



Výkonové teorie: implementace

Autor: Bc. Leoš Kukačka
Vedoucí projektu: Ing. Jan Kraus, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Abstract

Although the power grid exists for more than a hundred years, the topic of defining and measuring electric power is still actual not only for power distributors and consumers, but also for producers of power measuring devices. The project aims to deal with different power theories in three-phase distribution network. At the beginning of the theoretical part some mathematical tools used in the theories are introduced. Further, the basic ideas of these theories are noted along with some important formulae mentioned.

Outcome of the project is a recherche itself, together with an implementation of calculations according to some of the theories. The practical part describes the way the calculations were implemented. Created scripts are in the end tested on real data, measured in a three-phase four-wire system. Project assumes future extension of the topic into a diploma thesis.

O teoriích

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

Ve 20. století vzniklo několik významných teorií, které se snaží popsat děje související s tokem výkonu v třífázové soustavě. Nejstarší a nejrozšířenější popis výkonu pochází od Constantina Budeanu [2]. Neodpovídá však zcela fyzikální podstatě a selhává při složitějších dějích v síti.

Další pokus o porozumění výkonům podnikl Stanisław Fryze [4], jeho teorii dále rozšířil v 80. letech Leszek Czarnecki [3]. Czarneckého tzv. CPC teorie si klade za cíl rozložit výkon podle fyzikálních dějů, ke kterým v obvodu dochází při různém typu zátěže.

Vedle toho je možné přenášené výkony definovat poněkud neobvykle diskrétní wavelet transformací. V dnešní době je však nepoužívanější teorií tzv. p-q teorie (Teorie okamžitého jalového výkonu). Ukazuje se, že ze všech výše zmíněných je v praktickém využití nejvhodnější k tzv. PFC (Power Factor Compensation – kompenzace účinnosti), což je hlavní důvod, proč tyto teorie vznikají.

CPC teorie a implementace

Zkratka CPC znamená "Current's Physical Components". Autor této teorie ve svých úvahách [3] vychází z Fryzeho teorie, jalový proud však rozděluje do několika složek, z nichž každá je fyzikálně interpretovatelná jako určitý jev, ke kterému v síti dochází. Pro svoji názornost byla tato teorie vybrána k praktické implementaci.

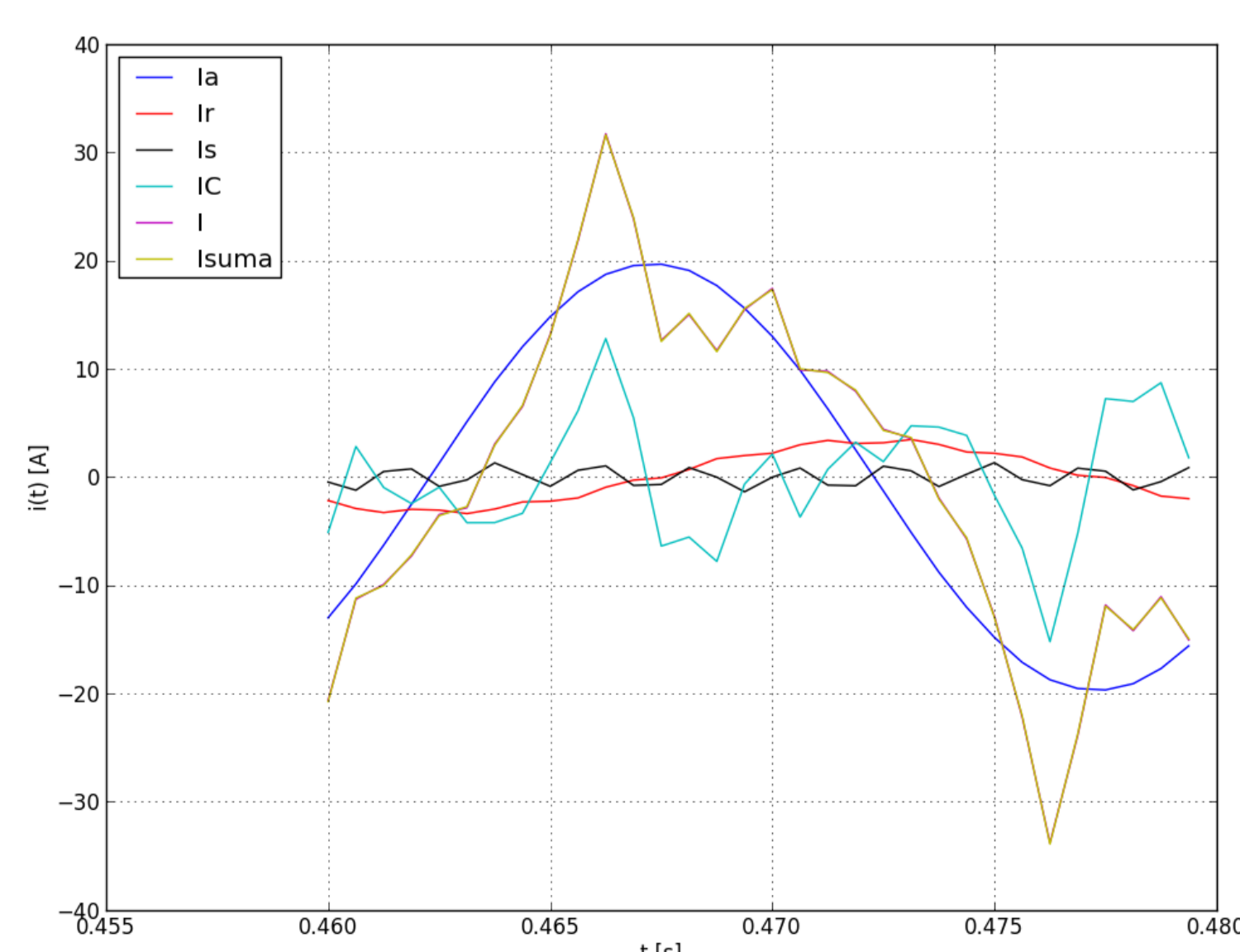
Ústřední úvahou je rozdělení časového průběhu proudu do pěti složek (činná, jalová, roztroušená, nesymetrická a zpětná). Tyto složky jsou na sebe navzájem ortogonální, pro jejich RMS hodnoty tedy platí:

$$|\vec{i}(t)|^2 = |\vec{i}_a(t)|^2 + |\vec{i}_r(t)|^2 + |\vec{i}_s(t)|^2 + |\vec{i}_u(t)|^2 + |\vec{i}_c(t)|^2 \quad (1)$$

Z nich lze roznásobením čtvercem RMS hodnoty napětí získat složky výkonu:

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

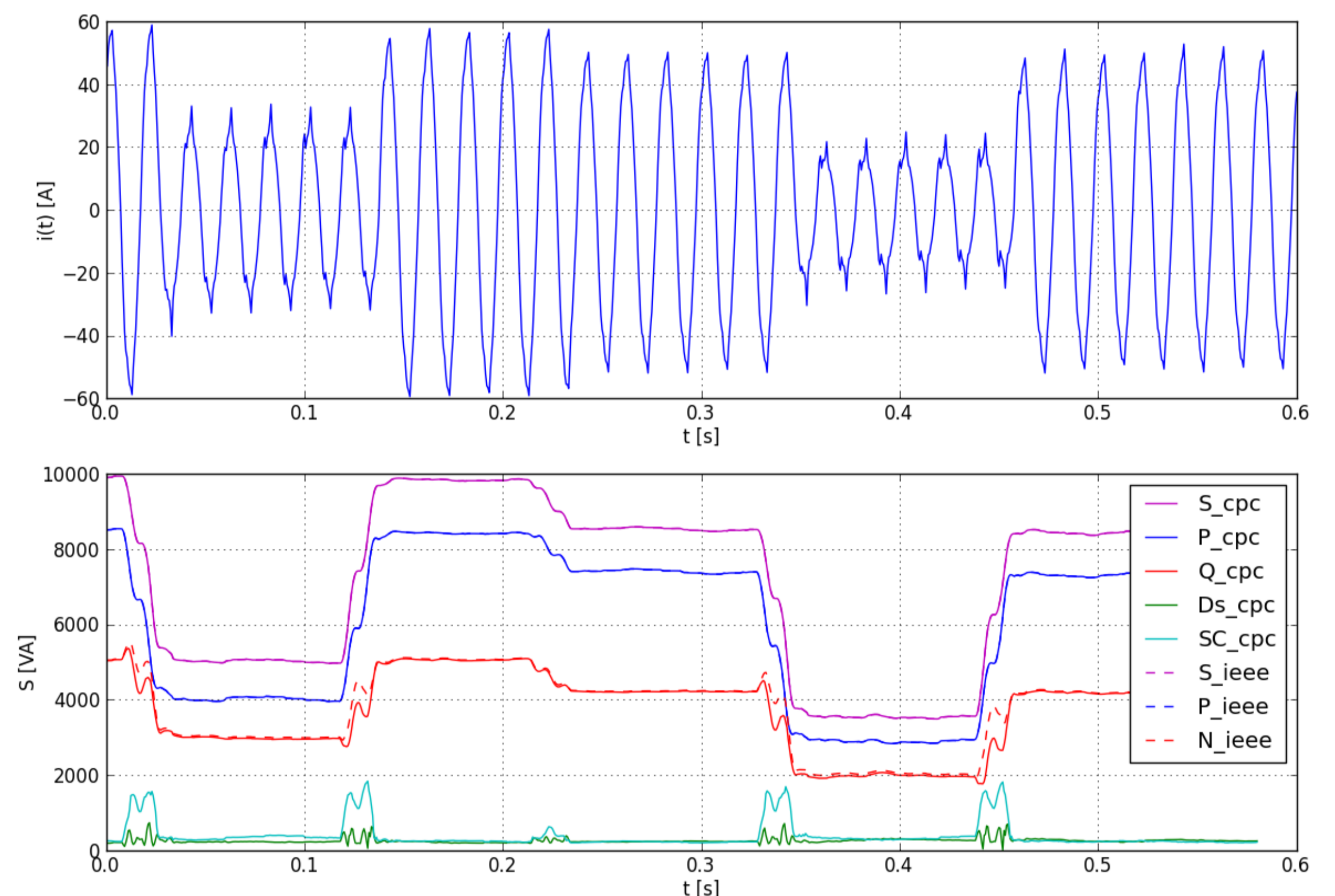
V programovacím jazyce Python byl implementován výpočet těchto složek jednak pro jednu fázi, jednak pro tři fáze. Dále byly implementovány výpočty výkonů, definovaných normou IEEE 1459-2010. Program je koncipován na bázi samostatných modulů, je tak usnadněno jejich použití pro různé aplikace.



Obr. 1: Průběh složek proudu v 1 periodě, 1 fáze

Výstupy implementovaných skriptů

Funkce vzniklých skriptů je demonstrována na reálně naměřených datech. Výstupem může být časový průběh proudu, rozloženého podle CPC teorie.



Obr. 2: Průběh složek výkonu v čase – 1 fáze; srovnání CPC teorie a standardních definic podle IEEE 1459-2010

Průběh takto rozloženého proudu tekoucího jednou fází je na obr. 1. K dispozici jsou samozřejmě také RMS hodnoty těchto složek. Dalším možným grafickým výstupem je časový průběh jednotlivých výkonů. Tyto výkony jsou vždy agregovány z okénka, dlouhého 20 ms (1 perioda při síťové frekvenci 50 Hz). Ukázka takového grafu je na obr. 2. Pro porovnání je vložen i průběh výkonů podle standardu IEEE 1459-2010. U některých složek, které jsou v obou definicích, je patrná odlišnost těchto teorií. K vykreslení grafů byla použita veřejně dostupná knihovna Matplotlib.

Závěr

Téma výkonu v trojfázových soustavách je velmi široké. V minulosti bylo vyvinuto množství teorií, které se snaží co nejvěrněji matematicky popsat děje, ke kterým v síti dochází. Každý popis má své výhody a nevýhody. Dnes se většina vědecké obce shoduje v názoru, že dodnes v inženýrské praxi používaná Budeanuova teorie neodpovídá zdaleka fyzikální podstatě problému.

Zde rozpracované programy mohou být v budoucnosti rozšířeny i na jiné teorie. Předpokládané využití najdou v analýze přechodových jevů v rozvodné síti při typických dějích, jako např. spuštění nelineárního spotřebiče.

Literatura

- [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] Fryze S.: *Moc rzeczywista, urojona i pozorna w obwodach elektrycznych o przebiegach odkształconych prądu i napięcia*, Politechnika Lwowska, 1931

Autor: Bc. Leoš Kukačka
Email: leos.kukacka@tul.cz
Tel.: +420 777 841 066



Poděkování

Tento projekt je financován grantem SGS 2012 – Interaktivní mechatronické systémy s kybernetickými principy