

ПЕРЕДАЧА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НАПРЯЖЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М.И. Мазуров, А.В. Николаев

В последние годы в мировой энергетике все более широкое применение находят электропередачи постоянного тока, выполняемые на базе преобразователей напряжения с использованием полностью управляемых вентилей (ПУВ). Из опубликованных материалов [1–6] по применению преобразователей напряжения (ПН) на ПУВ для вставок и передач постоянного тока следует, что с момента ввода в 1997г. опытной передачи (3 МВт, ± 10 кВ) в Швеции по технологии HVDC Light мощность таких объектов значительно увеличилась. В 2002 г. на базе этой технологии фирма АВВ ввела в работу самую мощную в мире кабельную передачу 330 МВт (США, Long Island), а также электропередачу с самым длинным подземным кабелем (180 км) на мощность 200 МВт в Австралии (Murray Link).

Конкурентоспособность таких электропередач основана на целом ряде характеристик, присущих им, достигнутых в результате совершенствования технологии. Это, прежде всего, высокое качество электроэнергии, достигается оно за счет использования высокочастотного широтно-импульсного модулирования (ШИМ), практически независимое друг от друга и быстрое регулирование активной и реактивной мощности как на стороне выпрямителя, так и на стороне инвертора. При этом реактивная мощность может по необходимости как потребляться, так и выдаваться в сеть переменного тока. Указанное качество ПН позволяет ему участвовать в регулировании уровня напряжения в сети переменного тока. Перечисленные характеристики подтвердились в результате исследований, проведенных в НИИПТ [7 – 9].

Наиболее приемлемые условия для использования электропередач с преобразователями напряжения возникают при: значительных колебаниях нагрузок и напряжений в сети переменного тока; необходимости подключения к сети энергии ветрогенераторов; необходимости питания автономных преобразователей (островного типа), например, поселков или буровых платформ; подключении к сети с низким отношением мощности К.З. к мощности передачи; необходимости использования подводного или подземного кабеля длиной более 50 – 60 км.

В узлах подключения металлургических производств (дуговых электропечей) преобразователи напряжения в режиме статического компенсатора (СТАТКОМ) могут использоваться для стабилизации напряжения сети и подавления фликкера.

На рис. 1 приведена рабочая $P - Q$ диаграмма преобразователя напряжения, работающего выпрямителем [4]. Аналогичная диаграмма характерна и для инверторного режима. Из диаграммы видно, что управление реактивной и активной мощностью может осуществляться независимо в достаточно широких пределах даже в условиях значительных по величине отклонений питающего напряжения.

Для активной и реактивной мощности преобразователя напряжения известны формулы:

$$P = \frac{UU_{\text{п}}}{x_p} \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

$$Q = \frac{U(U_{\text{п}} \cdot \cos \varphi - U)}{x_p}, \quad (2)$$

где U – напряжение на шинах переменного тока; $U_{\text{п}}$ – напряжение преобразователя; x_p – сопротивление фазного реактора, φ - угол между U и $U_{\text{п}}$.

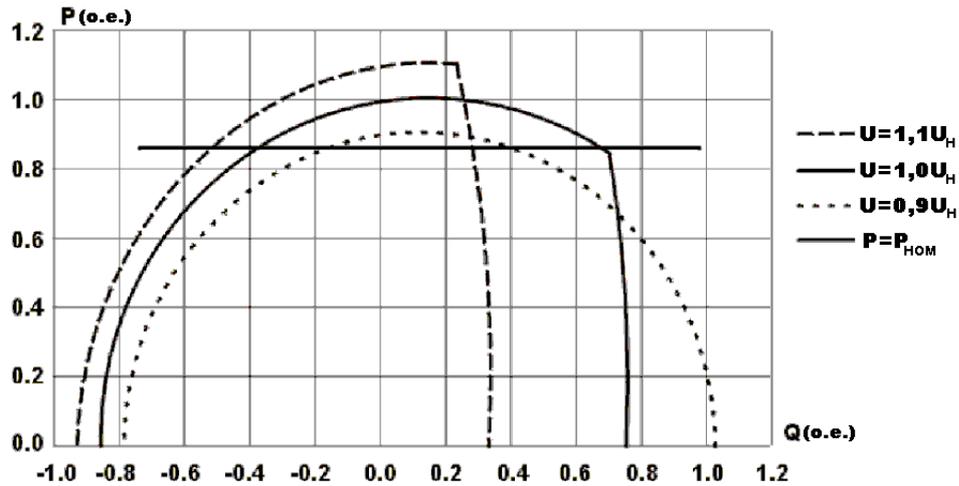


Рис. 1. Рабочая $P - Q$ диаграмма преобразователя напряжения.

Из уравнения (2) видно, что выдача или потребление реактивной мощности преобразователем (при условии $\varphi = 0$) определяется соотношением величин U и U_{Π} . При выдаче мощности ($Q > 0$) $U < U_{\Pi}$, а при потреблении ее ($Q < 0$) $U > U_{\Pi}$.

В качестве примера быстрого управления реактивной мощностью приведем осциллограмму, полученную на цифровой модели схемы СТАТКОМ (рис. 2), приведенной в [3] с номинальной мощностью $Q_{\text{ном}} = 160 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ со специально разработанной векторной системой управления.

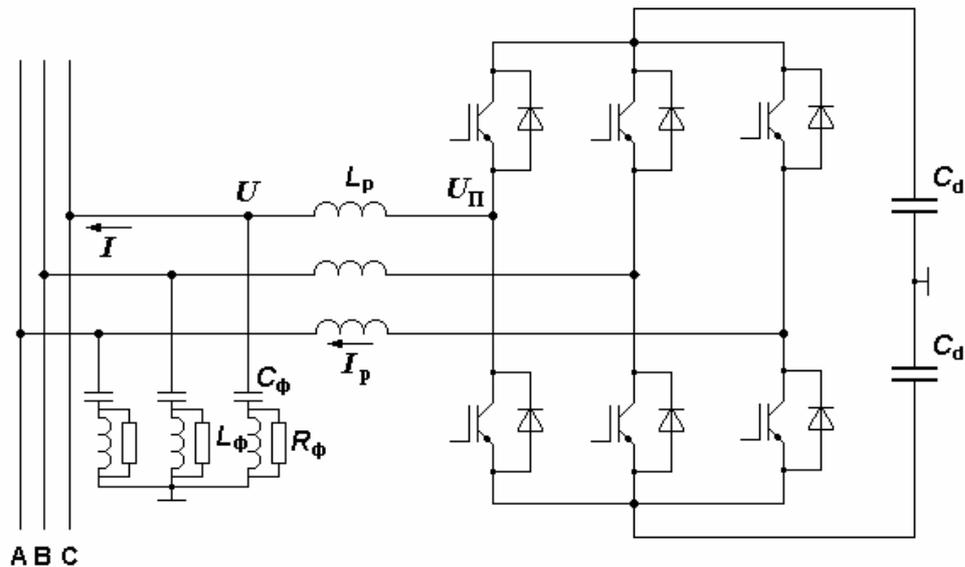


Рис. 2. Схема СТАТКОМ.

Векторное управление предусматривает измерение мгновенных значений токов и напряжений трехфазной системы, преобразование их в $d-q$ составляющие выбранной системы осей $d-q$, вычисление управляющих сигналов в этих осях и последующее преобразование их обратно к трехфазной системе.

Из осциллограммы (рис. 3) видно, что процесс реверса мощности СТАТКОМ от режима выдачи номинальной мощности к режиму полного потребления её, происходит за несколько периодов основной частоты практически без перерегулирования.

Управление качеством электроэнергии в преобразователе напряжения осуществляется, в основном, за счет применения ШИМ для моментов включения и отключения вентилей. В управлении СТАТКОМ используется один генератор напряжения несущей

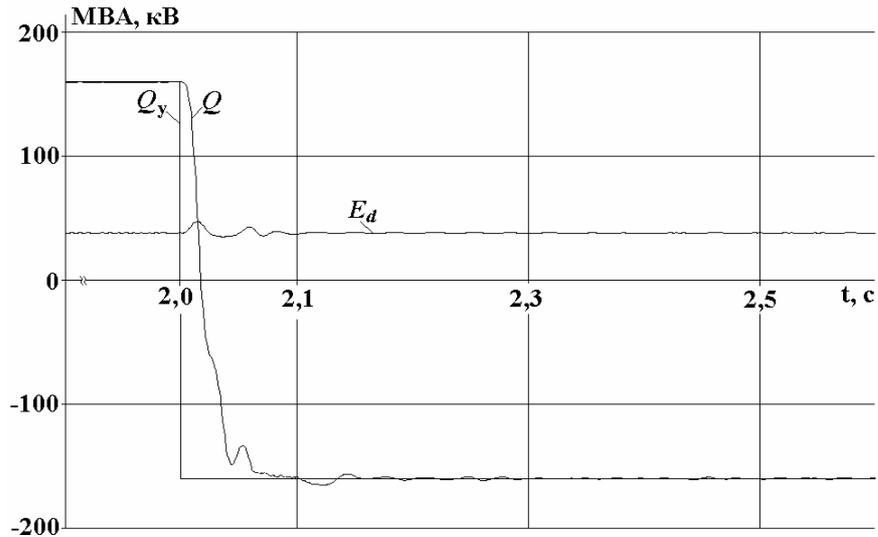


Рис. 3. Осциллограммы реактивной мощности (Q) и выпрямленного напряжения (E_d) СТАТКОМ при реверсе.

частоты ШИМ и три синусоидальных модулирующих напряжения, образующих трехфазную систему. Управление тиристорами каждой фазы осуществляется независимо, путем наложения на напряжение несущей частоты соответствующей синусоиды модулирующего напряжения. При этом должно соблюдаться условие – в любой момент может быть включен лишь один из двух тиристоров каждой фазы.

Алгоритм управления вентилями пояснен диаграммой (рис. 4.) Здесь показаны три управляющих синусоидальных напряжения частоты $f_M = 50$ Гц, сдвинутые на 120 эл. градусов ($u_{ya,b,c}$), и пилообразное напряжение треугольной формы ($u_{шим}$) с частотой изменения $f_{шим}$ (около 1кГц). В момент пересечения $u_{ya,b,c}$ с $u_{шим}$ происходит формирование импульсов управления вентилями.

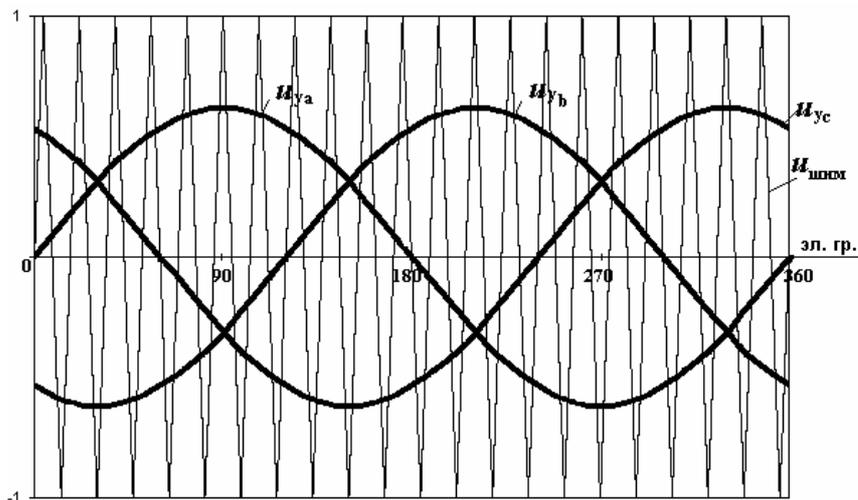


Рис. 4. Управляющие сигналы в двухуровневом преобразователе напряжения с ШИМ.

Такое управление в сочетании с установкой широкополосного фильтра небольшой мощности ($\approx 10\%$ от $S_{ПН}$) позволяет получить практически синусоидальные токи и напряжения на выходе ПН. На рис. 5 приведены осциллограммы напряжения (U) на шинах ПН и его сетевого тока (I). Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (U) в преобразователе равен $\approx 4\%$.

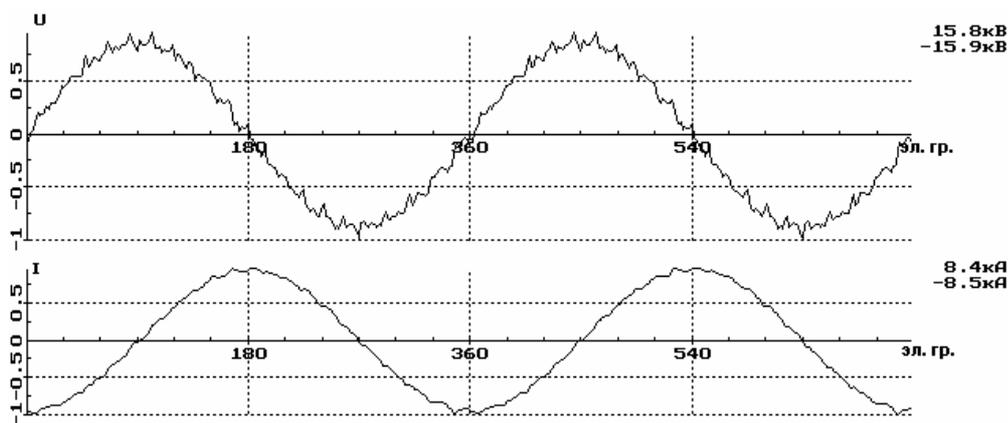


Рис. 5. Осциллограммы напряжения (U) на шинах ПН и сетевого тока (I).

Заключение

Преобразователи напряжения с полностью управляемыми вентилями в составе электропередач и вставок постоянного тока могут существенно повысить динамические характеристики управления потоками активной и реактивной мощности и улучшить качество электроэнергии в узлах потребителей или генераторов с резкопеременными характеристиками нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кочкин В.И., Нечаев О.П.** Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
2. **Eriksson K., Jonsson T., Tollers O.** Small scale transmission to AC networks by HVDC Light. 12th Cepsi conference in Pattaya, Thailand, Nov., 1998.
3. **Asplund G., Eriksson K., Svensson K.** HVDC Light – DC transmission based on voltage source converters. ABB Review №1, 1998.
4. **Eriksson K.** Operational experience of HVDC Light ABB, Sweden.
5. **Axelsson V., Holm A., Liljegrem C., Aterg M., Eriksson K., Toller O.** The Gotland HVDC Light project – experience from trial and commercial operation // CIRED conference, Amsterdam, June, 2001.
6. **ABB HVDC project by commissioning year.** <http://www.abb.com> 20.03.03.
7. **Разработка и исследование принципов** построения и управления вставок постоянного тока с использованием различных схем преобразования: (Научно-технический отчет) / ОАО НИИПТ; инв. № О-7360. - Спб., 2001.
8. **Разработка и исследование принципов** построения и управления двухподстанционных и многоподстанционных ППТ с использованием различных схем преобразования: (Научно-технический отчет) / ОАО НИИПТ; инв. № О-7383. – Спб., 2001.
9. **Разработка систем фильтрации** высших гармоник и компенсации реактивной мощности ВПТ и МПТ с ПУВ: (Научно-технический отчет) / ОАО НИИПТ; инв. № О-7426. – Спб., 2002.

Об авторах.

Мазуров Михаил Иванович, 1944 г.р. Окончил Ленинградский политехнический институт (1969 г.), кандидатскую диссертацию защитил в 1980 г. Работает в НИИПТ с 1969 г. В настоящее время заведующий лабораторией передач и вставок постоянного тока. Область научных интересов – электромагнитная совместимость мощных преобразователей ППТ и ВПТ и энергосистем, режимы работы преобразователей, выполненных на полностью управляемых вентилях.

Николаев Алексей Васильевич, 1974 г.р. Окончил Санкт-Петербургский государственный технический университет (1997 г.). Работает в НИИПТ с 1997 г. В настоящее время является научным сотрудником лаборатории передач и вставок постоянного тока. Область научных интересов – режимы работы преобразователей, выполненных на полностью управляемых вентилях.