WAMS systémy pro monitoring elektrizační soustavy

Rozdíl fázových úhlů napětí v různých místech přenosové sítě indikuje stav, ve kterém se tato síť nachází a umožňuje tak dřívější odhalení poruch a nežádoucích stavů, které mohou vést k rozdělení sítě na ostrovní provoz (Islanding) nebo dokonce k výpadkům dodávky elektrické energie (Blackout). V článku jsou popsány analytické funkce systému WAMS (Wide Area Monitoring System) pro synchronní měření fázorů napětí a proudu z rozsáhlého území propojených přenosových soustav.

Úvod

Rozdíl fázových úhlů napětí v různých místech přenosové sítě indikuje stav, ve kterém se tato síť nachází a umožňuje tak dřívější odhalení poruch a nežádoucích stavů, které mohou vést k rozdělení sítě na ostrovní provoz (Islanding) nebo dokonce k výpadkům dodávky elektrické energie (Blackout).

Sítě přístrojů PMU slouží jako doplněk RTU a SCADA (Remote Terminal Unit, Supervisory Control And Data Acquisition) systémů pro detailnější sledování chování a dosažení optimálního využití přenosové sítě s ohledem na tok činného výkonu a napěťové profily. Synchronní měření fázorů napětí a proudu z rozsáhlého území propojených přenosových soustav jsou vstupem pro analytické funkce systému WAMS (Wide Area Monitoring System). Díky velmi rychlému vzorkování měřených fázorů (až 50 snímků za sekundu) a jejich synchronnosti dokáže tento systém odhalit nebezpečné dynamické děje v soustavě, jako jsou netlumené oscilace a narušení stability. PMU jednotky jsou dnes stejně jako analyzátory kvality elektřiny instalovány v rozvodnách jako oddělená zařízení, poskytující data specializovanému serveru WAMS, jenž je umístěn v centrále přenosové společnosti.

Wide Area Monitoring System (WAMS)

WAMS systémy se skládají z jednotek měření fázorů (PMU), datových koncentrátorů (PDC), centrálního serveru a aplikačního softwaru.

Operátorské rozhraní

Zobrazuje aktuální stav sítě spolu s výsledky analytických funkcí WAMS systému. Obrazovky klientských stanic systému WAMS jsou obvykle umístěny v řídících centrech přenosových sítí.

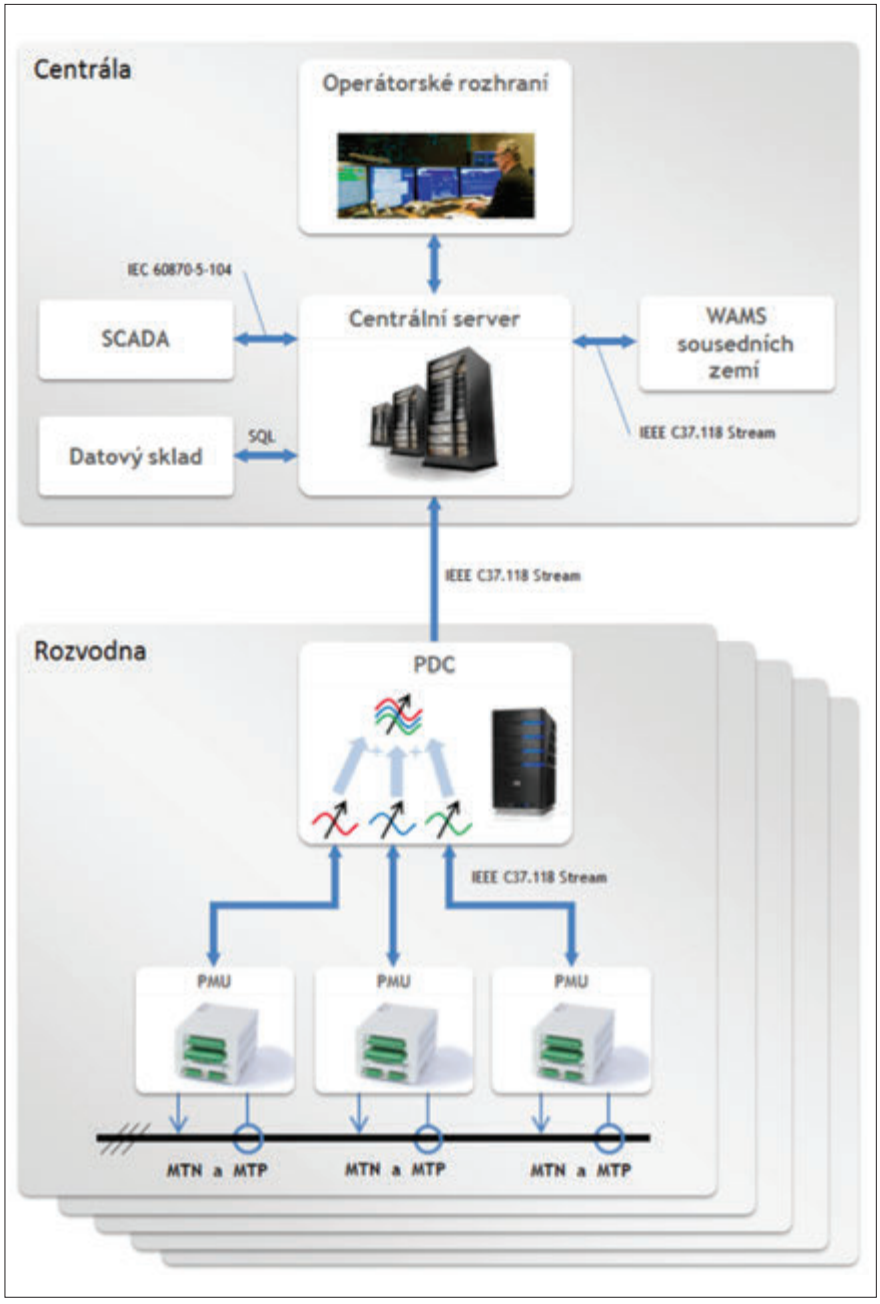
Centrální server

Hlavním úkolem tohoto serveru je přijímat a ukládat data přicházející z PMU a PDC jednotek. Navíc je schopen detekovat a dále přenášet alarmy a chybová hlášení, poskytuje matematické výpočty spolu s pokročilými analytickými funkcemi a zajišťuje komunikaci s jinými externími systémy (např. SCADA). Mezi typické pokročilé analytické funkce centrálního serveru patří:

- Monitoring fázorových úhlů
- Detekce a monitoring ostrovních provozů
- Detekce a analýza oscilací
- Detekce snížení rezervy statické stability
- Monitorování stability napětí

PDC – Koncentrátor fázorových dat

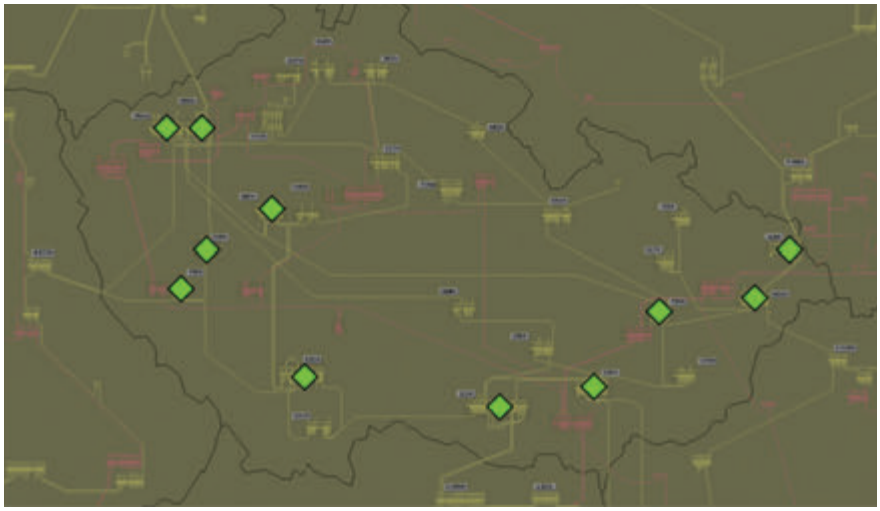
Zařízení PDC (Phasor Data Concentrator) přijímají fázory z PMU jednotek, které následně slučují do datových proudů zasílaných centrálnímu serveru nebo jiným jednotkám PDC. Slučování datových proudů z jednotlivých PMU probíhá tak, že se do jednoho datagramu odesílaného z PDC slučují data z různých PMU se stejnými časovými značkami. PDC mohou také sbírat a dále přenášet informace o stavu a zdraví částí systému zařízení WAMS na rozvodnách. Důležitou funkcí PDC také bývá možnost dočasného uložení dat v případě přerušení komunikačních linek mezi rozvodnou a centrálním serverem. Po obnovení komunikace se data chybějící na centrálním serveru automaticky nebo ručně doplní z dočasného archivu na PDC.



Obr. 1 – Architektura WAMS systému

PMU – Jednotky měření fázorů

Přístroje PMU jsou měřicí zařízení připojená k elektrické síti přes měřicí transformátory napětí a proudu (MTN a MTP), přednostně jejich měřicí jádra. Přístroje kontinuálně vyhodnocují amplitudu napětí a proudu, fázový úhel a frekvenci v daném místě sítě. Tyto informace jsou následně zasílány



Obr. 2 – Umístění PMU a PDC v ČR

Obr. 5 – lokální PDC instalovaná na rozvodnách

do nadřazených jednotek PDC nebo přímo centrálnímu serveru, dnes téměř výhradně po Ethernetu pomocí protokolu definovaného v dokumentu IEEE C37.118, definujícího vlastnosti přístrojů PMU. Perioda vyhodnocování a odesílání fázorových dat bývá nastavitelná, s nejkratší periodou rovnou nominální periodě jednoho cyklu síťového napětí. Přístroje PMU mohou fázory vracet buď jako fázové hodnoty nebo jako komponenty symetrických složek. Celková chyba měření je vyjádřena veličinou Total Vector Error (TVE), jež kombinuje chybu amplitudy a chybu fáze daného fázoru. Její maximální hodnota dle IEEE C37.118 činí 1%. Pro správnou funkci PMU je nutná jejich přesná synchronizace s UTC časem, který je poskytován systémem GPS. Povolená chyba časové synchronizace je dle standardu IEEE C37.118 nejvýše 1 µs, odpovídající při síťovém kmitočtu 50 Hz chybě úhlu 0,018°.

Doplňkové funkce PMU mohou zahrnovat:

- Kanály digitálních vstupů pro snímání stavů technologie a jejich přenos na centrální server
- Snímání stejnosměrných analogových veličin a jejich přenos na centrální server
- Výpočet činného a jalového výkonu a jejich přenos na centrální server
- Vícenásobné výstupní komunikace pomocí protokolu IEEE C37.118
- Korekční konstanty pro korekci chyb amplitudy a fáze měřicích transformátorů napětí a proudu

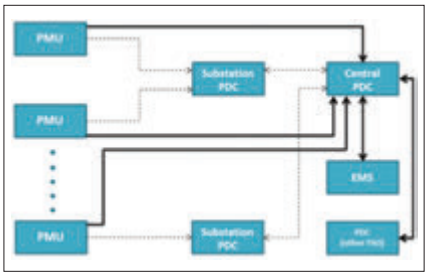
Projekt WAMS v přenosové soustavě České republiky

V roce 2013 probíhá v hlavních rozvodnách a na dispečinku české přenosové soustavy v Praze na Bohdalci, jejímž provozovatelem je ČEPS, a.s., implementace nového systému měření a monitorování synchronních fázorů (WAMS).

Architektura systému WAMS

Součásti projektu tvoří dodávka a instalace 36 PMU a 11 PDC na vybraných rozvodnách 400kV (viz Obr. 2). V centrále ČEPS, a.s. v Praze na Bohdalci bude spolu s dohledovým serverem nainstalována dvojice redundantních centrálních serverů včetně softwaru řídicího systému PhasorPoint. Výrobcem a dodavatelem tohoto softwaru je společnost Psymetrix Ltd, součást skupiny Alstom.

Servery v centrále ČEPS, a.s. poskytují operátorům přes klientské stanice náhledy na okamžitý stav sítě prostřednictvím řady pokročilých analytických funkcí. Systém bude k dispozici celkem cca 30 operátorům a analytikům sítě. Dodavatelem a výrobcem PMU jednotek ENA460-PMU a jejich GPS přijímačů ENA-TIR je společnost ELCOM, a.s. Dodavatelem dohledového serveru



Obr. 3 – Infrastruktura WAMS ČEPS, a.s.

Obr. 4 – ENA460-PMU a GPS přijímač ENA-TIR

a PDC, instalovaných na rozvodnách, je společnost TECHSYS – HW a SW, a.s.

Dodaný systém bude pomocí PMU provádět synchronní měření tří fází napětí a tří fází proudu z měřicích transformátorů a dopočítávat frekvenci a změnu frekvence v čase (df/dt). Při běžném provozu jsou hodnoty synchronních fázorů odesílány s frekvencí 20ms (jednou za periodu) z fázorových měřicích jednotek (PMU) protokolem IEEE C37.118-2005 po vlastních komunikačních linkách společnosti ČEPS (s přenosovou kapacitou 2Mb/s pro každou rozvodnu) přímo do centrály WAMS na dispečinku. Paralelně jsou hodnoty za posledních 30 dnů archivovány též v lokálních PDC na rozvodnách. Pro komunikaci v rámci rozvoden je využit místní optický rozvod. Fázorová data v lokálních PDC mohou být využita jako zdroj záložních informací v případě výpadku komunikace nebo pro potřeby lokálního zpracování na rozvodně v součinnosti s řídicím systémem rozvodny.

PhasorPoint

Jak již bylo uvedeno, softwarem centrálního serveru a klientských stanic je PhasorPoint od společnosti Psymetrix Ltd (součást skupiny Alstom). V centrále WAMS jsou realizovány aplikace provádějící analýzu fázorových dat a odpovídajících stavů soustavy:

- *Monitoring fázorových úhlů:*
  V režimu on-line probíhá sledování rozdílů fázorových úhlů napětí ve vybraných bodech soustavy, umožňující využívat i data z jiných soustav. Provádí se kontrola rozdílu úhlů a výstupem je varování při překročení limitní hodnoty rozdílu.

- *Detekce a monitoring ostrovních provozů:*
  Na základě analýzy průběhů kmitočtu, derivace kmitočtu a úhlů fázoru napětí v měřených bodech systému WAMS, včetně měření získaných z WAMS evropských soustav, se

identifikují synchronní ostrovy v síti, zjišťuje se jejich frekvence a derivace frekvence a výsledky vyhodnocení jsou odesílány do systému SCADA. Časové průběhy frekvencí a jejich rozdílů jsou zobrazovány v uživatelském prostředí a signalizuje se rovněž ukončení ostrovního provozu.

- *Detekce a analýza oscilací:*
  Tato analytická aplikace zjišťuje a analyzuje oscilace výkonu a kmitočtu v síti a kontroluje jejich tlumení. Bude využívána např. pro kontrolu chování soustavy v situacích extrémního přetížení, s cílem včasné detekce nestandardních stavů ohrožujících bezpečnost provozu (netlumené kmity, úhlová nestabilita). Výsledky jsou přenášeny do SDŘS (Dispečerský řídicí systém společnosti ČEPS). Detekce a identifikace oscilací s nedostatečným tlumením v rámci propojení vyžaduje import fázorů z okolních soustav.

- *Detekce snížení rezervy statické stability:*
  Na základě měřených fázorů se vypočítá okamžitá rezerva statické stability na zadaném koridoru, zobrazuje se výsledek vyhodnocení statické stability ve formě grafu závislosti P = f(δ) s případným signálem o narušení statické stability, který se odesílá do SDŘS.

- *Monitorování stability napětí:*
  Tato aplikace sleduje aktuální stav stability napětí na zadaném koridoru, určuje maximální činný výkon, který lze přenést bez ohrožení stability napětí, tj. rezervu přenosu výkonu z hlediska meze stability napětí. Aplikace provede detekci blížícího se kolapsu napětí a její výsledky jsou přenášeny do SDŘS.

Archivované záznamy událostí s rozlišením 20 ms nebo 100 ms budou využívány pro podporu ex-post analýz poruchových stavů v soustavě. Měřené hodnoty ze systému WAMS budou on-line využívány jako další měření do stavové estimace v systému EMS (Energy Management System) dispečinku. Systém je otevřený a může být v budoucnosti rozšiřován o další analytické aplikace využívající fázorová měření.

Dohledový server

Systém WAMS bude důležitou součástí dispečerského řízení přenosové soustavy. Z tohoto pohledu byl navržen systém dohledu a dlouhodobé archivace informací o provozu zařízení WAMS, který slouží pro potřeby údržby. Dohled zahrnuje jak zařízení na rozvodnách, tak centrálu WAMS a komunikace.

Funkce dohledového systému jsou distribuované po transformovnách. Dohled centra WAMS zajistí Supervising Server, dohled na rozvodnách zajišťují lokální servery TEK společnosti Techsys ve spolupráci s PDC na jednotlivých transformovnách. PDC zajistí sběr lokálních dat na transformovně, WAMS Supervising Server a lokální servery TEK archivaci, prezentaci a zpracování dat pro účely diagnostiky. Lokální servery TEK získávají diagnostická data i z řídicího systému transformovny.

Aktuální stav projektu WAMS ČEPS, a.s.

Projekt je v současnosti (červen 2013) ve fázi dodávky a instalace hardwaru, který byl předtím otestován v simulovaném prostředí při zatížení, které představuje trojnásobek zatížení při nasazení v reálné síti. Po dodávce a oživení systému proběhne test funkce v reálném prostředí, zaměřený zejména na integraci s ostatními systémy společnosti ČEPS, a.s., zahrnujícími datový sklad a dispečerský řídicí systém. Termín předání systému do běžného provozu je naplánován na duben 2014.

Po nasazení bude systém WAMS používán jako doplněk k existujícímu řídicímu systému a poskytne tak dispečerům komplexnější přehled o chování přenosové soustavy při běžném provozu, ale i při nestandardních situacích. Událostní záznamy měření jsou uchovávány v databázi centrálního serveru po dobu jednoho roku pro následnou analýzu dat. Centrála WAMS bude také umožňovat výměnu fázorových dat s ostatními evropskými TSO (Transmission System Operator) s frekvencí dat 100ms a vyšší, a to prostřednictvím protokolu IEEE C37.118.

Přínosy WAMS

Současný i budoucí stav provozování české přenosové soustavy v rámci evropského propojení lze charakterizovat výrazným nárůstem provozních situací, kdy jsou přenosové kapacity soustavy využívány na horních mezích, popř. jsou tyto meze v některých případech překračovány. Je to způsobeno zvyšujícími se nároky na přenos elektrické energie, způsobenými obchodem s elektrickou energií na národní i mezinárodní úrovni a nárůstem obnovitelných zdrojů mimo oblasti spotřeby. Tato situace vyžaduje hledání mezí, za kterých je možné soustavu ještě bezpečně provozovat z hlediska přenosových schopností jejích prvků a stability. Pro tyto účely je nutno soustavu v reálném čase monitorovat přesnějšími prostředky, abychom byli schopni správně děje v soustavě analyzovat a reagovat na ně. Neplánované, nepředvídané a ze strany ČEPS, a.s. neovlivnitelné velké a rychlé změny toků výkonu přes přenosovou soustavu ČR mohou způsobit v budoucnosti neobvyklé přechodové jevy a problémy se stabilitou, případně závažné reakce systémů chránění, a v krajní situaci rozpad soustavy. Je třeba mít pro tyto případy dostatek relevantních informací a softwarové nástroje pro analýzu dynamického chování soustavy. To nám přinese právě budovaný systém WAMS.

Zatímco SCADA sleduje ustálené stavy, WAMS sleduje dynamické jevy v rozsahu velkých propojených soustav a umožní výrazně přesnější pohled na procesy probíhající v řízené soustavě. Velký důraz klademe na výměnu fázorových měření s partnery v evropském propojení, protože přínosy WAMS jsou významně větší, pokud tyto systémy pokrývají větší rozsah propojených soustav.

Česká přenosová soustava bude po vybudování systému WAMS jednou z nejlépe vybavených evropských soustav touto technologií, jak z hlediska počtu měření, tak i z hlediska implementovaných analytických nástrojů. Předpokládáme, že centrálně zpracované výstupy systémů WAMS rozšíří funkčnost stávajících evropských systémů včasného varování a kromě nebezpečných ustálených stavů bude možno detekovat též dynamicky nestabilní stavy a včas na ně reagovat.

Vzhledem k tomu, že reakce systému řízení soustavy na nebezpečné dynamické děje musí být dostatečně rychlá, směřuje současný světový trend k doplnění systémů WAMS o příslušně reagující prostředky automatického řízení, tj. k systémům WAMPAC (Wide Area Monitoring, Protection and Control). Tento vývoj je dle našeho názoru jedním z hlavních příspěvků k budování Smart Grids v prostředí přenosových soustav.

Ing. Jan Šíma, ELCOM, a.s.,
Ing. Stanislav Vlček, ALSTOM Grid,
RNDr. Bohumil Sadecký, ČEPS, a.s.,
Ing. Marek Havrda, ČEPS, a.s.

WAMS systems for monitoring the electricity system
The difference in the phase angles of voltage in various places of the transmission grid indicates the state in which this grid is found and allows early detection of faults and adverse conditions which could result in the division of the grid into island operation (Islanding) or in outages of supply of electricity (Blackout). The article describes the analytical function of the WAMS (Wide Area Monitoring System) for synchronous measurement of phasors of voltage and current from the extensive territory of interconnected transmission systems.

Системы WAMS для мониторинга электрических сетей
Разница фазового напряжения в различных местах несущих электросетей показывает состояние, в котором эта сеть находится и дает возможность быстро определить место поломки и неблагополучного состояния, которое может привести к разделению сети на локальные части (Islanding) или к перебоям в подаче электроэнергии (Blackout). В статье описана аналитическая функция системы WAMS (Wide Area Monitoring System) для синхронных измерений напряжения и тока на больших территориях соединенных несущих электросетей.