

# SYNCHRONNÍ MĚŘENÍ V ELEKTRICKÝCH SÍTÍCH

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

*Kvalita souborů dat získaných z měření v elektrických sítích všech úrovní je kromě jiného ovlivněna nesoudobostí časů, ve kterých jsou jednotlivé údaje změřeny. Důsledkem jsou nepřekročitelné limity přesnosti při analýze takových souborů. V referátu budou popsány možnosti snížení nebo vyloučení těchto chyb se zaměřením na měření synchronních fázorů pro účely dispečerského řízení distribučních soustav.*

*Specifickou veličinou jsou relativní fázory napětí mezi uzly sítě. Metody jejich měření jsou principiálně synchronní a navíc nejsou tolik zatíženy chybou amplitudy. Z hlediska způsobu jejich použití se liší požadavky na jejich kvalitu, zvláště na přesnost a periodicitu měření.*

*Přístroje pro synchronní měření a zvl. pro měření fázorů napětí, zdokonalená komunikace mezi objekty a dispečinkem a výkonná výpočetní technika s příslušným softwarem jsou řešením uvedených problémů.*

*Systém FOTEL pro měření fázorů napětí je nasazen ve 4 distribučních společnostech v ČR na 89 rozvodnách s měřením v 297 uzlech distribuční soustavy (rok 2004).*

## 1. ÚVOD

Rozvoj trhu s elektřinou nutí energetické firmy věnovat větší úsilí efektivitě provozu snižováním nákladů. Na druhé straně, jak ukazují výpadky v severní Americe i v Evropě, existuje významná potřeba zvýšit bezpečnost a spolehlivost přenosu i distribuce elektřiny. Věnuje se zvýšená pozornost monitorování stavu sítě, které vyžaduje vstupní informace s lepší kvalitou než poskytují tradiční SCADA systémy. Plošné měření synchronních fázorů napětí a proudů v rozsáhlých sítích takové informace poskytuje.

Nutnost spolehlivé dodávky elektřiny odběratelům klade stále vyšší požadavky na moderní systémy řízení sítí i na podpůrné systémy a softwarové nástroje pro bezpečné, efektivní a nákladově optimální řízení sítí. Rozhodovací procesy jsou založeny na analýze stavového vektoru elektrické sítě, k jehož odhadu se používají dostupná redundantní měření elektrických veličin, tj. napětí, proudy, činné a jalové výkony. Výpočtové algoritmy však platí jen pro hodnoty, které byly změřeny současně.

Měřené elektrické veličiny jsou zatíženy jednak chybami složek měřicího řetězce, tj. měřících transformátorů a A/D převodníků, chybou z delta-kriteria použitého při prvotním zpracování v řídicím systému rozvodny a jednak chybami z nesynchronnosti měření, způsobené nesoudobým snímáním veličin a zpožděním na komunikačních linkách. Všechny tyto chyby znamenají zhoršení přesnosti výpočtů.

Specifickou veličinou, kterou dnes můžeme synchronně měřit, jsou relativní fázory napětí a proudů v uzlech sítě. Metody jejich měření jsou principiálně synchronní a navíc nejsou tolik zatíženy chybou amplitudy. Z hlediska způsobu jejich použití se liší požadavky na jejich kvalitu, zvláště na přesnost a periodicitu měření.

## 2. VÝZNAM MĚŘENÍ SYNCHRONNÍCH FÁZORŮ

Plošné měření synchronních fázorů napětí a proudů má význam jak v ustáleném provozu, tak při dynamických změnách během nestabilních stavů a při poruchách.

### 2.1. KONTROLA PODMÍNEK PŘÍPUSTNOSTI SPÍNÁNÍ UZLOVÝCH OBLASTÍ

Problematika spínání v distribučních soustavách vvn a vn při přípravě prací v síti nebo obnově napájení po poruše je velmi významná z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti provozu. Optimalizace spínacích postupů má přímý vliv na napájení odběratelů a na hodnotu ukazatele síťové dostupnosti. V průběhu manipulací nesmí být narušena technická omezení, aby nedošlo k působení systémů chránění a k následným odvozeným výpadkům. Jedním z důležitých parametrů při rozhodování dispečera jsou fázové poměry v soustavě, zejména rozdíly fázových úhlů napětí ve spínaných bodech soustavy. Dříve nebylo možné tyto hodnoty v reálném čase měřit a přenášet na dispečink s vynaložením přijatelných nákladů. V současné době však existuje systém synchronních fázorových měření.

## 2.2. ZPŘESNĚNÍ STATICKÉ ESTIMACE USTÁLENÉHO STAVU SOUSTAVY

Estimace ustáleného stavu vyžaduje synchronní měření a fázory jsou významným posílením souboru měření. Mohou se použít též jako první iterace příslušných složek stavového vektoru, místo obvyklých nulových úhlů napětí. **Statická estimace ustáleného stavu soustavy** po doplnění souboru měření o synchronní měření fázorů napětí a/nebo fázorů proudu vyžaduje pouze nevelké korekce algoritmu metody nejmenších čtverců, přičemž je takto možno dosáhnout vyšší přesnosti a spolehlivosti výsledků estimace.

Vysoká přesnost měření fázorů napětí zvyšuje jejich váhu v estimaci a pozitivně ovlivňuje i robustnost estimační metody. Velkou předností fázorových měření ve srovnání s klasickými systémy dálkových měření na dispečinku je jejich soudobost. Vliv nesoudobosti měření na kvalitu výsledků estimace je značný a použitím většího podílu fázorových měření jej lze eliminovat. Přímá měření fázorů napětí a proudu snižují též výpočetní nároky a zkracují nezbytný čas na provedení estimace. Zvyšují redundanci měření a zlepšují estimovatelnost. Z prvních zkušeností vyplývá, že pozitivní efekt fázorových měření na výsledky estimace silně vzrůstá s rostoucím podílem těchto měření v soustavě.

Další oblastí využití měření synchronních fázorů z protilehlých konců vedení je identifikace a zpřesnění hodnot **pasivních parametrů vedení**, jejichž nepřesnosti významně ovlivňují estimaci i síťové výpočty. Pomocí rychlého vzorkování synchronních fázorů  $U, I$  na obou koncích vedení a navazujícího výpočtu je možno identifikovat parametry  $R, X, B$  vedení v reálném čase. Metoda výpočtu je obdobná jako při lokalizaci zkratu, kdy se odhaduje impedance mezi bodem měření a místem zkratu.

## 2.3. DYNAMICKÁ ESTIMACE – MONITOROVÁNÍ STAVU SOUSTAVY V REÁLNÉM ČASE

Fázové úhly jsou velmi důležité stavové veličiny, protože určují toky výkonu, stabilitu synchronního chodu zdrojů i stabilitu napětí. Velmi nadějně je využití synchronních měření fázorů v reálném čase s rychlým vzorkováním ve zlomcích sekund pro **dynamickou estimaci přechodového procesu** a navazující nové algoritmy řízení soustavy. Dynamická estimace fázoru napětí umožňuje spolehlivě monitorovat přechodové procesy v reálném čase, tj. provádět skutečnou dynamickou estimaci stavu. Navazující algoritmy pak umožní rychle a efektivně reagovat na rozvíjející se poruchu a realizovat včas případný korekční zásah. Hlavní výsledný efekt je v tom, že se zabrání šíření poruchy nebo nadbytečnému působení ochrany a sníží se nebezpečí nežádoucích rozpadů. Použití fázorů je velmi přesné pro ustálený stav, avšak obtížnější a méně přesné v přechodovém procesu, kde vyžaduje náročnější zpracování, protože se mění kmitočet sítě. Na druhé straně však právě při změnách v soustavě by synchronní fázory s rychlým vzorkováním (několikrát za periodu) poskytl spolehlivou informaci o jevech v síti, na rozdíl od klasických měření, která se uplatní až po ustálení stavu.

## 2.4. SYSTÉMOVÁ KONTROLA STABILITY S NÁSLEDNOU VAZBOU NA OCHRANY A AUTOMATIKY

Úhlová diference fázorů napětí mezi uzly je mírou rizika nestability soustavy. Přenos fázorových měření do centra a následný algoritmus kontroly stability s vazbou na ochrany a automatiky zvýší spolehlivost mezioblastních přenosů. Kontrola podmínek přechodové stability se provádí v řídicím centru s využitím dat z fázorových měřicích jednotek a v případě rozcházejících se úhlů je vydán signál pro ochranu k rozdělení soustavy. O toto využití fázorových měření je v soustavách mnoha zemí stále větší zájem, protože to umožní zlepšit fungování jejich systémů ochrany a strategii řešení nebezpečných stavů. Specifickou úlohou, kterou lze takto řešit, je predikce dalšího průběhu zaznamenaného vznikajícího kývání strojů po nějaké poruše v soustavě. Za pomoci fázorových měření se dá předpovědět, zda přechodový proces bude stabilní nebo ne, tj. je možná detekce vznikajícího **narušení stability** a může být dán eventuelní popud k zapůsobení příslušných automatik a ochrany. Případně lze naopak zamezit jejich působení a rozpadu soustavy, když se proces sám stabilizuje. Lze tak v zárodku zabránit dalšímu šíření poruchy a systémovým škodám.

V soustavách s vysokým zatížením roste trend k přechodu od lokálních ochrany k celosystémovému chránění s využitím široce rozvinutého systému měření a přenosu synchronních fázorů pokrývajících celou velkou soustavu. Systémy chránění založené na synchronním měření s rychlým vzorkováním a telekomunikaci jsou obranou proti hrozcím systémovým poruchám ve stále složitějších a náročněji provozovaných sítích.

## 2.5. ANALÝZA PORUCHOVÝCH STAVŮ

Záznam fázorů před a po události v ES odráží odpověď ES v různých místech na konkrétní událost, což je významné z hlediska monitorování bezpečnosti a analýzy poruchových stavů. Synchronní záznamy fázorů jsou vhodné při analýze bezpečnosti provozu.

## 2.6. LOKALIZACE PORUCH

Další možností aplikace fázorových měření je jejich využití při klasifikaci poruch na vedení pomocí umělé neuronové sítě. Aplikace umělé neuronové sítě používá data z fázorových měřicích jednotek na rozvodnách, přenesená do dispečerského centra. Výhodou využití fázorových měřicích jednotek je přesná synchronizace záznamů z různých míst soustavy, což přináší možnost využití např. synchronních poruchových záznamů z obou konců vedení. Cílem je provést klasifikaci poruch na vedení, tj. určit typ poruchy a její místo a poskytnout tak dispečerovi rychlou podporu při vyhodnocení poruchového záznamu.

## 3. MĚŘENÍ FÁZORŮ

Plošné monitorování rozlehlých přenosových a distribučních sítí je založeno na nové technologii – měření s využitím časové synchronizace systémem GPS. Existující měření SCADA zjišťují efektivní hodnoty proudů a napětí, fázorová měření informují o amplitudě napětí a proudů a úhlu mezi měřenými veličinami v celé oblasti. Soubor fázorů změřený ve stejném čase je snímkem stavu monitorované oblasti ve všech měřených uzlech.

### 3.1. FÁZORY

Základní harmonickou elektrických veličin lze v časové oblasti popsat vztahy:

$$u = U \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

$$i = I \cdot \sin(\omega t + \psi)$$

Ve zvolený časový okamžik  $T$ , pro který stanovíme  $t=0$ , jsou veličiny:

$$u(t = 0) = U \cdot \sin \phi$$

$$i(t = 0) = I \cdot \sin \psi$$

kde  $U$  a  $\phi$  reprezentují fázor napětí,  $I$  a  $\psi$  reprezentují fázor proudu, oba synchronní v čase  $T$ .

Soubor fázorů zjištěný ve stejný okamžik v různých místech sítě se nazývá fázorový snímek (FS) v čase  $T$ .

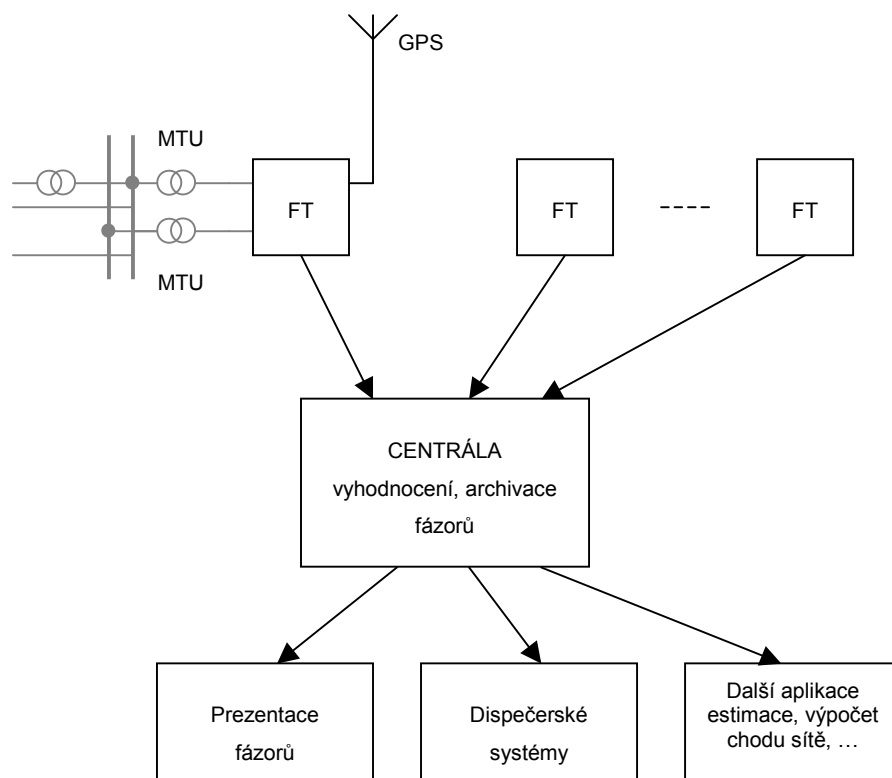
Při analýze FS se obvykle zvolí jeden z fázorů ( $U_R$ ) za referenční ( $\phi_R=0$ ) a ostatní úhly se přepočítají. Vznikne relativní fázorový snímek v čase  $T$  s referencí  $U_R$ .

Pro využití fázorů platí:

- Fázor je komplexní číslo spojené se sinusovým průběhem.
- Využití řady fázorů předpokládá, že všechny parametry v síti jsou konstantní.
- Ve výpočtech není třeba používat časových průběhů, ve fázorovém snímku je časový rozměr zahrnut.

### 3.2. STRUKTURA SYSTÉMU MĚŘENÍ

Základní architekturu pro monitorování fázorů znázorňuje následující schéma:



Na rozvodnách v měřicích uzlech jsou umístěny terminály pro měření fázorů FT umožňující měřit napětí, případně proudy za všech provozních stavů. Měřicími místy (uzly) jsou obvykle přípojnice, vybraná vedení nebo výstupy generátorů. Měřená data jsou dodávána do monitorovacího centra prostřednictvím vyhrazených komunikačních kanálů. V centrále jsou data zpracovávána a z údajů patřících ke stejnému času měření je vytvořen fázorový snímek stavu sítě.

Fázorový snímek stavu sítě je prezentován uživatelům ve vhodném formátu a je průběžně předáván aplikacím pro uživatelské zpracování. Navazujícími aplikacemi jsou např. dispečerský systém, programy estimace a výpočtu stavu sítě, analýza stability sítě a pod. K dispozici jsou i archivní údaje pro analýzu chování sítě.

### 3.3. NĚKTERÉ VLASTNOSTI FÁZOROVÝCH SYSTÉMŮ

Vlastnosti měření fázorů jsou závislé na charakteru aplikací, které data používají. Liší se především v periodicitě měření, kdy pro aplikace pro ustálený stav sítě je periodičita měření obvykle 1 – 10 sekund, pro aplikace zabývající se dynamikou sítě je periodičita měření 10 až 50 (60) snímků za sekundu.

Pro vyhodnocení fázorů v terminálech se používá vzorků změřených po stanovenou dobu, nazvanou „okno“. Velikost okna se volí 1 nebo více period. Změřený fázor tedy reprezentuje veličinu po dobu tohoto okna. Protože je elektrizační síť dynamickou soustavou s množstvím setrvačných prvků (rotační části strojů), lze zvýšit přesnost měření prodloužením okna. Větší délkou okna se zase ztrácí schopnost postihnout rychlé dynamické děje. Prakticky se velikost okna volí v délce 1 – 2 periody jmenovité frekvence sítě.

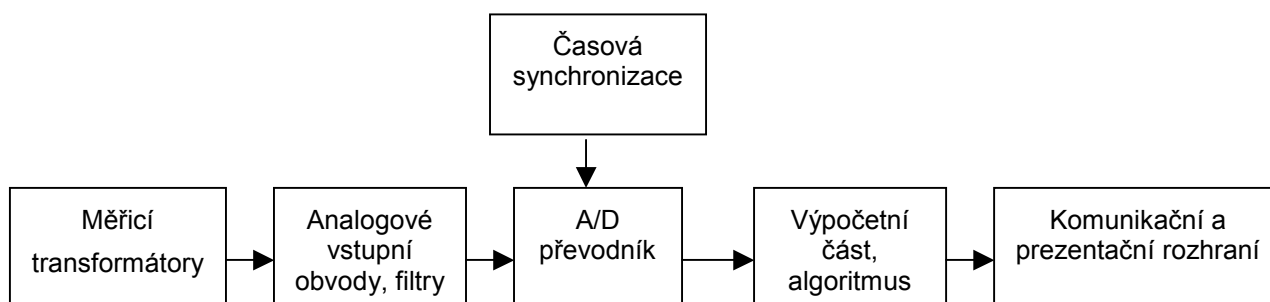
Na přesnosti měření úhlu se podílí přesnost synchronizace (GPS), měřicí metoda (algoritmus, okno, vzorkování měření), měřicí transformátory proudu, vstupní analogové obvody terminálu. Vyladěním jednotlivých vlivů lze dosáhnout průměrné přesnosti  $0.1^\circ$  mezi měřeními v celé oblasti.

Významnou vlastností systému je komunikační subsystém pro přenos dat z měřicích terminálů do centrály. Zvláště při dynamických měřeních je nutné zajistit přenos dat v čase, kdy jsou údaje pro dané využití ještě relevantní.

Kromě pevně instalovaných měření fázorů jsou k dispozici mobilní soupravy, které lze v případě potřeby použít pro analýzu aktuálních problémů. Data z mobilních souprav lze použít samostatně nebo jako doplněk k údajům z pevně nainstalovaných systémů.

### 3.4. PŘESNOST MĚŘENÍ

Měřicí řetězec zahrnuje všechny prvky od měřicích transformátorů napětí a proudů až po komunikační a presentační subsystémy.



Přesnost měřicích transformátorů je v desetinách až jednotkách procenta z hlediska amplitudy. Chyby fázového posunu lze prakticky snížit pod významnou mez volbou typu transformátorů a dodržáním jmenovitého zatížení obvodů.

Analogové vstupní obvody a zvláště filtrační obvody mohou změnit fázový posuv měřeného napětí a při rozdílných tolerancích použitých prvků zhoršit přesnost měření až na jednotky stupňů.

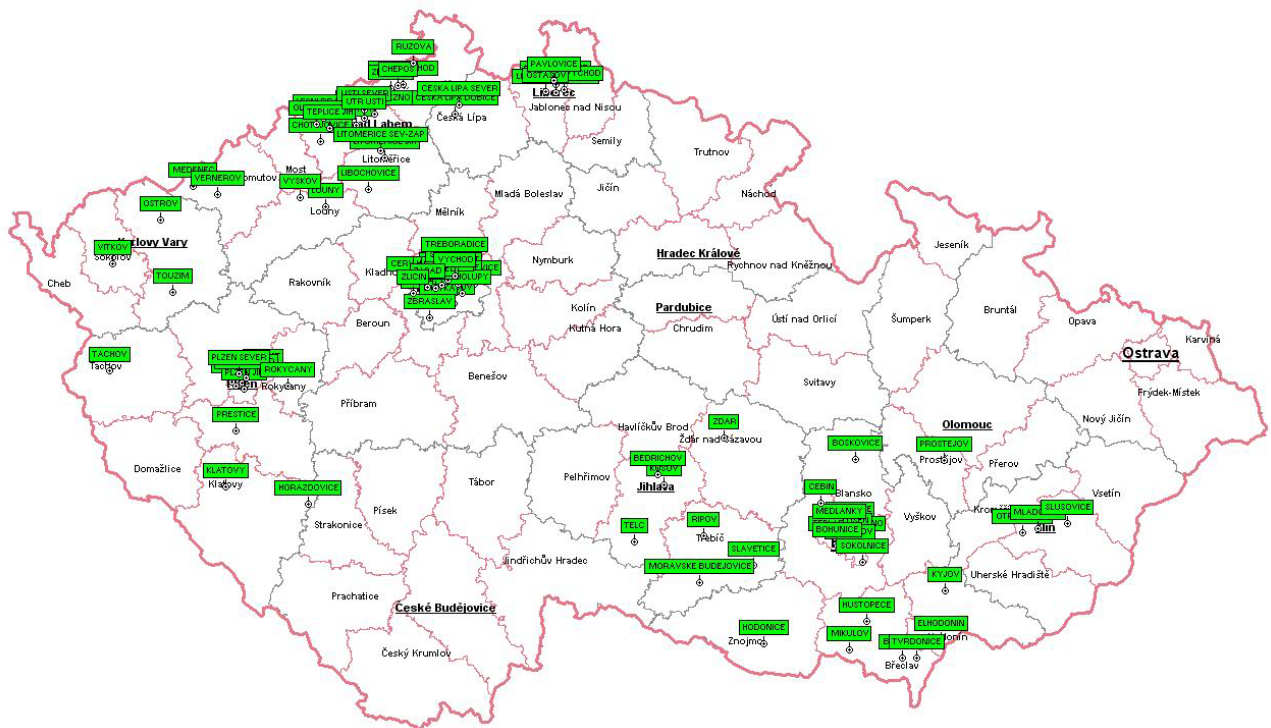
Přesnost synchronizace systémem GPS se pohybuje od 0,5 až 1,5 $\mu$ s, tj. zhruba 0,01 až 0,03° v úhlové oblasti. Významnější dopad může mít mechanismus spouštění měření a zachování periodicity snímání vzorků ve všech použitých měřicích terminálech.

Důležitá je volba výpočetního algoritmu a velikost měřicího okna. Existuje více variant upravené diskretní Fourierovy transformace s různou chybovou citlivostí na obsah vyšších harmonických v měřeném signálu a na periodicitu měření vzorků.

Z uvedeného rozboru vyplývá důležitost použít shodnou metodiku a technologii měření pro celý soubor fázorů, které chceme společně používat a zpracovávat. Vhodnou volbou a vyladěním všech článků měřicího řetězce lze dosáhnout chyby při měření úhlu fázorů kolem 0,1°.

### 3.5. MĚŘENÍ FÁZORŮ V ČR

V ČR je v některých distribučních společnostech používán systém pro měření synchronních fázorů FOTEL. Ke konci roku 2004 je v provozu měření fázorů na 89 rozvodnách distribuční soustavy s celkovým počtem 297 měřených uzlů. Na mapě je znázorněno rozmístění terminálů na rozvodnách distribuční soustavy:



System je synchronizován přesnou časovou značkou získanou ze systému GPS (Global Positioning System). Změřené vzorky napětí zpracovává a výsledkem je amplituda a fáze měřeného napětí v měřeném místě.

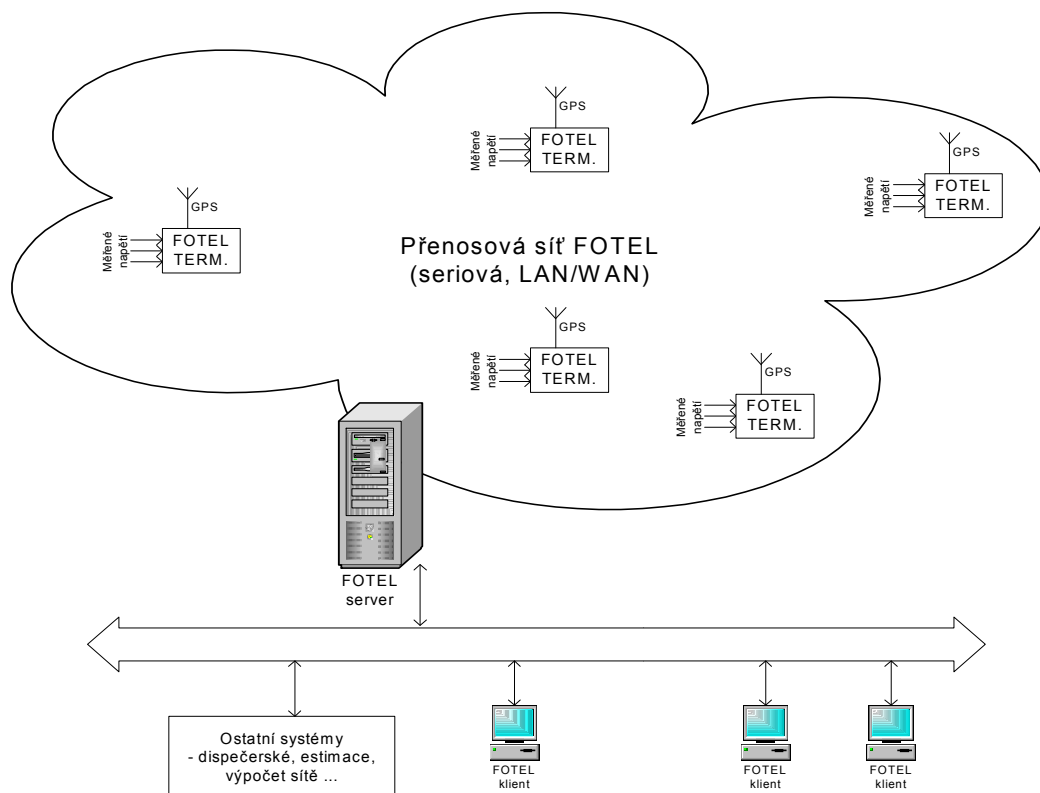
Centrální část FOTEL-C (server FOTEL) umožní porovnat fáze libovolných uzlů – získá se fázový posuv měřených uzlů vůči zvolenému referenčnímu měření.

Výsledky lze prohlížet na počítačích na síti LAN, na kterých je instalováno klientské programové vybavení a případně je využít k prezentaci a dalším výpočtům v návazných informačních systémech. Údaje jsou dodávány do dalších navazujících aplikací, např. do systému NETAN, programu pro estimaci a dispečerských systémů.

System se skládá z :

- Terminálů FOTEL pro měření.
- Přenosového systému pro přenos dat z terminálů do centra.
- Centra (server FOTEL) pro vyhodnocení fázových poměrů a předávání dat jiným systémům.
- Programové vybavení pro klientské pracovní stanice.
- Interface pro spolupráci s dalšími informačními systémy.

## FOTEL - struktura systému



### 3.6. PREZENTACE DAT V SYSTÉMU FOTEL

Program systému FOTEL umožňuje zobrazovat a sledovat rozdíly hodnot fází napětí mezi jedním referenčním měřicím místem a jedním nebo několika dalšími místy. Hodnoty jsou uspořádány do časových řezů - fázorových snímků po 10 sekundách. Výsledky se zobrazují v tabulkové nebo grafické podobě. Program dále stejným způsobem (bez určování referenčního místa) umožňuje zobrazovat a sledovat hodnoty velikosti měřeného napětí a počty satelitů GPS, viditelných a použitých v daném okamžiku z měřicího místa.

Uživatel si sám volí referenční místo, seznam srovnávaných měřicích míst a počet (hloubku) zobrazovaných vzorků, resp. časový interval při práci s archivem. Tímto způsobem vlastně parametrizuje rozhraní na databázovém serveru, které pak na periodickou výzvu programu předává požadovaná data (již přepočítaná k referenčnímu bodu). Tato metodika umožňuje různým instancím programového vybavení (tj. různým pracovním stanicím) sledovat různá data (každý uživatel sleduje jinou sadu měřicích míst vztahenou k jinému referenčnímu bodu).

Příklad zobrazení v tabulkové formě:

**FOTEL - tabulky**

Měřicí místa:

- BNT (Teplárna Špitálka)
  - A (22 kV)
  - B (22 kV)
  - C (22 kV)
- RHUS (Rozvodna Husovic)
  - A (22 kV)
  - B (110 kV)
  - B (22 kV)
- RLIS (Rozvodna Líšen)
  - A (22 kV)
  - B (110 kV)
  - B (22 kV)

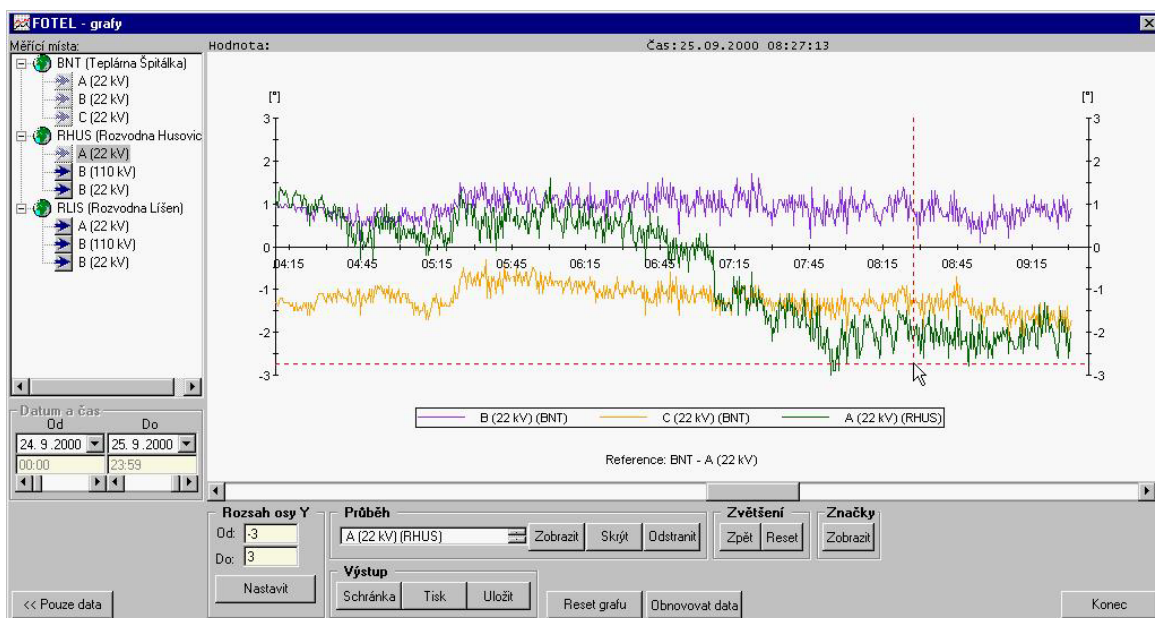
Diference fází [°]:

Čas	BNT A (22 kV)	BNT B (22 kV)	BNT C (22 kV)	RHUS A (22 kV)	RHUS B (22 kV)
25.9.2000 8:58:00	0.0	0.8	-1.4	-2.2	-4.2
25.9.2000 8:57:30	0.0	0.5	-1.6	-2.6	-4.5
25.9.2000 8:57:00	0.0	0.6	-1.4	-1.9	-4.0
25.9.2000 8:56:30	0.0	0.3	-1.6	-2.3	-4.3
25.9.2000 8:56:00	0.0	0.3	-1.7	-2.4	-4.4
25.9.2000 8:55:30	0.0	0.3	-1.9	-2.3	-4.3
25.9.2000 8:55:00	0.0	0.4	-1.6	-2.3	-4.2
25.9.2000 8:54:30	0.0	0.8	-1.3	-1.6	-3.6
25.9.2000 8:54:00	0.0	0.1	-1.7	-2.5	-4.3
25.9.2000 8:53:30	0.0	0.7	-1.4	-1.8	-3.7
25.9.2000 8:53:00	0.0	0.4	-1.7	-2.5	-4.4
25.9.2000 8:52:30	0.0	0.4	-1.6	-2.6	-4.5
25.9.2000 8:52:00	0.0	0.6	-1.4	-2.1	-4.0
25.9.2000 8:51:30	0.0	0.4	-1.6	-2.4	-4.3
25.9.2000 8:51:00	0.0	0.8	-1.2	-1.7	-3.7
25.9.2000 8:50:30	0.0	0.3	-1.6	-2.4	-4.3
25.9.2000 8:50:00	0.0	0.6	-1.5	-2.0	-3.9
25.9.2000 8:49:30	0.0	0.7	-1.4	-2.8	-4.6
25.9.2000 8:49:00	0.0	0.4	-1.3	-2.6	-4.5
25.9.2000 8:48:30	0.0	0.7	-1.2	-2.0	-3.9
25.9.2000 8:48:00	0.0	0.9	-1.3	-2.2	-4.0
25.9.2000 8:47:30	0.0	0.8	-1.3	-2.2	-4.0
25.9.2000 8:47:00	0.0	0.7	-1.2	-2.2	-4.0
25.9.2000 8:46:30	0.0	0.6	-1.4	-2.4	-4.4
25.9.2000 8:46:00	0.0	0.9	-0.9	-1.5	-3.5
25.9.2000 8:45:30	0.0	0.5	-1.4	-2.3	-4.3
25.9.2000 8:45:00	0.0	0.7	-1.0	-1.9	-3.8
25.9.2000 8:44:30	0.0	1.1	-0.7	-1.4	-3.3
25.9.2000 8:44:00	0.0	0.6	-1.4	-2.4	-4.3
25.9.2000 8:43:30	0.0	0.3	-0.9	-2.0	-3.9
25.9.2000 8:43:00	0.0	0.6	-1.2	-2.3	-4.2
25.9.2000 8:42:30	0.0	1.2	-1.1	-2.1	-4.0

Datum a čas: Od 25.9.2000 00:00 Do 26.9.2000 23:59

Export - Excel Export - text Reset tabulky Obnovovat data Konec

Příklad zobrazení v grafické formě:



## 4. SPECIFIKACE PŘÍNOSŮ

Investice do informačního systému, v tomto případě do instalace systému fázorových měření, přináší distribuční společnosti užitek, který je třeba ekonomicky ocenit a porovnat s vynaloženými náklady. Je známo, že ekonomické ocenění přínosu investic do informačního a řídicího systému je obtížně vyčíslitelné,



protože měřitelné efekty jsou nepřímé. Přesto tyto investice výrazně ovlivní hospodářský výsledek společnosti.

Předpokládané efekty můžeme rozdělit do několika skupin :

- možnost snížení ztrát energie a zvýšení využití přenosových kapacit sítí díky přesnější znalosti stavu soustavy získané pomocí estimace a dopočtů a díky možnosti tento stav efektivněji optimalizovat
- zvýšení spolehlivosti provozu a snížení doby nedodávky a velikosti nedodané energie, protože znalost fázových úhlů v bodech spínání eliminuje nebezpečí nesprávné manipulace a následného výpadku působením ochran
- zkrácení doby likvidace poruch díky lepší informovanosti o stavu soustavy v průběhu přepojování a obnovy napájení při řešení poruchy
- lepší možnost plánování a řízení prací v soustavě, vyšší efektivita těchto prací, protože dispečer má k dispozici více informací o stavu soustavy potřebných k rozhodnutí o možném spínání v síti, zkrácení doby plánovaných výpadků a tím zvýšení celkové dodávky
- úspory na instalaci klasických systémů měření P,Q jejich nahrazením levnější fázorovou měřicí jednotkou
- Instalací fázorových měření lze vyřešit řadu případů, kdy dispečer řeší otázku, zda lze sepnout dva body vn síti napájené z různých oblastí. Doposud je nutno buď odložit plánovanou práci nebo provést „spínání na tmou“. Obojí je nepříznivý jev s možnými ekonomickými důsledky, spínání „na tmou“ je v řadě případů zcela vyloučeno. Pokud se budou fázové úhly měřit a případně i ovlivňovat řízením, mohou se tyto nepříznivé případy omezit a zvýšit tím koeficient dostupnosti sítě.