

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

### Шестиступенчатый компенсатор реактивной мощности с микропроцессорной системой управления

Игольников Ю. С., канд. техн. наук, Герман О. Ю., инж.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Саранск

Приведены результаты исследования системы компенсации реактивной мощности. С помощью компенсатора обеспечиваются шесть ступеней ее изменения. Разработана схема автоматического перехода на требуемую ступень компенсации в зависимости от значения реактивного тока нагрузки. Проведено моделирование силовой части системы компенсации реактивной мощности.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, компенсация, ступени регулирования, напряжение, ток, автоматика, микроконтроллер.

Для компенсации реактивной мощности и повышения качества электрической энергии в сетях с нелинейными и резкопеременными нагрузками применяют нерегулируемые или ступенчато-регулируемые статические компенсаторы реактивной мощности (СКРМ) [1]. Основная схема с использованием СКРМ состоит из источника переменного напряжения, самого СКРМ и системы управления, следящей за реактивным током нагрузки.

Система автоматического управления СКРМ обеспечивает быструю компенсацию

реактивной мощности нагрузки и поддержание регулируемого параметра в соответствии с заданной уставкой, выполняет защиту оборудования компенсатора, контроль и сигнализацию отказов и может быть модифицирована под конкретные требования.

Применительно к системе компенсации реактивной мощности [2] разработан программно-аппаратный комплекс, структурная схема которого показана на рис. 1. В комплекс входят: блоки конденсаторных батарей *КБ*, тиристоры, модули IGBT и их драйверы,

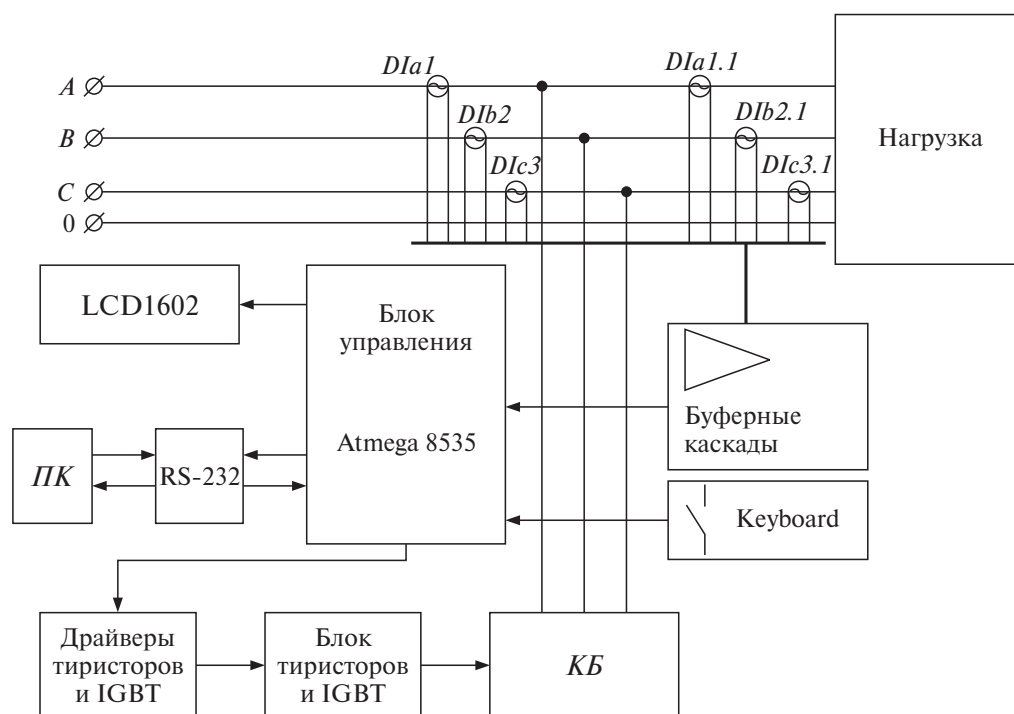


Рис. 1

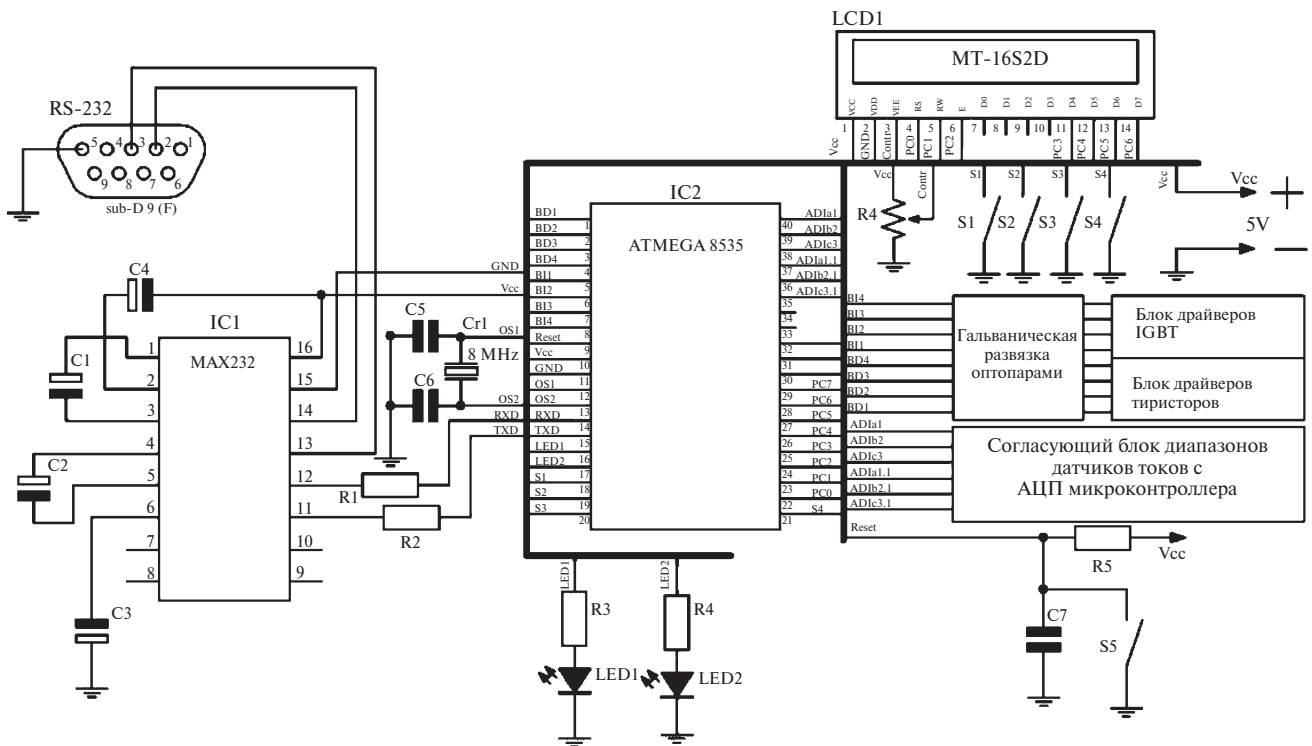


Рис. 2

элементы ввода и вывода информации, датчики тока  $DIa1$ ,  $DIb2$ ,  $DIc3$ ,  $DIa1.1$ ,  $DIb2.1$ ,  $DIc3.1$ , порт RS-232, блок управления на микроконтроллере Atmega 8535, персональный компьютер ПК.

Комплекс, представляющий собой полностью автоматизированную систему управления компенсацией реактивной мощности, имеет шесть ступеней ее изменения и дает возможность не только отслеживать значения токов и напряжения в режиме реального времени, но и задавать с ПК оптимальные режимы ступеней. На информационный дисплей LCD1602 размерностью 16 символов на 2 строки выводятся текущие значения токов фаз ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) и значение  $\Delta I$ , соответствующее несимметрии фазных токов нагрузки. На нем также имеется индикация включенных в данный момент ступеней, значений фазного напряжения на нагрузке и всех токов. Эти данные поступают на компьютер через последовательный порт RS-232. Программные части комплекса выполнены для микроконтроллера (Atmega 8535) на языке Ассемблер, а программное обеспечение для ПК — в среде C++.

На рис. 2 показана принципиальная схема системы управления компенсатором реактивной мощности, в состав которой входят: последовательный порт RS-232, обеспечиваю-

щий двунаправленную связь устройства с компьютером; микроконтроллер IC2 Atmega 8535, на котором реализована вся система управления; информационный дисплей LCD1; кнопки ввода информации; светодиоды LED1 и LED2, осуществляющие индикацию работы компенсатора и наличия питания; блок гальванической развязки оптопарами, позволяющий развязать силовую часть от системы управления, и два блока драйверов соответственно для управления тиристорами и IGBT транзисторами.

Схема силовой части комплекса, позволяющая реализовывать различные режимы по ступеням в соответствии с [2], приведена на рис. 3. Она включает в себя вентильные мосты, выполненные на диодах  $VD1 - VD12$  и шунтированные IGBT транзисторами  $VT1 - VT4$ , а также три блока конденсаторных батарей  $C1 - C9$ , подключенных к фазам сети переменного тока через реакторы  $L1 - L6$ , которые защищают эти конденсаторы на каждой ступени, не пропуская гармоники с частотой выше 150 Гц (5, 7, 11, 13-ю и т. д.). Между конденсаторами блоков  $C1 - C3$  и  $C4 - C6$  включены встречно-параллельно соединенные пары тиристоров  $T1 - T6$ . Принцип работы рассматриваемой системы компенсации реактивной мощности заключается в комбинации переключений трех блоков, каждый из которых содержит конденсаторы

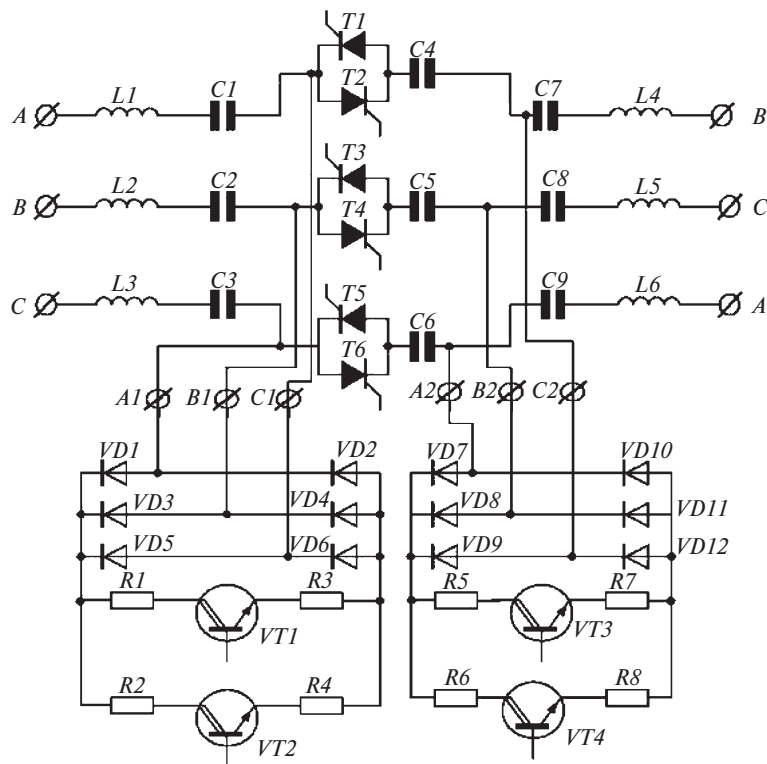


Рис. 3

Ступень	Ток, А		Нагрузка		$\varphi^\circ$	Емкость, мкФ
	сети	нагрузки	$L_n$ , мГн	$R_n$ , Ом		
1-я	380,2	466,1	2	0,5	40,5	1000
2-я	314,5	465,7	2	0,5	23	2000
3-я	288,6	565,2	2	0,5	0	3000
4-я	294,4	465,3	2	0,5	14,4	2500
5-я	332,5	465,1	2	0,5	30,6	1670
6-я	363,3	465,2	2	0,5	36,9	400

(соответственно  $C1 - C3$ ,  $C4 - C6$ ,  $C7 - C9$ ), имеющие одинаковые емкости, но отличающиеся по значению от емкостей конденсаторов в других блоках.

Компенсатор реактивной мощности моделировали с помощью пакета National Instrument Multisim 11.0, а также Electronics Workbench 5.12 на всех 6 ступенях при значении емкостей конденсаторов:  $C1 - C3 - 2000$  мкФ,  $C4 - C6 - 1000$  мкФ и  $C7 - C9 - 1000$  мкФ и напряжении питающей сети 380 В. Для проверки эффективности действия каждой ступени выбиралась одна и та же нагрузка активно-индуктивного характера. Реализация

ступеней при включении соответствующих диодов и тиристоров показана в [2].

В таблице приведены результаты моделирования для всех 6 ступеней при параметрах нагрузки  $R = 0,5$  Ом,  $L = 2$  мГн, что соответствует  $\text{tg } \varphi = 1,21$  и  $\varphi = 50,42^\circ$  при токе нагрузки 465 А. Первая ступень соответствует соединению в звезду с помощью диодного коммутатора конденсаторов  $C7 - C9$ . При этом ток нагрузки  $I$  составляет 466,1 А, а ток, потребляемый из сети, равен 380,2 А при угле сдвига фаз между током и напряжением  $40^\circ$ . Аналогично вторая ступень соответствует включению в звезду конденсаторов  $C1 - C3$  емкостью 2000 мкФ, а угол сдвига

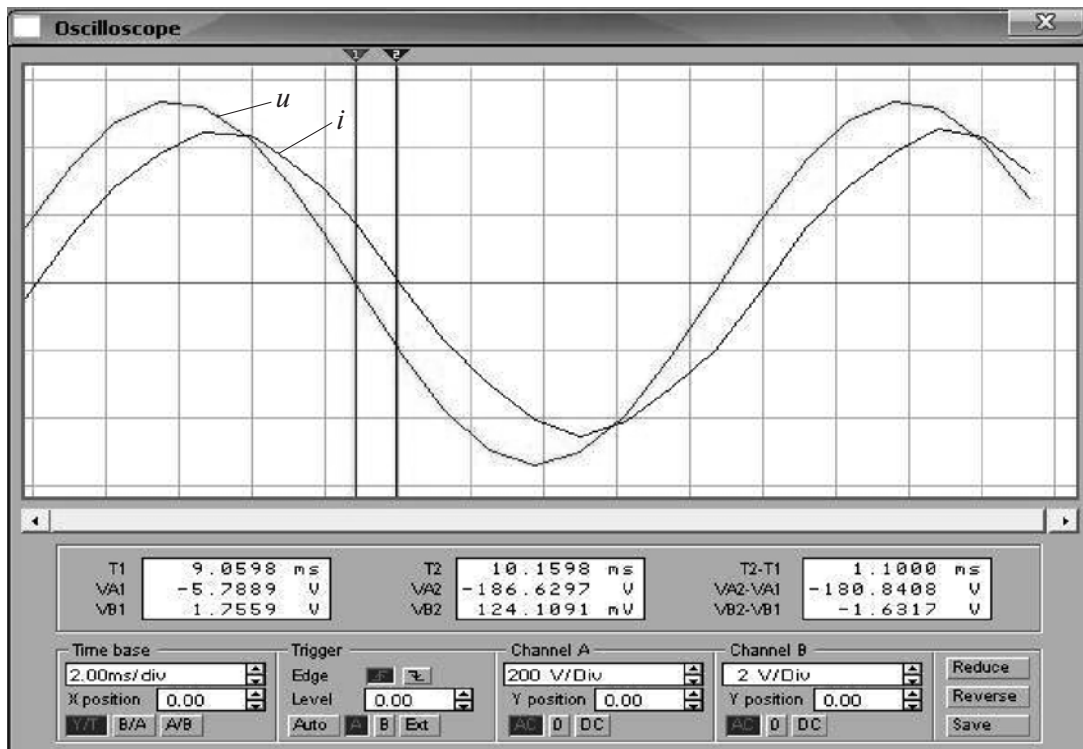


Рис. 4

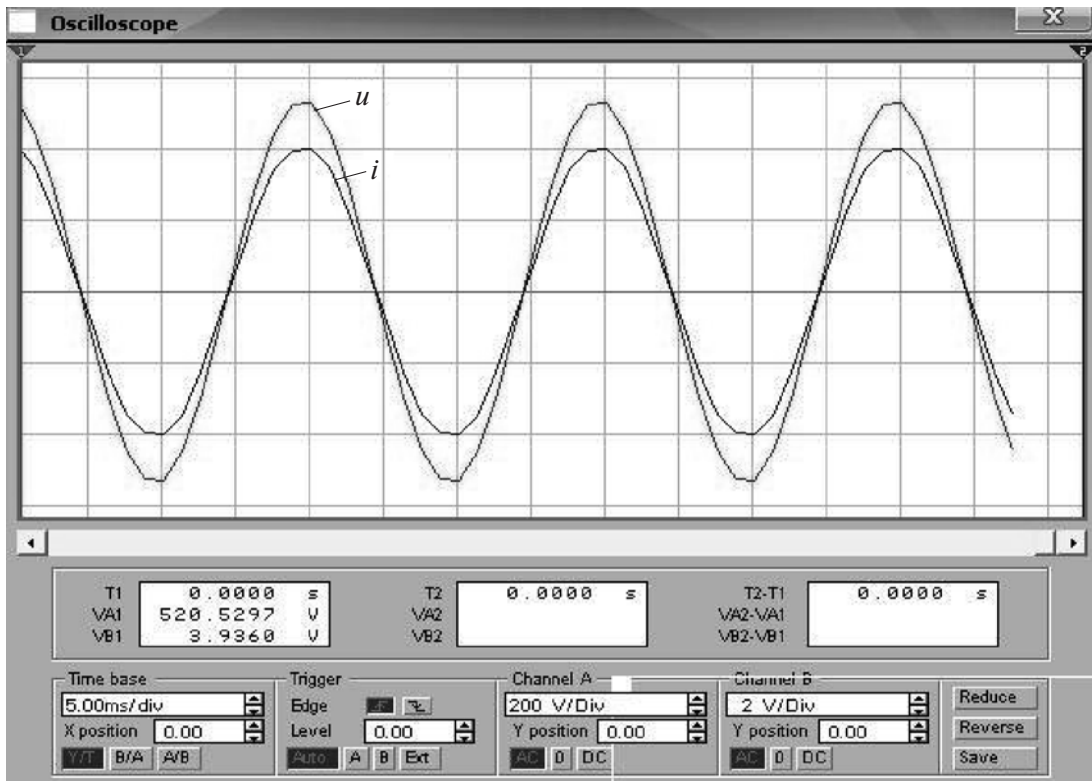


Рис. 5

фаз составляет  $23^\circ$  (см. рис. 4, где приведена осциллограмма напряжения  $u$  и тока  $i$  сети на данной ступени). Третья ступень образовывалась параллельно соединенными в звезду

конденсаторами  $C1 - C3$  и  $C7 - C9$  через диодные коммутаторы, что соответствовало максимальной емкости и полной компенсации реактивной мощности нагрузки при

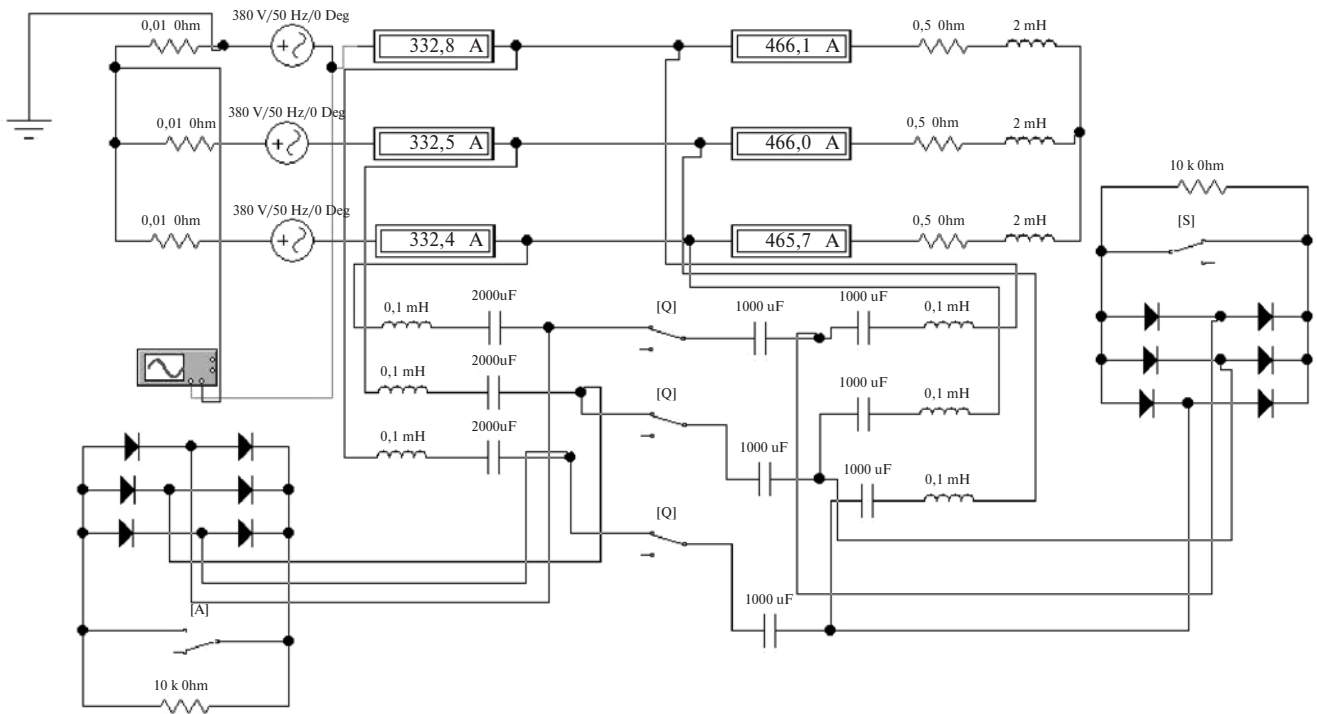


Рис. 6

$\varphi = 0$  (см. рис. 5, где показана осциллограмма напряжения  $u$  и тока  $i$  сети при полной компенсации реактивной мощности). Значения токов нагрузки и угла  $j$  для других ступеней приведены в таблице. При этом в четвертой ступени конденсаторы  $C1 - C3$  соединены в звезду, а параллельно им через тиристоры  $T1 - T6$  включены соединенные последовательно конденсаторы  $C4 - C6$  и  $C7 - C9$ . Для пятой ступени конденсаторы  $C7 - C9$  соединяются в звезду, а параллельно им включаются соединенные последовательно конденсаторы  $C1 - C3$  и  $C4 - C6$ . Следует отметить, что в этой модели тиристоры  $T1 - T6$  заме-

нили ключами. Схема модели, выполненная средствами программы Electronics Workbench 5.12 для пятой ступени, показана на рис. 6. Шестая ступень образована последовательным соединением всех конденсаторов:  $C1 - C3$ ,  $C4 - C6$  и  $C7 - C9$ .

#### Список литературы

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Пат. 2210156 РФ. Система компенсации реактивной мощности / Ю. С. Игольников. — Оpubл. в Б.И., 2003, № 22.

shefzt@rambler.ru