УДК 621.398

Ю.А.СЫЧЕВ
Горно-электромеханический факультет,
группа ЭР-01-2, ассистент профессора

СИСТЕМЫ КОРРЕКЦИИ КРИВЫХ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

В статье рассматривается проблема разработки и внедрения систем коррекции кривых тока и напряжения в сетях горных и нефтегазоперерабатывающих предприятий с использованием активных фильтров на базе транзисторов IGBT.

Дана оценка существующих схем подключения активных фильтров, выделены их достоинства и недостатки, рассмотрены основные принципы и особенности их работы. Приведены структура и алгоритм управления последовательным активным фильтром, обеспечивающим прогнозируемую компенсацию гармонических составляющих. Получены соотношения для его реализации с использованием метода симметричных составляющих и теории вращающихся систем координат.

The article studies the problem to develop and implement current and voltage curve correction systems in the network systems of the mining and oil-and-gas enterprises with application of active filters based on IGBT transistors is considering in the article.

An assessment of the existing active filters connection circuits is given; their advantages and disadvantages are outlined and the basic principles and peculiarities of their performance are considered. A sequential active filter structure and a control algorithm which would provide predictable compensation of harmonic components are described. Ratios for its implementation are calculated with application of the symmetrical components method and the rotating coordinate system theory.

Широкое использование нелинейной нагрузки, включающей силовое электронное оборудование: вентильные преобразователи и устройства частотного регулирования электропривода [1], насыщенные трансформаторы и электродвигатели, мощные электрические печи и др. – привело к необходимости разработки и внедрения систем коррекции формы кривых тока и напряжения. Один из перспективных методов решения указанной задачи – применение активных фильтров – рассматривается в статье.

Активные фильтры могут быть построены с использованием инверторов на базе транзисторов IGBT для генерации гармонических компенсационных сигналов в сеть [3]. Принципиальная схема системы с параллельным активным фильтром представлена на рис.1.

Ток нагрузки измеряется датчиком тока, данные которого анализируются цифровым процессором сигналов (ЦПС) для определения картины спектра гармоник. Эта информация используется генератором тока для производства и инжектирования в цепь такого гармонического тока i_C по амплитуде, форме, но противоположной фазы, который необходим для компенсации искажений нагрузки в следующем цикле основной кривой тока (синусоиды). В результате ток, поставляемый источником, остается синусоидальным; при этом поддерживается весь низкочастотный спектр от второй до двадцать пятой гармоники. Ток питающей линии i_S – результат суммы тока нагрузки i_L и тока компенсации i_C:

$$i_S = i_L + i_C.$$

На практике величина гармонического тока уменьшается приблизительно на 90 %. В связи с тем, что активный фильтр управляется на основе данных, получаемых от датчика тока, он динамически адаптируется к изменениям в гармониках нагрузки. Так как процессы анализа и генерирования контролируются программным обеспечением, то устройство легко про-

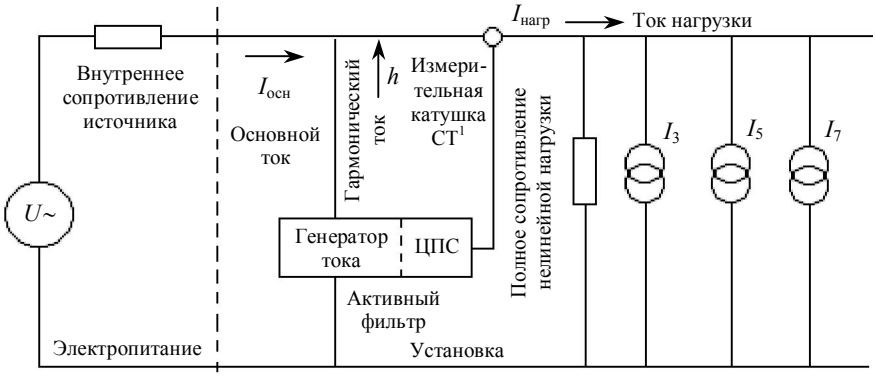


Рис.1. Параллельный активный фильтр гармоник

граммируется на компенсацию только отдельных гармоник с целью обеспечения максимального КПД в пределах характеристик устройства.

Известны последовательная, параллельная и смешанная топологии подключения активных фильтров, для каждой из которых параметры фильтра подбираются в зависимости от тока нагрузки и ее характера. Последовательный фильтр компенсирует как гармонические токи, генерируемые нагрузкой, так и искажение напряжения, уже присутствующее в системе электропитания. Параметры этого фильтра подбираются исходя из тока полной нагрузки, параметры параллельных фильтров – только для величин гармонических токов от нелинейной нагрузки. Смешанный фильтр совмещает в себе активный и пассивный фильтры; последний выполняет основную фильтрацию, а активный фильтр, благодаря своему точному и динамическому методу, охватывает другие порядки гармоник.

Если гармонические токи, генерируемые нагрузкой, превышают максимальное номинальное значение токов фильтра, он автоматически ограничивает ток компенсации по своему максимальному номинальному значению: фильтр не может перегружаться и будет продолжать коррекцию до максимального номинального значения тока, а любой превосходящий гармонический ток вернется в систему электропитания; активный фильтр может постоянно работать в таком состоянии без повреждений.

Последовательные активные фильтры являются эффективным решением для компенсации провала, несимметрии и гармонических составляющих напряжения сети [2]. Одна из форм реализации последовательного активного фильтра – источник напряжения в виде инвертора, соединенного последовательно с чувствительной нагрузкой через трансформатор (рис.2). Для защиты инвертора от короткого замыкания на стороне нагрузки клеммы трансформатора шунтированы разрядником. Для достижения синусоидального напряжения на чувствительной нагрузке инвертор инжектирует трехфазное переменное напряжение с регулируемой амплитудой и фазой [4].

Алгоритм управления последовательного активного фильтра состоит из двух блоков: блока идентификации искажений и блока проверки и компенсации, который вырабатывает управляющие сигналы для включенного инвертора.

Блок идентификации работает по следующему принципу: искаженное напряжение сети раскладывается на симметричные составляющие, из которых выделяется прямая последовательность основной гармоники:

$$U = \begin{pmatrix} U_{s1} \\ U_{s2} \\ U_{s3} \end{pmatrix} = \sum_{k=0}^{\infty} \left[U_{+jk}(t) + U_{-jk}(t) \right], \qquad (1)$$

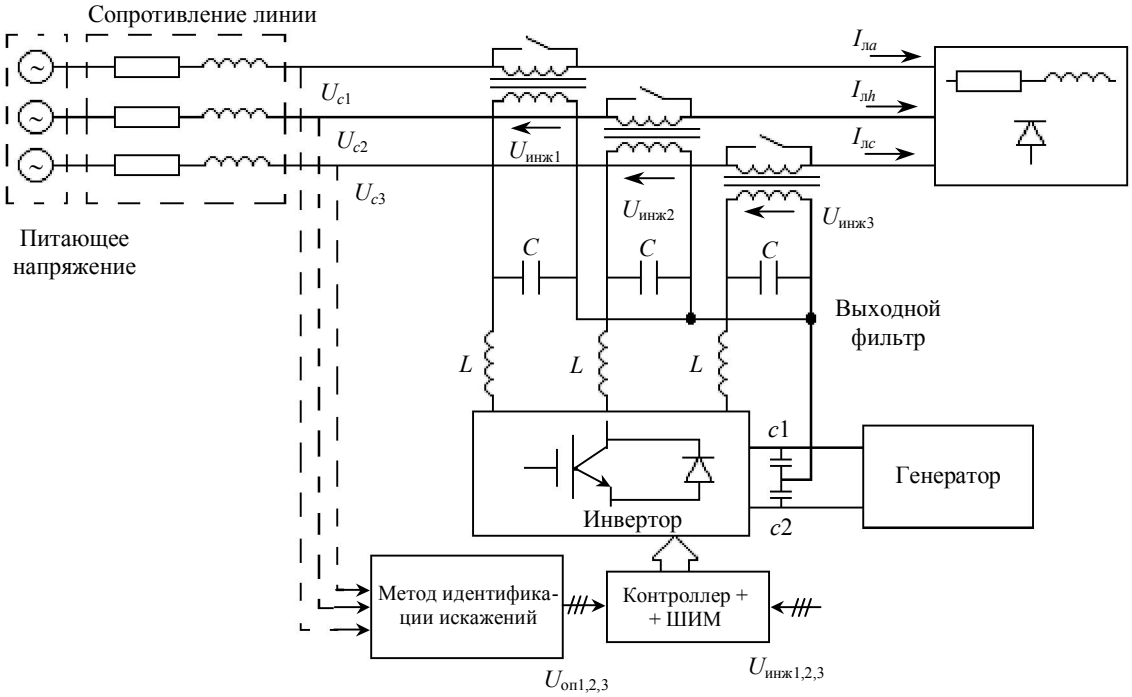


Рис.1. Последовательный активный фильтр

где $U_{+jk}(t)$ и $U_{-jk}(t)$ – составляющие прямой и обратной последовательности соответственно, $j = 1, 2, 3$; составляющая нулевой последовательности равна нулю в трехфазной системе с изолированной нейтралью.

Далее прямая последовательность преобразуется в систему координат dq посредством дальнейших преобразований:

$$U_{+jk}(t) = U_{+mk}\cos\left[k\omega t - (j-1)\frac{2\pi}{3} + \varphi_{+k}\right] = $$

$$= U_{+k}\sqrt{3}T_{32}P\left(k\omega t + \varphi_{+k}\right)\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}, \qquad (2)$$

где T_{32} и $P(\theta)$ – матрицы преобразования,

$$T_{32} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -1/2 & \sqrt{3}/2\\ -1/2 & -\sqrt{3}/2\end{pmatrix}; \quad P(\theta) = \begin{pmatrix}\cos\theta & -\sin\theta\\ \sin\theta & \cos\theta\end{pmatrix}.$$

Вне зависимости от природы искажений питающего напряжения для определения основной прямой последовательности линейных напряжений в точке общего присоединения необходим датчик в виде генератора синусоидальных колебаний основной гармоники со слежением за фазой напряжения сети. Генератор служит источником опорного напряжения, которое складывается с фактическим напряжением сети (2) в противофазе – таким образом осуществляется коррекция по отклонению формы кривой питающего напряжения от синусоидальной.

Алгоритм управления параллельного активного фильтра основан на синтезирующих и анализирующих блоках фильтров с прогнозируемой компенсацией гармоник. Анализирующие блоки раскладывают сигнал тока на гармонические составляющие, далее прогнозирующее устройство контролирует амплитуды и фазы гармоник в соответствии с информацией, хранящейся в памяти цифрового сигнального процессора, затем синтезирующие блоки вырабатывают компенсирующие сигналы токов для трех фаз. Информация о характере амплитуды и фазы гармоник накапливается в памяти сигнального процессора из предыдущего полупериода и используется для компенсации в последующем полупериоде. В этом состоит смысл гармонического прогнозирования.

Коррекция кривых тока и напряжения в сетях нефтегазоперерабатывающих пред-

приятий является важным фактором при обеспечении надежного и экономичного энергоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горбачев Г.Н.* Промышленная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1988.

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Госстандарт России. М., 1997.

3. *Пронин М.В.* Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / М.В.Пронин, А.Г.Воронцов. СПб: Изд-во ОАО «Электросила», 2003.

4. *Федоров А.А.* Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия, 1979.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Б.Н.Абрамович*