

# МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА С ПРОМЕНЛИВА СТРУКТУРА И ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТОВАРИ

Николай Матанов, Снежана Димитрова

**Резюме:** В доклада е представено създаването на модел на електроснабдителна система на производствено предприятие, който позволява да се променят: структурата (включени изводи на главната понижаваща подстанция, включени цехови подстанции, товари и т.н.), параметрите на отделните елементи (трансформатори, кабелни линии, товари и т.н.), нивата на напрежение. Моделът е направен в средата на Matlab и ще се използва като обект за експерименти и управление при създаването на централизирана система за управление на реактивните мощности.

**Ключови думи:** модел на електроснабдителна система, Matlab, реактивни мощности, интелигентни мрежи

## MODEL OF POWER SUPPLY SYSTEM WITH VARIABLE STRUCTURE AND ELECTRICAL LOADS

Nikolay Matanov, Snezhana Dimitrova

**Abstract:** The report represented the creation of a model of power supply system of the manufacturing company, which allows to change: structure (included terminals of the main substation lowering included workshop substations and loads, etc.) parameters of the individual elements (transformers, cable lines, loads, etc.), the levels of voltage. The model is created using a program product Matlab and will be used as an object of experimentation and control in the creation of a centralized management system for reactive power.

**Keywords:** power system modeling, Matlab, reactive power, smart grid

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Режимът на реактивните товари в електроснабдителната система на даден обект определя качеството на електрическата енергия, загубите на мощност в отделните елементи на електроснабдителната система, разходите за заплащане на енергията. От тази гледна точка компенсирането на реактивните товари е основната задача при експлоатацията на електроснабдителната система [1].

При сложни йерархични електроснабдителни системи (ЕС) повишаване ефективността на използваните компенсиращи устройства може да се постигне

чрез оптимизиране структурата, разпределението и управлението на общата компенсираща мощност.

За да се постигне това повишаване на ефективността е нужно да се създаде централизирана система за управление на реактивните мощности в рамките на конкретна електроснабдителна мрежа (ЕСМ).

Вграждането на една такава система за управление в електрическата мрежа ще придаде на съответната мрежа интелигентна функционалност, т.е. ще я направи интелигентна мрежа (micro smart grid).

В реални условия електроснабдителните системи (мрежи) си променят структурата, чрез включване/изключване на отделни части от тях, променят си режима на работа (режима на товарите), променят се и параметрите на захранващото напрежение в общата точка на присъединяване към обществената (външната) мрежа. От тази гледна точка, за да функционира една централна система за управление на реактивните мощности (ЦСУРМ) е необходимо:

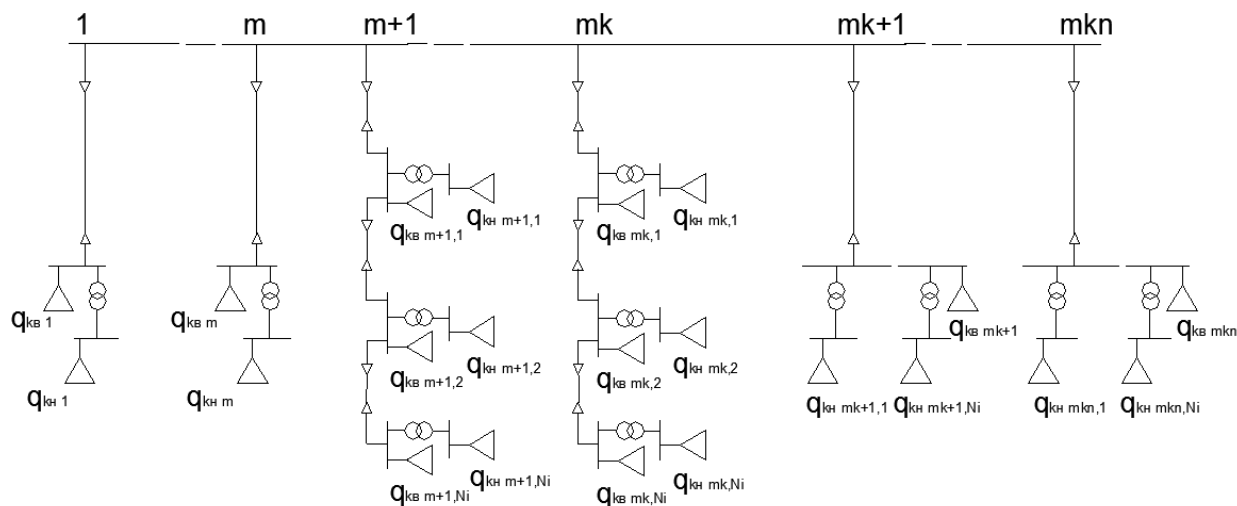
- да се събира актуална информация за структурата на схемата (включени изводи, подстанции и др.);
- да се събира информация за текущия режим на работа т.е. да се разполага с информация за токовете в отделните клонове и напреженията в различните възли на схемата;
- да има вграден алгоритъм за решаване на оптимизационна задача по отношение на разпределението на компенсиращите реактивни мощности [2];
- да изпраща управляващи въздействия към регулируеми източници на реактивна мощност.

За да се проектира и експериментира с такава ЦСУРМ е нужно да имаме обект за управление, т.е. електроснабдителна система с възможности за промяна на характеристиките, прилагане на управляващи въздействия и следене на състоянието. В реални условия това не може да се осъществи, за това ще се създаде софтуерен модел.

Моделът ще се създаде в средата на Matlab, тъй като тя предоставя както набор от готови блокове (модели) на елементите на електроснабдителните системи и голям набор от математически функции, така и възможност за създаване на потребителски модели и функции [3,4].

## **2.ПРИНЦИПНА СХЕМА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА МРЕЖА**

В стопанските обекти ЕСМ основно са на средно напрежение с малки дължини на електроснабдителните линии (до няколко километра). В общия случай има приемателен пункт, т.е. главна понижаваща (разпределителна) подстанция (ГПП). От ГПП могат да се захранват: радиални линии, магистрални линии или разпределителни подстанции (РП). Имайки предвид казаното е създадена принципната схема на ЕСМ дадена на фиг.1.



**Фиг.1** Принципна схема на електроснабдителна система

Като се има предвид, че принципната изчислителна схема от фиг.1 може да включва  $n$  броя РП,  $m$  броя радиални линии и  $k$  броя магистрални линии с  $N$  броя цехови подстанции (ЦП), може да се каже, че схемата е универсална и от нея може да се създаде конкретна електроснабдителна система, независимо от големината ѝ.

### 3. МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА МРЕЖА В СРЕДАТА НА MATLAB

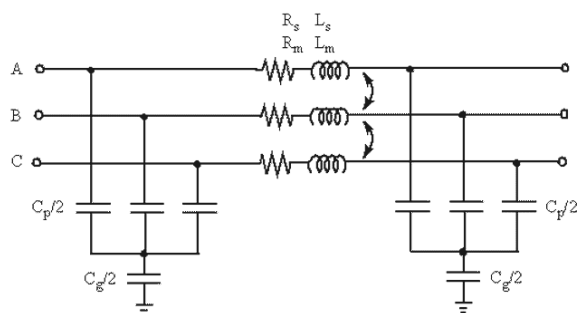
По долу са дадени заместващите схеми и основните характеристики използвани за софтуерните модели на отделните елементи на ЕСМ [5, 6].

#### Кабелни и въздушни линии СрН

Малката дължина на линиите в ЕСМ на стопанските обекти позволява при заместващите схеми да се използват линии със съсредоточени параметри. В случая се използва П-образна заместваща схема, използвана обикновено при електропроводите високо напрежение, тъй като тя по-точно отразява всички характеристики на линиите. Това при класическите изчисления усложнява много процеса на изследване, но тук няма да се съобразяваме с този фактор, тъй като ще използваме компютърна техника и ще се изисква възможно по-голяма адекватност от моделите.

Заместващата схема на трифазните линии, която ще прилагаме при изграждането на моделите е дадена на фиг.2. В заместващата схема ще се отчитат следните параметри на трифазните електропроводни линии:

- Собствено и взаимно съпротивление на линията  $R_s$  и  $R_m$ ;
- Собствена и взаимна индуктивност на линията  $L_s$  и  $L_m$ ;
- Капацитетите между фазите и спрямо земята  $C_p$  и  $C_g$ ;



**Фиг.2.** Заместваща схема на електропроводна линия СрН

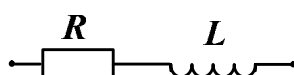
Горезброените величини се определят като се отчитат съответните величини с права и нулева последователност по следните формули:

$$\begin{aligned}
 R_s &= (2R_1 + R_0) / 3; \\
 L_s &= (2L_1 + L_0) / 3; \\
 R_m &= (R_0 - R_1) / 3; \\
 L_m &= (L_0 - L_1) / 3; \\
 C_p &= C_1; \quad C_g = 3C_1C_0 / (C_1 - C_0);
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

където величините с индекс нула са тези с нулева последователност, а тези с 1 съответно с права последователност. Съпротивленията, индуктивностите и капацитетите на различните видове линии се определят на базата на дължината на линията и съответния специфичен параметър за 1km дължина, които се дават в справочната литература или от производителите.

### Реактори

Токоограничаващите реактори ще се представят чрез последователна схема на активно съпротивление и индуктивност фиг. 3

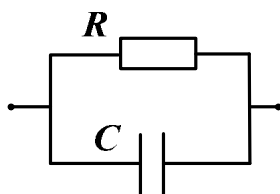


**Фиг.3.** Заместваща схема на реактор

Параметрите ще се определят на базата на реактивното съпротивление на реактора при основната честота и активните му загуби.

### Кондензаторни батерии

Кондензаторните батерии (КБ) ще се представят чрез схема от паралелно свързани капацитет и активно съпротивление фиг.4.

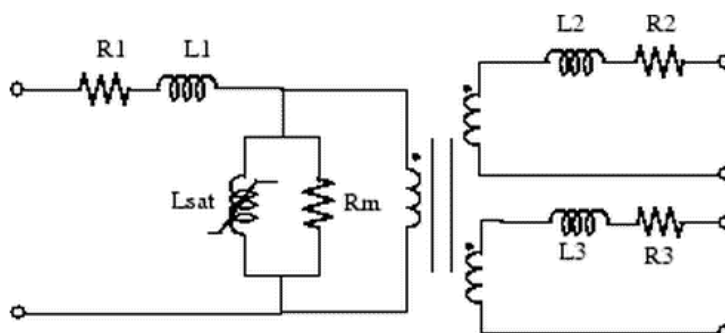


**Фиг.4.** Заместваща схема на кондензаторна батерия

Параметрите на  $R$  и  $C$  се определят на базата на реактивната мощност на КБ на основната честота и на активните загуби в нея.

### Трансформатори

За моделиране на силовите трансформатори в ЕСПП ще се използва заместващата схема от фиг.5.



Фиг.5. Заместваща схема на трансформатор

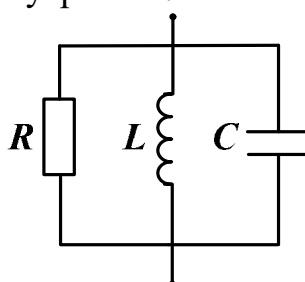
Заложеният модел позволява да се отчита и насищането на трансформатора, но е необходимо да се въведе допълнително информация за зависимостта на магнитния поток и намагнитващия ток. Означените величини на фиг.5 имат следния смисъл:

$R_1, R_2, R_3$  и  $L_1, L_2, L_3$  са съответно активните съпротивления и индуктивностите на намотките на трансформатора;

$R_m, L_{sat}$  отчитат характеристики на магнитопровода, а именно активните загуби и индуктивността на насищане.

### Линейни товари

Линейните товари ще се моделират чрез елемент, който е комбинация от паралелно свързани активно съпротивление, индуктивност и капаците фиг.6. При трифазните товари има възможност да се избира начина на свързване (звезда/триъгълник) и вида на неутралата.

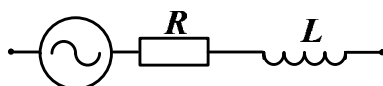


Фиг.6. Заместваща схема на линеен товар

Стойностите на елементите се изчисляват на базата на зададени активни и реактивни мощности, захранващо напрежение и честота.

### Източник на захранващо напрежение

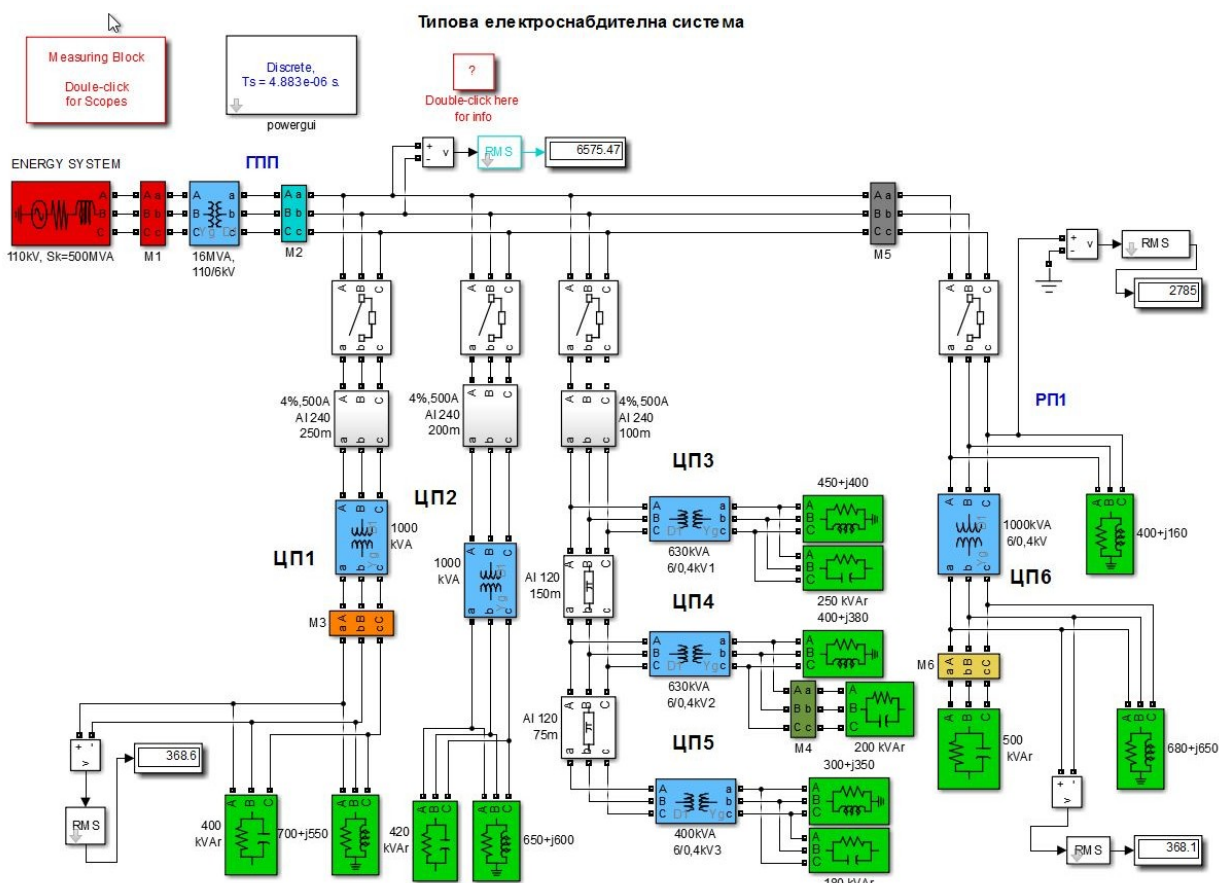
Източниците на захранващо напрежение ще се представят чрез комбинация от идеални източници на синусоидално напрежение и последователно свързани активно съпротивление и индуктивност, които ще определят техния вътрешен импеданс фиг.7.



**Фиг.7.** Заместваща схема на източник на захранващо напрежение

Параметрите се изчисляват на базата на мощността на късо съединение, напрежението и честотата на източника и съотношението  $X/R$ .

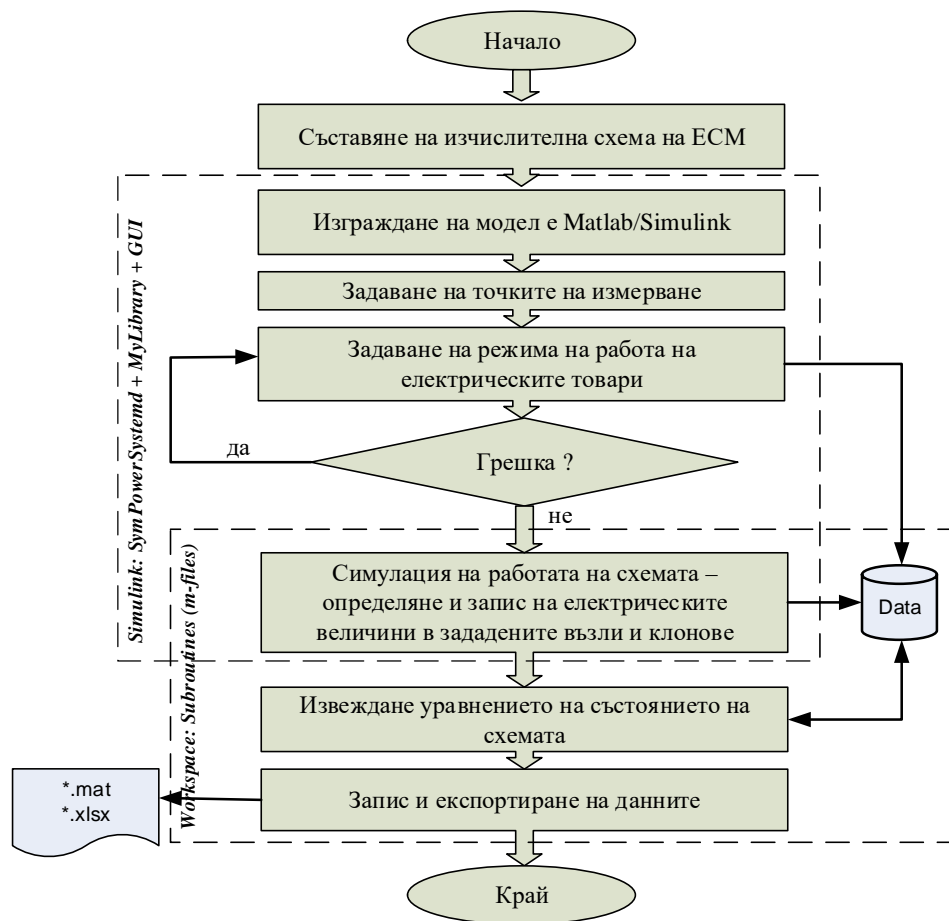
На базата на принципната схема и на описаните по-горе елементи е изграден следния модел на ЕСМ даден на фиг.8.



**Фиг.8.** Модел на електроснабдителна мрежа в Matlab/Simulink

Алгоритъмът на работа при съставянето на модела е даден на фиг.9. Основните стъпки са:

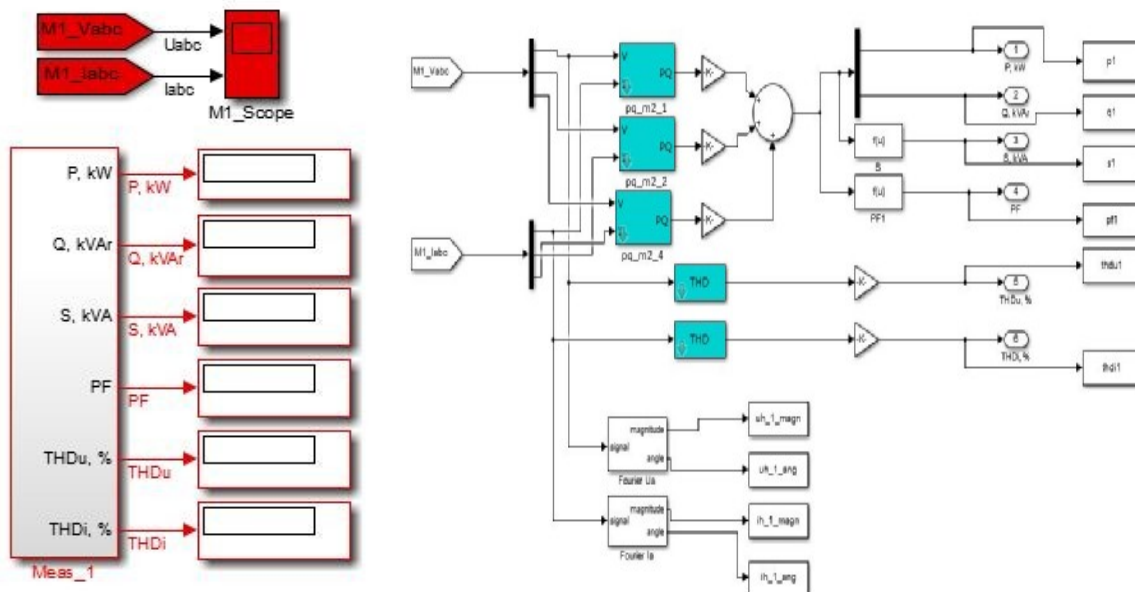
1. Съставя се изчислителната схема на конкретна ЕСМ (подобно на фиг.1). Уточняват (изчисляват) се параметрите на всички елементи от схемата, нужни за входни данни на модела;
2. Съставяне на схемата на електроснабдителната система в средата на Matlab, ползвайки библиотеките на SimPowerSystem или библиотеки създадени от потребителя. Тук следва въвеждането на параметрите на отделните елементи;



**Фиг.9.** Алгоритъм на работа за създаване на модел на ЕСМ

3. Избор на точките на измерване с цел следене режима на работа на ЕС и настройка (тестване за грешки). В избраните възли и клонове се поставят съответните измервателни блокове. Добър вариант е резултатите от „измервателните прибори“ да се записват в променливи на работната среда, както е дадено и в схемата на алгоритъма;
4. Чрез задаване на товарите и/или включване/изключване на клонове на схемата се задават конкретни режими на работа. Проверяват се резултатите в точките на измерване. Така се тества схемата за грешки;
5. Проверка за грешки, както на ниво софтуер, така и за правилен режим на работа;
6. Симулация и получаване на резултати. Резултатите се записват в различни променливи, които се задават при изграждането на модела;
7. Извеждат се матриците на уравненията на състоянието. Те ще са нужни при решаване на оптимизационната задача;
8. Записване на всички резултати във външни файлове с цел използване от друг софтуер и др.

Така съставеният модел позволява да му се задават динамично, чрез различни променливи на средата MATLAB, режимите на работа на товарите и структурата на схемата. Структурата се контролира чрез прекъсвачи, чието състояние може да се инициализира и преди и по време на симулациите.



Фиг.10. Измервателен блок

Към модела са разработени допълнително: универсален измервателен блок (фиг.10) за запис и визуализация на мощностите, коефициентите на несинусоидалност и коефициента на мощност на схемата за избрана точка; програма за изчисляване на загубите на активна мощност в отделните елементи на мрежата.

#### 4. ИЗВОДИ

Представеният подход и изграденият софтуерен модел позволяват да се разполага с обект за управление и експериментиране при проектирането и разработването на прототип на централизирана система за управление на реактивните мощности.

Създаденият модел на примерна ЕСМ може да се ползва като база за изграждането на модели по всякаква друга изчислителна схема, тъй като съдържа всички основни елементи на една електроснабдителна система.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите, от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на НИС при ТУ-София 2015г., научен проект в помощ на докторанта „*Централизирано управление на компенсиращите реактивни мощности в интелигентни електроснабдителни системи*”, договор № 151ПД0030-01/2015

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Singh N., Kliokys E., Feldmann H., Kussel R. *Power system modelling and analysis in a mixed energy management and distribution management system*. Power Systems, IEEE Transactions on Volume: 13, Issue: 3, 2002.



- [2] Matanov N. *Optimization of the structure and the distribution of the reactive power compensation in the industrial electrical supply systems*. E+E Vol.49 No.3-4/2014 pp.27-33.
- [3] Черных И. В. *Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink*. Москва, ДМК Пресс, 2007.
- [4] J Arrillaga, N R Watson. *Computer Modelling of Electrical Power Systems*. Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, England, 2013.
- [5] Матанов Н., Сидеров С. *Моделиране на влиянието на параметрите на електроснабдителната система върху генерираните хармоници на ток и напрежение от мощни токоизправители*. Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”, Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 99-104.
- [6] Meliopoulos A. P. Sakis. **Power System Modeling, Analysis and Control**. School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 2006.

**Автори:** Николай Стефанов Матанов, д-р инж. - доцент в катедра “Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” (ЕСЕОЕТ), email: [nsm@tu-sofia.bg](mailto:nsm@tu-sofia.bg); ас. инж. Снежана Асенова Димитрова, докторант в катедра ЕСЕОЕТ, email: [s.dimitrova@tu-sofia.bg](mailto:s.dimitrova@tu-sofia.bg).

**Постъпила** на 15.12.2015г.

**Рецензент:** доц. д-р Светлана Цветкова