= 2,3 \cdot (1,016 \cdot 1,32)^2 \cdot 0,5 \\ &= 2,774 \end{aligned} \quad \text{maximálne dovolené } 0,05 !!!$$

Ako riešenie na odstránenie flicker efektu sa bežne používajú tyristormi spínané kompenzačné zariadenia. Najlepšie z nich dosahujú dobu spínania do 20 ms. Je to ale naozaj dostatočné riešenie? Obrázok 4 ukazuje, že časovým posunom zapínania a vypínania kompenzačného zariadenia vznikajú dva rušivé impulzy – pri zapnutí a tiež vypnutí zariadenia. Negatívny účinok flickru sa teda môže v princípe zdvojnásobiť. Pre A_f platí, že frekvencia javov je dvojnásobná (f), faktor F je však zmenený podľa reakčného času t_v . Pri malom omeškaní spínania (menšej hodnote t_v) klesá faktor F na nízke hodnoty a teda klesá aj hodnota A_f .



Obrázok 4: Vznik „dvojitého flickra“ kvôli oneskoreniu kompenzácie

Je zrejmé, že reakčný čas kompenzácie nad 20 ms je nepoužiteľne dlhý. Na odstránenie flicker efektu sú nevyhnutné zariadenia, ktoré majú reakčný čas výrazne kratší. Zlepšenie kvality elektrickej siete flicker kompenzáciou sa dá popísať cez zvyškový flicker faktor χ , čo je pomer flicker faktoru zostávajúceho dvojitého flickra $A_{f,tv}$ k flicker faktoru nekompenzovanej záťaže $A_{f,T}$. Obrázok 5 ukazuje výsledok tohto pozorovania v závislosti od času reakcie kompenzácie. Dĺžka trvania javu (napr. zvarania) T pritom nemá na výsledok žiadny rozhodujúci vplyv. Výpočet stačí preto previesť pomocou približného vzťahu.



Obrázok 5: Závislosť zvyškového flickra na reakčnom čase zariadenia

Príklad:

Údaje o sieti: $S_K=100\text{MVA}$, $X_N/R_N=1.5$

Bodová zväračka: $S_A=1000\text{kVA}$, $\cos \phi_i = 0.6$, $T = 200 \text{ ms}$, $f = 30/\text{min} \Rightarrow P_A = 600\text{kW}$,

$Q_A=800\text{kvar}$

Výsledky bez kompenzácie:

$\Delta u = 1\%$, $F = 1.31$, $A_f = 2.59$

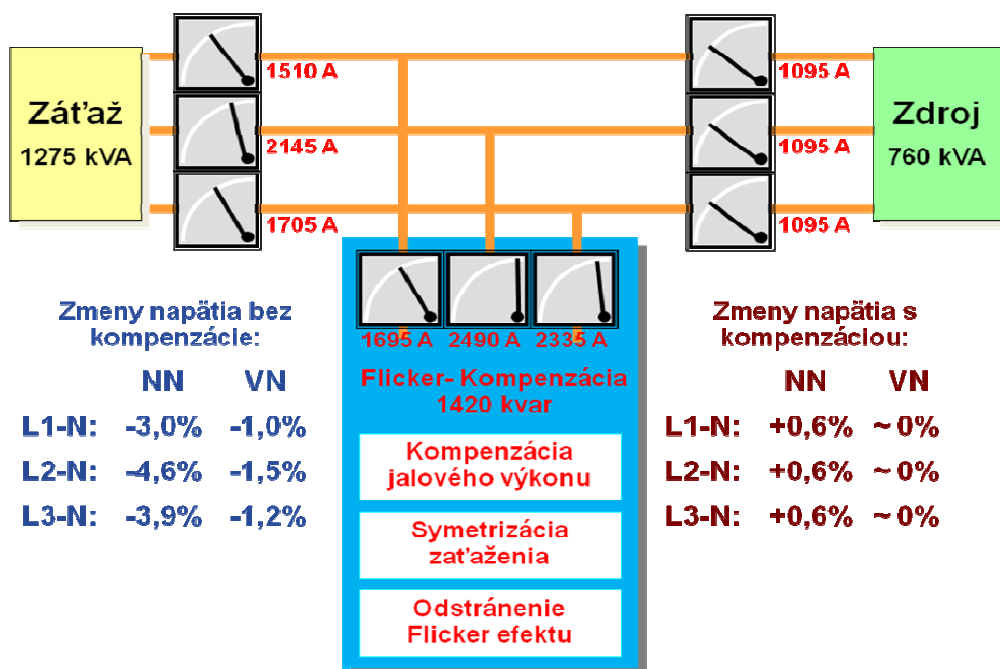
Kompenzačná jednotka: $Q_K = 1200 \text{ kvar}$

Výsledky pri rôznych reakčných časoch kompenzácie:

t_v	F	A_f	χ	$1/\chi$
30 ms	1.1	3.061	1.184	0.8
20 ms	0.8	1.178	0.455	2.2
10 ms	0.44	0.196	0.076	13.2
5 ms	0.22	0.024	0.009	105.6

Reakčný čas nad 28 ms zosilňuje flicker účinok ($\chi > 1$). Ale už pri hodnote max. 20ms sa poruchy redukujú o takmer 50%. Ak by však ostatné zariadenia pripojené k sieti vyžadovali maximálnu „bežnú“ hodnotu $A_f < 0.05$, tak v tomto konkrétnom prípade by musel byť reakčný čas kompenzačného zariadenia menej ako 7 ms. Pre skutočne fungujúce zariadenia potláčajúce flicker efekt je nevyhnutný reakčný čas zariadenia menej ako 5 ms. 2-fázové spotrebiče majú v porovnaní k 3-fázovej záťaži rovnaký výkon, ale značne väčší flicker účinok. Toto si vyžaduje k odstráneniu porúch siete viac kompenzačného výkonu a predovšetkým nákladný koncept zariadení. Moderné kompenzačné zariadenia však dokážu v prípade 2-fázových spotrebičov tiež veľmi efektívne zabezpečiť symetrický odber činného výkonu zo zdroja.

Moderné kompenzačné zariadenie by malo potom v sieti fungovať ako je schématicky znázornené na obrázku 6, pričom reakčný čas by mal byť lepší ako 5ms.



Obrázok 6: Funkcia kompenzačnej jednotky eliminujúcej flicker efekt, symetrizujúcej zaťaženie zdroja a kompenzujúcej jalový výkon (*Flickerkompensation ALFC*, www.dominit.eu)

Kontaktné údaje:

Ing. Peter GARDIAN

Power Grid, s.r.o.

Hviezdoslavova 145/21, 017 01 Považská Bystrica

peter.gardian@power-grid.eu, www.power-grid.eu