

Výpočet ustáleného chodu sítě pomocí hodnot z měření

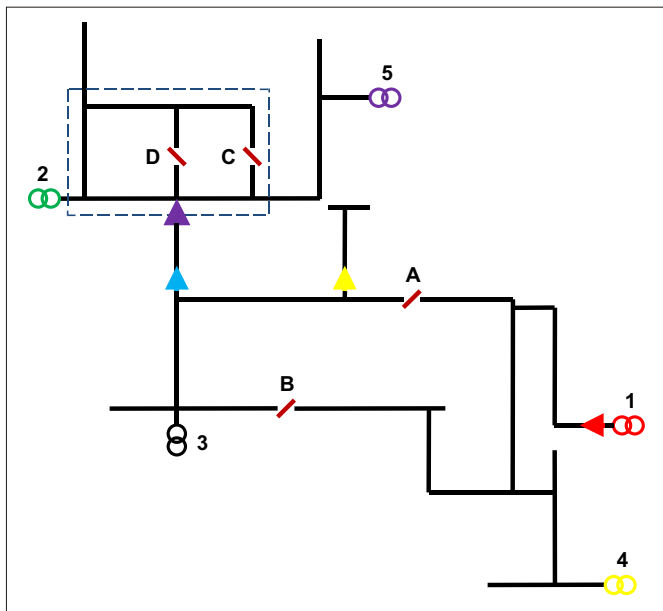
Jan RUSINSKÝ, Jan SOUČEK

Úvod

Instalace měřicích přístrojů na sekundární straně distribučních transformátorů v síti vn poskytuje nové možnosti využití naměřených dat. Mimo dimenzování distribučních transformátorů podle skutečných hodnot zatížení je pak dalším příkladem výpočet ustáleného chodu vn sítě. Tento výpočet se dá využít pro stanovení ztrát na jednotlivých úsecích vedení a v celé síti. Dále je tu možnost simulovat různá zapojení sítě například pro přípravu scénářů zapojení v poruchových stavech, nebo optimalizovat zapojení sítě pro dosažení nižších ztrát při přenosu.

1. Experimentální síť

Ve zkoumané síti byly nasazeny indikátory zemních spojení MEG61.4, monitory kvality elektrické energie MEG35 a univerzální monitory MEG40 pro měření na sekundární straně transformátorů. Zkoumaná síť obsahuje 96 trafostanic. Zjednodušené schéma sítě obsahující pouze kmenová vedení je na **obr. 1** – čísla jsou označena možná místa napájení, písmeny pak úsečníky (další značení je vysvětleno v textu). Ve schématu je pro zjednodušení vyznačena pouze malá část prvků sítě. Pro výpočet bylo v síti definováno 243 uzlů a 245 vedení. Z důvodu velkého množství těchto prvků nejsou ve schématu značeny, stejně jako nejsou vyznačeny jednotlivé trafostanice. V provozním stavu je síť napájena z napáječe 1 a sepnutý je pouze úsečník A.



Obr. 1. Zjednodušené schéma sítě

2. Výpočet

Podmínkou je znalost parametrů jednotlivých úseků vedení v síti a z důvodu měření na sekundární straně také parametry distribučních transformátorů pro přepočtení naměřených hodnot na primární stranu.

Z hlediska rozsáhlosti sítě není vhodné použití obvyklých numerických metod výpočtu sítě, které vycházejí ze znalosti činných a jalových odběrů, příp. dodávek a minimálně jednoho napětí. Takovýto výpočet je poměrně přesný, ale časově velmi náročný. Proto byl použit na menší části sítě pro zkoumání vlivu mřížového zapojení, viz dále.

Pro kteroukoli metodu výpočtu je potřeba definovat uzly a úseky vedení sítě. Z těchto prvků lze pak vytvořit admittanční matici, která je definována následovně: diagonální prvky \bar{Y}_{ii} se určí jako součet admittancí všech vedení napojených na i -tý uzel, mimo-diagonální prvky \bar{Y}_{ij} ($i \neq j$) pak odpovídají záporně vzatému součtu admittancí mezi i -tým a j -tým uzlem.

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \dots & \bar{Y}_{1j} & \dots & \bar{Y}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{ri} & & \bar{Y}_{ij} & & \bar{Y}_{rn} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{n1} & \dots & \bar{Y}_{nj} & \dots & \bar{Y}_{nn} \end{bmatrix}$$

kde n [-] je celkový počet uzlů.

Při znalosti typů a délek jednotlivých vedení lze snadno dohledat jejich odpor a reaktanci. Admittanci potom získáme jako převrácenou hodnotu impedance.

Co se týká samotného výpočtu, nejjednodušším způsobem je přepočtení naměřených sekundárních proudů na primární pomocí převodu transformátorů. Sekundární proud se určí jako průměr z naměřených třífázových proudů. Potom použitím metody uzlových napětí [2] dostaneme soustavu lineárních rovnic. Maticová podoba metody uzlových napětí po eliminaci bilančního uzlu (viz [2]) je následující:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \vdots \\ \bar{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_2 - \bar{Y}_{21} \bar{U}_1 \\ \bar{I}_3 - \bar{Y}_{31} \bar{U}_1 \\ \vdots \\ \bar{I}_n - \bar{Y}_{n1} \bar{U}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \dots & \bar{Y}_{2n} \\ \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \dots & \bar{Y}_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{n2} & \bar{Y}_{n3} & \dots & \bar{Y}_{nn} \end{bmatrix}^{-1}$$

kde \bar{I}_i [A] je proud odebíraný, resp. dodávaný do uzlu i ,

\bar{U}_i [V] je napětí v uzlu i ,

\bar{U}_1 [V] je známé napětí v bilančním uzlu.

Nevýhodou tohoto výpočtu v této konkrétní aplikaci je nízká přesnost přepočtu na primární stranu, jelikož není znám přesný převod transformátoru (čepování transformátoru).

Tuto nevýhodu eliminují numerické metody (např. zde použitá Gauss-Seidlova), které vycházejí ze znalosti činných a jalových odběrů a minimálně jednoho napětí v síti. Ovšem, jak je uvedeno výše, mají velkou časovou náročnost a nemusí vždy konvergovat.

Protože hodnoty činného a jalového výkonu známe na sekundární straně je potřeba určit ztráty transformátoru [1]. Pro činné ztráty platí:

$$P_z = P_0 + P_k \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2$$

kde P_z [W] jsou činné ztráty transformátoru,

P_0 [W] jsou činné ztráty transformátoru naprázdno,

P_k [W] jsou činné ztráty transformátoru nakrátko,

S [VA] je okamžitý zdánlivý výkon transformátoru,

S_n [VA] je jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru.

Ztráty jalového výkonu pak určíme jako:

$$Q_z = Q_0 + Q_k \cdot \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 = \frac{S_n}{100} \cdot \left[i_0 + u_k \cdot \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \right]$$

kde Q_z [VAR] jsou jalové ztráty transformátoru,
 Q_0 [VAR] jsou jalové ztráty transformátoru naprázdno,
 Q_k [VAR] jsou jalové ztráty transformátoru nakrátko,
 i_0 [%] je procentní proud naprázdno,
 u_k [%] je procentní napětí nakrátko.

Hodnoty činných ztrát naprázdno a nakrátko použité pro výpočet odpovídají skutečným transformátorům v síti. Proudy naprázdno a napětí nakrátko se pak určily jako přibližné hodnoty pro daný jmenovitý výkon transformátoru. Pro různé transformátory při stejném jmenovitém výkonu se tyto hodnoty příliš neliší.

Součtem dostaneme činný a jalový výkon na primární straně:

$$P_1 = P_2 + P_z$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_z$$

kde P_1 [W] je výkon na primární straně,
 P_2 [W] je výkon na sekundární straně,
 Q_1 [VAR] je jalový výkon na primární straně,
 Q_2 [VAR] je jalový výkon na sekundární straně transformátoru.

Při použití Gauss-Seidlový iterací metody dostaneme pro výpočet neznámých uzlových napětí tento vztah [2]:

$$\bar{U}_i^{(k+1)} = \frac{1}{\bar{Y}_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(\bar{U}_i^{(k)})^2} - \sum_{j=1}^{i-1} \bar{Y}_{ij} \bar{U}_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n \bar{Y}_{ij} \bar{U}_j^{(k+1)} \right]$$

kde $i=2,3,\dots,n$.

Písmenem k je označen krok iterace. Výpočet probíhá, dokud není pro všechna i splněna podmínka:

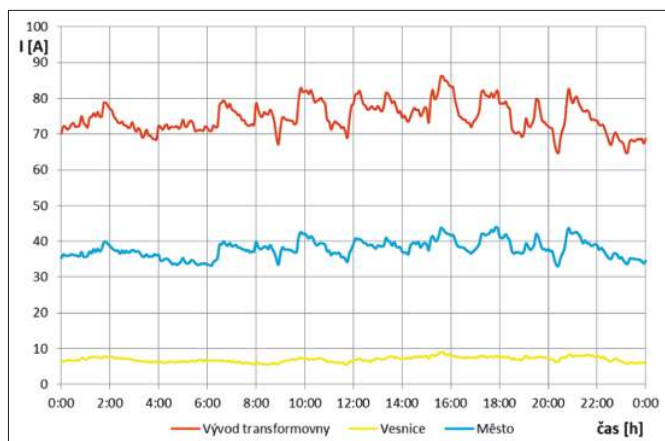
$$|\bar{U}_i^{(k+1)} - \bar{U}_i^{(k)}| \leq \varepsilon$$

kde ε [V] je zadaná přesnost.

Z vypočtených napětí v uzlech sítě pak určíme úbytky na jednotlivých vedeních a následně pomocí úbytků napětí a impedance vypočítáme procházející proud.

3. Průběh proudů úseky vedení

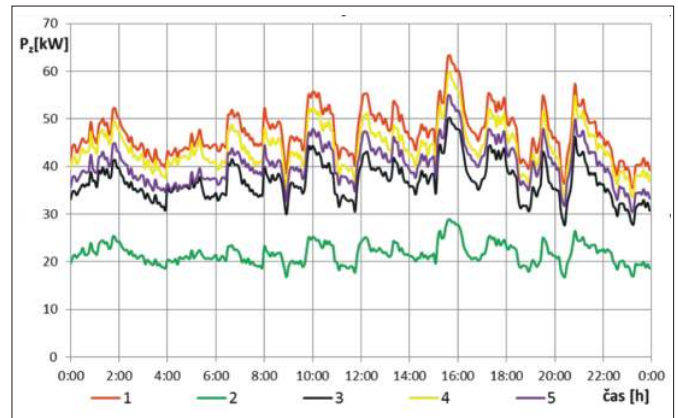
Pomocí lineárního výpočtu se určily průběhy proudu na vedeních při aktuálním zapojení sítě, tedy napájení z bodu 1, zapojen úsečnick A. Vedení, pro která byl výpočet proveden, jsou na obr. 1 znázorněna barevnými šipkami, barvy odpovídají křivkám v grafu na obr. 2. Pro výpočet jsou použity průměrné efektivní hodnoty proudů v pětiminutových intervalech za jeden den.



Obr. 2. Průběh proudu vybranými úseky vedení

4. Ztráty v síti pro různé body napájení

Ztráty na vedení v celé síti jsou značně závislé na rozložení odběrů a také na bodu napájení. Rozložení odběrů lze těžko ovlivnit, ale při pohledu na obr. 3 je patrné, že velký vliv má i samotné místo napájení. V této ukázce nejsou uvažovány ztráty na vedení od uvažovaných transformoven ani další technologická omezení změny napájecího bodu. Výpočet má poukázat na to, že je možné na základě znalosti rozložení odběrů v síti snížit technické ztráty vhodným zapojením sítě.



Obr. 3. Ztráty na vedení pro různé body napájení

Barvy křivek v grafu odpovídají bodům napájení z obr. 1. Při stávajícím napájení z transformovny 1 jsou ztráty nejvyšší a dosahují v průměru asi 48 kW. Přepojením na napáječ 2 se dá docílit snížení ztrát na 23 kW, tedy asi o 50 %.

5. Ztráty při mřížovém zapojení sítě

Pro tento výpočet byla použita zmíněná Gauss-Seidlova numerická metoda. Oblast sítě je označena přerušovaným rámečkem (obr. 1). Napájení ukazuje fialová šipka. V tomto bodě bylo potřeba zvolit napětí, protože skutečná hodnota není známa. Při volbě napětí mezi 35 kV ± 10 % je rozdíl vypočtených ztrát kolem 33 %. Dále uvedené hodnoty ve watttech jsou proto jen orientační a směrodatné jsou především hodnoty procentní.

Tab. 1. Ztráty při zapojení sítě do kruhu

Zapojení úsečnicků:		C, D - rozpojeni	C - zap, D - rozp	D - zap, C - rozp	C, D - zapojeni
U=35kV	Pz [W]	3100	1540	920	760
	ΔPz [%]	-	-50	-70	-75
U=31,5kV	Pz [W]	3820	1900	1140	940
	ΔPz [%]	-	-50	-70	-75
U=38,5kV	VPz [W]	2550	1270	760	630
	ΔPz [%]	-	-50	-70	-75

V tab. 1 jsou uvedeny výsledky výpočtu pro průměrnou hodnotu odběrů v určitý den. Podle předpokladu má zapojení do kruhu či mříže oproti stromové struktuře podstatně nižší ztráty a to až o 75%.

Závěr

Výše uvedené možnosti výpočtu ustáleného chodu sítě se dají využít pro analýzu zatížení prvků sítě a pro stanovení optimální konfigurace jak v provozních, tak v poruchových stavech. Statisticky zpracovaná data z měření mohou být použita jako doplňující informace pro systémy dispečerského řízení. Zna-

lost rozložení odběrů v síti je vhodné využít pro optimální nasazení obnovitelných zdrojů a využití energie v místě výroby. V neposlední řadě je znalost chodu sítě výhodná pro jejich budoucí rozvoj z hlediska stále se měnícího rozložení zdrojů elektrické energie a nových možností automatizovaného řízení.

Literatura

- [1] Chmela M.: *Ekonomika a řízení*, VUT Brno, 2007.
- [2] Haluzík E.: *Řízení provozu elektrizačních soustav*, VUT Brno, 1983.
- [3] Uživatelská příručka k univerzálnímu monitoru MEG35
- [4] Uživatelská příručka k univerzálnímu monitoru MEG40

Ing. Jan Rusinský – v MEGa – Měřicí Energetické Aparáty, a. s., pracuje na pozici technik vývoje FW.

Ing. Jan Souček – v MEGa – Měřicí Energetické Aparáty, a. s., pracuje na pozici technik vývoje.

Vývoj energetiky ve Švýcarsku

V současnosti vyrábějí švýcarské elektrárenské zdroje (starší průtočné a přehradové vodní elektrárny a 5 jaderných elektráren) za 32 – 40 EUR/MWh. Dodávka z 2 500 MW francouzských jaderných elektráren, na niž mají švýcarské společnosti právo, vyjde zhruba ve stejné cenové hladině. Proud od společností Expo, Alpi Q a kantonálních výrobců AEW a EKZ vychází na 40 – 60 EUR/MWh. Nové velkoelektrárny (jako např. průtočná vodní elektrárna Ruppoldingen) vyrábějí za cca 10 EUR/MWh. Odstoupení od jaderné energetiky stávající cenovou situaci dále komplikuje, zejména s přihlédnutím k povinnosti zásobovat regulované zákazníky za výrobní ceny. Výrobní park je převážně v severních kantonech, odběratelé v ostatních kantonech jsou odkázáni na provozovatele sítě. Avizované odstoupení od jaderné energetiky tedy vyvolá komplikovanou situaci.

Energy & Management č. 12/2011, s. 13

Francie stanovuje tarify pro konkurenty EdF

Podle nových ustanovení, která mají zajistit soulad s pravidly EU o otevřeném trhu s elektřinou má Francie prodávat čtvrtinu své produkce jaderných elektráren svým konkurentům za cenu stanovenou francouzskou vládou. Konkurenti EdF, např. GDF Suez Power usilovali o to, aby tarif byl nižší, než 35 EUR/MWh, zatímco EdF usilovala o nový tarif ve výši nejméně 42 EUR/MWh, tedy ve výši nutné ke krytí výrobních nákladů, údržby a investic. Vláda stanovila od 1. 7. 2012 cenu ve výši 40 EUR/MWh. Konkurenti EdF považují tuto cenu za nekonkurenční a podle GDF Suez Power tím vláda nedostala svým závazkům vůči komisi EU. Vláda naopak konstatuje, že při stanovení tarifu zvažovala schopnost EdF vyhovět všem novým požadavkům a standardům jaderné bezpečnosti, které jsou požadovány po událostech ve Fukušimě. Nezávislá studie z minulého roku schválená vládou doporučovala cenu 38-40 EUR/MWh. *The Energy Industry Times, May 2011, s. 8*

Saudská Arábie a jaderná energetika

Po podpisu dohody s Francií o spolupráci v oboru jaderné energetiky v únoru t. r. plánuje Francie další jednání na toto téma také Čínou. Saudská Arábie se zaměřuje na jaderný program v zájmu ochrany svých ohromných zásob ropy a v důsledku rostoucí potřeby energie. Počítá se s růstem špičkového zatížení 43 000 MW v létě 2010 na více než 120 000 MW v roce 2030. *The Energy Industry Times, May 2011, s. 9*

SPD a energetika

SPD požaduje nejen odchod z jaderné energetiky a využívání obnovitelných zdrojů, ale zamýšlí také snížit dnešní podíl 4 velkých německých koncernů pod 50 %, aby vznikla větší konkurence a tlak na ceny elektrické energie. Současně by se tím mělo dosáhnout podstatného zkrácení nových elektrických sítí ve srovnání s jejich dosud předpokládanou potřebou, kterou udává agentura DENA. To by mělo být další výhodou vývoje směřujícího k decentralizovaným komunálním systémům.

Energy & Management č. 12/2011, s. 8

„Kdo měří, ví,
kdo ví, měří.“

MEGA

Měřicí
Energetické
Aparáty