



AIS spol. s r.o.

Palackého tř. 258/73, 612 00 BRNO

Založeno 1990

SYNCHRONNÍ FÁZORY NAPĚTÍ A PROUDU V ENERGETICE, IDENTIFIKACE PARAMETRŮ VEDENÍ ZA PROVOZU

Ing. Antonín Popelka, AIS spol. s r.o. Brno, 24.9.2006

Úvod

Současný stav elektrizační sítě stejně jako mnoho jiných odvětví je výsledkem hospodářského rozvoje a politických změn posledních desetiletí. Elektrizační soustava se stává neregulovanou především v důsledku:

- Oddělení výroby, přenosu a distribuce
- Více zájmových skupin ovlivňujících plánování, rozvoj a provoz
- Přenosová soustava je provozována na velmi rozsáhlém území
- Omezená výstavba nových zařízení – systém je na (někdy i za) hranici kapacity

Tento stav vyžaduje věnovat zvýšenou péči spolehlivosti provozu soustavy. Jedním z nástrojů je zlepšení monitorování a řízení provozu s využitím systémů řízení rozsáhlých sítí s vyšší přesností a rychlostí.

Nově používaným prostředkem je systém monitorování a řízení rozsáhlých sítí (Wide Area Monitoring and Control = WAMC) s použitím technologie měření synchronních fázorů. Ve světě a zvláště v USA byly po haváriích v minulých letech vytvořeny pracovní skupiny, výbory a konzorcia zabývající se návrhy a realizací systémů WAMC. Příkladem je Consortium for Electricity Reliability Technology Solutions (CERTS).

Fázory - definice

Elektrické veličiny (napětí a proud) v síti jsou definovány vztahem

$$x(t) = X * \cos(\omega * t + \varphi),$$

kde φ je úhel – natočení vektoru pro čas $t=0$.

Synchronní fázor je úhel vektoru v čase $t=0$.

Význam má až v souboru synchronních fázorů, kdy analyzujeme vzájemný úhel mezi synchronními fázory zjištěnými ve stejný čas $t=0$ a jejich změnu v čase. Pro přehlednost se může vybrat jeden fázor jako referenční $\varphi_r=0$ a ostatní vztáhnout k němu. Dostaneme soubor relativních fázorů s referencí vybrané veličiny.



Systemy měření

Měření se realizuje pomocí fázorových terminálů (Phasor Measurement Unit = PMU), na jejichž vstupy jsou přivedeny výstupy z měřicích transformátorů napětí a proudů. PMU se skládá ze vstupních obvodů, A/D převodníku a digitálního vyhodnocení ve kterém se vypočítají hodnoty synchronních fázorů. A/D převodník je řízen ze systému GPS, který zajišťuje synchronizaci měření všech PMU umístěných kdekoli. Výstup PMU je k dispozici k lokálnímu odečtu nebo se data z řízené oblasti přenáší do centrály – serveru, kde se soubor synchronních fázorů zpracuje a archivuje. Uživatelé (navazující systémy nebo osoby) jsou napojeni na tento server.

System měření a komunikace s PMU je definován normou IEEE, různé systémy se však od této normy více či méně liší.

Přesnost měření úhlu

Přesnost zjištění fázoru (současnosti měření, velikosti úhlu, amplitudy veličiny) má vliv na možnosti použití. V tabulce je přehled požadavků na optimální přesnost časové synchronizace pro některé aplikace (podle The Bonneville Power Administration):

Funkce	Parametr	Přesnost	Časový zdroj
Lokátor poruch	300m	1 μ s	GPS
Měření fázorů	+/-0,1 stupně	5,5 μ s (50Hz)	GPS
Kontrola stability sítě	+/-0,1 stupně	5,5 μ s (50Hz)	GPS
Poruchový zapisovač	Porovnání záznamů	1 ms	GPS, DCF77

Přesnost měření ovlivňují všechny prvky měřicího řetězce. Při analýze požadavků uživatele je třeba hodnotit všechny tyto vlivy.

- Měřicí trať napětí a proudu. Dle normy ČSN je v závislosti na třídě přesnosti a zatížení chyba 0,08° až 2°. U proudových traf má chyba významný efekt, protože monitorujeme při zatížení v celém rozsahu.
- Vstupní obvody s oddělením s anti-aliasing filtrem zatíží průběh posuvem, v ideálním případě stejným pro všechny přístroje daného výrobce, který lze korigovat ve vyhodnocení. Musí být zajištěna stabilita těchto obvodů.
- Časová synchronizace z GPS má dle výrobců přijímače GPS přesnost od 50ns do 500ns. Další chybu způsobí přenos a zpracování synchronizačního impulsu. Chyba 5,5 μ s odpovídá úhlu 0,1°.
- Metoda analýzy ovlivní kvalitu měření především pro účely srovnání se systémy různých výrobců. Jedná se o frekvenci vzorkování, velikost měřicího okna, četnost vyhodnocení a přenosu.
- Další články řetězce (komunikační subsystém, zpracování v centrále, přenos k uživateli) nemají na přesnost vliv, ale jejich parametry určují možnosti použití v aplikacích.

Obvyklý podíl jednotlivých částí na celkové chybě se odhaduje:

Zdroj chyby	Chyba ve stupních	Chyba v μ s
Synchronizace času	$\pm 0,02$	± 1
Primární měřicí transformátory (tř. 0,3)	$\pm 0,3$	$\pm 16,5$
Chyba přístrojů a metody	$\pm 0,1$	$\pm 5,5$

Aplikační možnosti použití fázorů napětí a proudů

Systémy používající fázory napětí a proudu umožňují nově realizovat některé funkce s vyšší přesností. Možnosti pro použití fázorových metod jsou ve třech základních oblastech:

- Monitorování a analýza rozsáhlých sítí v reálném čase.
- Řízení rozsáhlých sítí v reálném čase.
- Chránění rozsáhlých sítí v reálném čase.

Některé aplikace používající fázorových metod:

Podmínky bezpečného spínání při manipulacích

Ze znalosti fázorů napětí na obou koncích spínaného úseku lze stanovit vyrovnávací proud po sepnutí a vyloučit rizikové manipulace.

Zdroj kvalitních dat

Použití synchronních fázorů napětí a proudu v systémech dispečerského řízení výrazně zlepšuje přesnost výpočtů, zvl. V systémech pro estimaci měření, výpočty sítí a pro výpočty ztrát.

Lokalizace poruch

Práce zabývající se využitím měření synchronních fázorů na obou stranách postiženého vedení uvádějí přesnost určení místa poruchy na úsek mezi stožáry (cca 300m).

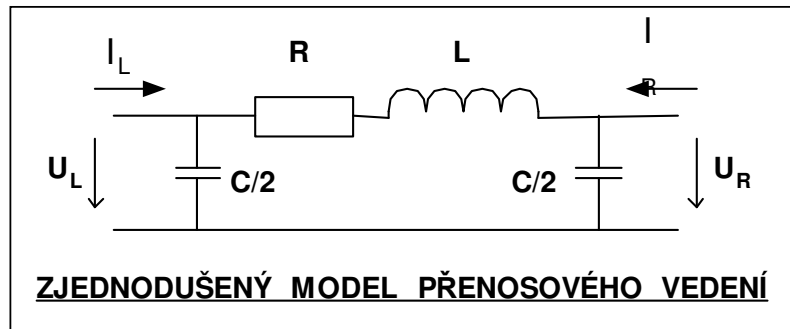
Stabilita sítě

On-line analýzou časové řady synchronních fázorů napětí se vyhodnotí charakter tlumení oscilací a vyvolá řídicí zásah při kritickém nárůstu.

Zjišťování parametrů vedení

Pro identifikaci parametrů vedení se použije synchronních fázorů napětí a proudů na obou stranách vedení. Měření se provádí za provozu při zatížení. Výpočet parametrů vychází z modelu - náhradního schématu vedení.

Základním případem je výpočet parametrů jednotlivých vodičů pro každou fázi samostatně. Vedení je modelováno třemi π -články.



Impedance modelu jedné fáze se vypočítá z fázorů napětí a proudu:

$$Z = \frac{U_L^2 - U_R^2}{I_L * U_R - I_R * U_L}$$

Pro úplný model třífázového vedení zahrnující zemní impedance je nutné použít měření fázorů při nesymetrickém zatížení. Míra nesymetrie je určujícím vlivem na přesnost stanovení parametrů takového modelu.

Znalost skutečných parametrů vedení umožní přesnější nastavení ochran a je podkladem pro správnou funkci výpočtů jako jsou estimace, výpočet ztrát a síťové modely. V nich se dá zohlednit nesymetrie fází, vliv (ne)transpozice fází a pod.

Zajímavá je možnost analýzy časové závislosti parametrů vedení, např. v souvislosti s počasím, změnou profilu, ročním obdobím.

Závěr

Zpracování synchronních fázorů napětí a proudů umožňuje získat provozní parametry chráněných zařízení v reálném čase a přesná data pro nastavení ochran, která jsou velmi důležitá pro spolehlivé a bezpečné chránění elektrizační soustavy. Zpracováním dat ze synchronních měření lze rovněž získat aktuální přenosovou schopnost venkovních vedení v reálném čase, což může být podstatným přínosem pro dispečerské řízení soustavy, zvláště pokud uvážíme narůstající přenosy elektrické energie a problémy s tímto zatížením spojené.

Synchronní měření fázorů s sebou přináší možnost sekundárního chránění systému, prevenci ztráty stability a prevenci napětíového kolapsu.

Synchronní měření fázorů napětí a proudů lze rovněž využít pro přesnější lokalizaci poruch v soustavě zvn a vvn.

Zavedením této progresivní metody lze očekávat dosažení vyššího standardu přenosu elektrické energie a tím tedy i zvýšení spolehlivosti elektrizační soustavy. Realizace synchronních měření zvyšuje úroveň technického vybavení

rozvoden provozovatele elektrizační soustavy a kvalitu měření předávaných z rozvoden na dispečink.

Synchronní měření fázorů je v současné době velmi rozvíjející se oblastí, která se jistě již brzy stane standardem v elektroenergetických společnostech.

Aplikace s použitím fázorových metod jsou rozvíjeny a ověřovány v ČR např. na katedře energetiky FEL-ČVUT. Měřením fázorů a podporou uvedených metod se zabývá naše společnost od r. 1999.

Zdroje, literatura

Martin: Time synchronization in Electric Power Systems. The Bonneville Power Administration

Hanuš, Tlustý: Advanced tools for nonstandard states identification in electrical power systems. Konference CONTROL OF POWER SYSTEMS '04

Hanuš, Kyncl, Kubín, Tlustý: A NEW METHOD OF FAULT LOCATION USING H-PARAMETERS CIRCUIT DESCRIPTION. Konference CONTROL OF POWER SYSTEMS '05

ČSN 35 1360-1974: Přístrojové transformátory proudů a napětí.

IEEE Std C37.118-2005: Standard for Synchrophasors for Power Systems.