

Statické modely zátěže a jejich modelování v netradičním softwaru pro elektroenergetiku

V. Sít'ář¹, K. Noháč¹, J. Veleba²

¹ Katedra elektroenergetiky a ekologie, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,
Univerzitní 26, Plzeň

² Operation Center Czech Republic
Process Automation Division, ABB s.r.o.
28. října 3348/65, Ostrava

E-mail : vsudlice@kee.zcu.cz, nohac@kee.zcu.cz, jan.veleba@cz.abb.com

Anotace:

Článek popisuje nejčastěji využívané typy statických modelů zátěže a jejich matematické modelování. Pro jejich realizaci byl zvolen simulační software DYNAST, ačkoliv v aktuální verzi nepatří mezi standardní modelovací nástroje v oblasti elektroenergetiky. U každého ze základních modelů jsou uvedeny vztahy potřebné pro výpočet pasivních parametrů zátěže spolu s průběhy vybraných veličin. Vybranými veličinami jsou obvykle hodnoty odebraného činného a jalového výkonu, popřípadě efektivní hodnoty odběrového proudu. Jsou zde také detailně popsány modely nově vytvořených vybraných indikátorů efektivních hodnot fyzikálních veličin, jež také nejsou součástí aktuální verze softwaru DYNAST. Tyto indikátory jsou potřebné pro samotnou funkci statických modelů zátěže a také pro ověření jejich správného chování.

Abstract:

The paper describes the commonly used types of static load models and their mathematical modelling. For their implementation, the simulation software DYNAST was chosen despite its actual version does not belong to standard modelling tools in the field of power engineering. Within each fundamental load model, all the equations required for the calculation of the load's passive parameters are presented along with time dependencies of selected quantities. The selected quantities usually are the values of the active and reactive power consumed or the effective values of the load current. Detailed description of newly created indicator models of physical quantities is provided in this paper using the effective values. These indicators, which are not a part of the actual version of DYNAST software, are needed for flawless functioning of static load models and also for the verification of its correct behaviour.

ÚVOD

Modely zátěže patří mezi základní prvky, jež je nutné vhodně matematicky interpretovat pro použití v simulačních schématech v oblasti elektroenergetiky. Vhodná vnitřní struktura a správný výpočet parametrů zátěže jsou naprosto nezbytné, jelikož chování zátěže ovlivňuje chování celého simulačního schématu, zejména toků činného a jalového výkonu, které pak ovlivňují velikosti napětí v jednotlivých uzlech obvodu a zatížení větví.

Modelovaná zátěže může představovat jeden element elektrizační soustavy, tedy spotřebič, nebo může nahrazovat soustavu spotřebičů s částí rozvodné sítě, tedy lokální odběr. Pro tyto účely je proto vhodné rozlišovat modely jednofázové a trojfázové. Pro trojfázové modely ještě připadá specifikum zapojení jednotlivých fází, a to do hvězdy či trojúhelníka. Důležitou roli hraje zatížení jednotlivých fází. Ve standardních simulacích se uvažuje souměrný odběr co do velikosti, tak i charakteru. To je možné akceptovat pouze u trojfázových spotřebičů pracujících v bezporuchovém ustáleném stavu, nebo s určitou chybou u hromadných odběrů na hladině vysokého či velmi vysokého napětí. Dalším parametrem, ovlivňující

strukturu modelu, je obsah vyšších harmonických. Drtivá většina jednofázových spotřebičů neodebírá výkon pouze základní harmonické. U těchto modelů je pak třeba respektovat alespoň harmonické v největším podílovém zastoupení. Sofistikované modely zátěže také berou v úvahu frekvenční a teplotní závislost odebraného výkonu na napájecím napětí či zatížení.

Jako nejjednodušší modely zátěže je možné si představit kombinace RLC prvků v sériovém či paralelním zapojení. Zátěž je pak reprezentována pasivním elementem v každé fázi s určitou velikostí impedance a jejím charakterem, a dále specifickým chováním dle velikosti napětí v místě připojení. Z tohoto důvodu je potřebné přesně a ve velmi krátkém časovém intervalu indikovat právě velikost napětí, které je pak součástí modelu zátěže.

SIMULAČNÍ SOFTWARE DYNAST

Tento simulační software slouží pro obecné počítačové modelování dynamických soustav. Lze v něm využívat stávajících knihoven z různých oblastí techniky, jako například tepelné techniky, klasické mechaniky, elektroniky, elektromechaniky či základního modelování pomocí blokových schémat. Nicméně, knihovny elementů z daných technických

oblastí jsou velmi omezené a neumožňují tak provádět simulace složitějších systémů či řešit analýzu obvodů ve stejném měřítku, jako například simulační nástroje PowerWorld [1] či EMTP-ATP [2].

Software DYNAST však vykazuje mnoho předností, mezi něž patří modelování problémů z různých technických disciplín, vysoká výpočetní výkonnost v porovnání s jinými softwary a to zejména pro úlohy v nelineárním prostředí, a dále komplexní možnost modelování z hlediska formulace úlohy, kdy model je definován kombinací diferenciálních vztahů, blokových schémat odvodňujících koncepčnímu přístupu nástroje Simulink [3] a zobecněnými branovými schématy charakterizujícími přímé fyzikální vlastnosti jednotlivých prvků i složitých systémů či jejich kombinací [1] - [6].

Z oblasti elektroenergetiky není aktuální verze plně zastoupena modely všech nejzákladnějších prvků. Nicméně, některé elementy elektrizační soustavy, jako například jednoduché jednofázové modely vedení, jsou součástí příslušné knihovny v DYNASTu. Některé elementy elektrizační soustavy byly řešeny autory v rámci výzkumu v jiných odborných člancích [7] - [10].

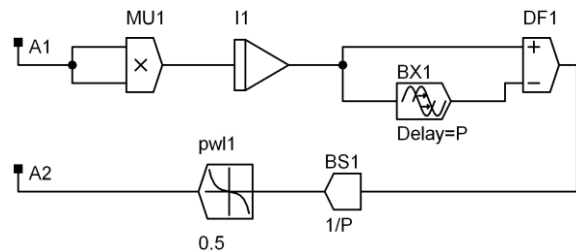
INDIKÁTORY AKTIVNÍCH VELIČIN

Pro některé matematické modely zařízení elektrizační soustavy, zejména pro modely zátěže, kde odebíraný výkon závisí na velikosti efektivní hodnoty napájecího napětí, se musí využívat také jeho pomyslného měření napětí. V současné verzi simulačního nástroje DYNAST nejsou takovéto indikátory pro měření efektivních hodnot implementovány. Stejně tak je důležité analyzovat hodnoty odebíraných výkonů či efektivních hodnot proudů, jelikož práce s časovými průběhy vnáší do simulací potenciální přídatné chyby, resp. nepřesnosti.

Pro zjišťování efektivní hodnoty napětí lze podle definice v [11] využít rov. (1), podle které lze vytvořit blokové schéma v DYNASTu dle obr. 1.

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2(t) dt}, \quad (1)$$

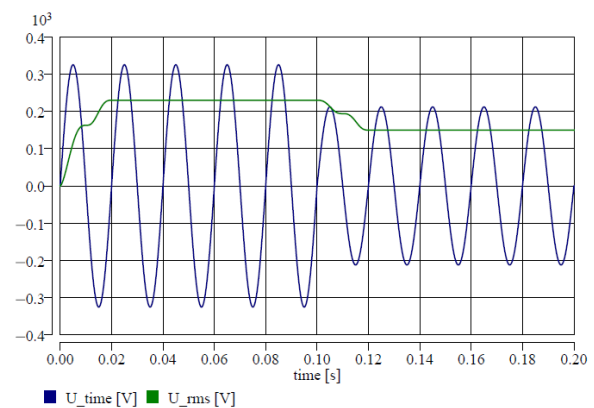
kde U_{ef} je efektivní hodnota harmonického průběhu napětí, $u(t)$ časový průběh napětí, t_1 počáteční čas výpočtu periody a t_2 konečný čas výpočtu periody.



A1	vstupní port napětí	DF1	diferenciátor
A2	výstupní port napětí	BX1	člen zpoždění
MU1	násobič	BS1	přenosový člen
II	integrátor	pw1	mocnina

Obr. 1: Blokové schéma a popis vnitřní struktury indikátoru efektivní hodnoty napětí

Systém blokových prvků odpovídá definici výpočtu efektivní hodnoty s tím, že jako zpoždění odečtu integrované hodnoty je zvolena perioda 20 ms. Činnost tohoto indikátoru je možné ověřit připojením ke zdroji napětí, jehož průběh $u(t) = 230 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t)$ pro čas menší než 100 ms a $u(t) = 150 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t)$ pro čas větší než 100 ms. Časový průběh napětí a jeho efektivní hodnoty jsou na obr. 2.



Obr. 2: Časový průběh napětí a jeho efektivní hodnoty snímané indikátorem

Do času 20 ms, tedy první periody napětí, dochází pouze k integrování kvadrátu vstupní veličiny. Teprve poté je možné brát indikovanou hodnotu jako správnou a tedy i pomyslného měření efektivní hodnoty v modelovaných schématech. To platí i pro skokovou změnu snímané veličiny, kdy je nutné respektovat efektivní hodnotu až po první periodě nastalé změny časového průběhu.

Obdobně lze sestavit indikátor efektivní hodnoty proudu, činného, jalového či zdánlivého výkonu, popřípadě indikátor účinnosti. Pro modely zátěže jsou důležité zejména indikátory činného a jalového výkonu.

Indikátor činného výkonu vychází dle jeho definice jako střední hodnota okamžitého výkonu [11], viz rov. (2). Jeho vnitřní struktura je pak na obr. 3. Indikátor jalového výkonu pak může vycházet například z výpočtu zdánlivého výkonu přenášeného

obvodem, jenž je definován jako součin efektivních hodnot proudu a napětí [11], viz rov. (3).

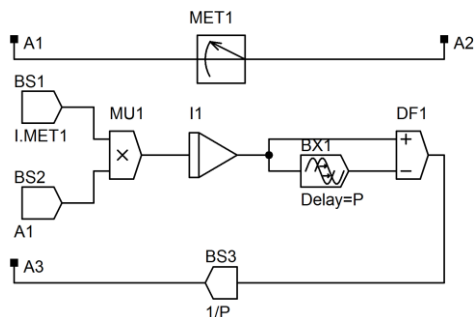
$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t) dt, \quad (2)$$

kde P je činný výkon, $u(t)$ časový průběh napětí, $i(t)$ časový průběh proudu, t_1 počáteční čas výpočtu periody a t_2 konečný čas výpočtu periody.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \quad (3)$$

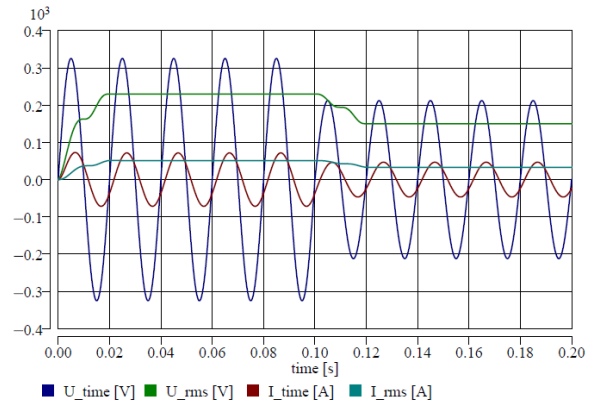
kde Q je jalový výkon a S zdánlivý výkon.

Činnost indikátorů výkonu je možné analyzovat na jednoduchém obvodu tvořeném zdrojem napětí a k němu v sérii připojeným rezistorem a induktorem. Časový průběh napětí a jeho efektivní hodnota v obr. 4 jsou totožné jako časový průběh a efektivní hodnota napětí v obr. 2. Dále je zde zobrazen časový průběh protékajícího proudu a jeho efektivní hodnota. Okamžitý výkon a zbylé indikované výkony jsou pak na obr. 5. Na něm je také vidět, že za správnou hodnotu činného výkonu lze považovat indikovanou veličinu přibližně po první periodě časového průběhu okamžitého výkonu, což je po 10 ms. U jalového a zdánlivého výkonu to je pak stejné jako u napětí a proudu, tedy po 20 ms, jelikož vnitřní struktura těchto indikátorů vychází z efektivních hodnot proudu a napětí.

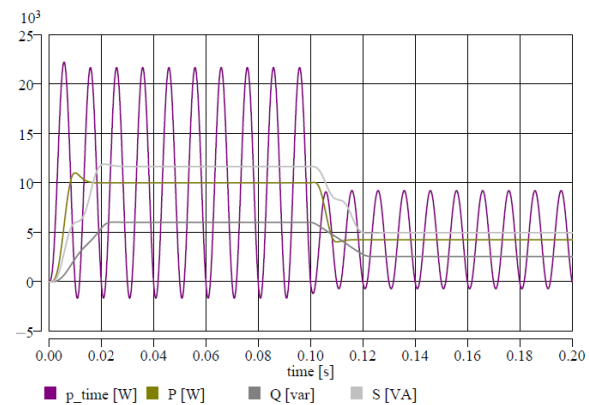


- A1 vstupní port napětí a proudu
- A2 výstupní port proudu
- A3 výstupní port výkonu
- MET1 indikátor časového průběhu proudu
- BS1 explicitní blok proudu
- BS2 explicitní blok napětí
- MU1 násobič
- I1 integrátor
- DF1 diferenciátor
- BX1 člen zpoždění
- BS3 přenosový člen

Obr. 3: Blokové schéma a popis vnitřní struktury indikátoru činného výkonu



Obr. 4: Časové průběhy a efektivní hodnoty proudu a napětí



Obr. 5: Časový průběh okamžitého výkonu a velikostí dílčích výkonů

STATICKE MODELY ZÁTĚŽE

Statické modely reprezentují statickou zátěž, již může být například obyčejný odporový spotřebič, nebo aproximují dynamickou zátěž, kterou představuje například indukční motor. Pro statické modely bývají vstupními veličinami odebraný činný a jalový výkon, které odpovídají velikosti jmenovitého napětí a jeho frekvenci v místě připojení.

Podle chování zátěže při změně velikosti napájecího napětí se modely zátěže člení na základní tři druhy. Jimi jsou model s konstantní impedancí, konstantním odebraným proudem a konstantním odebraným výkonem. Jejich kombinací či aproximací chování vzniká pak dále model polynomičkový a exponenciální [12], [13].

Exponenciální a polynomičkový model poskytuje dobrou náhradu zátěže okolo jmenovité hodnoty napětí. Přesnost exponenciálního modelu klesá, pokud napětí je mnohem větší než jmenovité. U polynomičkého modelu klesá přesnost, pokud je jmenovité napětí výrazně nižší než jmenovité. Někdy se u simulací užívá jejich kombinací pro daný interval napájecího napětí. Základem je pak polynomičkový model, který je zaměněn za exponenciální, pokud se sníží napájecí napětí pod určitou mez [13].

Existují také další sofistikovanější statické modely zátěže, které v sobě zahrnují ještě frekvenční

závislost odebraného výkonu, teplotní závislost apod. Blíže jsou tyto modely popsány v [12] a [13], nicméně nepatří mezi základní druhy.

Statické modely v DYNASTu

V aktuální verzi simulačního softwaru DYNAST nejsou implementovány žádné modely zátěže. Lze je vytvářet jednoduše pomocí pasivních prvků o určitých konstantních velikostech, ale tyto obecné hodnoty nemusí vždy zaručit realitu blízké chování.

Výhodné je modelovat zátěž pomocí pasivních elementů v sériovém spojení. Jelikož většina spotřebičů je charakteru RL, mimo části domácích elektrospotřebičů, tato kombinace byla zvolena pro vytvářené modely. Nebyl u nich také předpokládán odběr vyšších harmonických. Všechny modely jsou tvořeny jako jednofázové, což umožňuje jejich jednoduchou aplikaci také pro třífázové soustavy.

U každého modelu, mimo modelu zátěže s konstantní impedancí, je vložena časová podmínka jeho chování do času 20 ms. Do této doby se chovají modely jako konstantní impedance připojená k napětí. Je to dáno tím, že výsledky získané do této doby nejsou spolehlivé a navíc pro činnost modelů je nutné mít definované všechny vstupní parametry. Pokud by tomu tak nebylo, numerické výpočty softwaru by nemohly probíhat.

Chování jednotlivých modelů je ověřováno na jednoduchém obvodu tvořeném napětovým zdrojem, činným odporem reprezentujícím odpor vedení a danou zátěží, u které je indikován odebraný činný a také jalový výkon, popřípadě odebraný proud. Je zde analyzována změna odebraných výkonů při změně velikosti napájecího napětí a velikosti činného odporu vedení. Jako vstupní parametry u všech modelů vystupují jmenovité napětí, jmenovitá frekvence a jim příslušný odebraný činný a jalový výkon. Jejich velikosti a parametry obvodu jsou uvedeny níže. Změna napětí zdroje (zvýšení o 10%) v čase 0,6 s může odpovídat skokové změně napětí na distribučním transformátoru. Změna činného odporu vedení v čase 0,3 s může odpovídat rekonfiguraci napájecí sítě.

Parametry obvodu:

U_{zdroj}	230 V; 50 Hz pro $t < 0,6$ s 253 V; 50 Hz pro $t \Rightarrow 0,6$ s
R_{ved}	0 Ω ; pro $t < 0,3$ s 5 Ω ; pro $t \Rightarrow 0,3$ s
P_n	2 kW
Q_n	0,657 kvar
U_{nf}	230 V
f	50 Hz

Zátěž s konstantní impedancí

V tomto modelu se odebraný činný a jalový výkon mění s kvadrátem velikosti napájecího napětí $P = f(U^2)$, resp. $Q = f(U^2)$. Nazývá se někdy také jako

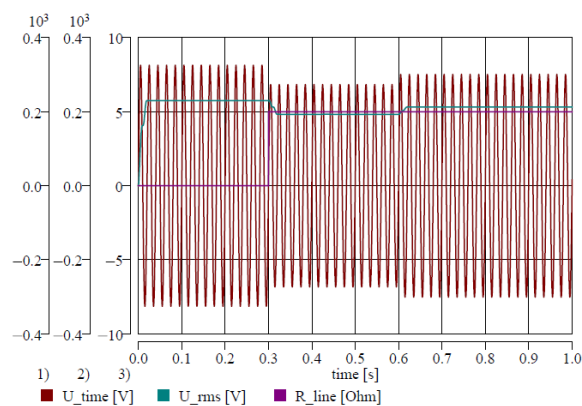
model s konstantní admitancí. Matematický předpis pro výpočet hodnot pasivních parametrů při změně napájecího napětí, tedy závislost odebraného výkonu na velikosti napětí v syntaxi softwaru DYNAST, udávají rovnice 4 a rovnice 5. Vztahy jsou v rámci článku odvozeny ze základních elektrotechnických vztahů pro sériové spojení induktoru a rezistoru k jednomu napětí, jenž je pro oba prvky společné.

$$R = \frac{P_n \cdot U_{\text{nf}}^2}{P_n^2 + Q_n^2}, \quad (4)$$

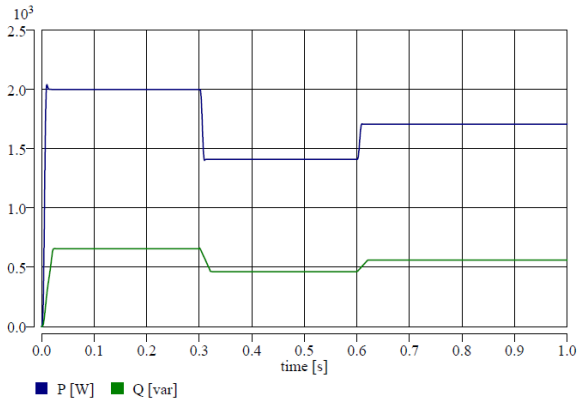
$$L = \frac{Q_n \cdot U_{\text{nf}}^2}{(P_n^2 + Q_n^2) \cdot 2\pi f}, \quad (5)$$

kde R je hodnota činného odporu zátěže, L hodnota indukčnosti zátěže, U_{nf} jmenovité fázové napětí, f jmenovitá frekvence, P_n odebraný jmenovitý činný výkon, Q_n odebraný jmenovitý jalový výkon.

Časový průběh napětí na zátěži, jeho efektivní hodnota a hodnota činného odporu vedení jsou pro ilustraci uvedeny v obr. 6. Jsou platné i pro ostatní modely zátěže v rámci napájecího napětí a odporu vedení. Efektivní hodnoty odebraných výkonů jsou pro tento případ na obr. 7. Na nich je vidět, že do času 20 ms pro jalový výkon, resp. 10 ms pro činný výkon, nelze brát indikované hodnoty v úvahu. Následně dochází k plynulým změnám odebraných výkonů v daných periodách dle změn velikosti napětí či předřazeného odporu vedení. Jejich velikosti odpovídají do času 0,3 s přímo vstupním hodnotám, jelikož odpor vedení je nulový a napájecí napětí má jmenovitou hodnotu 230 V. Pomocí symbolicko-komplexní metody lze ověřit i velikosti odebraných výkonů v dalších časových úsecích. Výstupy indikátorů výkonu lze brát za správné vždy až po odeznění přechodných dějů vznikajících jako důsledek změn v simulačním schématu.



Obr. 6: Napětí na zátěži a odpor vedení pro zátěž s konstantní impedancí



Obr. 7: Odebírané výkony pro zátěž s konstantní impedancí.

Zátěž s konstantním proudem

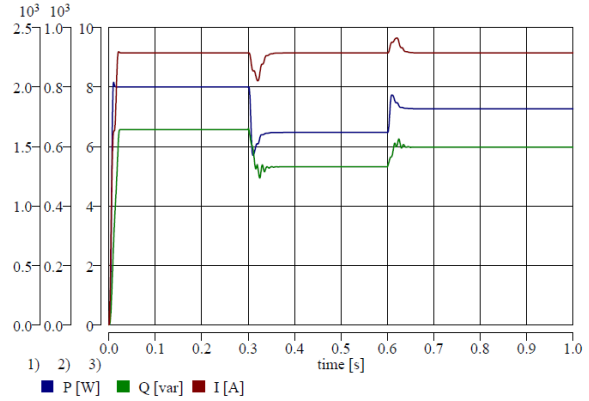
U tohoto modelu se odebíraný výkon z daného uzlu mění přímo úměrně s velikostí napětí $P = f(U)$, resp. $Q = f(U)$. Odvozené matematické předpisy výpočtů hodnot pasivních elementů jsou v rovnicích (6) a (7). U všech parametrů ve vzorcích, kde se vyskytují výkony, musí být zakomponovaná patřičná závislost změny napájecího napětí.

$$R = \frac{P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right) \cdot U_{nf}^2}{\left(P_n \cdot \frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2 + \left(Q_n \cdot \frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2}, \quad (6)$$

$$L = \frac{Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right) \cdot U_{nf}^2}{\left(\left(P_n \cdot \frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2 + \left(Q_n \cdot \frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2\right) \cdot 2\pi f}, \quad (7)$$

kde U_{ef} je aktuální efektivní hodnota napětí v místě připojení, zbylé parametry jsou totožné jako u rovnic 4 a 5.

Časové průběhy odebíraných výkonů a proudu jsou na obr. 8. Zde je patrné, že při změně parametrů obvodu dochází k přechodnému ději, jehož výsledkem je změna odebíraných výkonů, přičemž odběrový proud zůstává konstantní po odeznění tohoto stavu. Doba ustálení je odvislá od velikosti nastalé změny.



Obr. 8: Odebírané výkony a proud pro zátěž s konstantním odběrem proudu

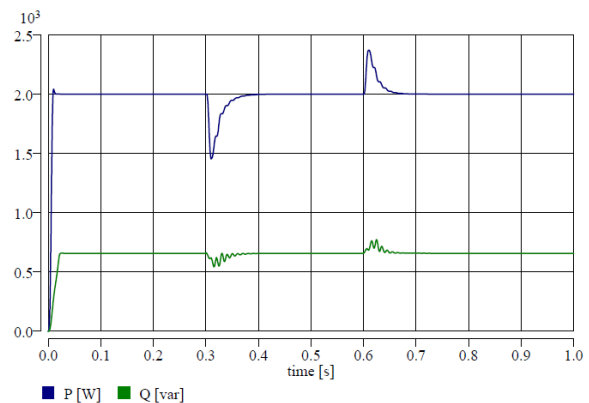
Zátěž s konstantním výkonem

V tomto případě velikost a charakter odebíraného výkonu nezávisí na velikosti napájecího napětí $P = \text{konst.}$, resp. $Q = \text{konst.}$. Tento model se nejčastěji využívá ve většině simulačních analýz [12]. Odvozené matematické předpisy výpočtů hodnot pasivních elementů jsou v rovnicích (8) a (9). Popis parametrů je totožný jako u předchozích rovnic.

$$R = \frac{P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2 \cdot U_{nf}^2}{\left(P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2\right)^2 + \left(Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2\right)^2} \quad (8)$$

$$L = \frac{Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2 \cdot U_{nf}^2}{\left(\left(P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2\right)^2 + \left(Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^2\right)^2\right) \cdot 2\pi f} \quad (9)$$

Odebírané výkony pro tuto zátěž jsou v obr. 9. Zde je patrný vliv přechodného děje, po jehož ustálení zátěž odebírá stále stejný činný a jalový výkon.



Obr. 9: Odebírané výkony pro zátěž s konstantním výkonovým odběrem

Polynomický model zátěže

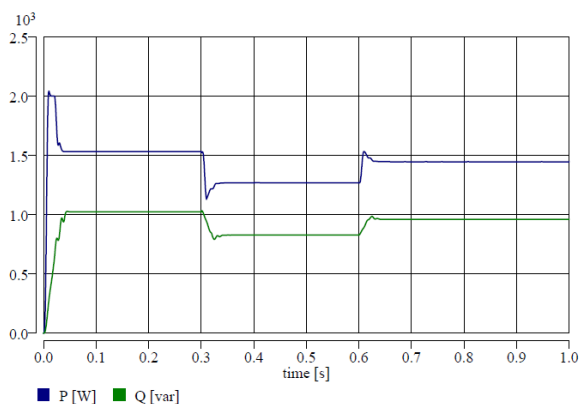
Je to nelineární model, kde změna odebíraného výkonu na velikosti napájecího napětí je kombinací všech předchozích modelů. Je zde část nezávislá na změně velikosti napětí, část s lineární závislostí a část s kvadratickou závislostí. Matematický předpis je dán součtem všech rovnic 4, 6 a 8, resp. 5, 7 a 9, ve kterých jsou jednotlivé části vynásobeny koeficienty, přičemž součet všech koeficientů musí být roven jedné jak pro činný, tak i pro jalový výkon [13]. Pokud jsou dva z vybraných parametrů u každého výkonu rovny nule, přechází polynomický model na jeden ze základních. Tento model se v literatuře také nazývá tzv. ZIP model, jelikož jeho jednotlivé části reprezentují výše zmíněné modely [12]. Symbolicky jsou tyto vztahy uvedeny v rov. (10) a (11).

$$\frac{P}{P_n} = a_1 + a_2 \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right) + a_3 \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2, \quad (10)$$

$$\frac{Q}{Q_n} = b_1 + b_2 \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right) + b_3 \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2, \quad (11)$$

kde a_i a b_i jsou koeficienty

Pro ověření byly zvoleny koeficienty pro činný i jalový výkon stejné, a to 0,5 pro část s konstantní impedancí, 0,25 pro část s konstantním proudem a výkonem. Průběhy odebíraných výkonů jsou na obr. 10. Pokud by koeficienty nabývaly nulových hodnot pro části s konstantní impedancí a proudem, a zároveň nabývali hodnoty jedna pro část s konstantním výkonem, vycházely by průběhy odebíraných výkonů stejně jako na obr. 9. Obdobně platí zbylé hodnotové kombinace koeficientů pro obr. 7 a obr. 8, pokud jsou vždy zbylé dva koeficienty nulové.



Obr. 10: Odběr výkonů u polynomického modelu zátěže

Exponenciální model zátěže

U tohoto modelu je závislost činného a jalového výkonu na velikosti napájecího napětí vyjádřena

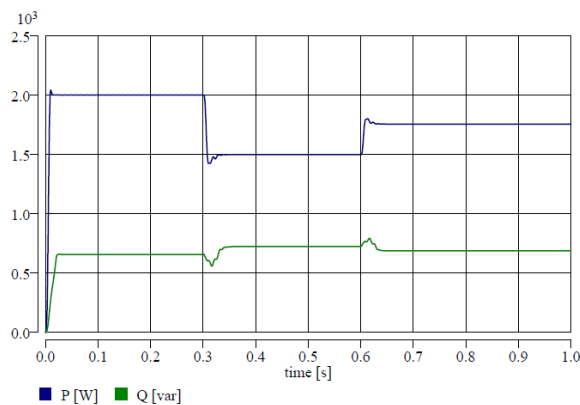
mocninnou funkcí. Podle literatury, např. v [12] a [13], se však tento model nazývá exponenciální. Odvozené výpočty velikostí pasivních elementů v syntaxi DYNASTu jsou v rovnicích (12) a (13).

$$R = \frac{P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\alpha \cdot U_{nf}^2}{\left(P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\alpha\right)^2 + \left(Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\beta\right)^2}, \quad (12)$$

$$L = \frac{Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\beta \cdot U_{nf}^2}{\left(P_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\alpha\right)^2 + \left(Q_n \cdot \left(\frac{U_{nf}}{U_{ef}}\right)^\beta\right)^2} \cdot 2\pi f, \quad (13)$$

kde α a β jsou koeficienty.

Tyto koeficienty jsou závislé na typu zátěže a mohou nabývat různých kladných hodnot včetně nuly s tím, že nemusí být shodné pro činný odpor a indukčnosti zároveň. Konkrétní hodnoty pro vybrané spotřebiče zjištěné měřením je možné nalézt například v [14]. Pro účely ověření byly vybrány hodnoty koeficientů 0,5 pro činný výkon a 2,5 pro jalový výkon, jež odpovídají spotřebě klimatizační jednotky. Odebírané výkony jsou na obr. 11, přičemž lze porovnat jejich velikostní změny při velikosti dané mocniny, 0, 1, 2 či 0,5, resp. 2,5 u jednotlivých druhů zátěže.



Obr. 11: Odebírané výkony u polynomického modelu zátěže

ZÁVĚR

V simulačním softwaru DYNAST lze vytvářet jednoduše statické modely zátěže pomocí fyzikálních schémat, popřípadě kombinací se soustavami rovnic. Bylo ověřeno, že základní modely využívané pro náhradu základních typů zátěže lze jednoduše modelovat zejména s pomocí indikátoru efektivní hodnoty napětí, nebo dalších aktivních veličin, které slouží buď jako vstupní parametry, nebo jako

parametry k ověření správného chování modelů. Při působení indikátorů, jejichž výstupní hodnoty slouží jako vstupní parametry k zátěžím, dochází také v určitých okamžicích k nepřesnostem. Ty jsou však důsledkem samotné činnosti indikátorů, které nelze vhodným způsobem eliminovat, a dále také velikostí změn, ke kterým dochází v simulovaných obvodech.

V následující době je předpokládáno využití jak modelů indikátorů efektivních hodnot aktivních veličin, tak i statických modelů zátěže v příští aktualizaci simulačního nástroje DYNAST. S jejich pomocí tak lze použít simulační software DYNAST k řešení komplexních úloh v dílčích oblastech elektroenergetiky. Některé prvky, jako například indikátory veličin, se stále nevyskytují v knihovně velmi často využívaných softwarech, jako je např. EMTP-ATP. Některé typy specificky chovající se zátěže, jako například zátěž s konstantními odběry výkonu či proudu, se nevyskytují ani u dalších simulačních nástrojů, jako např. v prostředí Simulinku. Tyto nové modely pak tvoří originální prvky knihoven, které staví DYNAST do podobné rozsahové a odborné úrovně elektroenergetiky k jiným softwarům. V některých oblastech tvoří tyto knihovny naprosto originální přístupy pro počítačové modelování v elektroenergetice.

LITERATURA

- [1] Homepage of PowerWorld [online]. [cit. 2015-06-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.powerworld.com/>>.
- [2] Homepage of EMTP-ATP [online]. [cit. 2015-06-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.emtp.org/>>.
- [3] Homepage of Simulink [online]. [cit. 2015-06-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.mathworks.com/products/simulink/>>.
- [4] L. NOHÁČOVÁ and K. NOHÁČ, “Nové modely pro elektroenergetiku simulačního nástroje DYNAST,” In Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012, pp. 201–204, 23. May, Brno 2012. ISBN 978-80-214-4514-7.
- [5] L. NOHÁČOVÁ and K. NOHÁČ, “Nové možnosti přístupu k modelování v elektroenergetice,” In Proceedings of the 10th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2009, p. 1–3, 12. May, Ostrava 2009.
- [6] H. MANN, M. ŠEVČENKO, *Snadné počítačové modelování dynamických soustav*. ČVUT, Praha 2008.
- [7] V. SÍŤAŘ and K. NOHÁČ, “Modelling of Power Lines with Covered Conductors in Simulation Software DYNAST,” In Proceedings of the 15th International Scientific conference Electric Power Engineering 2014, pp. 489–494, 12. May, Brno 2014. ISBN 978-1-4799-3806-3.
- [8] L. NOHÁČOVÁ and V. SÍŤAŘ, “Přechodné jevy v elektroenergetice – porovnání řešení využitím modelovacích nástrojů EMTP-ATP a DYNAST,” In Proceedings of the 14th International Scientific conference Electric Power Engineering 2013, pp. 389–397, 20. May, Ostrava 2013. ISBN 978-80-248-2988-3.
- [9] L. NOHÁČOVÁ, and K. NOHÁČ, “Porovnání modelů alternátoru v modelovacích nástrojích vhodných pro elektroenergetiku,” In Proceedings of the 11th International Scientific conference Electric Power Engineering 2010, pp. 677–682, 4. May, Brno 2010. ISBN 978-80-214-4094-4.
- [10] V. SÍŤAŘ, K. NOHÁČ, U. SCHMIDT and J. VELEBA, “Modeling of Surge Arresters during Temporary Overvoltage Conditions in Alternative Simulation Tools,” In Proceedings of the 11th International Scientific conference kontrol of Power Systems 2014, p. 1–6, 20. May, Tatranské Matliare 2014. ISBN 978-80-89402-72-4.
- [11] D. MAYER, *Elektrodynamika v energetice*. 1. vyd., Praha: BEN – technická literatura, 2005, 278 s.
- [12] L.T.M. MOTA and A.A. MOTA, “New Trends on Load Modelling and Forecasting: Models and Techniques,” in *Electric Power: Generation, Transmission and Efficiency*. 1st ed. New York: Nova Science Publisher, 2007. Chapter 5, pp. 201-222. ISBN 978-1-60021-979-5.
- [13] W.H. KERSTING, “Distribution Systems” in *Electric Power Generation, Transmission and Distribution*. 3rd ed. Boca Ranton: CRC Press, 2012. Part IV. ISBN 978-1-4398-5628-4.
- [14] I.R. NAVARRO, “Dynamic Load Models for Power Systems: Estimation of Time-Varying Parameters During Normal Operation” - Licentiate Thesis [online]. Lund University, 2002 [cit. 2015-06-10]. pp. 158. ISBN 91-88934-26-8. Dostupné z WWW: <<https://www.iea.lth.se/publications/Theses/LT-H-IEA-1045.pdf>>.