

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЙ РЕЖИМ  
РАБОТЫ МНОГОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ**

Пантелеев С.В., Малашин А.Н., Сизиков С.В.  
Военная академия Республики Беларусь

*Аннотация:*

Возможность работы многофазной электрической машины в полигармоническом режиме является одним из преимуществ перед трехфазной электрической машиной. Обеспечение функционирования электрической машины в полигармоническом режиме работы позволит улучшить ее массогабаритные и энергетические показатели. При этом для получения максимальной активной мощности электрической машины необходимо решить задачу согласования во временной области полигармонической ЭДС и тока.

*Текст доклада:*

Особенности совместного функционирования многофазной электрической машины и полупроводникового преобразователя электрической энергии (ППЭ) обуславливают особый подход к синтезу системы управления.

Разработана система векторного управления током в цепи многофазной электрической машины. Для этого на основе проведенного анализа электромагнитных процессов в многофазном ППЭ создана его дискретная математическая модель, которая учитывает перераспределение электромагнитной энергии по отдельным пространственным гармоническим составляющим в зависимости от числа фаз.

$$\bar{U}_{h_i} = \bar{U}_{ss,h} + R\bar{I}_{h_i} + L_h \frac{d\bar{I}_{h_i}}{dt}; \quad (1)$$

$$\bar{U}_{ss,h} = \bar{\Phi}_{ih} u_d; \quad (2)$$

$$\bar{\Phi}_{ih} = \frac{1}{2} T^{-1} M T \bar{S}_{ih}; \quad (3)$$

$$i_d = \frac{m}{2} \sum_{h=1}^{(m-1)/2} \bar{\Phi}_{ih} \bar{I}_{h_i}; \quad (4)$$

$$i_d = i_f + i_l. \quad (5)$$

$$i_f = C_d \frac{du_d}{dt} \quad (6)$$

где  $\bar{U}_{h_i}, \bar{I}_{h_i}, \bar{U}_{ss,h}$  – векторы-столбцы мгновенных значений сетевых напряжений и токов, а также напряжений на силовом входе ПК в двухмерных ортогональных неподвижных системах координат  $\alpha_h \beta_h$ ,  $R$  и  $L_h$  – матрицы (размерностью  $m \times m$ ) активных сопротивлений и индуктивности буферных реакторов;  $\bar{\Phi}_{ih} = [\varphi_{\alpha_h} \quad \varphi_{\beta_h}]^T$  – дискретные коммутационные вектор-функции;  $u_d$  – выходное напряжение ППЭ;  $T^{-1}$  – матрица преобразования координат;  $M$  – матричная константа размерностью  $m \times m$ ;  $\bar{S}_{ih}$  – комбинация состояний ключей ПК;  $i_d$  – выходной ток ППЭ;  $m$  – число фаз;  $i_f$  – ток в цепи емкостного фильтра  $C_d$ ;  $i_l$  – ток нагрузки ППЭ;

$i = 0 \dots (N-1)$  – номер комбинации состояний ключей ПК;  $N$  – общее число допустимых комбинаций состояний ключей ПК.

С использованием данной математической модели и схемы инъекции высших гармоник тока, которая обеспечивает полигармонический режим работы ППЭЭ, разработан способ независимого управления пространственными гармоническими составляющими входного тока преобразователя.

Функциональная схема регулирования ППЭЭ представлена на рисунке 1 и выполнена на основе принципов подчиненного регулирования и векторного управления вектором входного тока  $\bar{i}_h$  ППЭЭ.

В разработанной системе управления для обеспечения полигармонического режима работы полупроводникового преобразователя электрической энергии разработана схема инъекции высших гармоник тока (7)-(9).

Заданные значения «активных» составляющих  $h$ -го вектора входного тока  $i_{x_h}^*(k)$  при  $h > 1$  определяются на основе «активной» составляющей вектора входного тока при  $h = 1$  с использованием весовых коэффициентов  $C_h$

$$i_{x_h}^*(k) = C_h i_{x_1}^*(k). \quad (7)$$

Весовые коэффициенты  $C_h$  рассчитываются на основе значений модулей векторов входного напряжения ППЭЭ  $U_h(k)$  согласно выражению

$$C_h = U_h(k) / U_1(k). \quad (8)$$

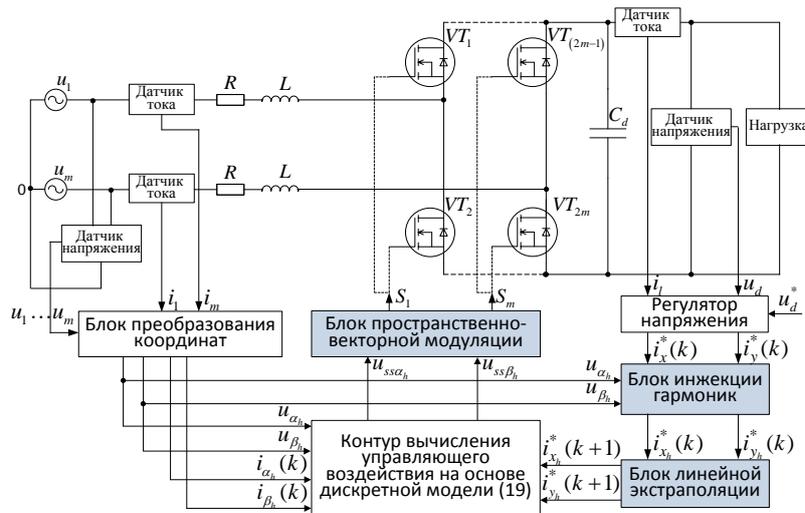


Рис. 1. Функциональная схема регулирования ППЭЭ

При этом заданное значение «активной» составляющей тока  $i_{x_1}^*(k)$  определяется как функция полученного регулятором напряжения постоянного тока заданного значения «активной» составляющей тока  $i_x^*(k)$ :

$$i_{x_1}^*(k) = i_x^*(k) / \sum_{h=1}^{(m-1)/2} C_h. \quad (9)$$

Основой разработанной системы векторного управления ППЭЭ является его дискретная математическая модель изменения мгновенных значений входного тока (1). На ее основе в начале каждого периода управления определяется управляющее воздействие в виде векторов напряже-

ния полупроводникового преобразователя электрической энергии, позволяющих компенсировать отклонение вектора входного тока ППЭЭ в конце периода управления.

Формирование в каждой из фаз полигармонических токов, сопряженных по форме и фазе с питающим преобразователь напряжением, осуществляется посредством управляющих воздействий в виде векторов напряжения полупроводникового коммутатора, реализация которых осуществляется методом многофазной пространственно-векторной модуляции.

Для проверки разработанных положений создана имитационная модель девятифазного ППЭЭ с системой векторного управления [1]. Результаты исследования модели подтвердили адекватность разработанных технических решений, применение которых позволит обеспечить наиболее полную реализацию собственных преимуществ многофазной электрической машины в целях общего улучшения массогабаритных и энергетических показателей автономной системы электроснабжения.

### **Литература**

1. Пантелеев С.В. Разработка математической модели многофазного полупроводникового преобразователя электрической энергии с системой векторного управления. Часть 1 / С.В. Пантелеев, А.Н. Малашин // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель. – 2020 – № 2. – С. 82–90.