

СИСТЕМЫ ГРУППОВОГО ПИТАНИЯ ПРИВОДОВ С ЕМКОСТНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ АКТИВНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Предложен усовершенствованный способ управления многофункциональными параллельными активными фильтрами для быстрой и точной компенсации неактивных составляющих полной мощности в трех- и четырехпроводных системах.

Запропоновано вдосконалений спосіб керування багатofункціональними паралельними активними фільтрами для швидкої й точної компенсації неактивних складових повної потужності в трьох і чотирьох провідних системах.

The improved method of management by multifunction parallel active filter for fast and exact indemnification of nonactive constituents of complete power in three and four wire systems is offered.

Введение. Поскольку электроприводы потребляют до 60 % вырабатываемой электроэнергии, а наибольшие потери имеют место у потребителя, то электроприводы обладают огромным резервом для сбережения электроэнергии. Одним из перспективных направлений энергосбережения средствами промышленного электропривода и нормализации традиционных показателей качества электроэнергии является применение систем группового питания приводов от общих шин постоянного тока с емкостными накопителями и применением параллельных активных фильтров (ПАФ) [5].

Следовательно, вопросы энергосбережения средствами промышленного привода и разработки эффективных технических средств, критериев и алгоритмов управления ими с целью повышения энергетической эффективности электропривода, передачи и потребления электроэнергии являются актуальными и важными.

Анализ последних достижений и публикаций. Широкое применение ФКУ выявило ряд недостатков, которые вызывают дополнительное генерирование гармоник, например, вследствие резонансных явлений. При сложном спектре токов и напряжений сети делает применение ФКУ недостаточно эффективным [2].

В случае нелинейных и несимметричных динамических нагрузок требуется применение быстродействующих компенсирующих устройств для быстрой и точной разгрузки сети от негативного влияния неактивных составляющих полной мощности. Наиболее эффективными в этом направлении являются ПАФ [3-7].

Целью работы является усовершенствование способов управления многофункциональными ПАФ для быстрой и точной компенсации неактивных составляющих полной мощности как в трех, так и четырех проводных системах смешенного питания, адаптированных к системам группового питания приводов с емкостными накопителями энергии.

Результаты исследования. ПАФ (рис.1) содержит трехфазный АИН с двухсторонней проводимостью, подключенный к сети через реактор $L_{\text{фи}}$, предназначенный для подавления высоких частот, обусловленных коммутацией ключей инвертора. Сигналы задания тока, подлежащего компенсации, формируются блоком управления с использованием мгновенных значений реактивной мощности (мощности сдвига первых гармоник, искажения и несимметрии).

Контуры тока замыкаются через релейные регуляторы (РРТ) с ограничением частоты коммутации ключей инвертора. РРТ представляют собой простую и надежную в работе схему, обладающую предельным быстродействием при заданных энергетических ограничениях в звене постоянного тока.

На практике наиболее часто используются два метода управления ПАФ. Метод мгновенной мощности (р-q теория) и метод управления в синхронно вращающейся системе координат, ориентированной по обобщенному (результатирующему) вектору напряжения сети [6-8], основанный на прямом и обратном преобразованиях Парка-Горева.

В первом случае постоянные p_n , q_n и переменные p_v , q_v составляющие мгновенной мощности определяются согласно зависимости

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ p_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_n \\ q_n \\ p_{0n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_v \\ q_v \\ p_{0v} \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta & 0 \\ -u_\beta & u_\alpha & 0 \\ 0 & 0 & u_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В приведенном выражении ортогональные составляющие в неподвижной системе координат α - β , например, обобщенного вектора напряжения сети определяются [8]

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -0,5 & -0,5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В предельном случае ПАФ должен генерировать в нагрузку все неактивные составляющие полной мощности. Однако в комбинированных системах могут использоваться конденсаторные батареи и ФКУ, (например 5 и/или 7-й гармоник) для компенсации части реактивной мощности (рис.1). Поэтому с

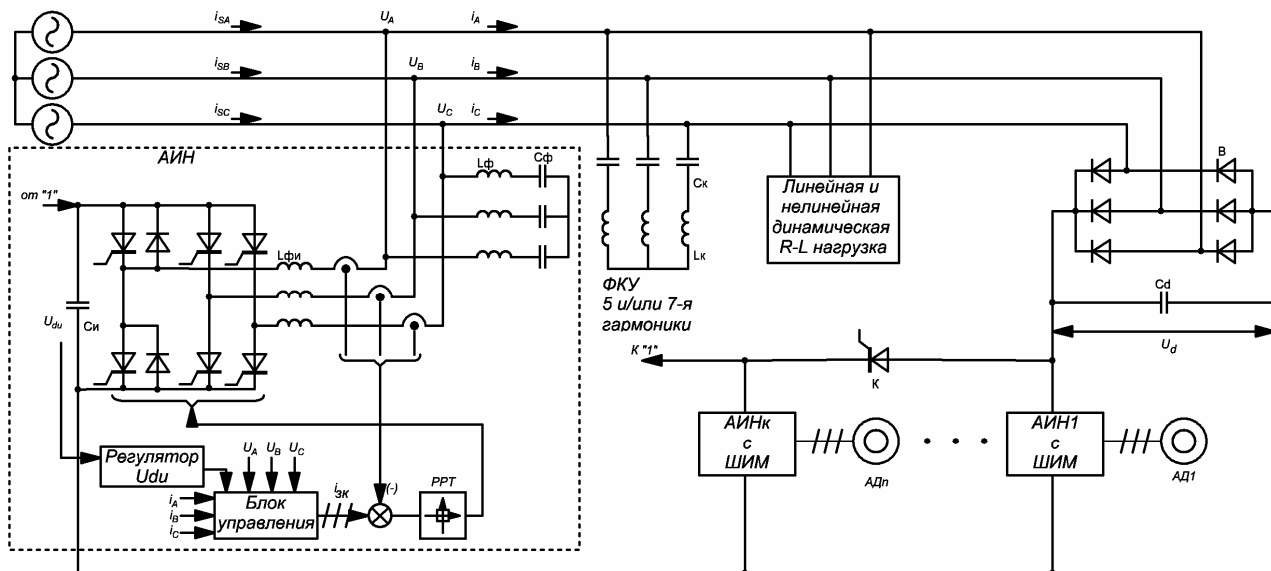


Рис. 1. Функциональная схема параллельного активного фильтра (ПАФ) адаптированная к системе группового питания приводов с емкостными накопителями C_d электроэнергии

помощью ПАФ могут решаться различные задачи: компенсация всех неактивных составляющих; отдельных составляющих или их различные комбинации. Для этого сигналы мгновенной мощности p и q подвергаются фильтрации с помощью ФНЧ с целью разделения их на составляющие для формирования требуемого управляющего параметра компенсации p^* и q^* (рисунки 2 и 3). Токи задания компенсатора в осях α - β вычисляются на основании p^* и q^* и составляющих u_α , u_β напряжения сети в точке подключения ПАФ [8]

$$\begin{bmatrix} i_{k\alpha}^* \\ i_{k\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{2}{3(u_\alpha^2 + u_\beta^2)} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В трехфазной системе координат задание токов компенсации определяется [6]

$$\begin{bmatrix} i_{ka}^* \\ i_{kb}^* \\ i_{kc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0,5 & \sqrt{3}/2 \\ -0,5 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{k\alpha}^* \\ i_{k\beta}^* \end{bmatrix}. \quad (4)$$

В случае искажения формы напряжения сети высшими гармониками и асимметрией нагрузки для повышения точности компенсации неактивных составляющих мощности в систему управления вводится фильтр Ф1 для выделения основной гармоники прямой последовательности (рис. 1).

Функциональная схема управления ПАФ по методу p - q теории мгновенной мощности приведена на рис.2. Требуемая активная мощность, потребляемая ПАФ, для компенсации потерь и поддержания напряжения в звене постоянного тока на заданном уровне формируется в виде двух сигналов. Первый из них соответствует переменной составляющей p_v , а второй – выходному сигналу регулятора напряжения (РН) в звене постоянного тока.

В схеме предусмотрено несколько режимов компенсации реактивной мощности: полная компенсация; компенсация отдельных составляющих или их комбинация. Использование узкополосного фильтра для выделения переменных составляющих двойной частоты позволяет симметризовать нагрузку.

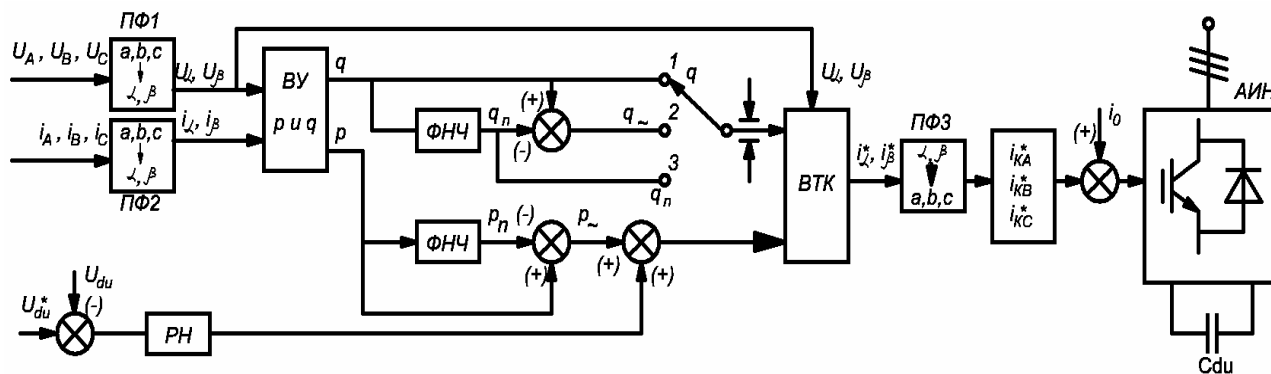


Рис. 2. Функциональная схема управления ПАФ в неподвижной системе координат α, β (ВТК – вычислитель токов компенсации по (4); ВУ – вычислительное устройство)

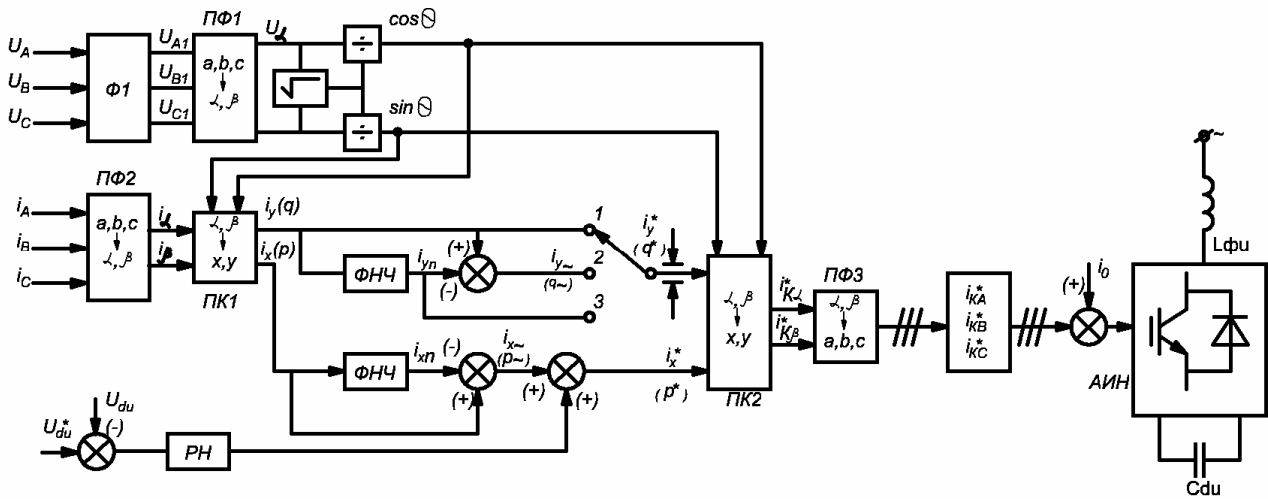


Рис. 3. Функциональная схема управления ПАФ с использованием синхронно вращающейся системы координат (метод x, y теории мгновенной мощности)

Общим недостатком метода $p-q$ теории мгновенной мощности является использование гармонических переменных $u_\alpha, u_\beta, i_\alpha, i_\beta$ при вычислении задающих токов компенсации согласно (3) и (4), что снижает помехоустойчивость системы и усложняет алгоритм вычисления. Компьютерное моделирование режимов работы ПАФ (рис.3) показало, что управление им в синхронно вращающейся системе координат $x-y$, ориентированной по обобщенному вектору напряжения сети, позволяет упростить процедуру выделения и непрерывного контроля неактивных составляющих полной мощности, увеличить быстродействие и точность компенсации. Этот способ базируется на прямом и обратном преобразованиях Парка-Горева.

Прямое преобразование заключается в определении проекций результирующего вектора тока на оси $x-y$ [4-8]

$$\begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\theta = \omega t$ - пространственное положение вращающейся координатной системы, определяемое

$$\cos \theta = u_\alpha / U, \quad \sin \theta = u_\beta / U, \quad U = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2}. \quad (6)$$

Существенно, что составляющая i_y и переменная i_{xy} соответствуют неактивным составляющим токов, подлежащих компенсации. Как и в схеме рис.2, используется ФНЧ для разделения i_x, i_y на постоянные и переменные составляющие.

Обратное преобразование с вращающейся системы координат в неподвижную [4]

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ i_y \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Задание на токи компенсации формируется путем перехода от двухфазной системы координат к трехфазной и добавлением тока нулевой последовательности i_0 :

$$\begin{aligned} i_a &= i_\alpha + i_0, \\ i_b &= -\frac{i_\alpha}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta + i_0, \\ i_c &= -\frac{i_\alpha}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_\beta + i_0 \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, если к трехфазной системе переменных применить сначала прямое преобразование Кларка, а затем преобразование Парка-Горева, то проекция обобщенного вектора тока на ось x соответствует неактивным составляющим токов, подлежащих компенсации для минимизации потребления реактивной мощности. Причем и в этом случае используя ФНЧ, можно реализовать различные режимы компенсации.

Результаты моделирования некоторых режимов работы ПАФ приведены на рис.4. В схемах управления ПАФ (рис.2,3) предусмотрено ограничение максимального значения компенсируемой реактивной мощности для защиты его от перегрузок и возможной разрядки конденсатора.

Следует особо подчеркнуть, что формирование управляющего параметра ПАФ согласно (8) не требует применения дополнительных устройств для компенсации тока нулевой последовательности в четырехпроводных системах.

Выводы

1. В синхронно вращающейся системе координат, ориентированной по обобщенному вектору напряжения сети, значительно упрощается процедура формирования параметра управления ПАФ, а применение релейного управления повышает быстродействие компенсатора до предельно возможных значений при имеющихся энергетических ограничениях.

2. Добавление тока нулевой последовательности в токи задания компенсации позволяет использовать ПАФ как в трех-, так и четырехпроводных системах без дополнительных устройств компенсации тока нулевой последовательности.

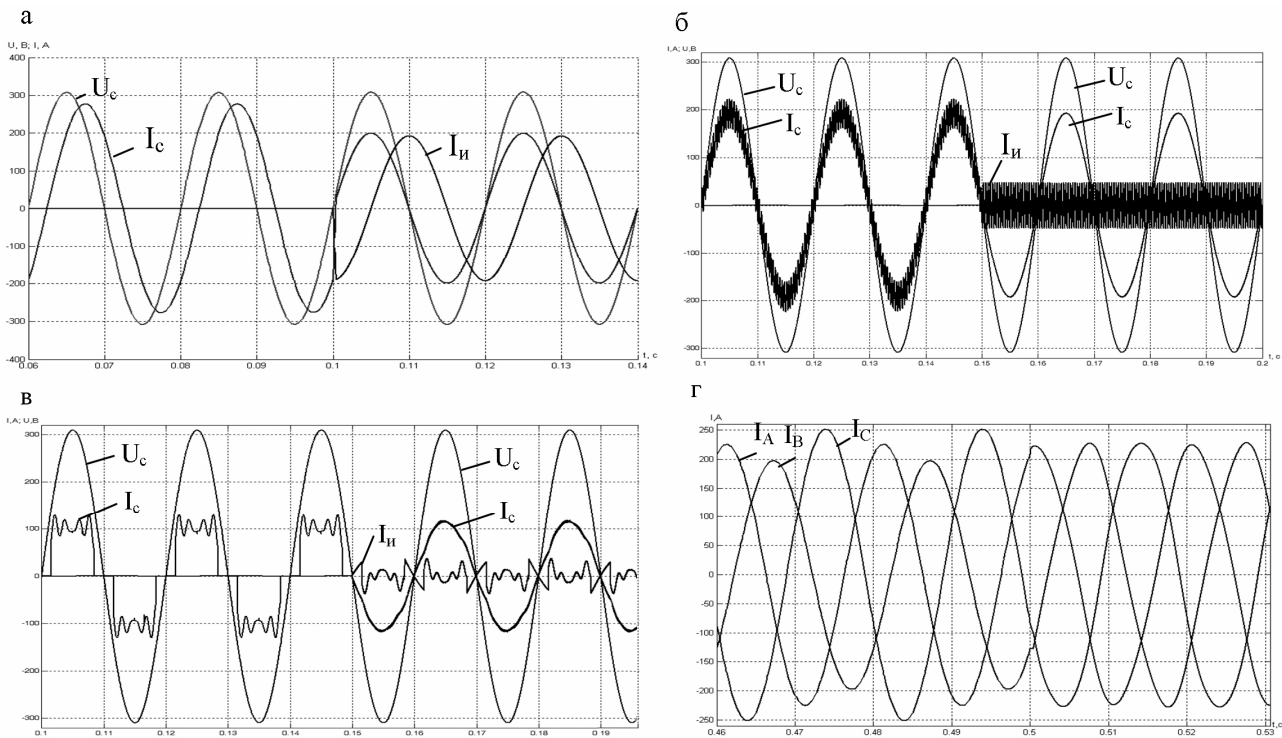


Рис.4. Компенсация реактивной мощности (а); 49-й гармоники (б); неактивных составляющих мощности диодного выпрямителя в системах группового питания приводов (в); симметрирование нагрузки (г)

Список использованной литературы

1. Волков А. В. Анализ электромагнитных процессов и совершенствование регулирования активного фильтра / А.В. Волков // Электротехника, 2002, №12. –С.40-48.
2. Жежеленко В.И. Высшие гармоники в системах энергоснабжения предприятий / В.И. Жежеленко – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331с.
3. Ивакин В.Н. Перспективы применения силовой преобразовательной техники в электроэнергетике / В.Н. Ивакин, В.Д. Ковалев // Электричество, 2001. № 9.– С.30 -37.
4. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока / К.П. Ковач, И. Рац – Пер.с нем.-М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.
5. Колб А.А. Энергосберегающая система группового питания электроприводов с емкостными накопителями энергии /А.А. Колб // Вісн. КДПУ.-Кременчуг: – 2003. – Вып.1. – С.135-143.
6. Колб А.А. Управление компенсаторами неактивных составляющих полной мощности на основе АИН с ШИМ / А.А. Колб // //Наук. Вісн. НГУ . – Дн-ськ. – 2008. – № 1. – С.82-86.
7. B. Singh Обзор активных фильтров для повышения качества электроэнергии / B. Singh, K. Al-Haddad, A. Chandra // IEEE Trans. Ind. Elektron, vol.46,No.5,1999,pp.960-971.
8. H. Akagi Теория мгновенной мощности и ее применение для повышения качества электроэнергии / H. Akagi, E. Watanabe, M. Aredes // IEEE Press Series on Power Engineering, New York, Wiley, 2007.



Колб Андрей Антонович,
к.т.н., доц. каф. эл. машин
Нац. горного ун-та,
49005, Днепропетровск,
пр. К.Маркса 19,
тел. 056-373-0770,
E-mail: aakolb@gmail.com

Получено 08.07.2011