

Tyristorové spínací jednotky KATKA a hlavní problémy při jejich použití v kompenzačních systémech

Milan BLEHA, KMB systems, s.r.o.

Firma KMB systems, s.r.o., tradiční výrobce regulátorů jalového výkonu, uvedla v loňském roce na trh tyristorové spínací jednotky KATKA pro rychlé kompenzační systémy. Článek popisuje jednak vlastní jednotky, jednak uvádí přehled základních problémů a poznatků, které se při jejich nasazení objevily. Uživatelům, kteří plánují začít instalovat rychlé kompenzační systémy, tak poskytne úvod do problematiky a může jim pomoci vyvarovat se počátečních chyb.

Tyristorové spínací jednotky KATKA

Vývoj tyristorových spínacích jednotek byl dalším logickým krokem pro doplnění sortimentu prvků pro kompenzaci účinníku. Cílem bylo navrhnout jednoduché a spolehlivé spínače kompaktních rozměrů. To se podařilo zejména díky použití nových typů tyristorů firmy SEMIKRON v pouzdrů SEMITOP a nízkoprofilového chladiče.



Obr. 1 : Spínače Katka-20, Katka-80

Byly vyvinuty 2 jednotky, které se liší maximálním provozním proudem : KATKA-20 a KATKA-80. Obě tyto jednotky se dodávají v dvojfázovém (typ „D“) nebo trojfázovém („T“) provedení.

Samozřejmostí je přepětová a teplotní ochrana, která spínač odpojí při překročení mezní teploty chladiče.

Základní technické informace uvádí tabulka 1, další lze nalézt na www.kmb.cz.

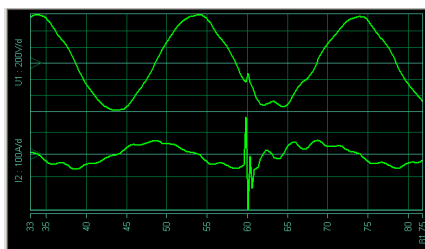
Tab. 1 : Hlavní technické parametry spínačů KATKA

Parametr	[]	Katka 20-D	Katka 20-T	Katka 80-D	Katka 80-T
Jmenovité napětí max.	V	440/250±10%	440/250±10%	440/250±10%	440/250±10%
Blokovací napětí max.	V	1600	1600	1600	1600
Spínaný proud max.	A	29	22	87	67
Pom. napětí (pro ventilátor)	V	-	-	230±10%	230±10%
Ovládací nap. / proud – DC	V/mA	24 / 10	24 / 10	24 / 10	24 / 10
Rozměry š x v x h	mm	122x192x117	122x192x117	122x245x157	122x245x157
Hmotnost	kg	2,05	2,15	3,35	3,45

Základní problémy při použití tyristorových spínačů v kompenzačních systémech

Dodržení technických parametrů spínačů

Spolehlivost tyristorů závisí zcela podstatně na dodržení mezních technických parametrů. Na rozdíl od kontaktních stykačů i malé překročení mezního blokovacího napětí, proudu nebo rychlosti jeho mezního povoleného nárůstu (dl/dt) může znamenat jeho okamžité zničení. Dvojnásob to platí v kompenzačních systémech, kde spínanou zátěž tvoří kondenzátor. Z obr. 2 je patrné, že i nepatrná odchylka od harmonického průběhu napětí může způsobit několikanásobné překročení mezních parametrů.



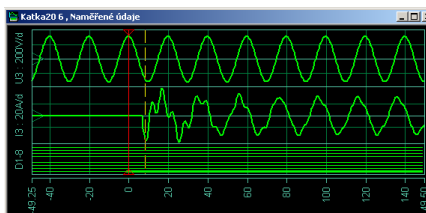
Obr. 2: Vliv zkreslení napětí na průběh proudu nechráněným kompenzačním kondenzátorem

V daném případě spínal nechráněný spínač KATKA-80 kompenzační stupeň 45 kvar. Stupeň byl tvořen třemi jednofázovými kondenzátory po 15 kvar, takže proud tyristorem byl za normálních podmínek přibližně 38 A. Náhlá porucha v napěťovém signálu však způsobila proudovou špičku o amplitudě přesahující 250 A – v tomto případě to tyristor vydržel, jednalo se však spíše o výjimek.

Kompenzační systémy s tyristorovými spínači by tedy měly být vždy zapojeny jako chráněné, tedy v kombinaci s ochrannými tlumivkami, které omezí amplitudu proudu a parametr dl/dt na povolené hodnoty. Nechráněné systémy se nedoporučuje provozovat ani v podmínkách, kde je harmonické zkreslení malé – nikdy nelze zaručit vznik ojedinělých poruch a výpadků napětí, které mohou být pro spínač osudné.

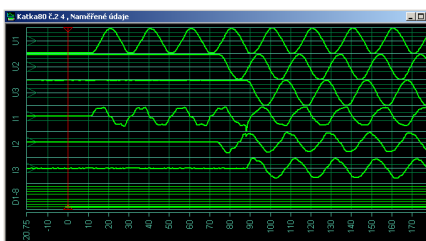
Vybíjení odpojených kondenzátorů

Hradicí tlumivka s kondenzátorem tvoří rezonanční obvod, nalaďený zpravidla na frekvenci mezi 3. a 5. harmonickou (obvykle 183 Hz). Průběh proudu kondenzátorem v takovémto zapojení je ovlivněn i vlastní rezonancí obvodu, což je patrné zejména při sepnutí (obr.3).



Obr. 3 : Sepnutí hrazeného kondenzátoru

Proud kondenzátorem není čistě sinusový, ale obsahuje namodulovanou složku rezonanční frekvence tohoto obvodu o jisté amplitudě. Napětí na kondenzátoru vlivem sériového rezonančního obvodu dosahuje vyšších hodnot než síťové napětí a při rozepnutí spínače může tedy zůstat kondenzátor nabit na tuto vyšší hodnotu. Jelikož tyristorové spínače jsou vybaveny obvodem, který povolí sepnutí tyristoru pouze pokud napětí na něm klesne na hodnotu blízkou nule, následný pokus o sepnutí může být proto neúspěšný.



Obr.4 : Sepnutí nedostatečně vybitého kondenzátoru

Takový případ je zobrazen na obr. 4. Spínač ve fázi L1 sepnul řádně, tedy v nejbližším okamžiku po příchodu budicího signálu, kdy síťové napětí dosáhlo napětí na kondenzátoru. Spínače v L2 a L3 však sepnuly s prodlevou 4-5 period.

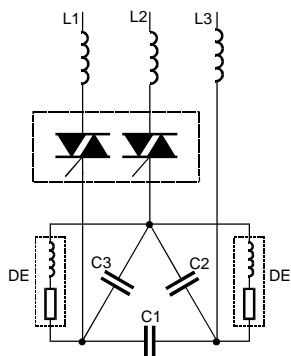
Takový případ může nastat nejen v důsledku rezonance, ale prostým poklesem napětí v síti v době mezi vypnutím a zapnutím kompenzačního stupně.

Vybíjecí odpory, standardně instalované v kondenzátorech z důvodu normou předepsaného snížení zbytkového napětí na bezpečnou hodnotu, nejsou pro potřebnou rychlost vybíjení v rychlých kompenzačních systémech dostačující a pro zabránění výše uvedeného jevu je třeba použít přídavné externí

odpory. V našich aplikacích se ukázaly jako vyhovující odpory o hodnotě 33 k Ω / 13 W.

Zapojení spínače

Nejjednodušší způsob zapojení tyristorového spínače je prostá záměna stykače za spínač, kdy tyristory připojují jednotlivé fáze trojfázového kondenzátoru. S výhodou se v takových zapojeních mohou používat spínače s pouze dvěma tyristory.



Obr.5 : Kompenzační stupeň s trojfázovým kondenzátorem

Takový kompenzační stupeň vychází rozměrově i cenově nejpříznivěji, má ale jednu nepříznivou vlastnost, kterou ilustruje obrázek 6. Je zde zobrazen průběh sdružených napětí přímo na kompenzačním kondenzátoru při vypnutí a následném zapnutí. Jakmile skončí budicí signál z regulátoru, nastane vypínací proces. Nejprve vypne tyristor ve fázi, ve které poklesne proud pod přídržnou hodnotu nejdříve – v obrázku je to fáze L2. Poté poklesne pod přídržnou hodnotu proud ve fázi L1 a vypne i druhý tyristor – tento okamžik nastane, když napětí U1 je maximální.

Kapacita C1 zůstane nabitá na špičkovou hodnotu sdruženého napětí – jelikož velikost tohoto napětí byla v okamžiku měření asi 435V, špičková hodnota byla $435 \times 1,4 = 615$ V. Napětí na zbývajících dvou kapacitách se během vypínacího procesu změní tak, že vždy na jedné z nich poklesne (v našem případě C2) a na druhé vzroste (C3). Nárůst napětí na kondenzátoru C3 dosahuje přibližně 1,35-násobku standardní maximální hodnoty, tedy v našem případě přes 800 V !

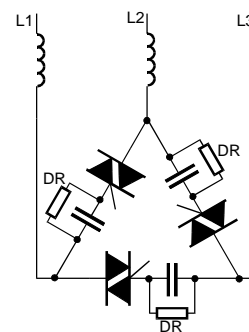
Na zobrazeném průběhu lze také vidět důsledek tohoto přebíjení : jelikož tyristorové spínače jsou vybaveny tzv. nulovým obvodem, spínač při obnově budicího signálu nesepe. Z grafu je patrné, že sepnul pouze tyristor ve fázi L2 - pouze na kapacitě C2 se objevilo plné sdružené napětí. Tyristor ve fázi L1 sepne teprve když napětí na přebíjetém kondenzátoru C3 klesne na běžnou špičkovou hodnotu, tedy v našem případě na hodnotu asi 600 V.

Aby bylo možné spínač řádně sepnout, je nutné přebíjetý kondenzátor vybití přibližně o 200V. V uvedeném případě byl použit kompenzační kondenzátor 20 kvar. Celková energie jedné z jeho vnitřních kapacit, nabité na 800 V, je přibližně 43J, k vybití o 200V je třeba snížit energii o cca 19 J. Z toho je patrné, že pokud je třeba takovýto kompenzační stupeň spínat s četností alespoň jedenkrát za sekundu, je nutné instalovat vybíjecí odpory o ztrátovém výkonu několika desítek W. Aby nebyly vybíjecí odpory přetěžovány v průběhu sepnutí kondenzátoru, doplňují se sériově připojenou tlumivkou – takto vzniklý vybíjecí člen je na obr. 5 označen DE. Maximální zatížení vybíjecích odporů je třeba spočítat a odpovídajícím způsobem nastavit dobu blokování znovuzapnutí v regulátoru, aby nebyly odpory přetěžovány příliš častým spínáním (to je také důvod, proč i regulátory pro kompenzaci s tyristorovými stupni mají tuto dobu nastavitelnou). Ve výše uvedené aplikaci byly použity 2 vybíjecí členy, každý složený kombinací 2 zářivkových tlumivek a odporu 330 Ω / 40 W.

Dalším možné zapojení je uvedeno na obr. 7. V tomto zapojení jsou použity místo jednoho trojfázového kondenzátoru tři jednofázové. K přebíjení dle obr. 6 zde nedochází, je třeba zapojit pouze přídatné vybíjecí odpory pro eliminaci vlivu hradicích tlumivek a kolísání síťového napětí.

Zapojení podle obr. 7 má oproti zapojení dle obr.5 ještě další důležitou vlastnost : při spínání stejného kompenzačního výkonu je proud protékající tyristorem 1,73 x nižší (oproti fázovému proudu v zapojení dle obr.5 je spínáný proud „sdružený“).

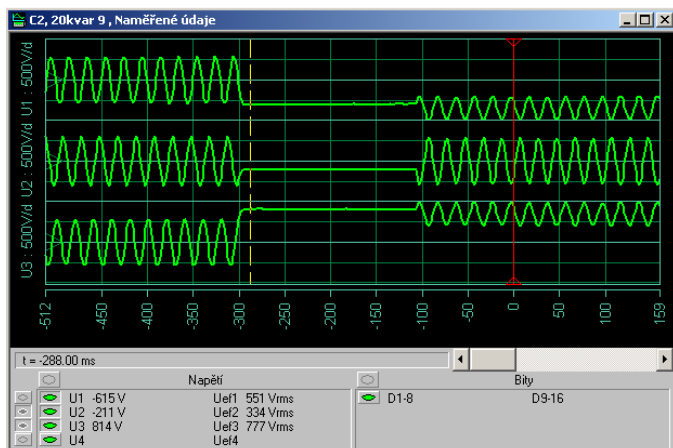
Hlavní nevýhodou tohoto zapojení je samozřejmě nutnost použití tří samostatných kondenzátorů a spínače se třemi tyristory. Přesto se toto zapojení v praxi ukázalo jako výhodnější, hlavně z důvodu vyšší dosažitelné rychlosti znovuzapnutí kondenzátorů (rychlost regulace) a jednoduchosti vybíjecích odporů.



Obr.7 : Kompenzační stupeň s jednofázovými kondenzátory

Závěr

Zkušenosti při uvádění prvních rychlých kompenzačních systémů do provozu potvrdily, že provedení kvalitní instalace, která je podmínkou bezporuchového provozu, je podstatně náročnější, než u klasické stykačové kompenzace. Vedle kvalitního projektu je nutná kontrola správné funkčnosti. Vyžaduje měření průběhů napětí a proudu zejména při zapínání a vypínání, což předpokládá odpovídající měřicí techniku a základní teoretické znalosti.



Obr. 6 : Vypnutí kompenzačního stupně s trojfázovým kondenzátorem