

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ОБРАТИМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

М.М. Дудкин, М.В. Гельман, Р.З. Хусаинов

Проблема снижения потерь и повышения качества электрической энергии в электрических сетях является одной из важнейших в энергосбережении. Передача максимальной активной мощности является показателем эффективности использования электрической сети. В идеале наилучшими потребителями были бы нагрузки, потребляющие чисто синусоидальный ток при $\cos\varphi$ близком к единице.

Принятым способом повышения $\cos\varphi$ в системах электроснабжения является применение батарей конденсаторов (БК) [1]. Однако данный способ не обеспечивает плавного регулирования выдачи реактивной мощности и при питании от сети вентильных нагрузок, существенно ухудшающих синусоидальность напряжения сети, и включения БК возникают опасные высокочастотные колебания, сводящие на нет целесообразность их применения.

Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является применение обратимых преобразователей напряжения (ОПН), позволяющие существенно улучшить энергетические показатели и качество электрической энергии в системах электроснабжения [2].

Функциональная схема однофазного обратимого преобразователя напряжения, работающего в режиме компенсации реактивной мощности, представлена на рис. 1. В основе устройства лежит обратимый преобразователь напряжения [3], подключаемый параллельно напряжению сети и представляющий собой однофазный транзисторный мост $VT1-VT4$, шунтированный обратными диодами $VD1-VD4$, с дросселем $L_{др}$ на входе и емкостным накопителем C_d на выходе. Методами импульсной модуляции на зажимах моста a, b ключами $VT1-VT4$ формируются импульсы напряжения u_{ab} по заданному системой управления закону. После фильтрации этого напряжения дросселем $L_{др}$ в сеть переменного напряжения u_1 поступает компенсирующий ток i_k , мгновенное значение которого изменяется в соответствии с функцией модуляции напряжения U_d , которое поддерживается постоянным на выходе преобразователя за счет его системы управления. Изменяя функцию модуляции, можно получить компенсирующий ток i_k с различными мгновенными значениями во времени.

На входе ОПН обязательно необходимо устанавливать электромагнитный (сетевой) фильтр (ЭМФ) для предотвращения проникновения в сеть высокочастотных гармоник, соответствующих частоте широтно-импульсной модуляции преобразователя и более высоких частот.

Рассмотрим более подробно систему управления ОПН, работающего в режиме компенсатора (рис. 1). Для стабилизации выпрямленного напряже-

ния U_d на конденсаторе C_d и расчета амплитуды заданного тока $I_{1m.зад}$ в системе управления введен внешний контур напряжения, состоящий из датчика напряжения ДН2, сглаживающего фильтра Φ , источника сигнала задания $U_{d.зад}$ и ПИ-регулятора напряжения РН с блоком ограничения БО, ограничивающим амплитуду потребляемого тока $I_{1m.зад}$. В блоке перемножения формируется мгновенное значение заданного тока $i_{1.зад} = I_{1m.зад} \sin(\omega t + \varphi)$. В ячейке сдвига ЯС осуществляется фазовый сдвиг синусоидального сигнала на заданный угол $\varphi_{зад}$, что обеспечивает обеспечение требуемого $\cos\varphi$ на входе преобразователя.

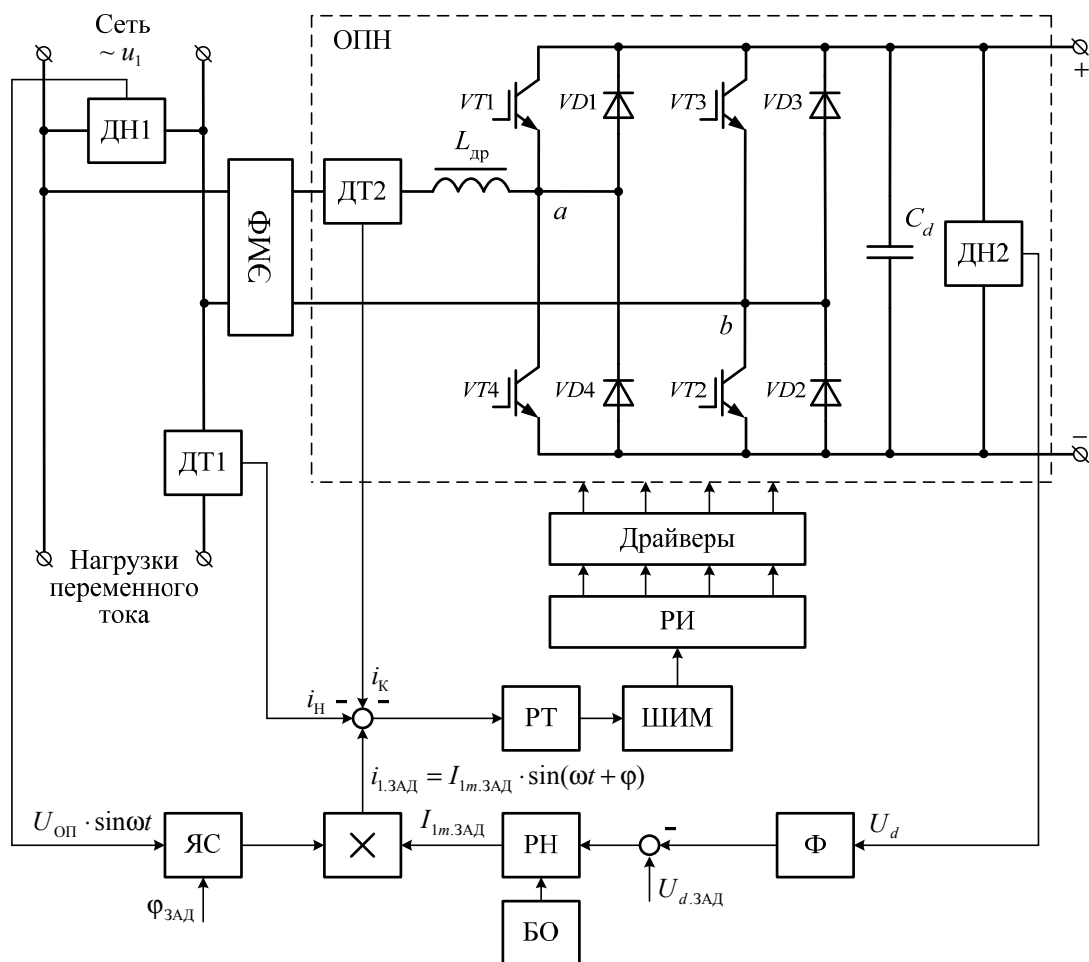


Рис. 1. Функциональная схема однофазного обратимого преобразователя напряжения, работающего в режимах компенсации реактивной мощности

Формирование компенсирующего тока i_k обеспечивается внутренним контуром регулирования, состоящим из дросселя $L_{др}$, датчика тока ДТ2 и ПИ-регулятора тока РТ. Переключение силовых транзисторов осуществляется в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) по симметричному закону управления.

Для устранения искажений токов, создаваемых нелинейной нагрузкой, и компенсации реактивной мощности первой гармоники в систему управ-

ления введен датчик тока ДТ1, который позволяет рассчитать компенсирующий ток i_k преобразователя в соответствии с выражением $i_k = i_1 - i_n$, где i_1 – мгновенное значение синусоидального тока, потребляемого из сети; i_n – ток, потребляемый нелинейными нагрузками.

Опытный образец однофазного обратимого преобразователя напряжения был изготовлен в ООО НПП «Учтех–Профи», на основании которого были проведены его экспериментальные исследования.

При работе ОПН в режиме компенсации реактивной мощности в качестве нагрузок переменного тока были задействованы: активно-индуктивная нагрузка с параметрами $R_n = 200 \text{ Ом}$; $L_n = 0,78 \text{ Гн}$ и однофазный реверсивный тиристорный преобразователь (ТП), работающий на активно-индуктивную нагрузку ($R_n = 200 \text{ Ом}$; $L_n = 0,78 \text{ Гн}$).

На рис. 2 приведены осциллограммы токов и напряжений однофазного ОПН, работающего в режиме компенсации реактивной мощности, совместно с активно-индуктивной нагрузкой (фазовый сдвиг между током и напряжением $\varphi \approx 50$ эл. град) и тиристорным преобразователем (угол управления $\alpha \approx 30$ эл. град).

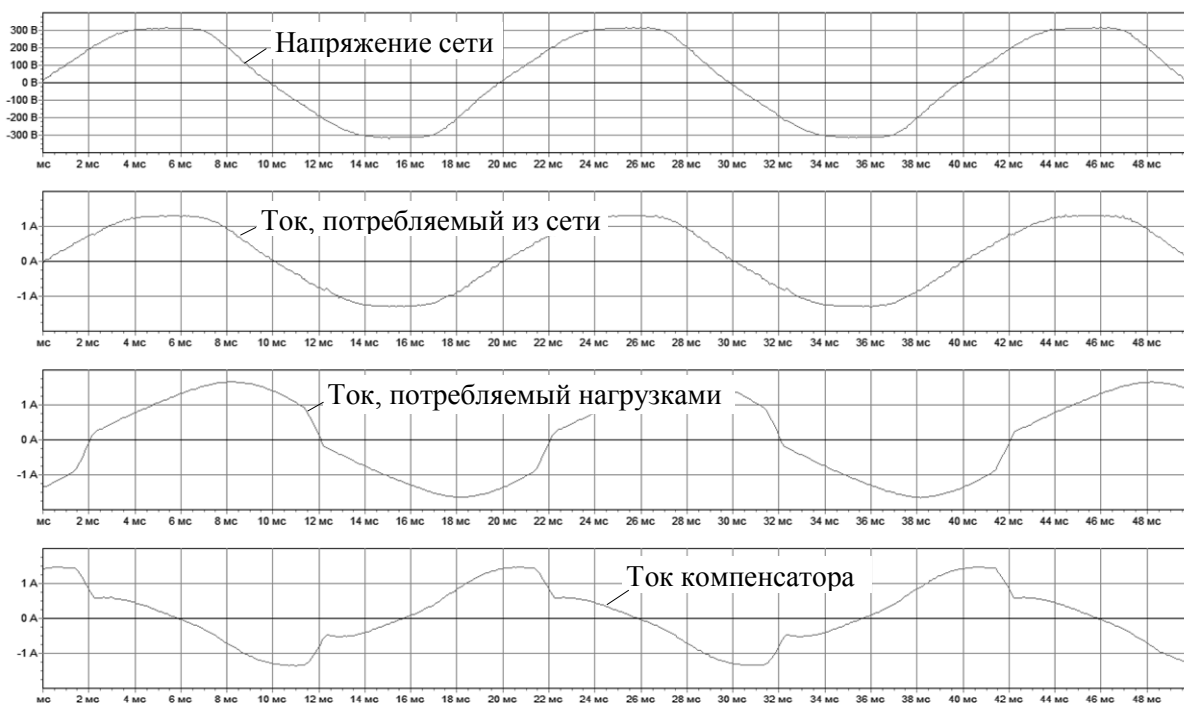


Рис. 2. Осциллограммы токов и напряжений однофазного ОПН, работающего в режиме компенсации реактивной мощности, совместно с активно-индуктивной нагрузкой и тиристорным преобразователем ($\alpha \approx 30$ эл. град; $\varphi \approx 50$ эл. град)

Рис. 2 иллюстрирует, каким должен быть компенсирующий ток i_k ОПН, чтобы при потреблении всеми нагрузками из сети потреблялся синусоидальный ток i_1 , передающий необходимую активную мощность и сдвинутый относительно напряжения сети u_1 на угол $\varphi = 0$.

На рис. 3 приведены экспериментально снятые энергетические характеристики однофазного ОПН, работающего в режиме компенсации реактивной мощности. Из рис. 3, а видно, что при отсутствии компенсатора реактивной мощности результирующий коэффициент мощности системы χ и $\cos\varphi$ достаточно низкий и с ростом угла управления α от 15 до 150 эл. град уменьшается соответственно в диапазоне от 0,78 до 0,55. При наличии компенсатора в системе χ и $\cos\varphi$ достигают значений близких к единице, что однозначно свидетельствует об эффективном использовании электроэнергии и снижении потерь в сети.

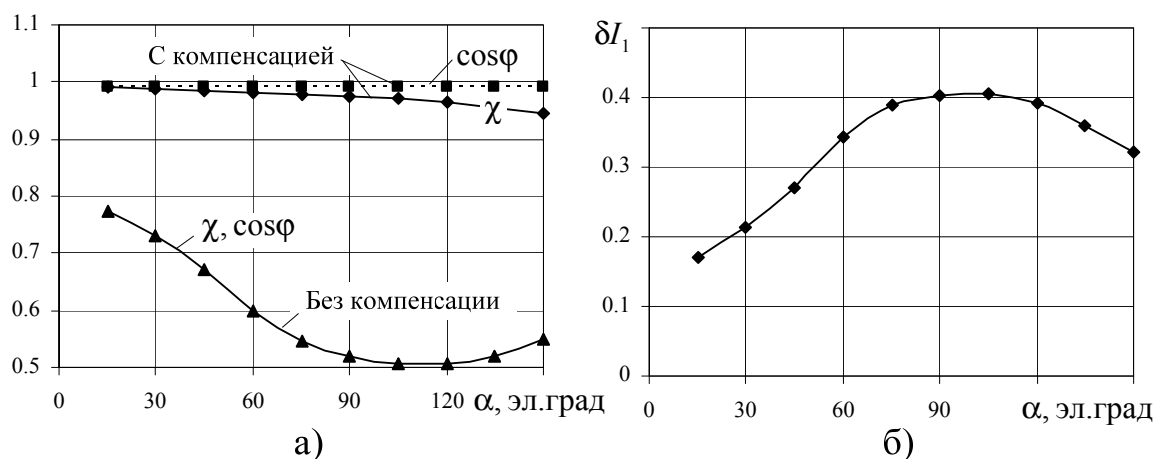


Рис. 3. Энергетические характеристики однофазного ОПН, работающего в режиме компенсации реактивной мощности, совместно с активно-индуктивной нагрузкой и тиристорным преобразователем: $\chi = F(\alpha)$, $\cos \varphi = F(\alpha)$, $\eta = F(\alpha)$ (а); $\delta I_1 = F(\alpha)$ (б)

На рис. 3, б приведена зависимость $\delta I_1 = F(\alpha)$, показывающая относительное снижение тока, потребляемого из сети, при наличии компенсатора в системе при изменении угла управления α .

$$\delta I_1 = (I_{1(\text{БК})} - I_{1(\text{К})}) / I_{1(\text{БК})}, \quad (1)$$

где δI_1 – относительное снижение тока, потребляемого из сети; $I_{1(\text{БК})}$, $I_{1(\text{К})}$ – действующее значение тока, потребляемого из сети, при отсутствии и наличии компенсатора в системе соответственно.

Анализ зависимости, приведенной на рис. 3, б, позволяет сделать вывод о том, что применение ОПН, работающего в режиме компенсатора реактивной мощности, позволяет снизить действующее значение тока, потребляемого из сети (при $\alpha = 105$ эл. град $\delta I_1 = 0,4$), вследствие улучшения таких важных показателей системы как χ и $\cos\varphi$. Данное обстоятельство неизбежно приводит к увеличению «пропускной способности» активной мощности через сеть и, как следствие, снижению потерь мощности на внутренних сопротивлениях сети, что, в конечном итоге, позволяет снизить по-

требление электроэнергии. Наибольший эффект экономии электроэнергии проявляется на больших мощностях, когда КПД ОПН достигает значений 0,96–0,98.

Таким образом, устройство, приведенное на рис. 1, позволяет скомпенсировать реактивную мощность в системе, а также повышает качество потребляемой электроэнергии из сети при различных нелинейных нагрузках.

Библиографический список

1. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
2. Гельман, М.В. Повышение энергетических показателей системы электропитания управляемых электроприводов переменного тока и прочих нагрузок постоянного и переменного тока / М.В. Гельман, Ю.И. Хохлов, К.А. Преображенский // Электроприводы переменного тока ЭППТ – 05: тр. междунар. тринадцатой науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – С. 223–226.
3. Дудкин, М.М. Энергетические характеристики однофазных обратимых преобразователей напряжения с различными законами модуляции / М.М. Дудкин // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 2 (38). – С. 25–32.