



Раздел 5

ЕЛЕКТРОТЕХНИКА, ЕЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Section 5

ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION

**СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ИНВЕРТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ КАТО РЕГУЛАТОР НА
ЗНАКОПРОМЕНЛИВИ ТОВАРИ**

**SIMULATION MODEL OF VOLTAGE INVERTER AS REGULATOR OF VARIABLE
CHARACTER LOADS**

Борислав Бойчев*

Технически Университет - София

Статията е постъпила на 03 април 2015 г.; приета за отпечатване на 10 май 2015 г.

Abstract

The large number of electronic generators placed in operation and their capabilities determine the cause many researchers to discuss intensively the issue of their use for control of reactive loads. Paper deals with investigation of the possibility of inverters application as regulators of loads with variable character using computer simulations.

Keywords: compensation, variable character loads, reactive loads, inverter

ВЪВЕДЕНИЕ

Притежаването на генераторни мощности от индустриални предприятия е добре познато и обичайно явление в миналото. Преди 25 години, близо 10% от генераторните мощности в страната бяха собственост на предприятията, които като цяло се характеризират като консуматори на енергия. При тогавашните условия, задължително се изследваше възможността синхронните машини да се използват при управлението на реактивните товари [1]. В енергийната система се разчита само на мощните синхронни генератори да осигурят баланса на реактивна енергия.

Поради редица фактори, възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) увеличиха своя дял в енергийната система. Въпреки някои разминавания в данните [2][4], може да се смята, че около 12% от инсталираните мощности в страната или около 1,6 GVA се формират от „електронни генератори“. С този термин са означени тези генериращи мощности, които се свързват с енергийната система посредством управляеми инвертори. В България, въпреки липсата на стимули точно за разпределената генерация с малка мощност, броят на фотоволтаичните централи в дворове и по покриви расте.

Големият брой електронни генератори и техните възможности карат много изследователи да обсъждат интензивно въпроса за тяхното използване за управление на реактивните товари [9][8][6][5].

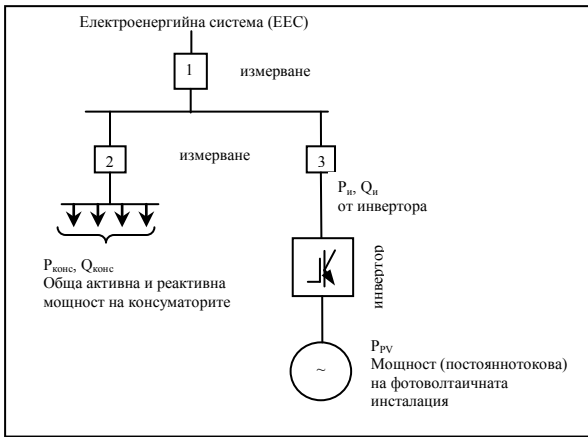
С помощта на компютърни симулации тук ще бъде изследвана възможността за използване на инверторите на „електронните генератори“ за компенсиране на знакопроменливи реактивни товари.

1. “ЕЛЕКТРОННИ ГЕНЕРАТОРИ“ И РЕАКТИВНАТА МОЩНОСТ

На Фиг.1 е показана част от електроснабдителна система на обект, при който са налице както консуматори, така и генерираща мощност – например от фотоволтаици, разположени по покривните конструкции или дворни площадки. В типичните приложения, инверторите работят с коефициент на мощност, но други режими също са възможни [7][3]. Генерирането на реактивна мощност е ограничено от номиналната пълна мощност на инвертора S_n .

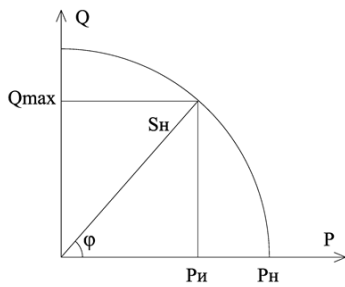
При дадено ниво на възобновяемия ресурс (слънчевата радиация), активна мощност, отдавана от инвертора ще е P_i , а номиналната пълна мощност S_n .

* Тел.+359 2 965 2179; e-mail:bojchev@tu-sofia.bg

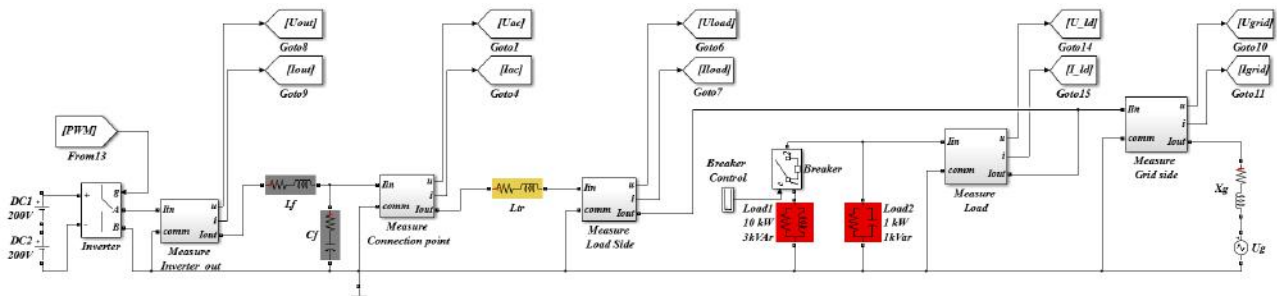


Фиг. 1. Електроснабдителна система на консуматор със собствена малка генерираща мощност от възобновяеми източници

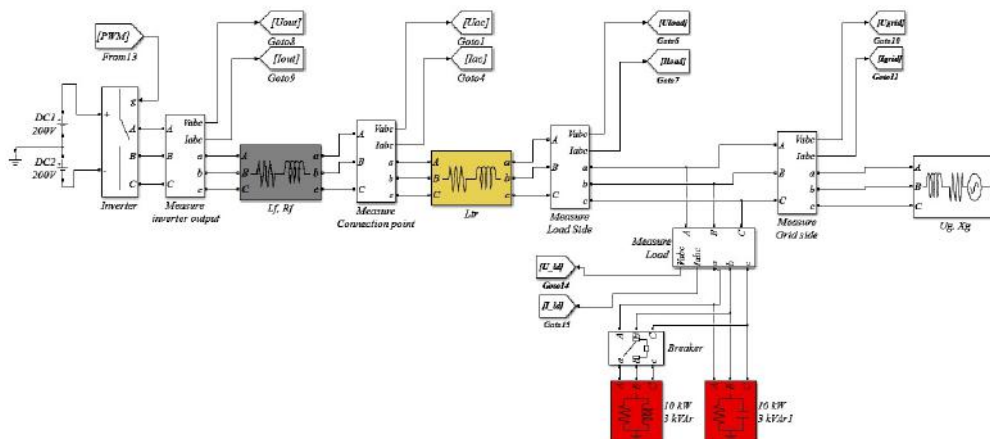
Тогава максималната реактивна мощност, която може да се получи е Q_{max} (Фиг. 2). Инверторите се измерват по максималната очаквана постояннотокова мощност (в случая с фотоволтаичните централи по т. нар. пикова фотоволтаична мощност).



Фиг. 2. Режими на работа на инвертор на напрежение с възможност за генериране на реактивна мощност



Фиг. 3. Еднофазен инвертор на напрежение, свързан към електроснабдителната система. $L_f C_f$ – елементи на изходния филтър, L_{tr} – индуктивно съпротивление на разсейване на захранващия трансформатор, U_g, X_g – напрежение и импеданс на захранващата мрежа.



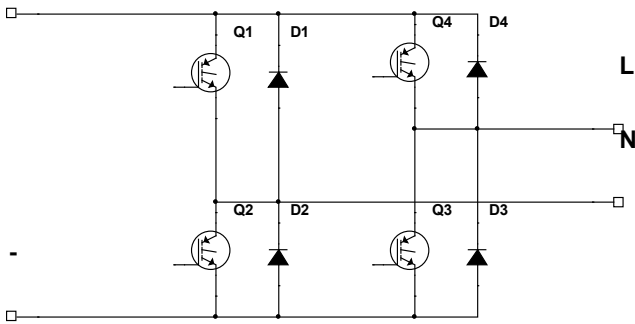
Фиг. 4. Трифазен инвертор на напрежение, свързан към електроснабдителната система, $L_f C_f$ – елементи на изходния филтър, L_{tr} – индуктивно съпротивление на разсейване на захранващия трансформатор, U_g, X_g – напрежение и импеданс на захранващата мрежа.

Съществуват изследвания, според които дори при битовите товари, където факторът на мощност не се ограничава, локалното компенсиране на консумираната реактивна енергия ще доведе до 5-7 % намаляване на загубите на енергия. При стопанските субекти, компенсирането на реактивната енергия се определя от глобите за лош фактор на мощността. Тези фактори правят изгодно използването на инверторите на възобновяеми източници за компенсиране на реактивната мощност.

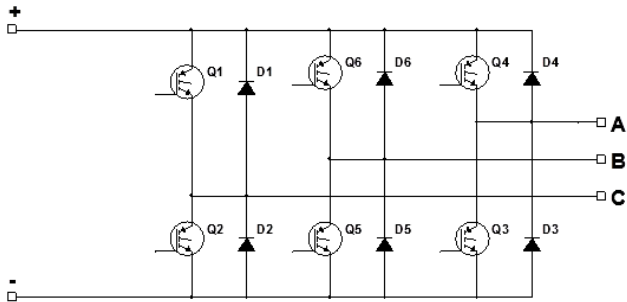
2. SIMULINK МОДЕЛ НА ИНВЕРТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ КАТО РЕГУЛАТОР НА ЗНАКОПРОМЕНЛИВИ ТОВАРИ

Инверторите на напрежение могат да са еднофазни или трифазни. По своя принцип на работа и управление те не се различават помежду си. В практиката, когато фотоволтаичите са с по-малка мощност се предпочитат инсталиране на еднофазен инвертор, заради по-ниската цена.

Simulink модел на еднофазен инвертор, свързан към електроснабдителната система е показан на Фиг. 3, Simulink модел на трифазен инвертор, свързан към електроснабдителната система е показан на Фиг. 4, на Фиг. 5 и 6 е показано свързването на силовите ключове в инверторите.



Фиг. 5. Схема на силовите ключове в еднофазен инвертор на напрежение



Фиг. 6. Схема на силовите ключове в трифазен инвертор на напрежение

При наличие на трифазна система величини – токове или напрежения ($v_a(t)$, $v_b(t)$, $v_c(t)$), може да се премине към две ортогонални съставки в неподвижна декартова система, в която абсцисата се приема за реална ос и ще бъде отбелязвана с α , а ординатата – за имагинерна ос и ще бъде отбелязвана с β . Това действие е известно като трансформация на Кларк и се описва с уравнението:

$$\underline{v}^{\alpha\beta}(t) = v^\alpha(t) + jv^\beta(t) = K \left(v_a(t) + v_b(t)e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_c(t)e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) \quad (2.1)$$

Горе, с $\underline{v}^{\alpha\beta}(t)$ е означен векторът на напрежението, изразен в координатна система $\alpha\beta$ и имащ две скалярни съставки $v^\alpha(t)$, $v^\beta(t)$, а К е константа, имаща стойност $\sqrt{3/2}$ или $3/2$, в зависимост от това дали се изисква инвариантност на преобразуването по отношение на мощностите или на напреженията съответно. Трансформационната матрица се дава с (2.4).

Векторът $\underline{v}^{\alpha\beta}(t)$ се върти в неподвижната координатна система $\alpha\beta$ с постоянна ъглова скорост $\omega = 2\pi f$. Следователно, компонентите на вектора или проекциите му по двете оси $v^\alpha(t)$, $v^\beta(t)$ ще са синусоидални величини. Много по-удобно е да се ра-

боти с константи, затова се прави допълнителна трансформация, известна като трансформация на Парк, с която се въвежда координатна система – dq, въртяща се с постоянна ъглова скорост $\omega = 2\pi f$. Трансформационното уравнение е:

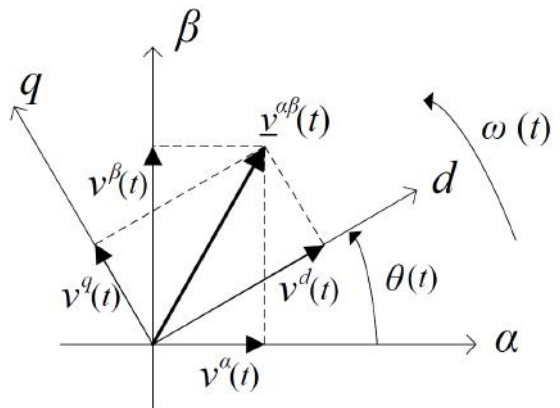
$$\underline{v}^{dq}(t) = \underline{v}^{\alpha\beta}(t)e^{-j\theta}, \quad (2.2)$$

където $\underline{v}^{dq}(t)$ е векторът на напрежението в координатна система dq, а θ е текущият ъгъл между осите α и d (Фиг. 5б). Ъгълът θ се определя със:

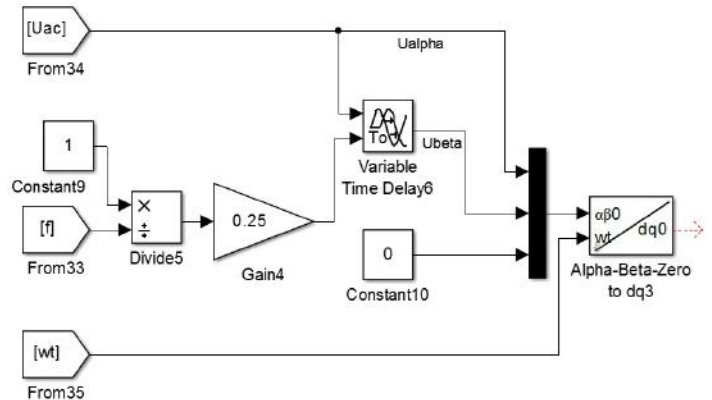
$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega(\tau) d\tau, \quad (2.3)$$

Трансформационната матрица е:

$$\begin{bmatrix} v^d(t) \\ v^q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta(t)) & -\sin(-\theta(t)) \\ \sin(-\theta(t)) & \cos(-\theta(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v^\alpha(t) \\ v^\beta(t) \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$



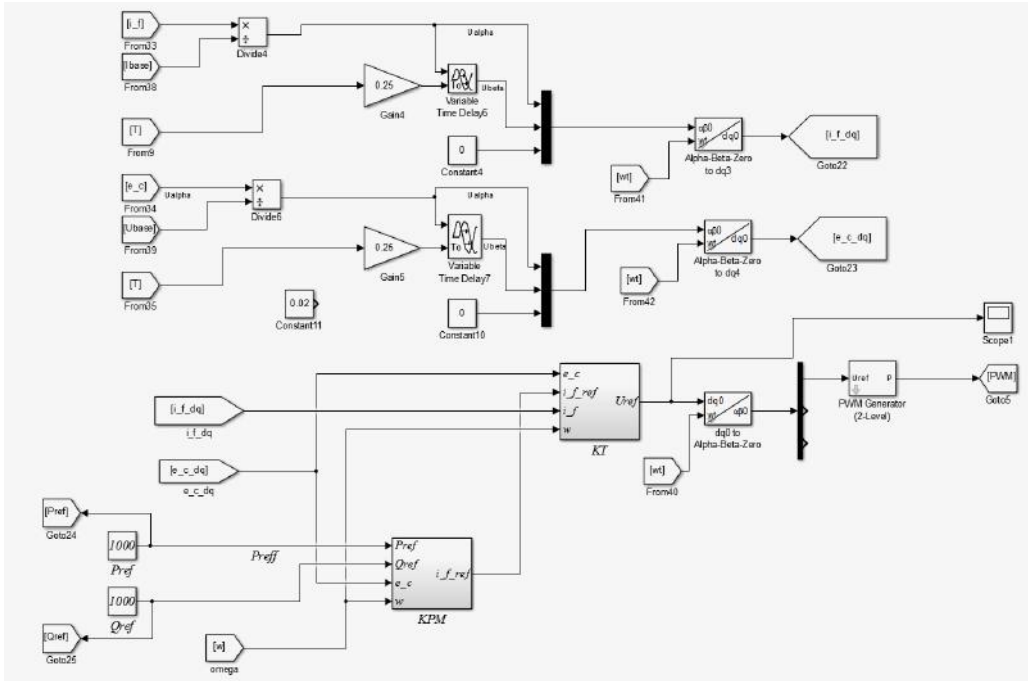
Фиг. 7. Връзка между неподвижната координатна система и въртящата се координатна система dq.



Фиг. 8. Получаване на компонентите на еднофазен сигнал във въртяща се dq координатна система, чрез дефазирание на сигнала на четвърт период.

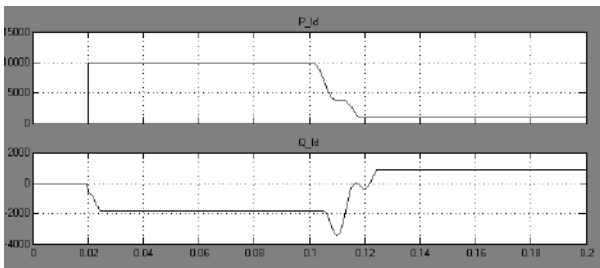
3. МОДЕЛИРАНЕ НА РАБОТАТА НА ИНВЕРТОР НА НАПРЕЖЕНИЕ, КАТО РЕГУЛАТОР НА ЗНАКОПРОМЕНЛИВИ ТОВАРИ

Управлението на инвертора е реализирано като Simulink модел, показан на Фиг. 6.



Фиг. 6. Схема на силовите ключове в трифазен инвертор на напрежение

В силовата схема е свързан активно-индуктивен товар, с активна мощност 10 kW и индуктивна мощност 3 kVA_r. Този товар се изключва 0,1 s след началото на симулацията. По този начин, остава включен само активно-капацитивен товар с активна мощност 1 kW и капацитивна мощност 1 kVA_r. Времедиаграма на изменение на товара е показана на следващата фигура.

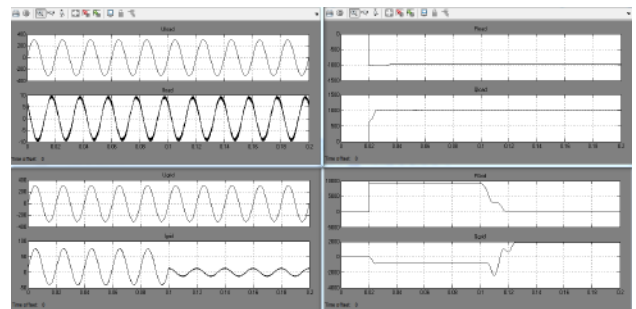


Фиг.7. Времедиаграма на изменение на товара. Симулира се процес на изключване на активно-индуктивните товари, при което остават само дежурни активно-капацитивни товари.

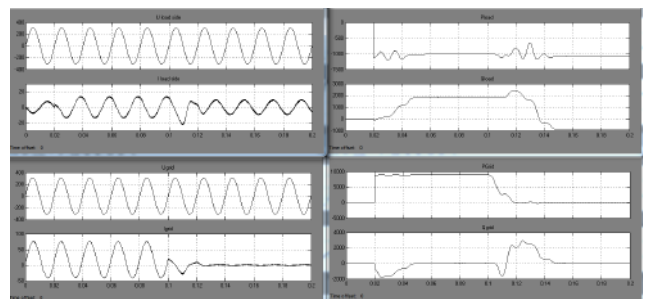
Работата на инвертора е симулирана в два режима. Първият е при постоянно задание за активна и реактивна мощност. Инверторът работи, като генерира неизменно количество активна и реактивна мощност. Както се вижда от Фиг. 7, в този режим генерираната мощност е постоянна, и когато основният, активно-индуктивен товар се изключи, както инверторът, така и постоянно включените кондензатори генерират капацитивна мощност, която се връща в източника.

Във втория режим, инверторът работи при поддържане на постоянен фактор на мощността. Системата за управление наблюдава свързания към общите шини товар и сама избира големината и знака на генерираната реактивна мощност – Фиг. 9. Активната мощност при

това остава постоянна, тъй като в реални условия тя ще се определя от наличието на първична енергия.



Фиг. 8. Времедиаграми на изменение на токовете и напреженията, както и мощностите от гледна точка на инвертора и на енергийната система. Управление с поддържане на постоянна мощност ($P=1\text{ kW}$ $Q=1\text{ kVar}$ капацитивна).



Фиг. 9.1 Времедиаграми на изменение на токовете и напреженията, както и мощностите от гледна точка на инвертора и на енергийната система. Управление с поддържане на постоянен коефициент на мощност ($P_F = 1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирани са възможностите за използване на електронните преобразуватели на възобновяеми енергийни източници за регулиране на реактивните товари. Това е възможно, без необходимост от допълнителни инвестиции и без загуби, свързани с пропуснати ползи, тъй като през огромна част от годината, капацитетът по мощност на тези преобразуватели не се използва

Симулирана е в среда на Simulink работата на инвертор на напрежение, при който се управлява активната и реактивна мощност, отдавани в мрежата. Симулирани са два режима на работа – константни задания по мощност и режим с управление на фактора на мощността. Във втория режим, инверторът отдава в мрежата активна мощност според наличната постояннотокова такава, а управлява големината и знака на отдаваната реактивна мощност, за да поддържа определен коефициент на мощност.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Василев Н., Сидеров С, ЕЛЕКТРОСАБДЯВАНЕ НА ПРОМИШЛЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ, С., Техника 1991.

- [2] ВЕИ СЕКТОРЪТ В БЪЛГАРИЯ – СЪСТОЯНИЕ, ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ПЕРСПЕКТИВИ, Обществен съвет по енергетика, Министерство на икономиката, енергетиката и туризма, април 2013.
- [3] Русенова М., ИНВЕСТИЦИИ В БЪЛГАРСКИЯ ВЕИ СЕКТОР: ОТ ПОГЛЕДА НА БИЗНЕСА, Парламентарен семинар на EUFORES април 2014.
- [4] Alonso-Martinez J., S. Arnales, "A THREE-PHASE GRID CONNECTED INVERTER FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS USING FUZZY MPPT
- [5] Dixon J., L. Moran, J. Rodriguez, R. Domke, REACTIVE POWER COMPENSATION TECHNOLOGIES, STATE OF THE ART REVIEW, , Proceedings of the IEEE (Volume:93 , Issue: 12 , 2005), ISSN 00189219
- [6] Ellis A. et al, REACTIVE POWER PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR WIND AND SOLAR PLANTS, <http://energy.sandia.gov/>
- [7] Weidenmo V., ENERGY STORAGE EQUIPPED STATCOM FOR POWER QUALITY IMPROVEMENTS IN DISTRIBUTION GRIDS, Master's thesis in Electric Power Engineering, Chalmers University Of Technology, Gothenburg, Sweden 2012
- [8] Yazdani A. and R. Iravani. VOLTAGE-SOURCED CONVERTERS IN POWER SYSTEMS: MODELING, CONTROL, AND APPLICATIONS. John Wiley & Sons Inc., 2010.