

АНАЛОГОВЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ярошевич А.В.

Брестский государственный технический университет,
Брест, Республика Беларусь

Традиционно считалось, что бытовые нагрузки потребляют в основном активную мощность (АМ). Распространение бытовых приборов с трансформаторами, электродвигателями и сложными электронными схемами привело к увеличению реактивной (индуктивной) мощности (РМ). По данным [1] $\cos \varphi$ в таких цепях может составлять 0,65 ... 0,97. Средневзвешенное значение $\cos \varphi = 0,85$. Передача РМ к потребителю приводит к дополнительным потерям АМ в распределительных электрических сетях. При значении $\cos \varphi = 0,85$ РМ составляет 60% от АМ. Вследствие этого возрастают и активные потери от передачи электроэнергии, которые при $\cos \varphi = 0,85$ составляют 15% от полезной активной мощности у потребителя при 10% в случае чисто активной нагрузки.

Учитывая значительную долю бытового потребления электроэнергии, составляющую 20% от общего, задача разработки управляемого компенсатора реактивной мощности (КРМ) непромышленных нагрузок является актуальной. Промышленные устройства ступенчатого регулирования реактивной мощности построены с применением микропроцессорного контроллера и являются сложными и дорогими для массового использования в квартирных и других электрических сетях до 0,4 кВ с нагрузками до 50 кВт.

Исходя из этого, можно сформулировать основные требования к вычислителю КРМ для бытовых нагрузок. Для обеспечения экономической целесообразности применения решающим параметром должна быть стоимость устройства. Стоимость определяется построением электрических схем из простых и надёжных элементов, количество которых должно быть невелико. Такой подход позволит обеспечить другое важнейшее требование – небольшие габариты, позволяющие встраивать КРМ в квартирные щиты энергоснабжения.

Способ решения этой задачи и некоторые требования к устройствам предложены в [2] путём применения аналоговой схемы вычислителя для КРМ.

При реализации схемы компенсации РМ необходимо решить следующие проблемы:

- измерение величины реактивных потерь в реальном времени;
- определение ёмкости компенсирующего конденсатора;
- коммутация к сети ёмкости из конденсаторной батареи.

Общая схема предлагаемого устройства для компенсации РМ бытового потребителя электрической энергии представлена на рисунке.

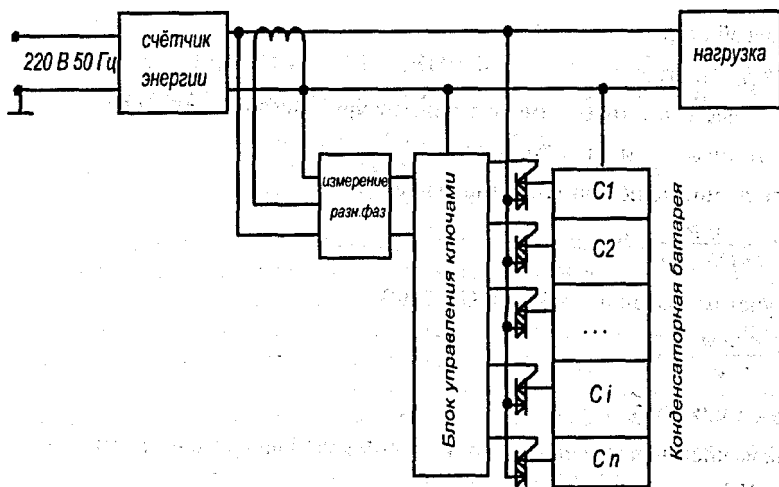


Схема компенсации РМ подключается между счётчиком электроэнергии и нагрузкой потребителя. Основными узлами схемы являются :

- схема измерения разности фаз сетевого напряжения и потребляемого тока, отражающей долю РМ в нагрузке;
- схема управления тиристорными ключами для коммутации компенсирующей ёмкости;
- линейка тиристорных ключей между конденсаторами батареи и фазным проводом;
- конденсаторная батарея конденсаторов.

Схему управления ключами предлагается реализовать на основе асимптотических формул для расчёта ёмкости компенсирующего конденсатора[3] .

Для обоснования предлагаемой асимптотической формулы получены следующие соотношения.

При средневзвешенном значении $\cos \varphi = 0,85$ погрешность от представления $\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$ (рад) не превысит 0,1 от значения $\operatorname{tg} \varphi$. Тогда соотношение активной и реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi = Q/P$ можно представить формулой $Q/P \approx \varphi$.

Погрешность от представления $\cos \varphi \approx 1 - \varphi$ не превысит 0,12 значения $\cos \varphi$, тогда активную мощность можно представить формулой

$$P \approx UI(1-\varphi),$$

реактивную мощность

$$Q \approx UI(1-\varphi)\varphi.$$

Индуктивная мощность нагрузки, подлежащая компенсации

$$Q_L \approx UI_N(1-\varphi)\varphi.$$

где U – напряжение сети, I_N – ток в нагрузке.

С другой стороны, ёмкостная мощность

$$Q_C = I_C^2 / (2\pi f C),$$

где f – частота сети, C – ёмкость компенсирующего конденсатора,

$$I_C = I_H \sin \varphi \approx I_H \varphi \text{ – ток ёмкости.}$$

Отсюда можно получить соотношение

$$C \approx \frac{I_H \varphi}{2\pi f U (1 - \varphi)} (\Phi),$$

а с учётом значений $f = 50$ Гц, $U = 220$ В

$$C \approx \frac{k I_H \varphi}{1 - \varphi} (\Phi),$$

где $k \approx 0,000015$.

Для вычисления значения ёмкости в мкФ коэффициент $k = 15$, тогда

$$C \approx \frac{15 I_H \varphi}{1 - \varphi} (\text{мкФ}).$$

Допустив, что $1 - \varphi \approx 1$, получим $C \approx 15 I_H \varphi$.

Эта асимптотическая формула является основой для построения схемы управления ключами.

Для отображения величины и фазы потребляемого тока служит трансформатор тока на фазном проводе сети. Измерение разности фаз выполняется схемой на компараторах с транзисторными ключами. Эта схема имеет максимальную чувствительность и линейную прямо пропорциональную зависимость выходного напряжения от разности фаз входных сигналов. Перемножение аналоговых сигналов I_H и φ выполняется схемами с операционными усилителями. АЦП имеет выходной трехразрядный двоичный код $a_0 a_1 a_2$, позволяющий управлять семиступенчатым подключением конденсаторов батареи. Конденсаторная батарея может быть построена на специальных компенсирующих конденсаторах. Расчёт ёмкости батареи конденсаторов при токе нагрузки $I_H = 25$ А и средневзвешенном значении $\cos \varphi = 0,85$ даёт величину $C \approx 200$ мкФ.

Анализ погрешностей, обусловленных асимптотическими приближениями и ступенчатым включением конденсаторных батарей, требует дальнейших исследований.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шишкин, С.А. Реактивная мощность потребителей и сетевые потери электроэнергии // Энергосбережение. – 2004. – № 4.
2. Ярошевич, А.В. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях // Вестник Брестского государственного технического университета. – Вып.5(71): физика, математика, информатика. – Брест: БрГТУ, 2011. – С. 66-67.
3. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем: пат. 8066 Республика Беларусь / А.В. Ярошевич // Афіцыйны бюл. / Дзяржаўны рэестр карысных мадэляў. – 2011.