

ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИОДНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ДРОССЕЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Ю.И. Хохлов, В.В. Прохоров
г. Челябинск, ЮУрГУ

Исследуется один из вариантов улучшения энергетических показателей диодных выпрямителей с дроссельным управлением.

Потребление электрической энергии в ряде энергоемких отраслей промышленности осуществляется на постоянном токе с использованием полупроводниковых диодных преобразователей. При этом объекты электротехнологии и транспорта требуют оснащения выпрямительных агрегатов системами автоматического или ручного регулирования электрического режима. Но применение управляемых вентилях (тиристоров) зачастую нецелесообразно ввиду больших величин преобразуемой мощности. Вместе с тем существует эффективный способ управления диодными выпрямителями – дроссельное регулирование [1–4]. Оно, также как и тиристорное, с целью предотвращения резкого снижения энергетических показателей осуществляется в пределах одной ступени дискретного трансформаторного регулирования. Несмотря на то, что дроссельный способ управления не лишен определенных недостатков, существуют пути их преодоления [4–7].

В статье рассматривается один из способов улучшения энергетических показателей диодных выпрямителей с дроссельным управлением на примере трехфазной мостовой схемы, представленной на рис. 1. Она основана на трех дросселях насыщения ДН1–ДН3, рабочие обмотки которых включены последовательно во вторичные фазные цепи трансформатора. Обмотки управления под-

ключены к тиристорному мосту $VS1$ – $VS6$, замкнутому накоротко, а также к шинам выпрямленного напряжения U_d через дополнительный выпрямительный мост на вентилях $VD7$ – $VD12$ (показан пунктиром). Обмотки смещения у ДН отсутствуют.

Работает схема следующим образом. При появлении положительного напряжения на соединенных последовательно рабочей обмотке ДН и вентиле основного моста $VD1$ – $VD6$ последний открывается и дроссель начинает выводиться из ненасыщенного состояния. В это время ток через его рабочую обмотку изменяется пренебрежимо мало, и все напряжение вентильного плеча оказывается приложенным к ней. На этом этапе ДН представляет собой трансформатор напряжения, поэтому напряжение рабочей обмотки трансформируется в обмотку управления с коэффициентом $k_{дн} = W_{оу} / W_{ор} > 1$. В момент времени, когда напряжение на соответствующем вентиле дополнительного моста $VD7$ – $VD12$ становится положительным, он открывается и начинается процесс коммутации.

Таким образом, введение в схему дополнительного диодного моста $VD7$ – $VD12$ позволяет процессу коммутации начаться не после насыщения ДН, а раньше, что приводит к уменьшению угла сдвига первой гармоники фазного тока трансформатора и, следовательно, к увеличению $\cos \phi$ агрегата.

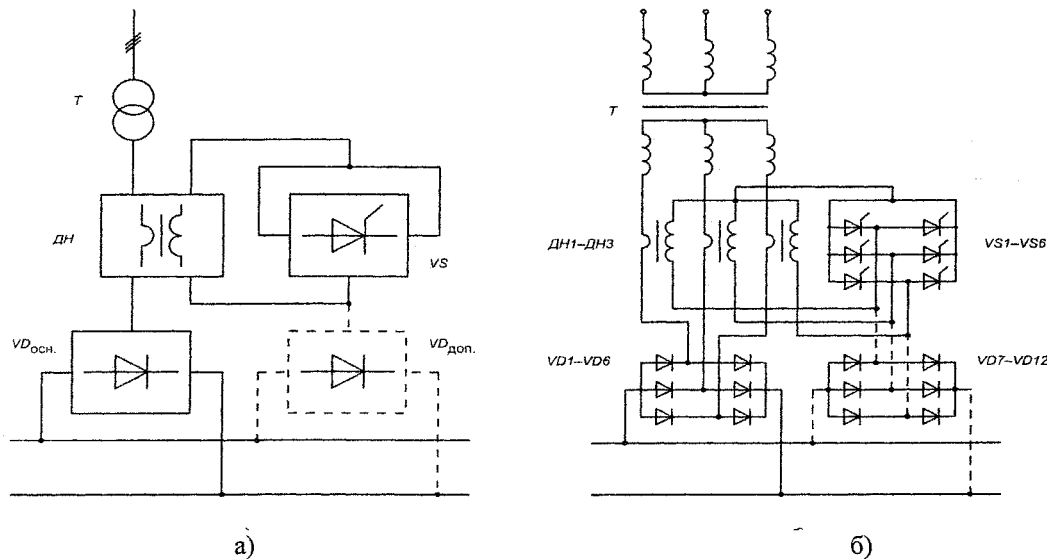


Рис. 1

Длительность процесса выведения дросселей определяет угол дроссельного управления, а следовательно, и величину выпрямленного напряжения U_d . Оперативное изменение этого угла осуществляется открыванием в нужные моменты времени тиристоров $VS1-VS6$ [4–6], в результате чего ДН переводятся в режим трансформаторов тока и перестают оказывать влияние на цепи основных вентилях. Задержка моментов открывания тиристоров относительно точек пересечения фазных ЭДС определяет угол тиристорного управления α_t схемы. За период питающего напряжения происходит два перемагничивания сердечников ДН.

В ходе анализа работы схемы была создана ее аналитическая модель, описывающая процессы в схеме в зависимости от соотношений углов α_t , γ_1 , γ_2 . На рис. 2 для примера показаны кривые фазного тока трансформатора и напряжения на нагрузке, полученные в результате просчета аналитической модели в программе Mathcad.

Помимо этого создана модель для численного исследования схемы в программе Matlab, изображенная на рис. 3. Формы токов и напряжений приведены для сравнения в обычном варианте (без дополнительных вентилях $VD7-VD12$) – рис. 4, а и при наличии таковых – рис. 4, б. Спектры фазного тока трансформатора показаны на рис. 5.

Видно, что включение дополнительного диодного моста оказывает положительное влияние на коэффициент сдвига, уровень гармоник фазного тока и уровень пульсаций выпрямленного напряжения.

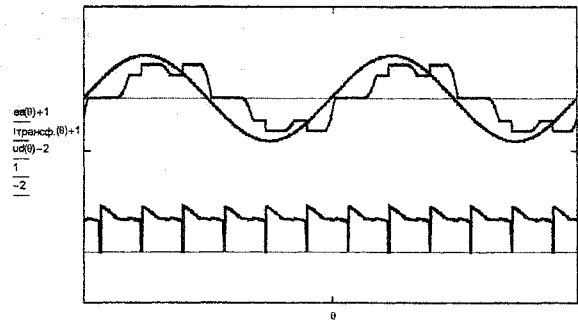


Рис. 2

Примеры осциллограмм, снятых в процессе физического моделирования работы схемы, показаны на рис. 6. Здесь цифрами обозначены: 1 – фазная ЭДС трансформатора, 2 – фазный ток трансформатора, 3 – напряжение на дросселе насыщения, 4 – напряжение на основном вентиле, 5 – ток дополнительного вентиля, 6 – напряжение на дополнительном вентиле.

По результатам экспериментального исследования построен ряд характеристик. Так, на рис. 7, б показана область существования внешних характеристик исследуемой схемы в максимальном для нее диапазоне регулирования в сравнении с характеристиками схемы без дополнительных вентилях в этом же диапазоне регулирования (рис. 7, а). При угле $\alpha_t = 0$ характеристики совпадают, а с увеличением угла управления ее жесткость у рассматриваемой схемы увеличивается. При этом глубина регулирования выпрямленного напряжения

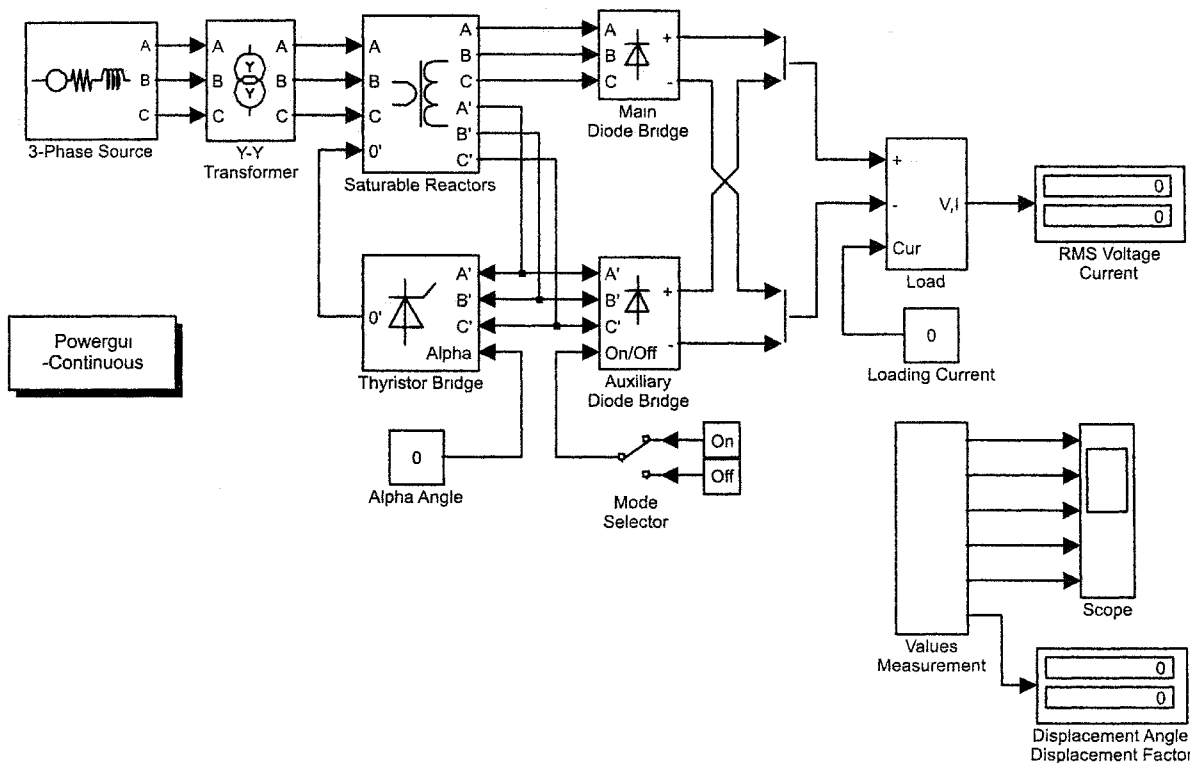


Рис. 3

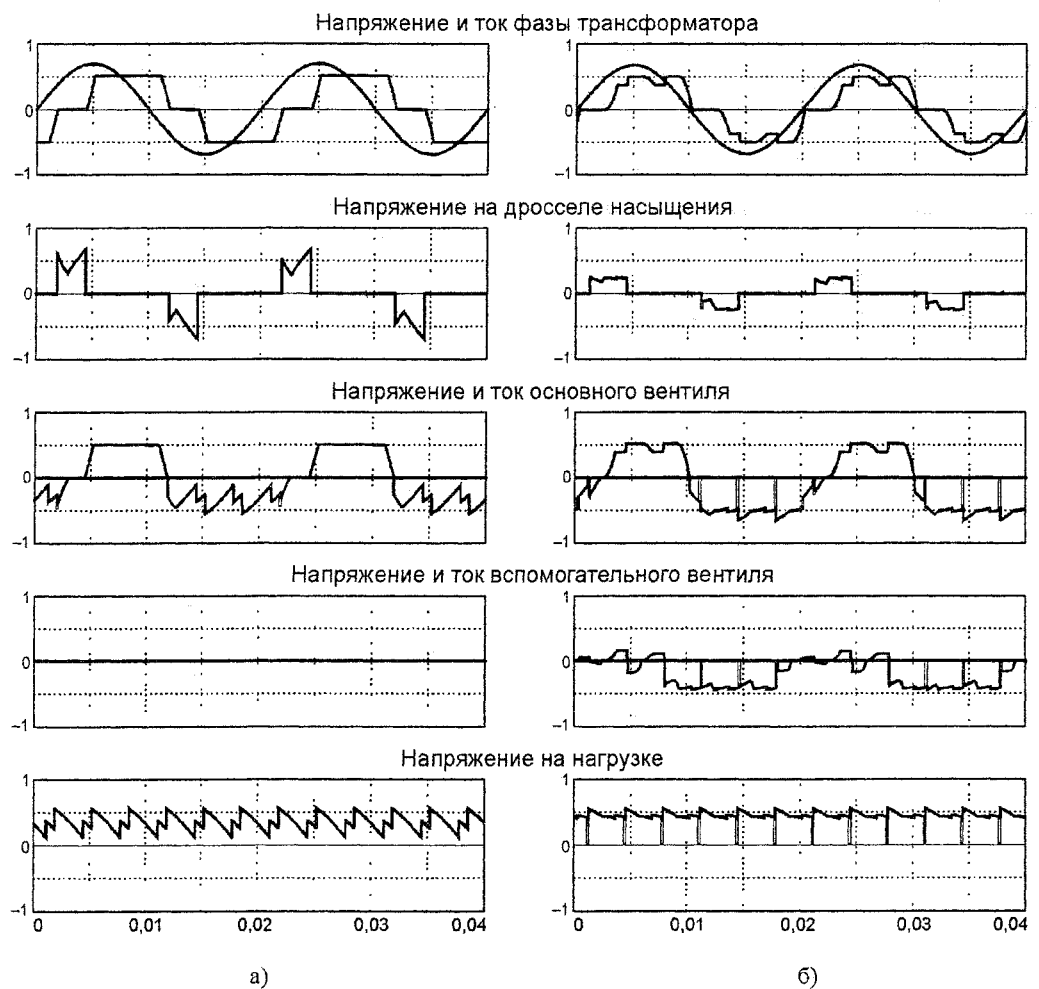


Рис. 4

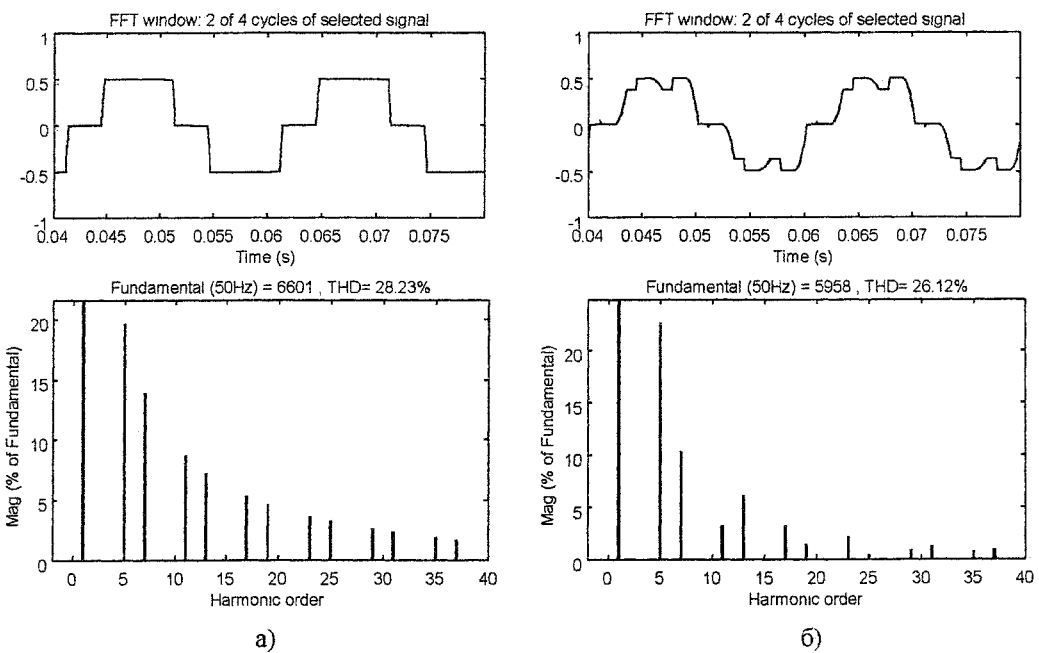


Рис. 5

$$\Delta U_d^* = \frac{U_{d\max} - U_{d\min}}{U_{d\max}}$$

несколько меньше, чем в варианте без дополни-
тельного моста (рис. 8 а, б).

Энергетические характеристики рассматри-
ваемой схемы существенно лучше, чем у анало-
гичной без дополнительного выпрямительного
моста (рис. 9 а, б, показаны при одинаковом диа-
пазоне регулирования выпрямленного напряжения,

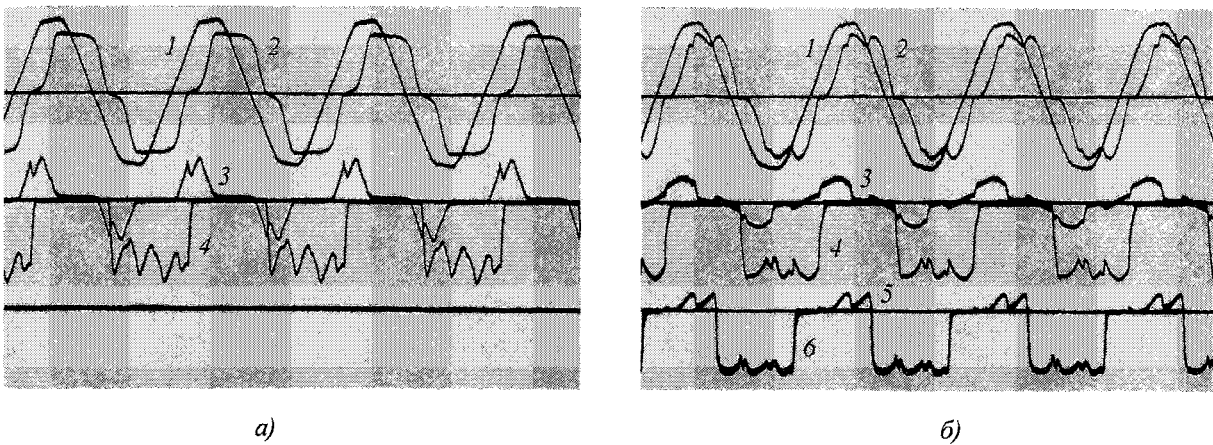


Рис. 6

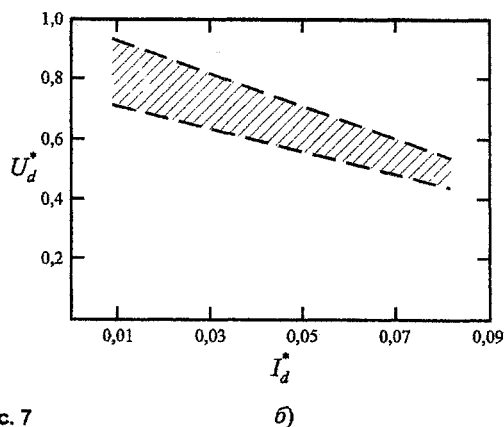
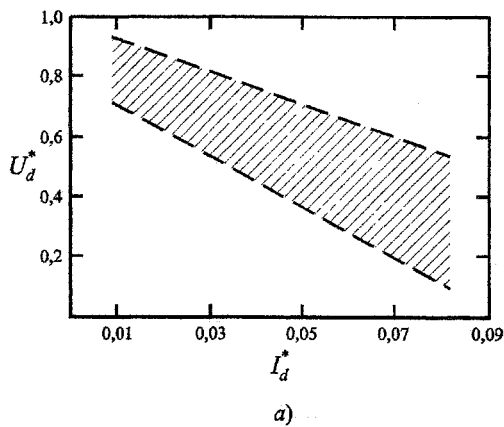


Рис. 7

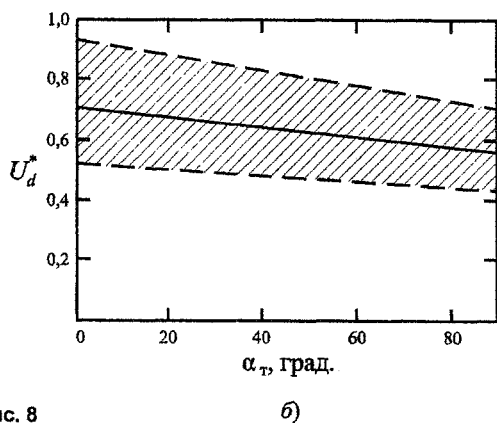
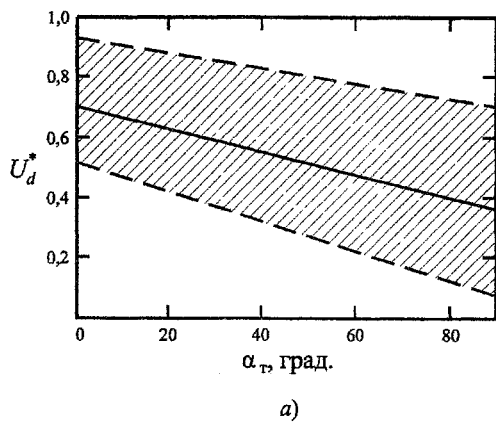


Рис. 8

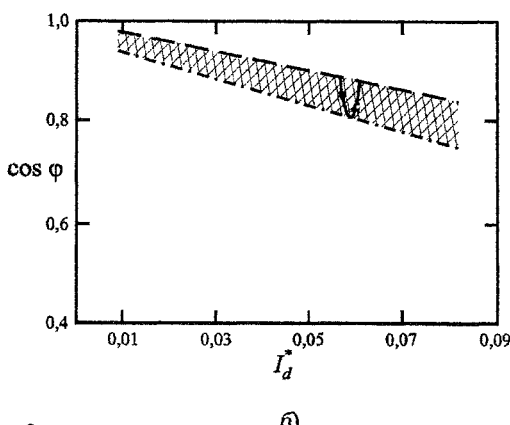
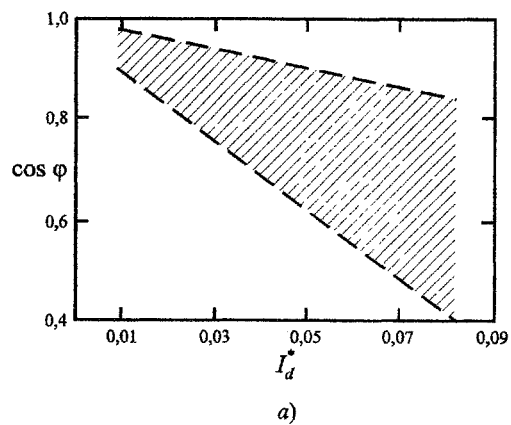


Рис. 9

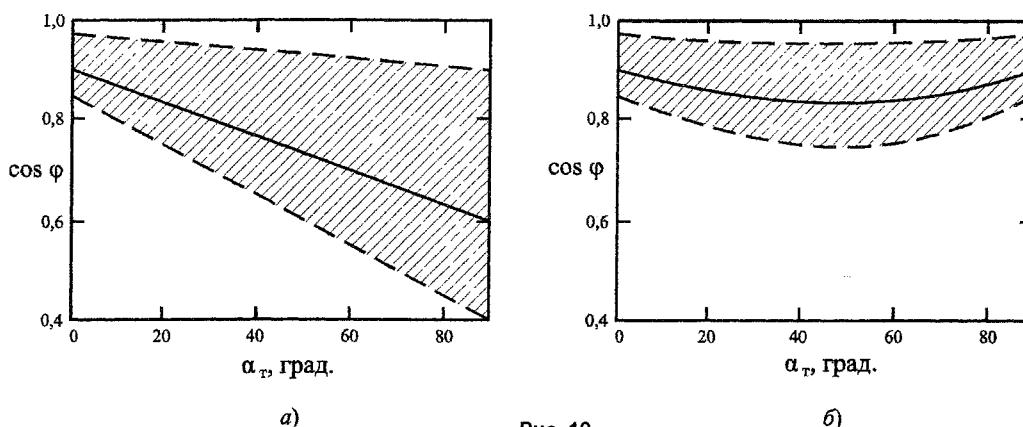


Рис. 10

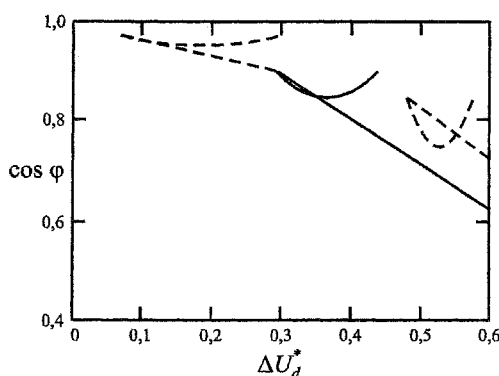


Рис. 11

максимально возможном для схемы с дополнительным мостом, стрелкой показано направление перемещения характеристики при увеличении угла управления). С увеличением угла управления α_t величина коэффициента сдвига первой гармоники тока $\cos \phi$ схемы с дополнительным мостом ухудшается медленнее, а после $\alpha_t = 60^\circ$ начинает возрастать (рис. 10).

Зависимости коэффициента сдвига от глубины регулирования приведены на рис. 11. Здесь прямые линии соответствуют схеме без дополнительного моста, поднимающиеся вверх – исследуемой схеме.

На рис. 8, 10, 11 сплошной линией показаны соответствующие характеристики для номинального значения тока I_d .

Необходимо отметить, что некоторое отличие характеристик на рис. 7–10а в относительных единицах от канонической формы обусловлено небольшой (порядка единиц киловатт) мощностью испытательного стенда, значительной величиной потоков рассеяния трансформатора, а также сравнительно большим активным сопротивлением нагрузки. Тем не менее, проведенные исследования позволяют однозначно оценить качественный характер процессов в рассматриваемой схеме.

При пересчете в относительные единицы в качестве базовых взяты

$$U_6 = \frac{3}{\pi} E_{2лм}, \quad I_6 = \frac{E_{2лм}}{x_k},$$

где $E_{2лм}$ – амплитуда линейной ЭДС трансформатора,

x_k – индуктивное сопротивление контура коммутации.

Все зависимости получены при $k_{дн} = 3$. Увеличение этого коэффициента улучшает энергетические характеристики схемы, но снижает глубину регулирования выпрямленного напряжения, которая без учета коммутации определяется выражением

$$\Delta U_d^* = \frac{1}{k_{дн} + 1}.$$

Анализ результатов моделирования и экспериментального исследования позволяет заключить, что введение в схему дополнительного выпрямительного моста на диодах VD7–VD12 обеспечивает улучшение коэффициента сдвига первой гармоники тока $\cos \phi$, но сопровождается сужением диапазона регулирования выпрямленного напряжения ΔU_d .

Литература

1. Толстов, Ю.Г. Силовые полупроводниковые выпрямители, управляемые дросселями насыщения / Ю.Г. Толстов, Г.П. Мосткова, Ф.И. Ковалев. – М.: Наука, 1968. – 260 с
2. Мосткова, Г.П. Сравнение схем включения дросселей насыщения при использовании их для управления трехфазным полупроводниковым полупроводниковым выпрямителем / Г.П. Мосткова, Ф.И. Ковалев // Электромеханика. – 1962. – № 5.
3. Хохлов, Ю.И. Режимы работы компенсированных полупроводниковых выпрямителей /

Ю.И. Хохлов, А.В. Баев // Промышленная энергетика, с комбинированным способом регулирования напряжения. – 1974. – № 8. С. 16–20.

4. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы. нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 355 с.

5. Пат. 1781793 (РФ) Управляемый выпрямитель / Ю.И. Хохлов. – Бюл. изобр., 1992, № 46.

6. Хохлов, Ю.И. Способы дроссельного управления полупроводниковыми выпрямительными агрегатами / Ю.И. Хохлов, В.В. Прохоров // Промышленная энергетика. – 2000. – № 5. – С. 47–49

7 Бобков, А.В. Управляемый выпрямитель с фазоступенчатым регулированием. выпрямленного напряжения для питания электролизеров / А.В. Бобков, В.А. Бобков, В.С. Копырин // Промышленная энергетика. – 2000. – № 6. – С. 42–45.

Хохлов Юрий Иванович в 1966 году окончил Челябинский политехнический институт. В 1991 году защитил докторскую диссертацию. Декан энергетического факультета, заведующий кафедрой систем электроснабжения, директор центра энергосбережения ЮУрГУ, профессор, член-корреспондент АЭН РФ. Специалист в области теоретических основ электротехники, силовой электроники и энергосбережения.

Прохоров Владилен Владиленович в 1995 году окончил Челябинский государственный технический университет, в 2001 – аспирантуру ЮУрГУ. Старший преподаватель кафедры систем электроснабжения. Направление научной деятельности – силовая электроника.