

Výkonové teorie - rešerše a implementace

Bc. Leoš Kukačka, Ing. Jan Kraus, Ph.D.

Abstrakt

Měření elektrického výkonu je stále aktuální téma nejen pro dodavatele a spotřebitele elektrické energie, ale také pro výrobce měřicích zařízení. Tento projekt si klade za cíl seznámení s teoriemi elektrického výkonu v třífázové rozvodové síti. Jsou brány v potaz všechny významné teorie 20. století. Praktická část implementuje výpočty podle jedné ze zmiňovaných teorií. Výpočty jsou porovnané s referenčními vztahy podle standardní definice IEEE 1459-2010. Vzniklé analytické nástroje jsou v závěru projektu otestovány na reálných datech, změřených v třífázové čtyřvodičové soustavě.

Úvod

Výkonové teorie vznikají jako nezbytný nástroj k porozumění dějů uvnitř elektrických obvodů. Ukazuje se, že je čím dál náročnější zachovat v rozvodové síti ideální podmínky - symetrické napětí a symetricky rozložená zátěž, nízký (ideálně žádný) podíl vyšších harmonických (popř. mezharmónických a subharmonických) složek, nebo dokonale kompenzovaná zátěž.

Všechny zmíněné poruchy narušují ideální tok výkonu od zdroje ke spotřebiči, čímž se stává síť neefektivní (nejpoužívanějším a nejnázornějším z možných kvantifikátorů této efektivity je veličina zvaná účinník). Komplikuje se rovněž matematický popis dějů uvnitř sítě. Náhled na to, jak co nejlépe popsat tyto děje, není vůbec jednotný. Za dobu existence elektrické rozvodové sítě vzniklo mnoho teorií, které si kladou za cíl jednak co nejlépe modelovat i komplikované situace, jednak poskytnout návod, jak účinník zlepšit.

V projektu se zabývám klasickými teoriemi (C. Budeanu, [2], S. Fryze, [5]), dále tzv. p-q teorií (H. Akagi, [1]). Zajímavý způsob definice výkonů pomocí wavelet transformací (DWT) je načrtnut v [4]. Nejperspektivnější teorií je tzv. CPC teorie [3] - tato teorie byla vybrána k praktické implementaci.

Experiment a metody

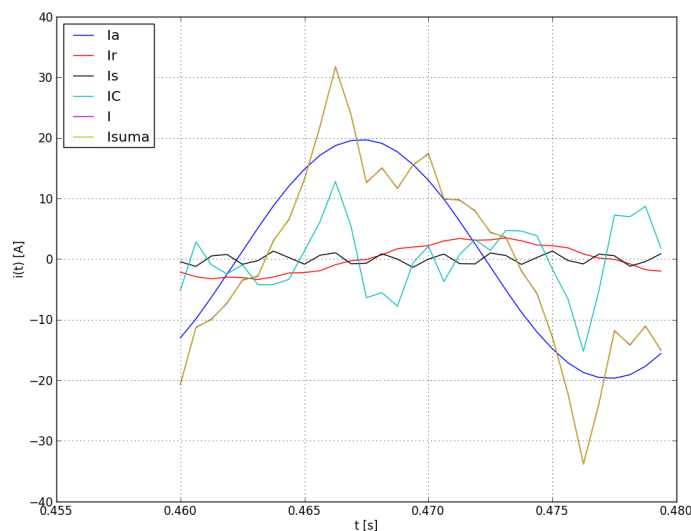
CPC teorie vychází z původní Fryzeho myšlenky zabývat se nejprve rozložením průběhu elektrického proudu na vzájemně ortogonální složky, a z nich následně definovat různé složky přenášeného výkonu. I v komplikovaných situacích lze proud rozložit na nejvýše pět složek, z nichž každá odpovídá fyzikálně interpretovatelnému jevu, ke kterému v obvodu dochází - vzájemné fázové posunutí napětí a proudu, výskyt vyšších harmonických složek, nesymetricky zatížený obvod, popř. vyšší harmonické složky, generované zátěží. Protože jsou tyto složky vzájemně ortogonální, lze jejich efektivní hodnoty geometricky sčítat. Po roznásobení tohoto součtu efektivní hodnotou napětí $\|u\|^2$ dostaneme

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D_s^2 + D_u^2 + S_C^2 \quad (1)$$

Máme tedy definovaný po řadě zdánlivý výkon, činný, jalový, roztroušený výkon (plynoucí z proměnného charakteru zátěže pro vyšší harmonické složky), nevyvážený výkon (plynoucí z asymetrického charakteru třífázové soustavy) a zpětný výkon, plynoucí z vyšších harmonických složek, tekoucích od zátěže ke zdroji.

Výsledky a diskuze

Výpočet složek proudu a výkonu podle CPC teorie byl implementován v programovacím jazyce Python v.2. Skript se zabývá výpočty pro jednu fázi - odpadá tedy nevyvážený proud a výkon. Výstupem skriptu jsou kromě číselných hodnot výkonů a RMS proudů také graficky zpracované časové průběhy jednotlivých složek proudu.



Obrázek 1: Časový průběh složek proudu podle CPC teorie, tekoucích v jedné fázi

Testování vzniklého analytického modulu probíhalo na reálně změřených datech. Na obrázku 1 je kromě vypočtených složek pro kontrolu vykreslen i původní průběh proudu a součet všech složek. Druhý vzniklý skript obsahuje výpočty výkonů, definovaných podle normy IEEE 1459-2010.

Závěr

Cílem práce bylo vypracovat rešerši výkonových teorií, a vybrané teorie implementovat. Ze zmíněných teorií je nejperspektivnější CPC teorie, a využití DWT k výpočtu složek výkonů. CPC teorie je velice elegantní nástroj, vhodný k dimenzování kompenzačních členů v pseudoreálném čase.

Praktickým výsledkem práce jsou dva funkční skripty, které analyzují vstupní data podle CPC teorie a podle zmíněného průmyslového standardu. Nástroje byly testovány na reálných datech, naměřených v třífázové soustavě. Skripty byly vyvinuty s ohledem na možné využití jako modul do komplexnějších analytických nástrojů. Dalším vhodným subjektem k implementaci by mohla být zmiňovaná DWT.

Reference

- [1] Akagi H., Kanazawa Y., Nabae A.: *Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits*, International Power Electronics Conference, Japonsko, 1983
- [2] Budeanu, C.: *Puissances Reactives at Fictives*, Institut Romain de l'Energie, 1927
- [3] Czarnecki, L. S.: *Current's Physical Components (CPC) Concept: a Fundamental of Power Theory*, Louisiana State University, 2008
- [4] Driesen J.L.J., Belmans R.J.M.: *Wavelet-Based Power Quantification Approaches*, 2003
- [5] Fryze, S.: *Moc rzeczywista, urojona i pozorna w obwodach elektrycznych o przebiegach odkształconych prądu i napięcia*, Politechnika Lwowska, 1931