

Riadené spínanie výkonových vypínačov

Cintula Boris · Elektrotechnika, Študentské práce

05.04.2010



Hlavná téma, ktorou sa zaoberá táto práca, je riadené spínanie výkonových vypínačov, najmä spínanie zariadení pracujúcich na napäťových hladinách vn a vvn elektrizačnej sústavy. Pozornosť bude upriamená na negatívne vplyvy vznikajúce pri spínaní indukčných a kapacitných záťaží a následne na spôsob ich eliminácie. Poukáže sa na význam inštalácie riadeného spínania do rozvodní za účelom zefektívnenia spínacích operácií v porovnaní s neriadeným spínaním vykonaným v laboratórnych podmienkach.

1. Úvod

Zariadenia inštalované v rozvodoch vn a vvn spĺňajú najvyššie kritéria noriem a podstupujú mnoho skúšok predtým, ako sú zaradené do prevádzky. Tieto zariadenia patria medzi špičku v oblasti elektrických prístrojov, no napriek tomu, že sú dimenzované a konštruované pre náročné pracovné podmienky, často podliehajú negatívnym vplyvom.

Jedným z takýchto zariadení je výkonový vypínač na obr. 1., ktorého funkciou je spínanie rôznych zariadení napr. tlmivky, kondenzátory, ktoré sa pri regulácii odchýlok v elektrizačnej sústave vykonáva veľmi často.

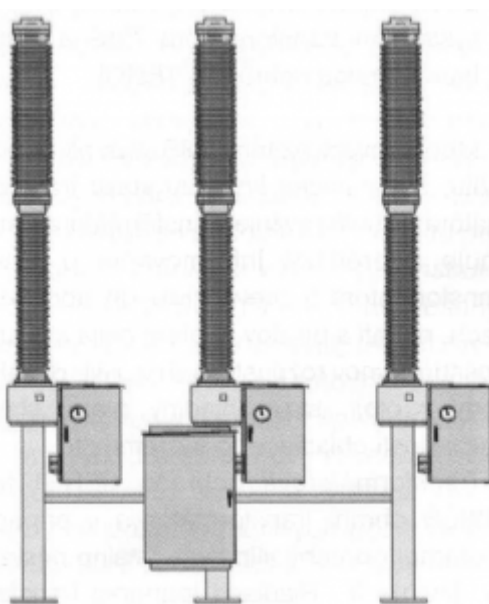
Spínanie, pod ktorým sa rozumie zapínanie a vypínanie elektrického prúdu, je preto nepochybne najčastejší úkon v elektrickom rozvode. Práve pri spínaní dochádza ku vzniku prechodných javov, ktoré sú dôsledkom interakcie vypínača a obvodu. Samotný názov „prechodné javy“ nám naznačuje, že pôjde o javy, ktoré menia svoje vlastnosti v čase. Tieto javy je potrebné analyzovať, aby sme vedeli zmiernovať ich účinky prípadne ich úplne eliminovať.

Samotné negatívne účinky vplývajú v prvom rade na výkonové vypínače, ale taktiež z makroskopického pohľadu na elektrizačnú sústavu. Z technického hľadiska extrémneho príkladu by mohlo nezareagovanie vypínača spôsobiť v konečnom dôsledku aj black-out celej elektrizačnej siete, no nikto si takýto prípad nepripúšťa, pretože už len samotná myšlienka obnovy prevádzky elektrizačnej siete ako celku je nesmierne komplikovaná záležitosť a treba spomenúť, že by išlo o medzinárodný problém, nakoľko je v dnešnej dobe Slovenská republika členom organizácie UCTE, ktorej jedným závažným cieľom je dosiahnuť prevádzku bez výskytu veľkej systémovej poruchy typu black-out, resp. takú prevádzku, kde by hrozba vzniku takejto poruchy bola prijateľne nízka.

Prípadný vznik poruchy tohto typu sa neodsúva na vedľajšiu koľaj, ako by sa mohlo zdať z predchádzajúcich riadkov, ale snažíme sa predísť jej vzniku. Zčať môžeme už pri spomínaných výkonových vypínačoch.

V nedávnej minulosti sa začala v Slovenskej republike odľahčovať napäťová hladina prenosovej sústavy 220kV a nahrádza sa priamou transformáciou 400/110kV, kde sa do terciárnych vinutí výkonových transformátorov pripájajú kompenzačné tlmivky. Sú to suché kompenzačné tlmivky s výkonmi 2×45 MVar na jeden transformátor, ktoré sú inštalované konkrétne v Lemešanoch a Križovanoch. [1]

Pri spínaní spomenutých veľkých záťaží dochádza k skutočne silným prechodným javom, ktoré svojimi elektrodynamickými účinkami namáhajú systém a treba tomu venovať zvýšenú pozornosť. Jednou z možností minimalizácie týchto javov je inštalácia riadeného spínania výkonových vypínačov.



Obr. 1. Výkonové vypínače vvn 3AP1 FI výrobcu SIEMENS. Sú to výkonové vypínače s menovitým napätím 72,5kV, plynom (SF6) izolovanou zhášacou komorou a pohon je strádačový pružinový, natáhaný elektromotorom. Každý pól má samostatný pohon a spínanie je naviac riadené pomocou zariadenia PSD. [2]

2. Negatívne vplyvy vznikajúce pri spínaní

Vo všeobecnosti pri spínaní jednotlivých typov záťaží je sprievodným a neodlúčiteľným fenoménom vznik prechodných javov a teda možný vznik prepätí, nárazových prúdov a procesov, pri ktorých môže dochádzať k elektrodynamickému a dielektrickému namáhaniu systému. Tieto efekty by mohli v extrémnych prípadoch znížiť spoľahlivosť a životnosť vybavenia inštalovaného v sieti alebo viesť k zbytočným vypínaniam ochrán. Riadeným spínaním (riadenie ZAP alebo VYP spínacieho momentu) vypínača sa môžu efektívne znížiť vzniknuté prepätia a nárazové prúdy.

V princípe každý obvod obsahuje tri základné parametre a to: odpor, indukčnosť a kapacita. Tieto parametre nemusia byť reprezentované konkrétnym zariadením zapojeným v obvode (napr. tlmivka predstavujúca indukčnosť a pod.), ale môžu to byť napr. rôzne spoje alebo závitý na vedeniach, ktoré predstavujú indukčnosť alebo samotné vedenie, ktoré môže mať tiež induktívny charakter a i. Vplyvom aj týchto

skutočností možno obvody rozdeliť podľa parametrov, ktoré majú na obvod najpodstatnejší dopad: odporové, indukčné a kapacitné.

Rozhodujúci pri zopínaní záťaží je obyčajne nárazový prúd a v istých prípadoch mierne prepätia. Pri vypínaní záťaží je rozhodujúcim parametrom vzniknuté napätie na kontaktoch vypínača tzv. zotavené napätie, ktoré v čase superponuje na priebeh napätia zdroja alebo siete a nazýva sa obnovené napätie.

2.1. Ohmická záťaž

Pri analýze prechodných javov sa v literatúre možno stretnúť väčšinou so špecifickými druhmi záťaže a teda tými, na ktorých vznikajú najväčšie prepätia (induktívna, kapacitná). Pre úplné a správne pochopenie princípu vzniku prechodných javov je dôležité vedieť, ako sa správa ohmická záťaž vo všeobecnosti. Názorným príkladom je analýza jedнопólového spínania, ktorá bude predmetom objasnenia tejto problematiky v nasledujúcich podkapitolách.

Napätie striedavého zdroja, ktoré je vyjadrené vzťahom:

$$u_Z = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

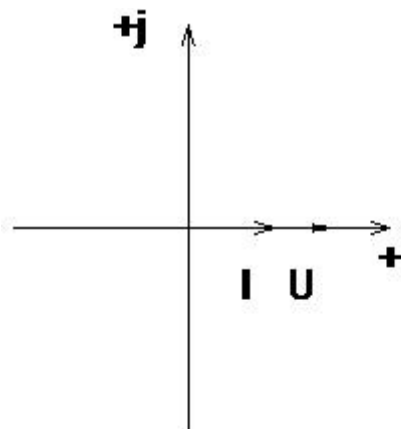
kde α vyjadruje fázové posunutie okamihového zapnutia obvodu od poslednej nuly napätia, sa pripojí k ohmickej záťaži. Pred analýzou prúdových a napätových pomerov je treba poukázať na fázorový diagram ohmickej záťaže na obr. 2. a uvedomiť si, že prúd a napätie sú vo fáze. Potom uvážením Ohmovho zákona pre prúd prechádzajúci ohmickou záťažou platí:

$$i = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t + \alpha) \quad (2)$$

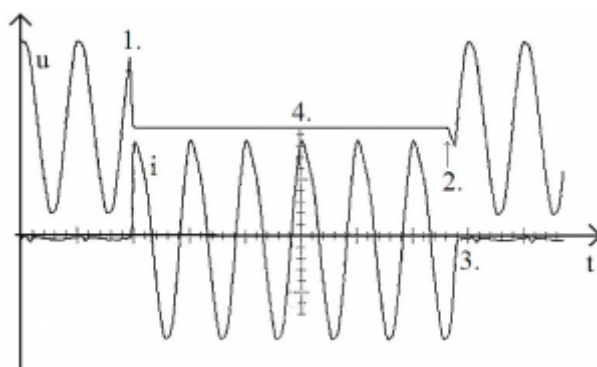
Pretože fázový posun medzi napätím a prúdom v obvode je nulový, na odpore nevzniká prechodný jav, ale keďže pri vypínaní tejto záťaže dochádza ku horeniu oblúka, po jeho zhasnutí sa na kontaktoch vypínača objaví okamžité napätie v tvare:

$$u_K = u_Z = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad (3)$$

čo je opäť napätie zdroja. Oscilogram spínacieho priebehu ohmickej záťaže je na obr. 3. a je ukázkovým príkladom toho, že nezáleží v akom okamihu napätia došlo k spínaniu, pretože okrem horenia oblúka tu nedochádza prakticky k žiadnemu prechodnému javu. Z tohto tvrdenia vyplýva možná podmienka vzniku prechodného javu a tým je vzájomný fázový posun napätia a prúdu.



Obr. 2. Fázorový diagram ohmickej záťaže



Obr. 3. Oscilogram spínania ohmickej záťaže: 1 - zopnutie kontaktov vypínača; 2 - horenie oblúka; 3 - galvanické oddelenie kontaktov vypínača; 4 - nulové napätie na kontaktoch vypínača

2.2. Induktívna záťaž

Pri vzniku prechodných javov na induktívnej záťaži sú kvôli názornosti uvážené niektoré zjednodušenia. Na záťaž induktívneho charakteru sa pripojí napätie:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad (4)$$

Keďže ide o induktívny charakter obvodu a s poukázaním na fázorový diagram induktívnej záťaže na obr. 4., dochádza k fázovému posunu napätia a prúdu o uhol $\phi = 90^\circ$ (uvažuje sa ideálny stav a skutočný sa mu iba približuje) a tým k prechodnému javu pri zopínaní tejto záťaže. Výsledný prúd (7) v obvode sa skladá z dvoch zložiek: ustálená (5) a prechodná zložka (6).

$$i' = I_m \sin(\omega t + \alpha - \phi) = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \phi) \quad (5)$$

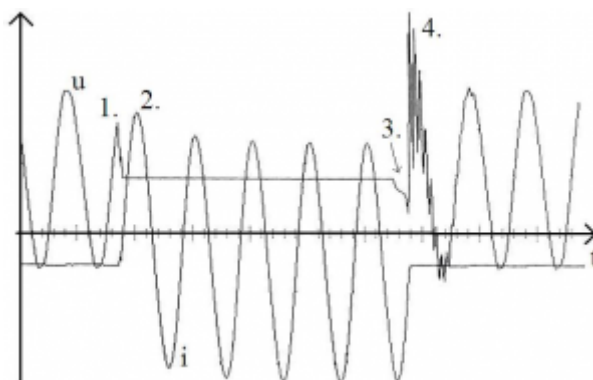
$$i'' = I_m \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_m}{Z} \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (6)$$

$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (7)$$

Zo vzťahu pre výsledný prúd (7) pri zapnutí vyplýva, že bude v čase utlmený na ustálenú hodnotu prúdu. Ako už bolo spomenuté, pri operácii vypnutia induktívnej záťaži, sa po prerušení prúdu v obvode objaví na kontaktoch vypínača zotavené napätie, ktoré je charakterizované vzťahom:

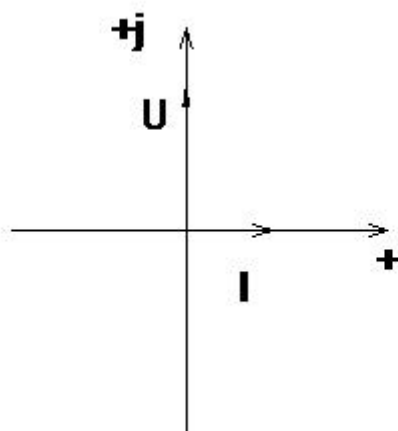
$$u_K = U_m \sin(\omega t - \phi) - \frac{\sin\phi}{\cos\sigma} e^{-\frac{R}{2L}t} \cos(\omega t - \delta) \quad (8)$$

avšak tento tvar nemusí byť smerodajný. Problémom je matematická interpretácia riešenia tohto javu, nakoľko vzniknuté zotavené napätie môže dosiahnuť odlišný charakter, aj výsledok (matematický predpis) má následne iný rozmer. Vyššie uvedený vzťah (8) však zodpovedá vzniknutému zotavenému napätiu pri operácii vypnutia na obr. 4. a tiež je najčastejšie sa vyskytujúcim v praxi.



Obr. 4. Oscilogram spínania indukčnej záťaže: 1 - zopnutie kontaktov vypínača; 2 - nárazový prúd; 3 - u - horenie oblúka na kontaktoch vypínača; i - galvanické oddelenie kontaktov vypínača; 4 - zotavené napätie vzniknuté po prerušení prúdu obvodom s frekvenciou rádovo do desiatok kHz pri vn hladine

Priebeh spínania indukčnej záťaže je na obr. 4. Zapnutie kontaktov nastalo tesne pri prechode napätia maximom, čo spôsobilo, že nárazový (zapínací) prúd na záťaži je podstatne väčší v porovnaní s ustáleným prúdom v čase. Ak by došlo k zapnutiu v nule napätia, táto hodnota prúdu by mohla reálne dosiahnuť 2-3 násobok ustáleného prúdu, kedy už nastávajú negatívne vplyvy na vypínače nehovoriac o početnosti tejto operácie v rozvodni za určitý čas. Kedy nastáva optimálne spínanie indukčnej záťaže? Ideálnym zapínacím momentom je prechod prúdu nulou alebo teda prechod napätia maximom, čo vyplýva z fázorového diagramu indukčnej záťaže na obr. 5., čím sa podstatne minimalizuje hodnota nárazového prúdu.



Obr. 5. Fázorový diagram indukčnej záťaže

Pri vypínaní záťaže dochádza k prerušeniu odvodu pri prechode prúdu nulou. Induktívnu záťaž predstavujú v reálnych podmienkach zariadenia ako transformátor,

tlmivka, ktorými prechádzajú malé induktívne prúdy. Prepätiam ako takým sa v tomto prípade nedá vyhnúť, ale dá sa predísť nadobudnutiu ich vysokých hodnôt. Špecifickým problémom pri vypínaní týchto zariadení je, že výkonový vypínač môže prerušiť nižšie prúdy, ale nepriaznivejšie je to, že sa to môže udiť pred prechodom prúdu prirodzenou nulou (prúd sieťovej frekvencie), čo sa nazýva „odtrhávajú prúdu“ a dôsledkom je strmý nárast prepätia.

Pri prvom prechode prúdu nulou môže dôjsť k prerušeniu obvodu, ale nemusí. Ku konečnému prerušeniu obvodu dôjde vtedy, ak strmosť zotaveného napätia neprekročí strmosť elektrickej pevnosti vypínacej dráhy, inak povedané prierazného pooblúkového napätia. V prípade, že by došlo k prekročeniu tejto hodnoty zotaveným napätím, vzniká prieraz a znovuzapálenie oblúka, ktorý sa môže niekoľkokrát opakovať, až pokým nebude pooblúkové prierazné napätie medzi kontaktmi vypínača také veľké, aby zabránilo prierazu. Všetky tieto javy výrazne znižujú životnosť, v horších prípadoch vypínanie schopnosť vypínača a pod. a je preto potrebné tomu predchádzať. Riadené spínanie ponúka pomoc aj na tieto prípady.

2.3. Kapacitná záťaž

Analýzou kapacitnej záťaže (pôjde o kondenzátor) sa objasní správanie tohto prvku pri spínaní a pôsobiacich prechodných javov na túto záťaž. Na kondenzátor sa pripojí napätie:

$$u = U_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (9)$$

Fázorový diagram kapacitnej záťaže je na obr. 6., kde v ideálnom prípade prúd fázovo predbieha napätie o uhol $\phi = 90^\circ$. Prúd v obvode je daný vzťahom:

$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \phi) - \frac{\cos(\alpha + \phi)}{\omega RC} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

ktorý tvoria ustálená a prechodná zložka. V čase $t=0$ pri zopínaní je prúd daný vzťahom:

$$i(0) = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \phi) - \frac{\cos(\alpha + \phi)}{\omega RC} \quad (11)$$

z ktorého vyplýva, že maximálna hodnota prúdu nastane, ak

$$\cos(\alpha + \phi) = 1 \quad (12)$$

čo inými slovami znamená, že napätie bude prechádzať nulou. Nepriamo je naznačené, že optimálne zopínanie kapacitnej záťaže nastáva, keď priebeh napätia dosahuje maximum a teda pre vzťah prúdu platí

$$\cos(\alpha + \phi) = 0 \quad (13)$$

Pre napätie na kondenzátore možno napísať vzťah:

$$u_C = -\frac{U_m}{\omega RC} \cos(\omega t + \alpha + \phi) \quad (14)$$

Hodnota odporu je v reálnych obvodoch veľmi malá a nakoľko hodnoty prúdov sú relatívne veľké, môžeme ju zanedbať a potom platí pre napätie na svorkách kondenzátora

$$u_C = -U_m \cos(\omega t + \alpha + \phi) \quad (15)$$

Pri vypínaní obvodu v nule prúdu platí:

$$\omega t = n\pi - \alpha - \phi \Rightarrow t = \frac{n\pi - \alpha - \phi}{\omega}, n = 1, 2, \dots, Z \quad (16)$$

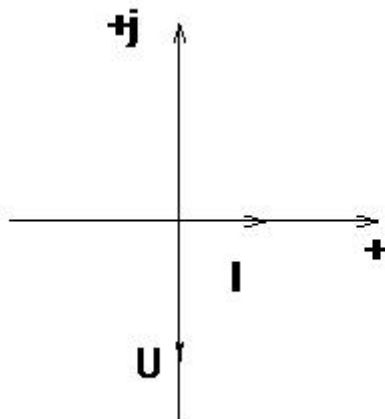
za predpoklade, že $R = 0, \phi = \frac{\pi}{2}$, potom napätie na kontaktoch vypínača bude

$$u_K = u_Z - u_C = U_m - U_m = 0 \quad (17)$$

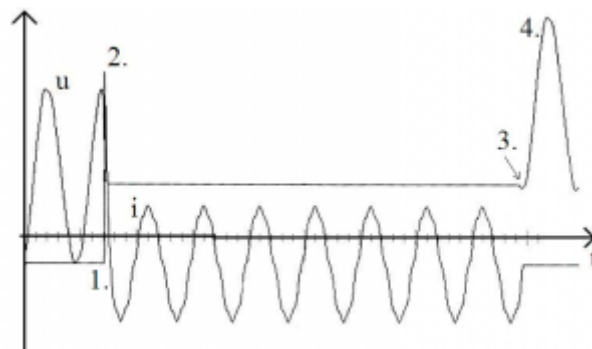
a v čase $t = \frac{\pi}{\omega}$, napätie na kontaktoch stúpne na hodnotu:

$$u_K = 2U_m \quad (18)$$

Priebeh spínania kapacitnej záťaže je na obr. 7., kde k zapnutiu došlo po uplynutí maxima priebehu napätia, čo nie je práve najoptimálnejšie, keďže následne došlo k veľkému nárazovému prúdu. Pri vypínaní tejto záťaže sa udialo, čo analýza potvrdila, kedy napätie na kontaktoch vzrástlo na dvojnásobok menovitého napätia zdroja po horenej oblúka, ktorý bol veľmi malý a trval iba krátko. Kondenzátor bol pred zapnutím vybitý a v čase sa bude vybíjať až na hodnotu obnoveného napätia.



Obr. 6. Fázorový diagram kapacitnej záťaže



Obr. 7. Oscilogram spínania kapacitnej záťaže: 1 - zopnutie kontaktov vypínača; 2 -

nárazový prúd; 3 - u - krátke horenie oblúka na kontaktoch vypínača; i - galvanické oddelenie kontaktov vypínača; 4 - zotavené napätie na kondenzátore nabité na dvojnásobnú hodnotu menovitého napätia

Tab. 1. Tabuľka obsahuje typy zariadení (aký druh záťaže predstavujú) spolu s možným druhom vzniknutého prechodného javu pri konkrétnych spínacích operáciách

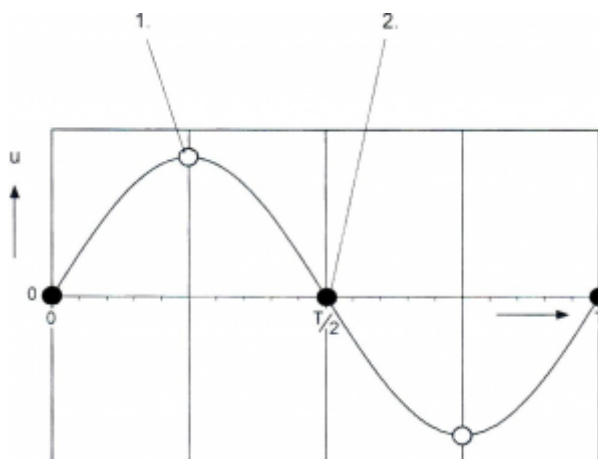
Druh záťaže	Zariadenie	Spínanie	Záťaž zbavená účinnosti
Induktívna	transformátor, tlmivka	Vypnutie	Spätné zapálenie, prepätia
Induktívna	transformátor, tlmivka	Zapnutie	Nárazový prúd
Kapacitná	batéria kondenzátorov, vedenie naprázdno, káble, filtre	Vypnutie	Spätné zapálenie, prepätia
Kapacitná	batéria kondenzátorov, vedenie naprázdno, káble, filtre	Zapnutie	Prepätia, nárazový prúd

3. Eliminácia negatívnych javov

V predchádzajúcich podkapitolách bolo niekoľkokrát spomenuté okrem iného aj riadené spínanie. Toto spínanie pomáha optimalizovať okamihy zapnutia resp. vypnutia záťaží a popri tom minimalizuje hodnoty vznikajúcich prepätí, nárazových prúdov a znovuzapálenie oblúka.

Pre jednotlivé druhy záťaží berie riadené spínanie do úvahy existenciu optimálnych časových okamihov spínacích operácií a umožňuje ich individuálne nastavenie pre každý pól vypínača. Prechodné javy sa tým obmedzujú na minimum. Príklad optimálneho spínacieho momentu, konkrétne zapínacieho momentu, je na obr. 8. V prípade výkonových vypínačov s tromi nezávislými pohonmi (obr. 1.) prijíma každý pól jednotlivo z riadiacej jednotky samostatný spínací povel. [2]

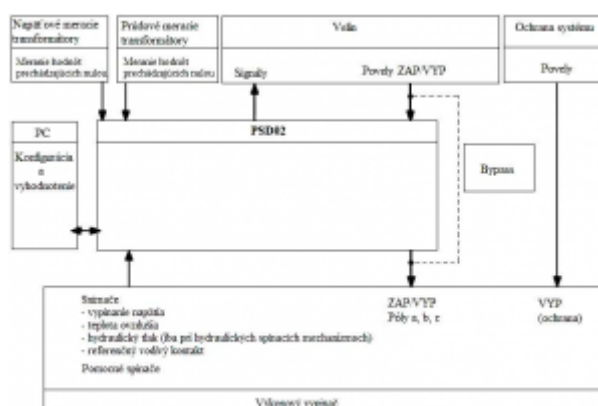
V dnešnej dobe je trend nahrádzať pri rekonštrukciách transformovni dožívajúce vypínače za moderné inštalované spolu s riadeným spínaním. V minulosti sa používali na obmedzenie prechodných javov rôzne spínacie rezistory a tlmivky, ale tieto zariadenia už nie je potrebné inštalovať, možno iba v úlohe dočasnej náhrady. Teda riadené spínanie ponúka aj ekonomicky výhodnú alternatívu v porovnaní s drahými vn zariadeniami.



Obr. 8. Optimálne zapínacie momenty: 1. Induktívna záťaž; 2. Kapacitná záťaž

3.1. Riadené spínanie, spojenie riadiacej jednotky PSD02 s celým systémom

Riadiaca jednotka PSD02 je produkt výrobcu SIEMENS a používa sa na zredukovanie elektrodynamického a dielektrického preťaženia vzniknutého v sieti pri spínaní vo vn a vvn rozvodoch. Riadené spínanie pomocou tohto zariadenia efektívne znižuje negatívne vplyvy pri spínaní, ktoré boli doteraz opísané. Riadiaca jednotka je spojená s riadením systému tak, že v PSD02 sú spracované len spínacie povely. Povely VYP, ktoré sú kvôli spojeniu nakrátko (skratu) spustené ochranou systému (opätovné zapínanie), sú poslané rovno do ovládacích cievok vypínača, čo znamená, že v prípade skratov nedochádza k riadenému spínaníu.



Obr. 9. Blokové usporiadanie systému s riadiacou jednotkou PSD02

3.2. Funkcia riadiacej jednotky PSD02

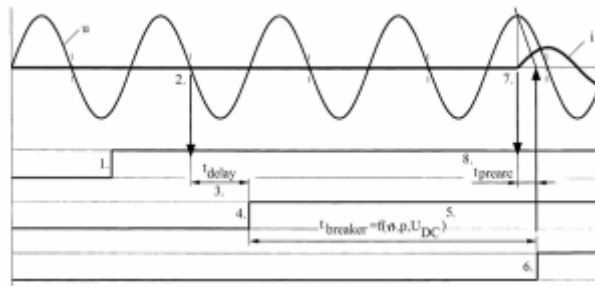
Pred samotným spínaním dochádza najskôr k prijatiu spínacieho príkazu riadiacou jednotkou a v prvom rade sa zaznamenáva synchronizácia, teda inak povedané zaznamenáva sa fázový uhol napätia vo fáze. Spôsob spínacích operácií sa zakladá pri striedavých obvodoch vždy vo vzťahu prechodu prúdu alebo napätia nulou. Podľa druhu záťaže sú potom spínacie povely prenesené cez PSD02 do vybavovacej cievky výkonového vypínača s príslušným oneskorením spôsobeným možným fázovým posunom napätia vo fáze. Príkazy sú ďalej poslané do troch fáz nezávisle od seba. V dobe oneskorenia bude vypočítaný mechanický prevádzkový čas a doba predzápalu (čas, počas ktorého horí oblúk v póle príslušného vypínača počas zapínania), resp. doba horenia oblúka (pri vypínaní) vypínača.

Riadiaca jednotka PSD02 určite patrí medzi moderné inteligentné systémy, o čom hovorí aj to, že si sama dokáže vypočítať kompenzovaný prevádzkový čas. Určité faktory vplyvajú na zmenu mechanického prevádzkového času vypínača a pomocou týchto faktorov dokáže vypočítať kompenzovaný mechanický prevádzkový čas, ktorý sa potom používa na riadenie spínacieho momentu.

Tento systém má mnoho pozitívnych vlastností, medzi ktoré ešte nepochybne patrí zhodnotenie spínacích operácií, ktoré sú zaznamenávané v podobe oscilogramov, nameraných a vypočítaných hodnôt, ktoré môžu byť kedykoľvek pomocou počítača stiahnuté a následne vyhodnocované.

Napriek všetkým pozitívam je nutné povedať aj o záporoch. Jedným zo záporov je správanie riadiacej jednotky pri prevádzke s chybami. Ak by došlo k jej zlyhaniu, už nebude možné riadiť spínací moment a systém tak bude plne vystavený prechodným javom a ich účinkom.

3.3. Zapnutie pomocou PSD02

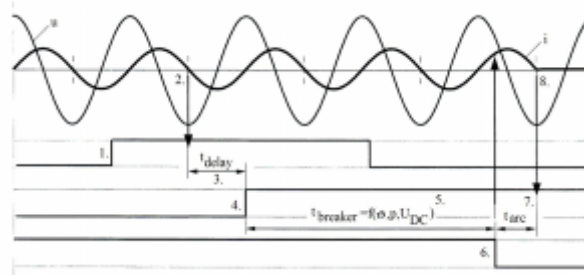


Obr. 10. Pribeh riadeného spínania pomocou PSD02: 1. Zapínací povel; 2. Rozpoznanie prechodu napätia nulou; 3. Doba oneskorenia; 4. Riadený povel do vypínacej cievky; 5. Zapínací čas; 6. Dotyk kontaktov; 7. Začiatok toku prúdu; 8. Doba pred zápalom

Proces zapínania výkonového vypínača pozostáva z nasledujúcich krokov:

- Zapínací povel je vyslaný a následne prijatý iba riadiacou jednotkou PSD02
- Riadiaca jednotka určuje ďalší prechod nulou prúdu alebo napätia ako referenčný moment zapínania
- Keď vyprší vypočítaná doba oneskorenia, PSD02 posielala povel na zapnutie do vybavovacích cievok vypínača
- Tok prúdu začína pri maximálnom napätí predzápalom tzn. prúd prechádza ešte pred galvanickým spojením kontaktov vypínača vplyvom horenia oblúka
- Galvanický kontakt nastáva po dobe zapínania, t.j. oneskorený o čas predzápalom

3.4. Vypnutie pomocou PSD02

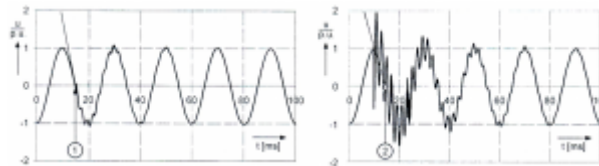


Obr. 11. Priebeh riadeného vypnutia pomocou PSD02: 1. Vypínací povel; 2. Rozpoznanie prechodu prúdu nulou; 3. Doba oneskorenia; 4. Riadený povel do vypínacej cievky VYP; 5. Vypínací čas; 6. Oddelenie kontaktov; 7. Čas horenia oblúka; 8. Koniec prechodu prúdu

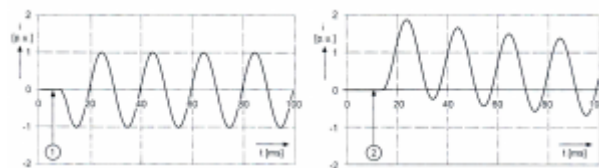
Proces vypínania výkonového vypínača obsahuje nasledujúce kroky:

- Vypínací povel je vydaný a najskôr je prijatý len riadiacou jednotkou PSD02
- PSD02 ďalej určuje prechod prúdu alebo napätia nulou ako referenčný moment vypnutia
- Keď vyprší vypočítaná doba oneskorenia, PSD02 posielala povel na vypnutie do vybavovacích cievok vypínača
- Rozdelenie galvanického kontaktu sa deje po uplynutí doby vypínania, ale prúd stále prechádza obvodom prostredníctvom horenia oblúka
- Prerušenie prúdu nastane po uplynutí doby horenia oblúka pri najbližšom prechode prúdu nulou

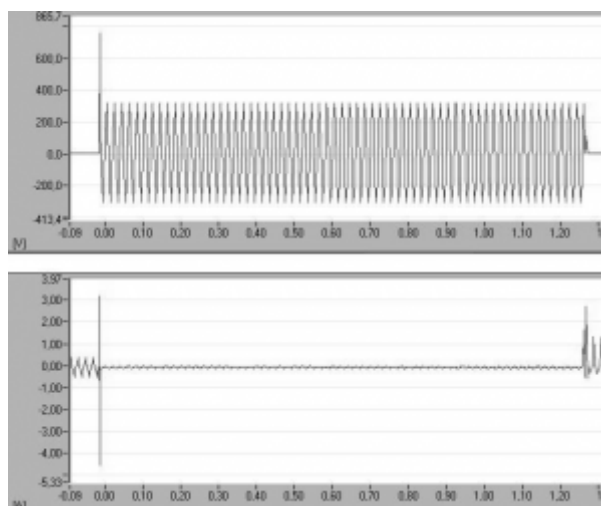
4. Obrázková príloha porovnania niektorých spínacích operácií a neriadené spínanie v laboratóriu



Obr. 12. Redukcia rázových napätí pri zapínaní uzemnenej batérie kondenzátora: 1.) optimalizovaný spínací moment; 2.) neoptimalizovaný spínací moment



Obr. 13. Redukovanie prúdových nárazov pri spínaní na uzemnenej tlmivke: 1.) optimalizovaný spínací moment; 2.) neoptimalizovaný spínací moment



Obr. 14. Neriadené spínanie transformátora namerané v laboratóriu: Na ľavej strane je neriadené vypínanie transformátora na sieti 400V, kde vzniklo prepätie približne dvojnásobné k menovitému napätiu a vpravo je zapnutie transformátora k sieti a vzniknutý nárazový prúd dosiahol asi 4-5 násobok ustáleného prúdu

5. Zhodnotenie

Snahou práce bolo podať komplexný prehľad o prechodných a iných javoch pôsobiacich negatívnymi účinkami ako na zariadenia inštalované v elektrizačnej sústave tak aj na sústavu samotnú. Cieľom tejto práce bolo poukázať, ako sa tieto deje prejavujú, čo môžu spôsobovať svojimi účinkami a akým spôsobom ich možno minimalizovať. Riadené spínanie má teda významné postavenie a jedným z jeho najväčších prínosov je schopnosť prechodné javy výrazne eliminovať. Nemožno však nespomenúť, že ich inštaláciou sa ponúka lepšia ekonomická investícia, čo je momentálne svetový fenomén vzhľadom na hospodársku a finančnú krízu.

6. Odkazy na literatúru

1. TOMÁŇ, M., OLEŠNÁNIK, M.: Riadené spínanie výkonových vypínačov. EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, r.13, 2007, č.1, s. 46-48
2. GÁLL, A., KANAS, V., TOMÁŇ, M.: Investície v energetike – priama transformácia 400/110kV v Tr Lemešany. EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, r.13, 2007, č.4, s. 46-48
3. HAVELKA, O. a kol.: Elektrické prístroje. STNL/Alfa, Praha, 1985.
4. Operating instructions PSD02 controller, Published by: Siemens AG, Power Transmission and Distribution Group, High Voltage Division, D-13623 Berlin
5. Controlled switching, Buyer's and Application Guide
[http://library.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/553a1fe46944218dc125720300301e44/\\$File/ABB%20B.G.%20Controlled%20switching%20Ed2.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/553a1fe46944218dc125720300301e44/$File/ABB%20B.G.%20Controlled%20switching%20Ed2.pdf)

Spoluautorom článku je doc. Ing. Anton Beláň, PhD., Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU

