

Martin Polák, Ondrej Petrek, Juraj Kurimský

## Riadené spínanie VN, VVN a ZVN zariadení

Publikácia rozoberá efektívne využitie riadeného spínania výkonových vypínačov, a to za účelom eliminovať nežiaduce prechodné javy. Pozornosť venujeme aj zariadeniu riadeného spínania Switchsync PWC600 od spoločnosti ABB popisujeme jeho vlastnosti a konfiguráciu projektu v programe PCM600. V práci poskytujeme aj konkrétny príklad využitia riadeného spínania 400 kV výkonového transformátora v prenosovej sústave.

Kľúčové slová: riadené spínanie, spínacie prechodné javy, spínanie transformátora, testovanie

This publication analyzes the efficiency of using controlled switching of circuit breakers, in order to eliminate undesirable switching transients. Moreover, information about the switching device Switchsync PWC600 from ABB Company is provided, as well as the description of features and project configuration in tool PCM600. A specific example of the use of controlled switching of the 400 kV transformer in the transmission system is shown. **(Controlled switching of high voltage apparatus)**

Keywords: controlled switching, switching transients, transformer switching, testing

### I. ÚVOD

Publikácia je zameraná na využitie riadeného spínania za účelom eliminácie prechodných javov. V závislosti od konfigurácie siete a charakteristík spínacích podmienok môžu tieto negatívne prechodné javy spôsobiť nežiaduce účinky nielen na spínanej záťaži, ale aj v celej sieti.

Rozoberajú sa možné aplikácie a stratégie riadeného spínania. Publikácia prezentuje reálnu ukážku aplikácie riadeného spínania 400 kV výkonového vypínača v praxi. Jedná sa o konfiguráciu a grafické výstupy úspešného riadeného spínania výkonového transformátora v 400 kV rozvodni.

### II. DÔLEŽITOSŤ A VÝHODY RIADENÉHO SPÍNANIA

Riadené spínanie je dobre preukázanou technológiou na minimalizáciu spínacích prechodných javov počas zapínania a vypínania výkonového vypínača. Tým pádom sa znižuje namáhanie spínacích zariadení a samotných spínacích prvkov, tzn. výkonových vypínačov, ale aj celkové namáhanie systému. Táto metóda výrazne znižuje vzniknuté prepätia a nárazové prúdy a pri spínaní transformátorov a prenosových vedení, alebo kondenzátorov a tlmiviek, ktoré sú častejšie spínané v rámci regulácie odchýlok v elektrizačnej sústave.

Riadené spínanie, taktiež nazývané ako spínanie „bodu na vlně“ z anglického „point-on-wave“ môže tieto namáhania znížiť tým, že cielene reguluje zapínanie a vypínanie záťaží do určitých bodov na referenčných napätových, alebo prúdových vlnách. Ciele sa vyberajú na základe pripojenia a konštrukčného usporiadania zariadení, ktoré sa majú spínať, ktoré vytvárajú elektrické a magnetické väzby medzi fázami. Taktiež sa pri výbere cieľov berie ohľad na použitý vypínač, berúc do úvahy jeho výkon z hľadiska mechanických a dielektrických charakteristík vrátane akýchkoľvek vplyvov vonkajších parametrov na prevádzkové časy. [1]

Výhody riadeného spínania sú ako technické, tak aj ekonomické. Technické výhody riadeného spínania sú nasledovné:

- Zníženie prechodných javov v energetických systémoch a na zariadeniach.
- Zlepšenie kvality elektrickej energie.
- Zvýšenie dielektrickej odolnosti vypínača počas vypínania.
- Zníženie opotrebovania kontaktov výkonových vypínačov.
- Obmedzenie nežiaduceho pôsobenia ochranných relé.

Ekonomické výhody riadeného spínania sú:

- Zvýšená životnosť zariadení energetických systémov.
- Zníženie rizika porúch a nákladov na údržbu zariadení.
- Odstránenie potreby použitia predzápalových spínacích odporov (zníženie obstarávacích a prevádzkových nákladov na vypínače o približne 25 percent).
- Zvýšené intervaly údržby alebo generálnych opráv vypínača. [2]

### III. VŠEOBECNÝ PRINCÍP RIADENÉHO SPÍNANIA

Riadené spínacie znamená kontrolované riadiť okamžik dotyku alebo oddelenia kontaktov vypínača tak, aby nastaval v požadovanom bode priebehu vlny napätia alebo prúdu systému. V praxi sa to robí analýzou priebehu napätových a/alebo prúdových signálov a vyvedením možných cieľových momentov, prichádzajúci signál o zapnutí alebo vypnutie ovládacej cievky vypínača sa potom adekvátne oneskorí.

Ak vypínač dostane náhodný povel na zapnutie/vypnutie, regulátor riadeného spínania prijme príkaz a spracuje ho pred vydaním povelu na zapnutie/vypnutie vypínača. Zavádza časové oneskorenie medzi vydaním náhodného povelu z ovládacieho spínača a povelom regulátora riadeného spínania. V tomto časovom intervale vykoná regulátor potrebný výpočet, aby vypínač vykonal operáciu zapnutia v definovanom bode vlny referenčného napätia. Pri tomto výpočte sa zohľadňuje prevádzkový čas vypínača a potom regulátor vydáva povel v takom čase, aby sa v cieľovom bode zapol vypínač. [3]

### IV. RIADENÉ SPÍNANIE POUŽITÍM SWITCHSYNC PWC600 OD SPOLOČNOSTI ABB

Použitie riadeného spínania zariadením Switchsync PWC600 (základná spínacia operácia v zátvorke):

- Kondenzátorové batérie (zapínanie pri prechode napätia nulou, predchádza vysokým zapínaním prúdom a vysokým prechodným prepätiam).
- Tlmivky (vypínanie v optimálnom čase aby sa predišlo znovu zapáleniu oblúka počas oddeľovania kontaktov vypínača pri vypínaní).

- Výkonové transformátory (zapínanie pri symetrickom magnetickom toku, predchádza vzniku vysokých zapínaných prúdov).
- Prenosové vedenia a káble (zapínanie pri prechode napätia nulou, predchádza vysokým spínacím prepätiam).

Switchsync Setting Tool - konfiguračný nástroj zariadenia PWC600 vedie používateľa procesom zadávania všetkých požadovaných informácií, poskytovaním vysvetlení a vykonaním kontroly platnosti každej zadanej hodnoty. Tým uľahčuje a zjednodušuje prácu pri prvotnom nastavovaní a uvádzaní do prevádzky.

Jednoduchá konfigurácia pre všetky spínacie aplikácie:

- Prispôbené nastavenie konkrétnej aplikácie.
- Switchsync Setting Tool (SST):
  - Sprievodca pri zadávaní vstupných údajov.
  - Online vysvetlenie každého parametra.
  - Okamžité overenie zadaných údajov.

Adaptívna korekcia spínacích časov:

- Udržiava dlhodobú presnosť riadených spínacích operácií.
- Kompenzácia systémových zmien v dôsledku starnutia atď.
- PWC600 vyhodnocuje úspešnosť poslednej operácie na základe prúdového, alebo napätového signálu (elektrické) a pomocných kontaktov (mechanické, ak sú dostupné)
- Interne korekčné hodnoty pre sledovanie odchýlok prevádzkových časov vypínača sú aktualizované pri každom riadenom zapínaní na základe odchýlky  $\Delta t$ .
- Adaptívna korekcia vypínacích časov na základe detekcie opätovného zapálenia/preskoku.

Nastavenie riadeného spínania zariadenia Switchsync PWC600 a výsledok testov „bod na vlně“, riadené spínanie výkonového transformátora vykonané výkonovým SF6 vypínačom typu LTB 420E2.

- Rozvodňa:

Rozvodňa 400kV s dvojsystémovým usporiadaním prípojnice.

- Aplikácia:

Riadené spínanie výkonového auto-transformátora YNa0/d1 vypínačom ACA04.QM pre transformátor T401.

- Účel:

Naprogramovanie zariadenia riadeného spínania a overenie výkonu funkcií zaznamenávaním výsledkov počas zapínania a vypínania výkonového transformátora.

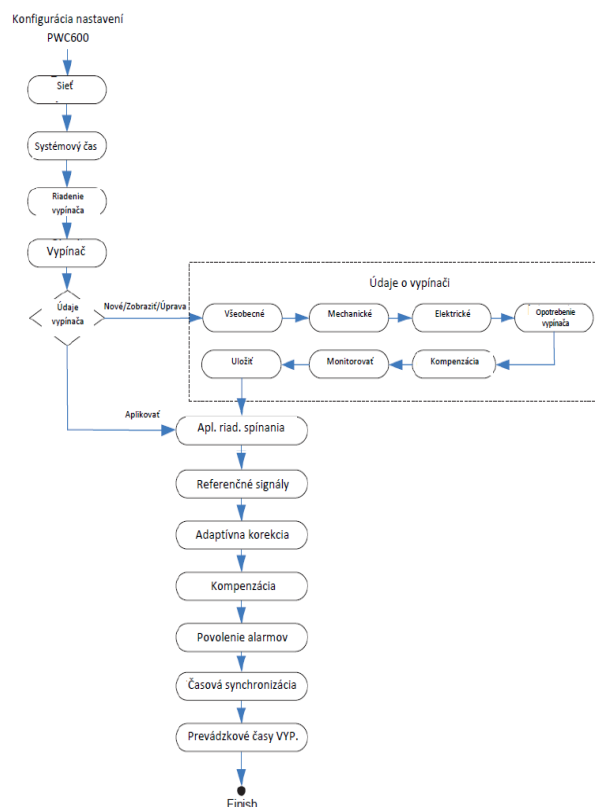
- Stratégia spínania:

Stratégia spínania, s riadiacou jednotkou Switchsync PWC600, používaná pre riadené zapínanie uzemneného auto-transformátora s primárnym vinutím Y a terciárnym vinutím D vinutím je zapnúť prvú fázu v blízkosti jej amplitúdy napätia medzi fázou a zemou, a posledné póly zapnúť pri ich amplitúde napätia medzi fázami.

Platí to za predpokladu, že remanentné magnetické toky sú nízke. Stratégia by preto mala byť založená na riadenom vypnutí ako podpora pre následné riadené zapnutie. Účelom riadeného vypínania je minimalizovať remanentné magnetické toky tým, že sa zabráni prerušeniu (odseknutiu) prúdu a hlavne sa ustália magnetické toky (polaritou a amplitúdou).

Stratégia riadeného vypínania je nastavenie rozdelenia kontaktov tesne pred konečnou nulovou hodnotou prúdu, čo minimalizuje prerušenie prúdu a tým remanentné magnetické toky.

Diagram konfigurácie projektu v programe PCM600 je znázornený na obr. 1.



Obrázok 1 Workflow – konfigurácia nastavení v programe PCM600 [4]

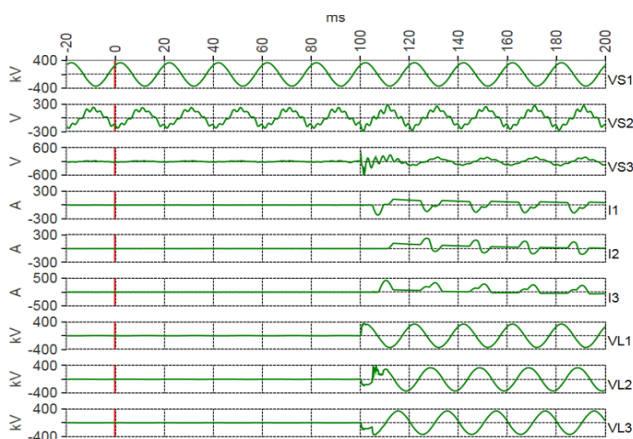
Ukážka úspešného riadeného zapnutia vypínača zariadením PWC600 je v nasledujúcej Tabuľke 1:

Tabuľka 1 Poruchový záznam riadeného zapnutia.

Informácie o poruchových záznamoch	
<b>Informácie o zariadení</b>	
ID záznamu	1
IED typ	PWC600
IED verzia	1.0.1.1
Názov rozvodne	R 400 kV
Názov objektu	T401-ACA04
IED názov	PWC600
<b>Informácie o poruchách</b>	
Čas spustenia	9: 06: 10.225
Názov spúšťacieho signálu	CloseCmdIn
Záznamové číslo	240
Celkový čas nahrávania	550 ms
Čas nahrávania pred spustením	50 ms
Čas nahrávania po spustení	346 ms
Max. čas nahrávania	500 ms
<b>Všeobecné informácie o záznamoch</b>	
Záznamník porúch	nainštalovaný
Záznamník udalostí	nainštalovaný
Systémová frekvencia	50 Hz

Frekvencia odberu vzoriek	4 kHz
Skupina aktívneho nastavenia počas nahrávania	1
<b>Informácie o mieste poruchy</b>	
Typ poruchovej slučky	neuplatňuje sa
Miesto poruchy	neuplatňuje sa
Stav výpočtu poruchy	neuplatňuje sa
Smer poruchy	neuplatňuje sa

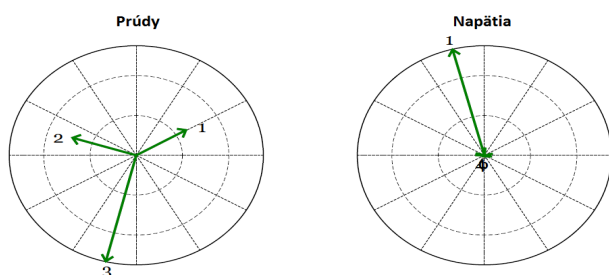
Časový priebeh napätí a prúdov



Obrázok 2 Analógový časový diagram riadeného zapnutia. Hodnoty VS1, VS2, VS3 predstavujú napätia zdroja a VL1, VL2, VL3 napätia záťaže.

Fázové diagramy, obr. 3.

Časová doba výpočtu: -0,75 ms až 19 ms.



Obrázok 3 Vektorové diagramy prúdu a napätia riadeného zapnutia.

Hodnoty nameraných prúdov a napätí sú v Tabuľke 2.

Tabuľka 2 Hodnoty nameraných efektívnych hodnôt (RMS) prúdov a napätí riadeného zapnutia. Hodnoty VS1, VS2, VS3 predstavujú napätia zdroja a VL1, VL2, VL3 napätia záťaže.

Č	Prúd	RMS (A)	Uhol
1	I1	0,427	30,4°
2	I2	0,495	162,4°
3	I3	0,938	256,1°

Č	Napätie	RMS (V)	Uhol
1	VS1	238769,203	104,5°
2	VS2	136,214	304,0°
3	VS3	18,073	319,2°
4	VL1	3563,454	218,5°
5	VL2	1059,874	313,3°
6	VL3	1315,883	236,3°

- Závěry z testov:

Systém riadeného spínania výkonového transformátora vypínačom ACA04.QM ukázal plánovanú funkčnosť po odstránení niektorých problémov so zapojením. Riadené zapínanie vedie k nízkym nárazovým prúdom, ktoré sú zvyčajne oveľa menšie než polovica menovitého prúdu výkonového transformátora.

Originály protokolov riadeného zapínania a vypínania výkonového transformátora sú dostupné na požiadanie ABB, s.r.o.

### POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať spoločnosti ABB s. r. o. za poskytnuté interné dáta a za umožnenie účasti pri testovaní zariadenia v mieste inštalácie.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438 a APVV-17-0372.

Táto práca vznikla v rámci projektov VEGA č. 1/0340/18, 2/0141/16.

### LITERATÚRA

- [1] Stanek, M a kol. Advancement and Broadening of Controlled Switching Technology. Gridtech 5th International Exhibition & Conference, 2015-04-08. 7 s.
- [2] Goldsworthy, D. a kol. Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Application Examples and Benefits. 34th Annual Western Protective Relay Conference, 2007-10. 17 s.
- [3] CIGRE TF13.00.1 Controlled Switching, State-of-the-Art Survey, Part 2: ELECTRA č.164, 1995. 39–61 s.
- [4] ABB, Switchsync PWC600 User Manual. 2015. 298 s. Dokument ID: 1MRK 511 346en. Použité so súhlasom ABB, s. r. o.

### ADRESY AUTOROV

Ing. Martin Polák, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [mrt.plk@gmail.sk](mailto:mrt.plk@gmail.sk)

Ing. Ondrej Petrek, ABB s.r.o., Rozvojová 2, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [ondrej.petrek@sk.abb.com](mailto:ondrej.petrek@sk.abb.com)

doc. Ing. Juraj Kurimský, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [juraj.kurimsky@tuke.sk](mailto:juraj.kurimsky@tuke.sk)