

Kvalita elektrické energie - průvodce



Poruchy napětí *Flikr*

5.1.4



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE



Poruchy napětí

Poruchy napětí

Část 5.1.4. Flickr

Autoři: Zbigniew Hanzelka & Andrzej Bień, AGH University of Science and Technology
April 2006

Autoři překladu: Josef Gavlas, Pavel Santarius, Petr Krejčí
FEI Technická univerzita Ostrava, Listopad 2006



Tento Průvodce byl vytvořen v rámci programu Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), což je evropský vzdělávací program podporovaný Evropskou komisí (v rámci programu Leonardo da Vinci) a Mezinárodní asociací mědi (International Copper Association). Více informací naleznete na www.lpqi.org.

Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými středisky mědi ve světě.

Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činností pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

Upozornění

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný. European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB – Technické Univerzity Ostrava. Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



Poruchy napětí

Flikr

Úvod

Flikr je vyjádřením nestálosti vizuálního vnímání vyvolaného světelnými popudy, jejichž jas nebo spektrální křivka se mění v čase. Obvykle je to aplikováno na cyklické změny svítivosti svítidel vlivem kolísání napájecího napětí.

Flikr je důsledek kolísání napětí, které mohou být způsobeny rušením v procesu výroby, přenosu a distribuce elektrické energie. Typicky jsou způsobeny velkou proměnlivou zátěží, tj. zátěží, u níž se rychle mění činný a jalový odběr elektrické energie.

Následující kapitoly vyšetřují a popisují vlastnosti kolísání napětí, jejich příčiny, účinky, metody měření, šíření a použitelné normy.

Příčiny kolísání napětí

Klasifikace změn efektivní hodnoty napětí je popsána na obr. 1 jako závislost napětí na délce trvání rušení. Šrafovaná oblast odpovídá změnám napětí, které jsou uvažovány v tomto příspěvku.

Pro každé napájecí vedení je napětí na koncové zátěži odlišné od napětí na začátku u zdroje. To může být demonstrováno na jednofázovém náhradním obvodu dle obr. 2a. Rovnice (1) ukazuje, jak může být rozdíl napětí ΔU (dle obr. 2b) odvozen z fázorového diagramu a jednoduchých geometrických pravidel.

$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_s \frac{P}{U_0^2} + X_s \frac{Q}{U_0^2} \cong R_s \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{kz}} \quad (1)$$

kde

E – napětí zdroje

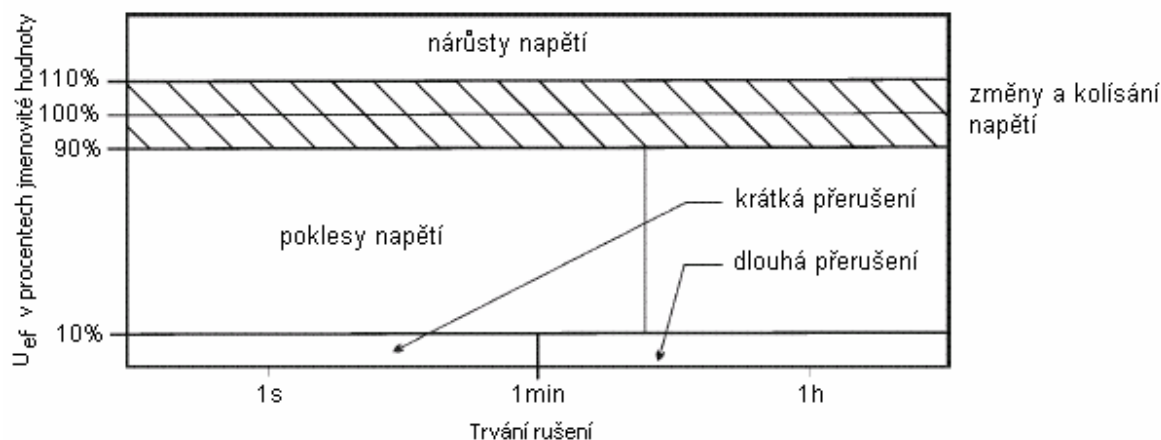
U_0 – napětí na svorkách zátěže

I_0 – proud

Z_s, X_s, R_s – náhradní impedance, reaktance a odpor vedení

P, Q – činný a jalový výkon zátěže

S_{kz} – zkratový výkon v místě připojení zátěže



Obr. 1 - Klasifikace změn napětí

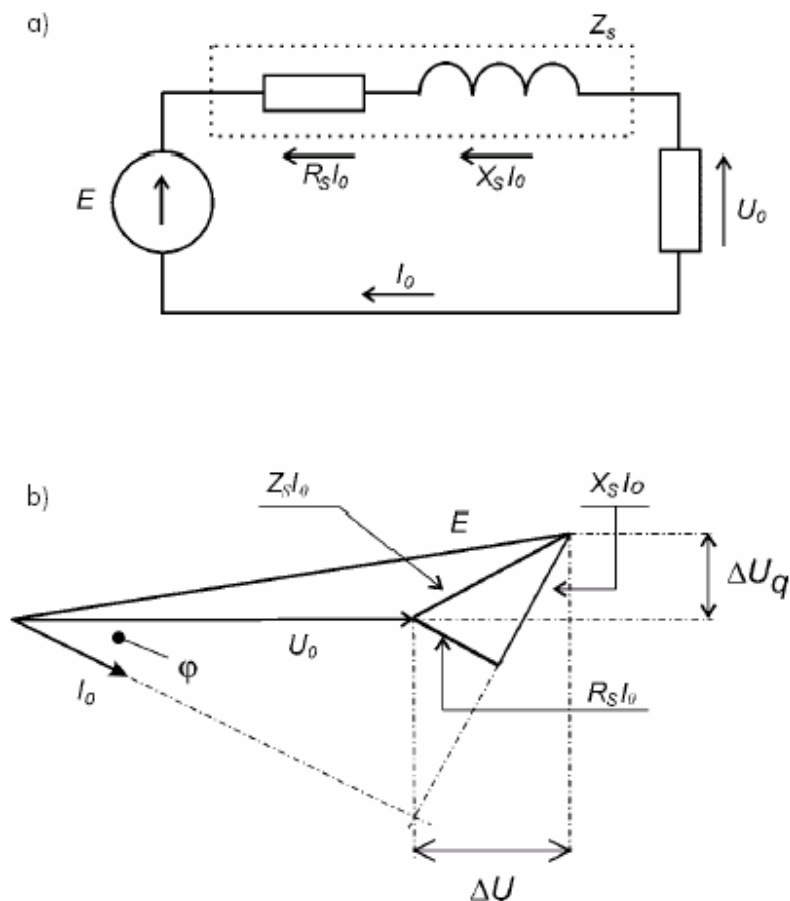
Flikr

Předpokládáme, že náhradní odpor vedení je poměrně malý ve srovnání s jeho reaktancí ($X_S > 10R_S$), což platí v praxi pro soustavy vn a vvn. Následující rovnice definuje poměrnou hodnotu změny napětí na koncové zátěži:

$$\frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{kz}} \quad (1a)$$

Podle daného případu se může změna napětí ΔU projevit jako pokles napětí s konstantní hodnotou v dlouhém časovém intervalu, nebo jako pomalé či rychlé změny napětí, nebo jako kolísání napětí. Kolísání napětí je definováno jako série změn efektivní hodnoty napětí nebo jako cyklické změny obálky křivky napětí (viz obr. 3). Definované charakteristiky kolísání napětí jsou:

- amplituda změn napětí (rozdíl mezi maximální a minimální efektivní nebo špičkovou hodnotou, které se objeví během rušení)
- počet napěťových změn během definované časové jednotky
- následný efekt (jako např. flikr) napěťových změn spojených s rušením.



Obr. 2 - Jednofázový náhradní obvod napájecí sítě (a)
a fázorový diagram pro R-L zátěž $E \geq U_0$ (b)

Zdroje kolísání napětí

Dle rovnice (1a) je možno odvodit, že primární příčinou změn napětí je časová změna jalového výkonu na proměnlivé zátěži. Takové zátěže jsou obloukové pece, pohony válcovacích stolic, navíječky, atp. – obecně jsou to zátěže s velkým počtem změn výkonu při respektování zkratového výkonu v bodě připojení zátěže.

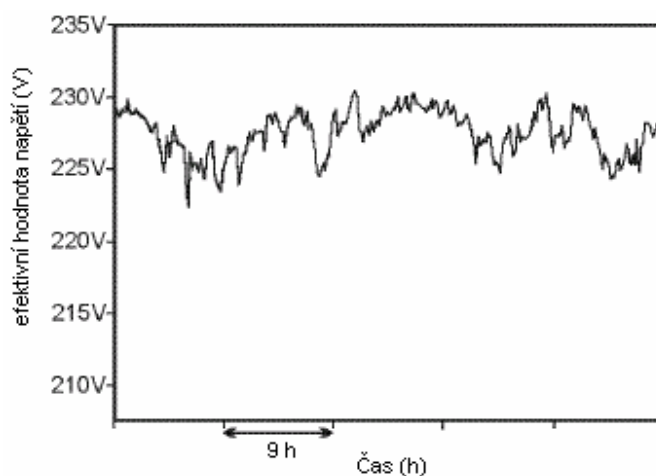
Je důležité poznamenat, že malé výkonové zátěže jako např. rozběh indukčních motorů, svářečky (Obr. 5), ohřívače vody, regulátory výkonu, elektrické pily a kladiva, pumpy a kompresory, jeřáby, výtahy atp. mohou být původci flikru.

Jinými případy jsou spínání kompenzačních kondenzátorů a přepínání transformátorových odboček, které mohou změnit induktivní složku náhradní impedance.

Podobný efekt mohou mít změny v generování výkonu, například větrné elektrárny mohou mít tento efekt. V některých případech mohou být kolísání napětí způsobena nízkofrekvenčními napětovými mezipřeharmonickými.

Účinky kolísání napětí

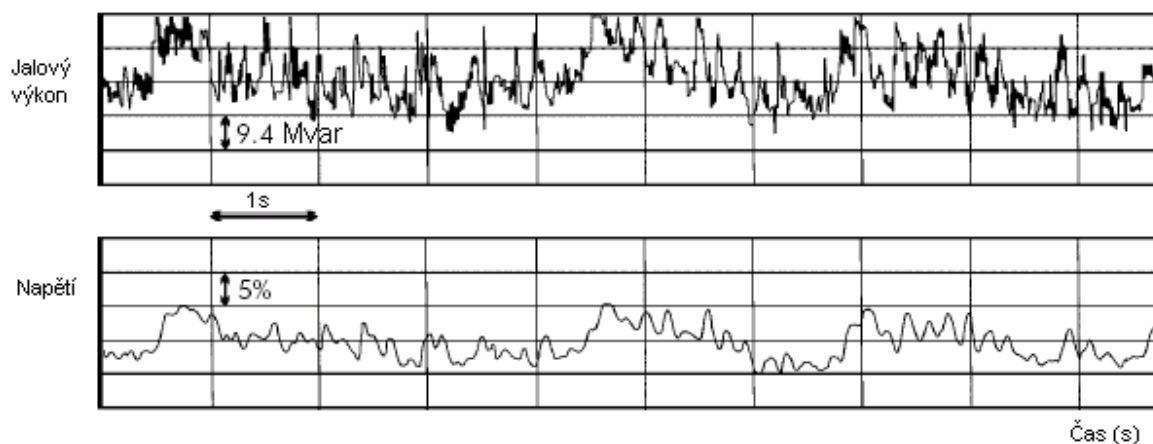
Kolísání napětí v energetických systémech způsobují škodlivé technické efekty, které vedou k výpadkům ve výrobních procesech s významnými náklady. Bohužel jsou velmi důležité i fyziologické efekty flikru, protože působí ergonomicky na výrobní prostředí, způsobují provozní chyby a snižují úroveň koncentrace.



Obr. 3 - Příklad kolísání efektivní hodnoty napětí

Navíc nesprávný provoz stykačů a relé mohou způsobit různá narušení ve výrobním procesu. Ilustrační případy nepříznivých efektů kolísání napětí budou uvedeny níže.

Flikr



Obr. 4 - Změny jalového výkonu a následné kolísání napětí v bodě připojení obloukové pece

Elektrické stroje

Kolísání napětí na svorkách indukčního motoru působí změny otáček a skluzu, čímž následně působí na výrobní proces. V nejhorším případě mohou vést k nadměrným vibracím, redukci mechanické pevnosti a ke zkrácení doby životnosti.

Kolísání napětí na svorkách synchronních strojů a generátorů vedou k nárůstu kmitání a předčasnému opotřebení rotoru; způsobují také změny otáček a zvýšení ztrát.

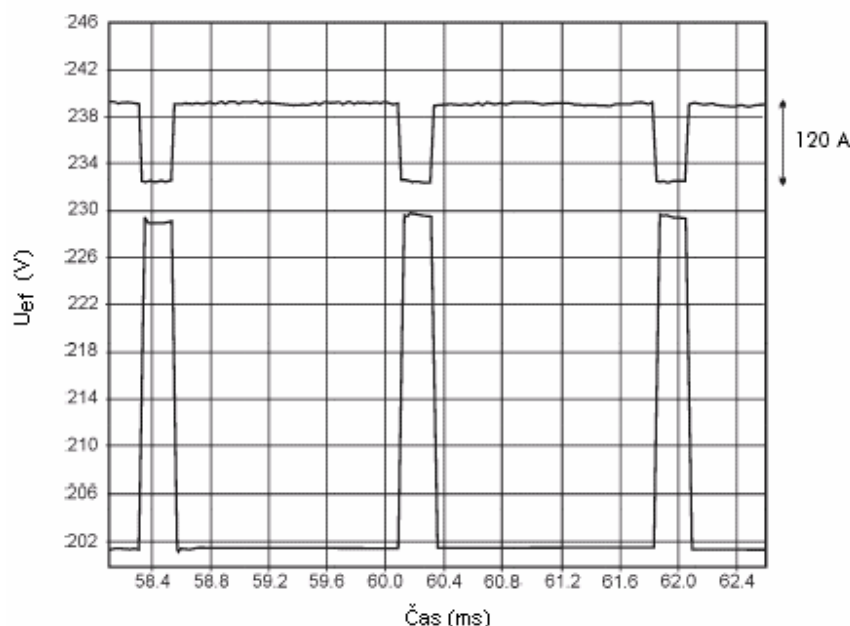
Statické usměrňovače

Obvyklý efekt kolísání napětí u fázově řízených usměrňovačů s řízením parametrů na stejnosměrné straně je redukce účinníku a generování necharakteristických harmonických a interharmonických. Při brzdění pohonu v invertorovém provozu může efekt kolísání napětí vést k poruchám komutace a následným poškozením prvků systému.

Zařízení pro elektrolýzu

Doba životnosti a provozní účinnost zařízení pro elektrolýzu mohou být sníženy vlivem kolísání napětí. Části napájecího vedení pro vysoké proudy mohou být významně degradovány, čímž narostou náklady na údržbu a/nebo náklady na opravy.

Flikr



Obr. 5 - Kolísání napětí v napájecí síti během svařování

Zařízení na elektrický ohřev

Provozní účinnost všech zařízení na elektrický ohřev je snížena při významné úrovni kolísání napětí, např. oblouková pec bude vyžadovat delší dobu tavení.

Světelné zdroje

Jakékoliv změny amplitudy napájecího napětí vedou ke změnám světelného toku světelného zdroje. Tento jev je znám jako flikr, což je subjektivní vizuální dojem při nestabilním světelném toku, jehož jas nebo spektrální rozdělení se mění v čase.

Žárovky jsou zvláště citlivé na změny v napájecím napětí, jejich světelný tok Φ je úměrný přiloženému napětí podle vztahu $\Phi \sim U^y$, kde exponent y se typicky mění mezi 3,1 a 3,7 (Pro žárovky je exponent typicky menší – cca 1,8).

Obr. 6 ilustruje změny světelného toku žárovky 60 W, 230 V vlivem kolísání napětí napájecího napětí. Flikr, který je generován významně narušuje vidění a obecně způsobuje nepohodlí a únavu. Fyziologie tohoto jevu je komplexní. Obecně lze shrnout, že flikr ovlivňuje proces vidění a reakce lidského mozku. Blikající světelné zdroje mohou vytvářet nepohodlí a zhoršení kvality práce – v některých případech mohou způsobit nehody na pracovišti.

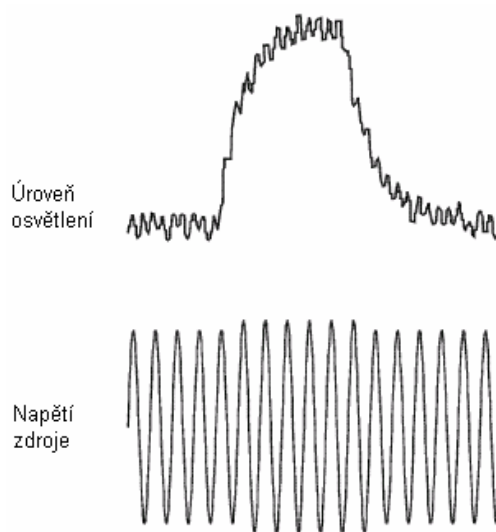
Měření flikru

Měření kolísání napětí je vyžadováno proto, aby se určila emisní úroveň zátěže pro srovnání s mezními hodnotami danými EMC normami.

Měření flikru je prováděno ze dvou důvodů. První důvod je určení kvality napájení, tj. srovnání existující úrovně flikru v měřeném místě s doporučeními dle norem. Druhým důvodem je odhad emisních úrovní při návrhu zařízení před jejich uvedením na trh, tj. typové testy z důvodů certifikace.

Činitele kolísání napětí

Donedávna bylo kolísání napětí v energetických systémech nebo na svorkách zátěže charakterizováno činiteli, které byly vztaženy na hodnoty mezi dvěma špičkovými efektivními hodnotami změn napětí v energetickém systému. Energie kolísání napětí a jejich výkonové spektrum, zvané energetické spektrum kolísání napětí, i jejich trvání byly brány v úvahu při hodnocení kolísání napětí. V současné době jsou základními parametry pro hodnocení kolísání napětí krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} a dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} . Tyto parametry přiřazují efekt kolísání napětí na osvětlení a jejich vliv na člověka.



Obr. 6 - Vliv změn napětí na světelný tok žárovky [1]

Výzkum procesu vizuálního vnímání má historii dlouhou přes čtyřicet let. V počátcích se skládal z testů prováděných na vybrané skupině osob s použitím různých světelných zdrojů a různých průběhů změn napětí. Tímto způsobem byly stanoveny křivky vnímavosti a závažnost flikru. Tyto křivky prezentují závislost hodnot sinusového a pravoúhlého kolísání napětí (osa y) a frekvence (osa x). Oblast nad křivkou definuje kolísání napětí která produkují pozorovatelný, neakceptovatelný flikr, zatím co oblast pod křivkou definuje akceptovatelnou úroveň flikru.

Účast fyziologů a psychologů na těchto experimentech umožnila rozvoj zdokonalených matematických modelů pro neuropsychologický proces. Experimenty De Langea nabídly první příležitost pro stanovení tezí o podobnosti mezi citlivostí lidského oka na světelný popud a frekvenční charakteristikou elektrického analogového signálu. Další rozsáhlé studie Kellyho vzaly v úvahu nejen amplitudy změn, ale i různou úroveň adaptace oka na průměrný jas. Významným příspěvkem v této oblasti byly práce Rashbasse, Koenderinka a Van Dooma [1, 2]. Jejich výzkumné práce vedly k vývoji UIE flikrmetru, který využívá jako vstupní signál kolísání napětí místo změn světelného toku. Toto vyžaduje aby byl v přístroji modelován fyziologický proces vizuálního vnímání na základě prací Rashbasse a Koederika. Jejich práce demonstrují že odezva lidského oka má charakteristiku širokopásmového filtru mezi 0,5 Hz a 35 Hz s maximální citlivostí na světelný tok na frekvenci okolo 8-9 Hz. Pro žárovky jsou na této frekvenci detekovány hodnoty kolísání napětí o střední hodnotě 0,3%. Fyziologické efekty závisí na amplitudě změn světelného toku, frekvenčním spektru a na době trvání rušení. Odezva mozku na světelný stimul má setrvačnost s časovou konstantou asi 300 ms, což znamená, že pomalé změny světelného toku jsou sledovány a rychlé změny jsou „vyhlazeny“. Například dvě krátké změny světelného toku, které se objeví v době do 300 ms, jsou vnímány jako jedna změna. Krátké změny světelného toku po delší pauze jsou více nepřijemné. Jev flikru se projevuje více na periférii vizuálního pole, než

Flikr

v oblasti na kterou je zaměřena pozornost pozorovatele. Kolísání napětí produkující vnímatelný flikr je nezávislé na typu napájecího napětí (stejnoseměrné nebo střídavé) světelného zdroje.

Koncepce odhadu vlivu kolísání napětí na uživatelský komfort

Jev flikru u světelných zdrojů byl popsán již v počátcích využívání výkonových distribučních systémů. Nicméně s růstem počtu zákazníků a jejich instalovaného výkonu tento jev rychle narůstá. V zemích, kde flikr byl značný problém, byla provedena šetření pro stanovení míry rozsahu a jeho popis. V počátečním kroku bylo provedeno jednoduché pozorování změn světelného toku. Následovně byl vytvořen model lidské reakce (únavy) na změny světelného toku, což vedlo k návrhu prvních přístrojů pro měření závažnosti flikru u světelných zdrojů. Tyto přístroje obsahovaly normální žárovku (60 W, 230 V), senzor světelného toku a analogový model (s využitím operačních zesilovačů) pro simulaci lidské reakce. Konec osmdesátých let přinesl systematictější a organizovanější výzkum pro odhad závažnosti flikru, který byl většinou koordinován International Union for Electrotechnology (UIE).

Byl přijat normalizovaný model přístroje pro stanovení závažnosti flikru, tj. krátkodobé míra vjemu flikru P_{st} a dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} . Je to zcela elektronický přístroj, který modeluje chování světelného zdroje s wolframovým vláknem a lidskou odezvou. Princip tohoto přístroje je popsán v jiné části Průvodce č. 5.2.3.

Omezení kolísání napětí v energetických systémech

Účinek kolísání napětí nejvíce závisí na jeho amplitudě, je ovlivňován charakteristikami energetického systému a počtem jeho výskytu, což je dáno technologickým procesem, tj. typem zátěže a charakterem jejího provozu. Obvykle jsou způsoby omezení zaměřeny na možnosti omezení amplitudy kolísání napětí, přičemž technologický proces je omezen zřídka. Příklady těchto metod jsou následující:

- obloukové pece – připojení sériového reaktoru (nebo transduktory), řádná funkce systému řízení elektrod, úprava a přehřev vsázky, atp., tyto metody jsou blízké metalurgickým inženýrům
- svařovna – napájení z vyhrazeného transformátoru, připojení jednofázových svářeček na různé fáze napájecí sítě pro symetrizaci zátěže mezi fázemi, připojení jednofázových svářeček na jiné fáze napájecí sítě než jsou napájeny osvětlovací soustavy
- motory s regulací otáček – použití softstartu

Jak vyplývá z rovnice (1a) amplituda kolísání napětí může být omezena dvojím způsobem:

- **zvýšení zkratového výkonu** (s ohledem na výkon zátěže) v bodě připojení kolísavé zátěže. Prakticky to znamená:
 - připojení zátěže na vyšší jmenovité napětí
 - napájení zátěží této kategorie z vyhrazených vedení
 - oddělení napájení kolísavé zátěže a stabilní zátěže z oddělených vinutí trojfázového transformátoru
 - zvýšení jmenovitého výkonu transformátorů napájejících kolísavou zátěž
 - připojení sériových kondenzátorů
- **omezení změn jalového výkonu** v napájecí síti připojením dynamických kompenzátorů nebo stabilizátorů

Dynamické napěťové stabilizátory

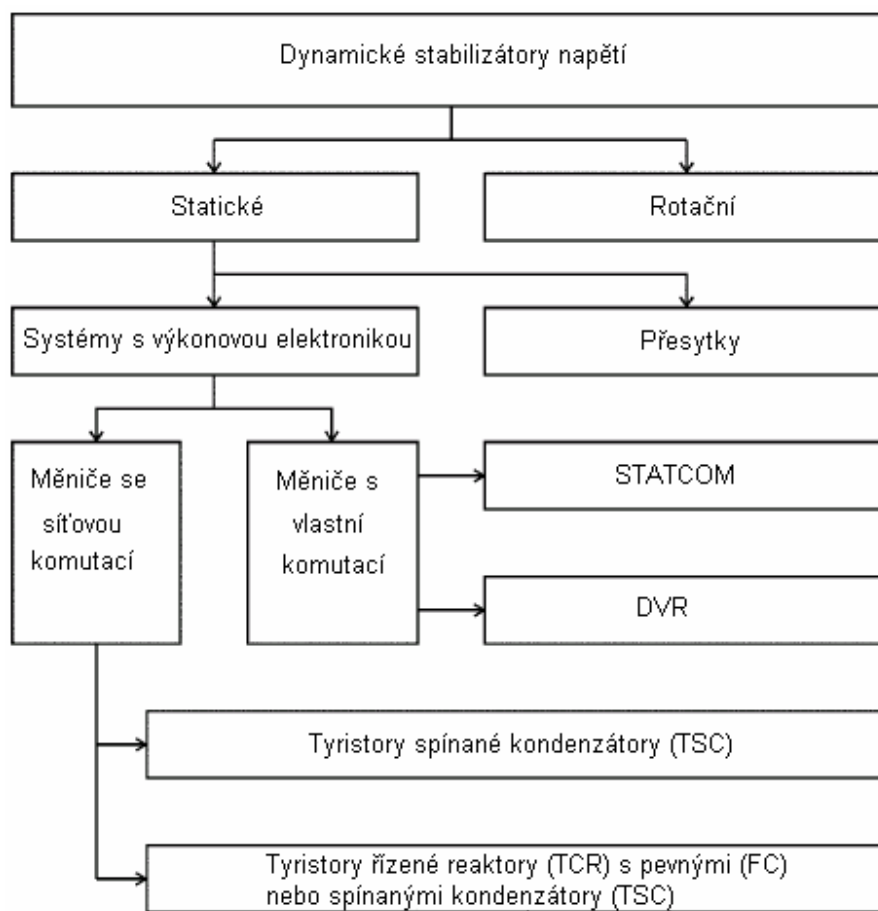
Dynamické napěťové stabilizátory jsou technicky vhodná řešení pro odstranění nebo omezení změn napětí. Jejich účinnost závisí zejména na jejich jmenovitém výkonu a rychlosti reakce. Při odběru jalové energie na základní frekvenci vznikají poklesy napětí na impedanci napájecí sítě. Podle toho, zda je jalový výkon induktivní nebo kapacitní, může se efektivní hodnota napětí ve společném napájecím bodě (PCC) zvýšit nebo snížit. Obr. 7 popisuje klasifikaci různých řešení pro dynamické napěťové

stabilizátory. Jsou to obvykle trojfázové systémy s vysokým jmenovitým výkonem, které jsou navrhovány pro stabilizaci napětí v hlavním bodě distribuční sítě nebo pro specifickou skupinu zátěží ve společném napájecím bodě (PCC). Jako tyto systémy jsou často použity dynamické kompenzátory jalového výkonu na základní frekvenci, pojmy „stabilizátor“ a „kompenzátor“ budou užívány střídavě.

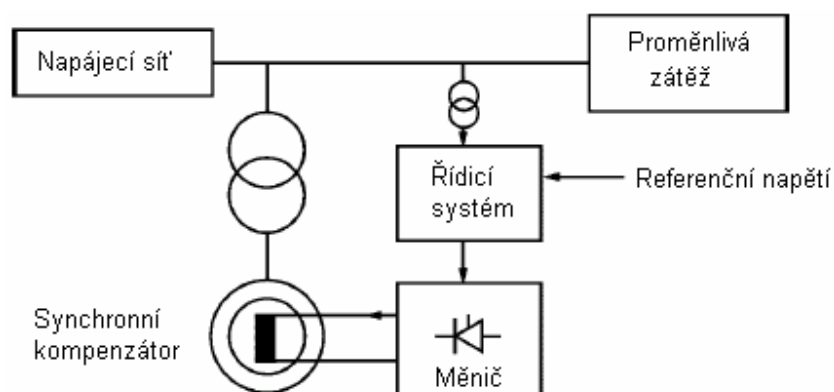
Synchronní stroje

Synchronní stroje jsou tradiční zdroje jalového výkonu na základní frekvenci, které mohou pracovat v induktivním nebo kapacitním režimu s plynulou dodávkou. Mohou být také zdroji mechanické energie, pokud jsou provozovány jako kompenzátory nebo motory.

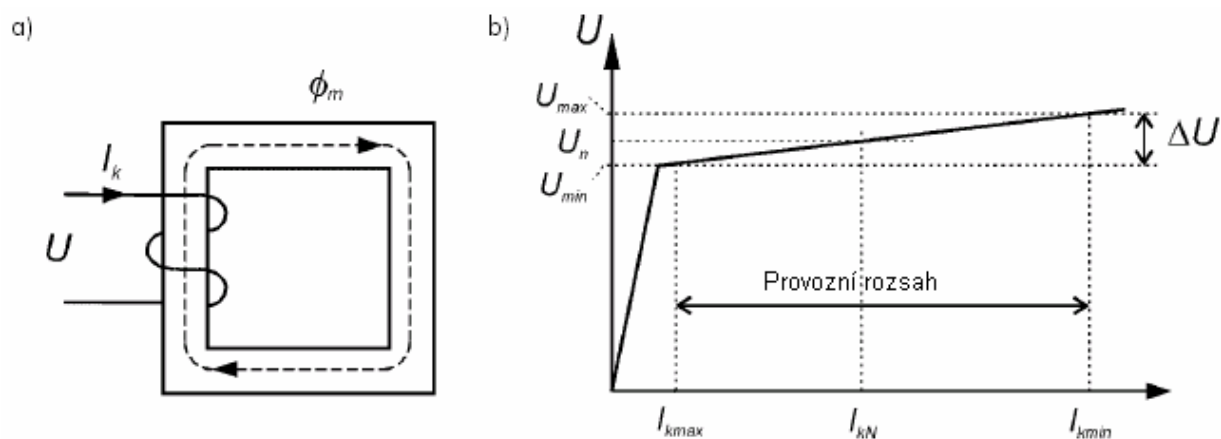
Použití synchronních strojů bez regulace budícího proudu vyžaduje pro dosažení úrovně změn napětí v normovaných mezích, aby jejich jmenovitý výkon byl několikrát větší, než výkon stabilizované zátěže. Pokud to vyžadují dynamické parametry procesu stabilizace, je nutno aby synchronní stroje pracovaly v uzavřené regulační smyčce s rychlým řízením budícího proudu (Obr. 8). Takové řešení umožňuje rychlý časový nárůst jalového proudu stroje.



Obr. 7 - Klasifikace dynamických stabilizátorů napětí



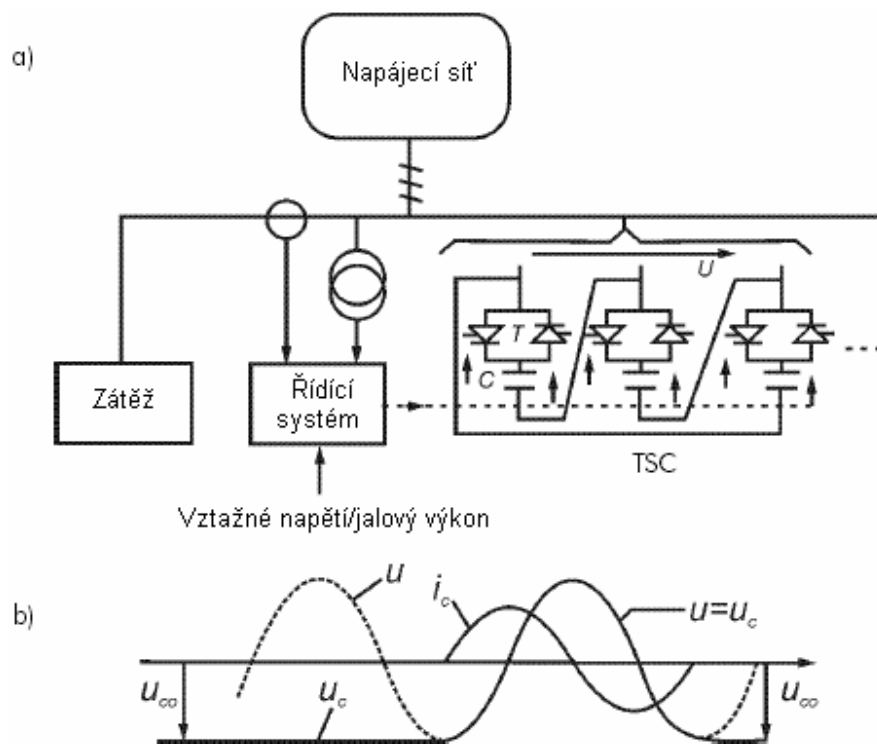
Obr.8 -Řízení stabilizace napětí s užitím synchronních kompenzátorů



Schematický obvod (a)

magnetická charakteristika jádra (b)

Obr. 9 Princip činnosti reaktoru s vlastním sycením



Obr. 10 - Schéma kompenzátoru s tyristory spínanými kondenzátory (TSC)(a), průběhy proudu a napětí při spínání kondenzátoru (b)

Statické kompenzátory

Statické kompenzátory (jako např. STATCOM) používají kapacitní a/nebo induktivní pasivní prvky, které jsou spínány, fázově řízeny nebo kombinovány s řízeným sycením jádra. Dodávají požadovaný stabilizační jalový proud buď v diskrétních krocích, nebo častěji plynule. Statické kompenzátory jsou uvažovány jako nejvýhodnější řešení pro zvýšení kvality elektrické energie a to jak z technického, tak i ekonomického hlediska.

Kompenzátory s přesytkami

Je mnoho zařízení která používají sycení magnetického obvodu pro stabilizaci napětí. Prakticky jsou využívány dvě řešení: reaktor s vlastním sycením (SR) nebo reaktor se stejnosměrným řídicím obvodem

Reaktor s vlastním sycením (SR)

To byl jeden z prvních statických kompenzátorů využívaných průmyslově pro omezení kolísání napětí. Reaktor je navržen tak, že jeho magnetizační charakteristika má definované „koleno“ s malým kladným sklonem v širokém rozsahu proudu nad bodem nasycení (Obr. 9). Reaktor je navržen tak, že v minimálním rozsahu napětí je jádro pod saturací a magnetizační proud je jako u transformátoru naprázdno. V tomto stavu nemá prakticky vliv na amplitudu napětí. Při jmenovitém napětí je reaktor nasycen, takže malé změny v napájecím napětí vedou k velkým změnám proudu. Kompenzátor je obvykle připojen k napájecí síti přímo bez snížovacího transformátoru.

Reaktor se stejnosměrným řídicím obvodem

Stabilizátor je často provozován s paralelními kondenzátory, které tvoří filtr pro harmonické vyšších řádů. V principu pracuje jako transduktor (předmagnetizovaná regulační tlumivka), kde je amplituda primárního proudu řízena nastavením stejnosměrného magnetizačního proudu. Řídicí stejnosměrné vinutí je obvykle napájeno z plně řízeného tyristorového měniče, jehož výkon normálně nepřekročí 1% stabilizovaného jmenovitého výkonu. Toto řešení umožní zesílení přechodného proudu a tím i rychlejší provoz systému.

Při nastavení magnetizačního proudu se primární proud reaktoru mění prakticky v celém rozsahu od nuly (nenasycené jádro) do maximální hodnoty (nasycené jádro). Značnou nevýhodou tohoto řešení je generování harmonických proudů vyšších řádů. V trojfázovém provedení umožní velký počet drážek a vhodné propojení vinutí prakticky eliminovat proudové harmonické, ale na úkor pomalejší odezvy systému. Použití tří jednofázových stabilizátorů umožňuje korekci nesymetrie.

Tyristory spínané kondenzátory (TSC)

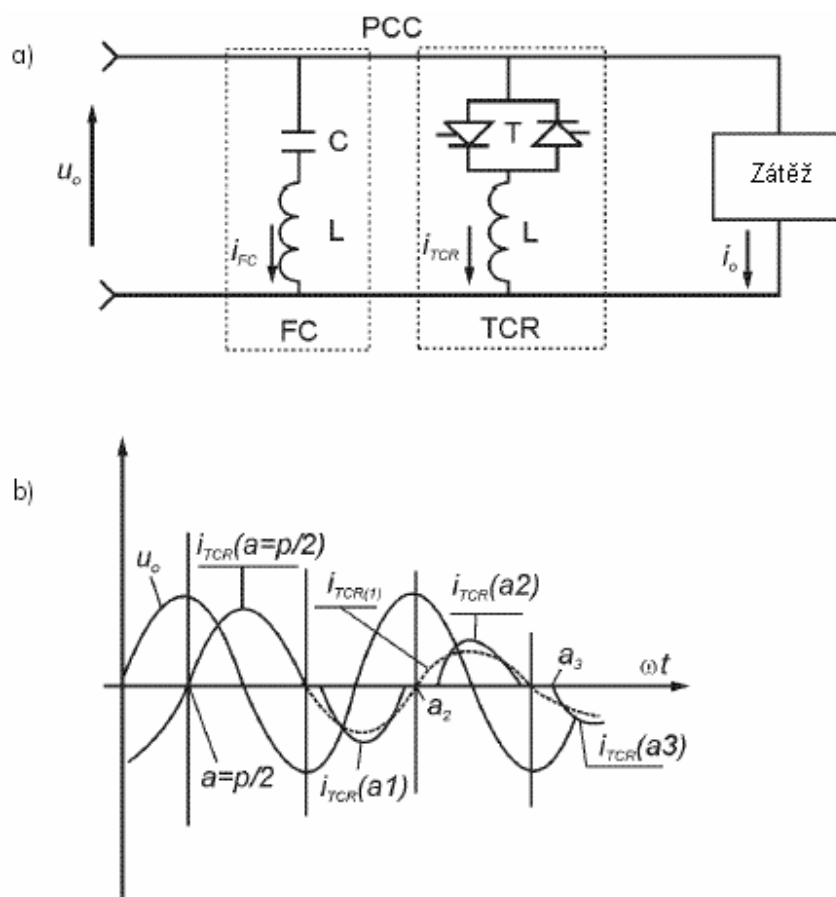
V tomto řešení jsou sekce kondenzátorových baterií připojeny na sdružená napětí a spínány tyristorovými spínači (Obr. 10). Hodnota ekvivalentní susceptance kompenzátoru se diskrétně mění v závislosti na počtu aktivních sekcí. Při použití vhodně velkého počtu malých sekcí může být dosaženo požadované hodnoty změny susceptance pro jeden krok. Synchronizací spínání a počátečním přednabíjením kondenzátorů se vyhneme nadproudům a přepětím, které se normálně objevují při spínání kondenzátorů. Doba odezvy pro symetrický provoz nepřekročí 20 ms.

Kompenzátor s tyristory řízeným reaktorem (TCR) a pevnými kondenzátory (FC)

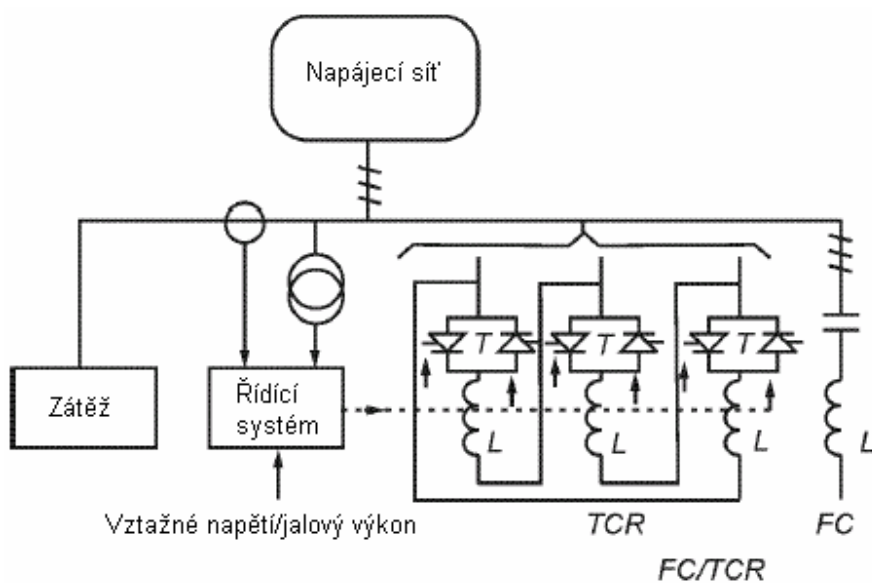
Toto řešení je příkladem nepřímé kompenzace. V závislosti na požadované funkci – stabilizátor napětí nebo kompenzátor jalového výkonu – je řízena hodnota dvou složek proudu (obr. 11):

- základní harmonická proudu kondenzátorem, kondenzátor je provozován jako filtr nebo jako spínaný kondenzátor (TCR/TSC)
- základní harmonická proudu tlumivkou, která je řízená tyristorovým spínačem.)

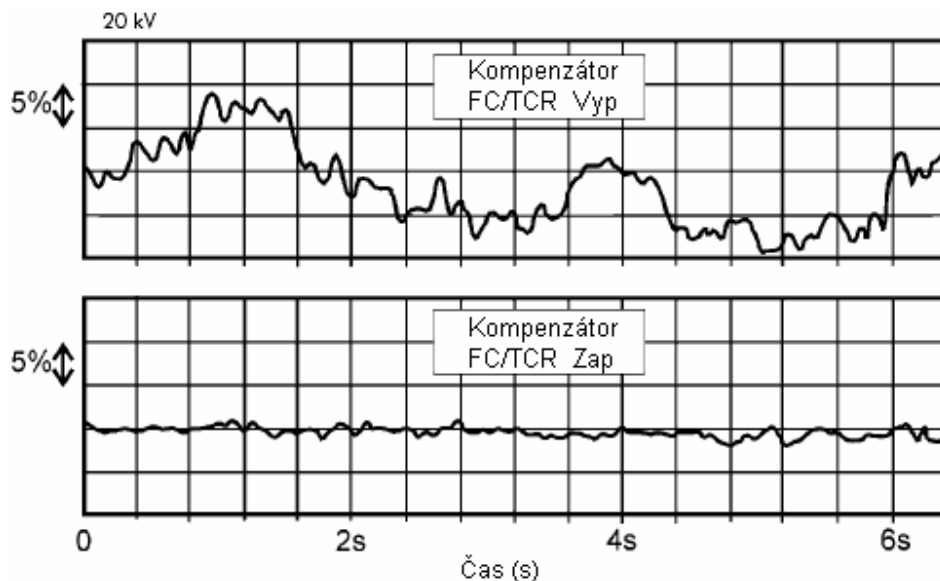
Flikr



Obr. 11 - Schéma jednofázového kompenzátoru s tyristory řízeným reaktorem a pevnými kondenzátory FC/TCR (a), průběh proudu tyristory řízeným reaktorem (TCR)



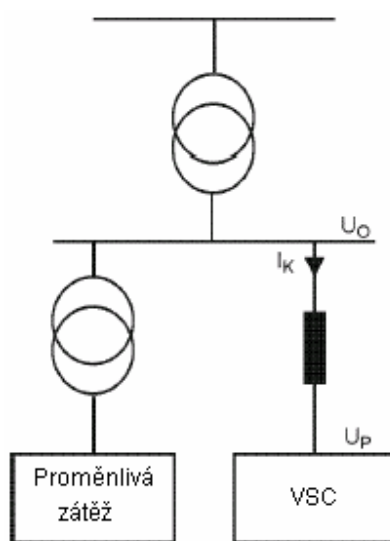
Obr. 12 - Trojfázový kompenzátor s tyristory řízeným reaktorem a pevnými kondenzátory FC/TCR



Obr. 13 - Příklad efektu provozu kompenzátoru s tyristory řízeným reaktorem a pevnými kondenzátory FC/TCR

V klasickém provedení je kompenzátor v trojfázové konfiguraci (obr. 12), tlumivky jsou zapojeny do trojúhelníka s paralelními filtry a z pohledu napájecí sítě se jeví jako mezifázově připojené susceptance. Při změně řídicího úhlu se mění plynule a vzájemně nezávisle hodnoty susceptance. Funkce tlumivky může být charakterizována pomocí ekvivalentní reaktance transformátoru s velkým napětím nakrátko.

Příklad efektu provozu kompenzátoru je ukázán na obr. 13.



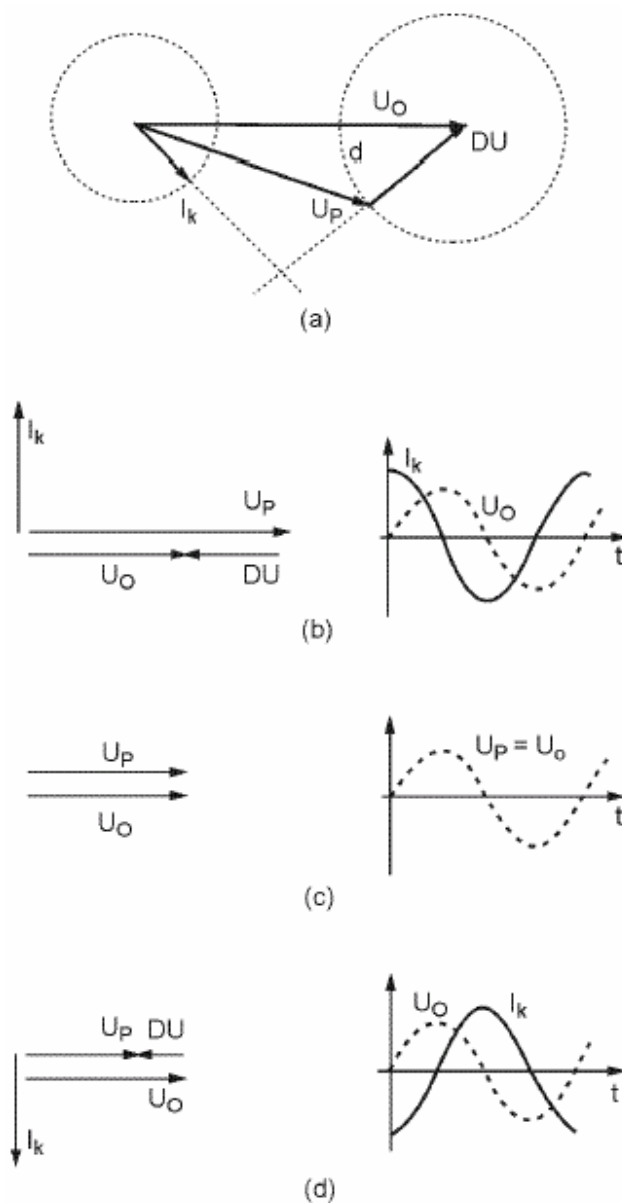
Obr. 14 - Schéma kompenzátoru s napěťovým zdrojem (VSC) připojeného k napájecí síti

Zdroje napětí s měničem s vlastní komutací a zdroje jalového proudu nebo výkonu

Kompensátor obsahuje zdroj napětí s měničem (VSC). Spínací stavy polovodičových zařízení (pulsně-šířková modulace) určují hodnotu a charakter jalového výkonu (induktivní nebo kapacitní) – obr. 15

Řada různých praktických řešení je popsána v literatuře. Schopnosti takových kompensátorů jsou srovnatelné se synchronními stroji, ale jsou mnohem rychlejší.

Nejznámější používaný kompensátor je STATCOM.



Obr. 15 -Průběhy proudu a napětí STATCOMu a fázorové diagramy pro různé fáze mezi U_0 a U_P

STATCOM je nová generace statických kompensátorů, které využívají polovodičová zařízení s nucenou komutací. Jejich název – Statický synchronní kompensátor (Static Synchronous Compensator) – je odvozen od principu činnosti, která je analogická s provozem synchronního kompensátoru. Základní částí kompensátoru je řízený usměrňovač, který je připojen k napájecí síti přes indukčnost, obvykle rozptylovou reaktanci transformátoru. Jestliže je napětí měniče nižší, než napětí napájecí sítě,

Flikr

kompenzátor je indukční zátěží, naopak když je napětí měniče vyšší, než napětí napájecí sítě, pak kompenzátor dodává jalový výkon do sítě, tedy chová se jako kapacitní zátěž – Obr. 15.

Závěry

Flikr je subjektivní jev. Následkem toho je velmi obtížné určit přímé náklady tohoto jevu. Tento jev ovlivňuje základní kvalitu obsluhy, tj. schopnost zajistit osvětlení, které je stálé a nepřerušované. Určitě může ovlivnit produktivitu v úřadech a v továrnách, ale náklady spojené s flikrem jsou obvykle odvozeny od nákladů na zmírnění flikru, když jsou stížnosti na flikr významné. Rozvoj výkonové elektroniky, zejména ve výrobě polovodičových zařízení umožňuje praktické realizace systémů dynamické stabilizace napětí se stále většími výkony, přičemž investice a provozní náklady klesají. Dosažitelnost těchto zařízení spolu se schopností realizovat algoritmus komplexního řízení dovoluje realizovat různé funkce, včetně dynamické stabilizace napětí.

Literatura

[1] *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations, Part 5, Flicker and Voltage Fluctuations, 'Power*

Quality' Working Group WG2, 2000.

[2] *UIE Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations. Part 1: General Introduction to Electromagnetic*

Compatibility (EMC), Types of Disturbances and Relevant Standards, 1994.

Dodatek

Číslo	Číslo normy	Název
1.	IEC 61000-2-2: 2002	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2-2: Prostředí - Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
2.	IEC 1000-3-5: 1994	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 3: Meze - Oddíl 5: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení s jmenovitým proudem větším než 16 A
3.	IEC 1000-3-7: 1996	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3. Limits. Section 7. Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems. (do ČSN nezavedena)
4.	IEC 61000-4-14: 2002	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-14: Zkušební a měřicí technika - Kolísání napětí - Zkouška odolnosti
5.	IEC 60868: 1986	Flikrmetr – Specifikace funkce a návrhu
6.	IEC 61000-4-15: 2003	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4: Zkušební a měřicí technika - Oddíl 15: Měřič blikání - Specifikace funkce a dimenzování
7.	IEC 61000-4-30: 2003	Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie

Tab. AI - Normy IEC týkající se kolísání napětí

Reference & Founding* Partners

European Copper Institute* (ECI) <i>www.eurocopper.org</i>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <i>www.etsii.upm.es</i>	LEM Instruments <i>www.lem.com</i>
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) <i>www.agh.edu.pl</i>	Fluke Europe <i>www.fluke.com</i>	MGE UPS Systems <i>www.mgeups.com</i>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) <i>www.citcea.upc.edu</i>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <i>www.htw-saarland.de</i>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <i>www.uni-magdeburg.de</i>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <i>www.ceiuni.it</i>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <i>www.pih.be</i>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <i>www.miedz.org.pl</i>
Copper Benelux* <i>www.copperbenelux.org</i>	International Union for Electricity Applications (UIE) <i>www.uiie.org</i>	Università di Bergamo* <i>www.unibg.it</i>
Copper Development Association* (CDA UK) <i>www.cda.org.uk</i>	ISR - Universidade de Coimbra <i>www.isr.uc.pt</i>	University of Bath <i>www.bath.ac.uk</i>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <i>www.kupferinstitut.de</i>	Istituto Italiano del Rame* (IIR) <i>www.iir.it</i>	The University of Manchester <i>www.manchester.ac.uk</i>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <i>www.ecd.it</i>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <i>www.kuleuven.ac.be</i>	Wroclaw University of Technology* <i>www.pwr.wroc.pl</i>
EPRI Solutions Inc <i>www.epri.com/eprisolutions</i>	Laborelec <i>www.laborelec.com</i>	

Editorial Board

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	ERA Technology	stephanie.horton@era.co.uk
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik-Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl
Dr Ahmed Zobia	Cairo University	azmailinglist@link.net

	<p><i>Prof Zbigniew Hanzelka</i></p>  <p>AGH-UST Al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków Poland</p> <p>Tel: (012) 617 28 78 Fax: (012) 633 22 84 Email: hanzel@uci.agh.edu.pl Web: www.agh.edu.pl</p>
	<p><i>Dr eng Andrzej Bień</i></p>  <p>AGH-UST Al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków Poland</p> <p>Tel: (012) 617 28 73 Fax: (012) 633 22 84 Email: abien@uci.agh.edu.pl Web: www.agh.edu.pl</p>



HUNGARIAN COPPER PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper
Promotion Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Magársko
Tel.: 00 361 266 4810
Tel.: 00 361 266 4804
E-mail: hcpc@euroweb.hu
Website: www.hcpcinfo.org



VŠB-TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597324279
Tel.: +420 596919597
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/~san50/



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B - 1150 Brussels
Belgium
Tel.: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org