

УЛУЧШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ДРОССЕЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Ю.И. Хохлов, В.В. Прохоров

Рассмотрены некоторые способы повышения быстродействия дроссельного управления мощными выпрямительными агрегатами, а также снижения установленной мощности дросселей насыщения и потерь энергии в них.

Ключевые слова: выпрямительные агрегаты, дроссельное управление, дроссель насыщения, установленная мощность дросселя насыщения.

Потребление электрической энергии в ряде энергоемких отраслей промышленности осуществляется на постоянном токе с использованием полупроводниковых диодных преобразователей. Применение управляемых вентилях зачастую нецелесообразно ввиду больших величин преобразуемой мощности. Вместе с тем, объекты электротехнологии и транспорта требуют оснащения выпрямительных агрегатов системами автоматического или ручного регулирования электрического режима. В установках электролиза алюминия, например, необходимо стабилизировать выпрямленный ток, поскольку от этого зависит производительность и устойчивость работы электролизеров. На подстанциях городского, промышленного и железнодорожного электрического транспорта для оптимальной работы необходимо поддерживать определенный уровень напряжения.

Эффективным способом управления диодными выпрямителями является дроссельное регулирование, которое для предотвращения резкого снижения энергетических показателей осуществляется в пределах одной ступени трансформаторного регулирования [1–4]. В докладе рассматриваются возможные пути повышения быстродействия такого управления, а также снижения установленной мощности дросселей насыщения (ДН) и потерь энергии в них.

Известны различные схемы включения дросселей насыщения для регулирования напряжения [1, 2]. Они различаются по месту включения рабочих обмоток и по способу соединения обмоток подмагничивания. Простейшим примером является мостовая схема, в которой дроссели насыщения включены последовательно с вентилями. Здесь число дросселей насыщения равно числу вентильных плеч. Величина выпрямленного напряже-

ния в такой схеме регулируется длительностью процесса выведения дросселей из ненасыщенного состояния путем изменения величины тока в их обмотках управления.

Основные недостатки такой схемы – неоптимальные массогабаритные показатели дросселей насыщения, большие потери энергии в них, а также малое быстродействие регулирования за счет инерционности изменения тока в цепи управления ввиду ее большой индуктивности.

С целью уменьшения избыточности мостовой схемы с дросселями насыщения в каждом вентильном плече дроссели противофазных вентильных плеч могут быть выполнены на одном магнитопроводе (рис. 1) [5]. Поскольку на один магнитопровод уложены две противофазные рабочие обмотки, каждый дроссель дважды за период выводится из ненасыщенного состояния, т.е. дважды задает угол управления.

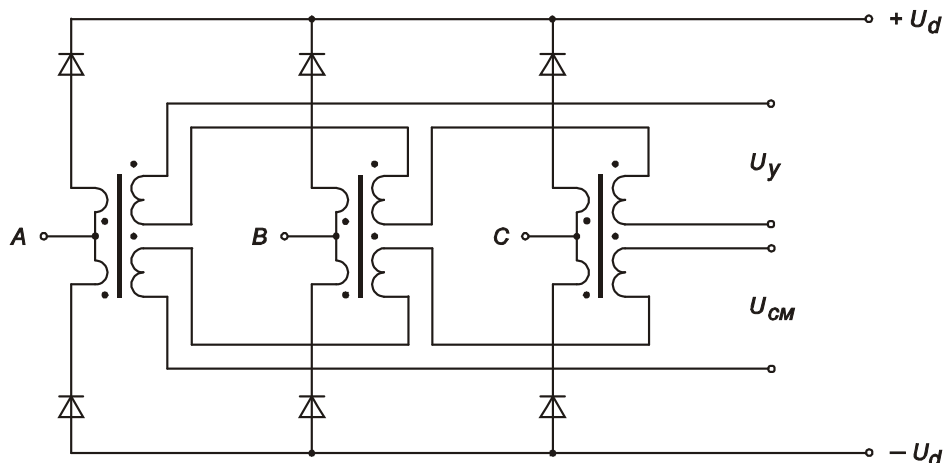


Рис. 1. Насыщения противофазных вентильных плеч на одном магнитопроводе

Оценим выигрыш в установленной мощности дросселей насыщения в схеме на рис. 1. Типовая мощность одного дросселя:

$$P_{\text{дн}} = 1,05 \frac{\pi}{6} \frac{1}{2\sqrt{2}} I_p \Delta U_{dm},$$

где I_p – действующее значение тока рабочей обмотки, ΔU_{dm} – максимальная глубина регулирования выходного напряжения выпрямителя, коэффициент 1,05 учитывает токи в обмотках смещения и управления.

Действующее значение тока в рабочей обмотке дросселя насыщения для схемы с шестью дросселями:

$$I_{p \text{ бдн}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \frac{\gamma}{2\pi}} I_d.$$

Здесь I_d – выпрямленный ток, γ – угол коммутации. Если пренебречь индуктивностью рассеяния обмоток трансформатора, то можно записать:

$$I_{p \text{ бдн}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d.$$

Поскольку каждый дроссель участвует в работе дважды за период напряжения сети, действующие значения токов рабочих обмоток в них будут:

$$I_{p \text{ 3дн}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \frac{\gamma}{2\pi}} I_d,$$

или при $\gamma = 0$:

$$I_{p \text{ 3дн}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_d.$$

С учетом этих соотношений установленная мощность шести дросселей насыщения:

$$P_{\text{бдн}} = 1,05 \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{\pi}{\sqrt{3}} I_d \Delta U_{dm},$$

установленная мощность трех дросселей насыщения:

$$P_{\text{3дн}} = 1,05 \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{\pi}{\sqrt{3}} I_d \Delta U_{dm}.$$

Очевидно, что:

$$P_{\text{3дн}} = \frac{1}{\sqrt{2}} P_{\text{бдн}},$$

т.е. установленная мощность дросселей насыщения в схеме на рис. 1 примерно в 1,41 раза меньше, чем в мостовой схеме с последовательно включенными ДН в каждом вентильном плече.

Можно отнести суммарную мощность дросселей насыщения к типовой мощности трансформатора, которая для трехфазной мостовой схемы определяется по формуле:

$$P_T = \frac{\pi}{3} I_d U_d.$$

Тогда:

$$P_{\text{дн}}^* = \frac{P_{\text{дн}}}{P_T} = 1,05 \frac{1}{2} \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{I_p}{I_d} \Delta U_{dm}^*,$$

где $\Delta U_{dm}^* = \frac{\Delta U_{dm}}{U_d}$ – максимальная глубина регулирования выходного напряжения выпрямителя, приведенная к напряжению холостого хода;

$$P_{6дн}^* = 1,05 \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \Delta U_{дн}^* ;$$

$$P_{3дн}^* = 1,05 \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \Delta U_{дн}^* .$$

При 100-процентной глубине регулирования установленная мощность дросселей насыщения в процентах от типовой мощности трансформатора составила бы 64 % для схемы с шестью дросселями и 45 % для схемы с тремя дросселями. Но поскольку в реальных выпрямительных агрегатах глубина дроссельного регулирования в пределах одной ступени трансформатора не превышает, как правило, 5–10 %, установленная мощность ДН в процентах от типовой мощности трансформатора составит примерно 3–6 % и 2–4 % соответственно.

Таким образом, совмещение дросселей насыщения противофазных ветвильных плеч на одном магнитопроводе позволяет снизить их установленную мощность, уменьшить потери электрической энергии в них, уменьшить габариты и упростить конструкцию преобразователя.

В [6] предложено схемное решение быстродействующего регулирования (рис. 2). Управляющие обмотки дросселей насыщения шунтируются тиристорами. Ток в обмотках смещения устанавливает исходное магнитное состояние дросселей на границе режима насыщения на обратной ветви кривой намагничивания, что задает максимальный угол дроссельного управления. При открывании тиристоров в обмотках управления образуются короткозамкнутые контуры, что приводит к насыщению дросселей. Это ограничивает длительность их выведения, а следовательно, и угол управления. Регулирование угла управления производится путем изменения фазы управляющих импульсов.

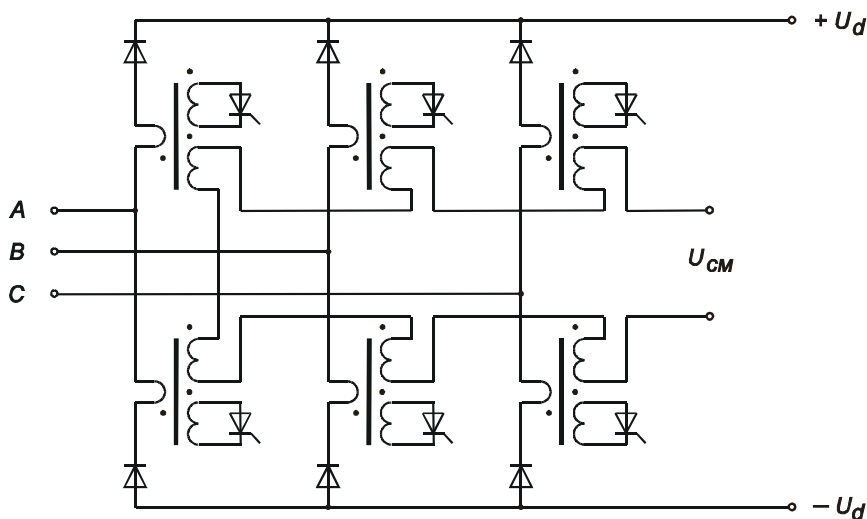


Рис. 2. Схемное решение быстродействующего регулирования

Схема на рис. 3 объединяет рассмотренные решения, позволяя осуществлять быстродействующее регулирование в схеме с тремя дросселями. Здесь каждый тиристор должен открываться дважды за период питающего напряжения.

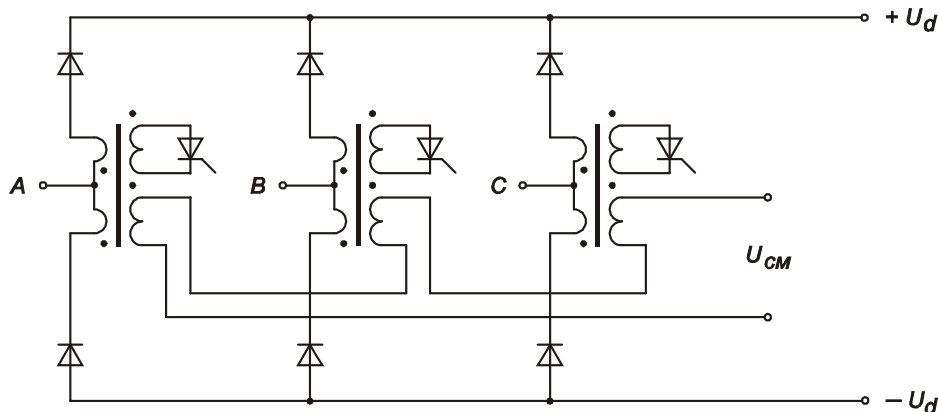


Рис. 3. быстродействующее регулирование в схеме с тремя дросселями

Следует заметить, что дроссельное управление, как и любое фазовое регулирование, сопровождается снижением энергетических показателей агрегатов. Эффективно применение дроссельного управления в компенсированных преобразователях [3, 4]. При этом наряду с нормализацией энергетических показателей улучшается и ряд других технических характеристик агрегатов. В частности, обеспечивается равномерное распределение тока между выпрямительными блоками, что позволяет упростить систему управления агрегатами, описанную в [7].

Библиографический список

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 выпрямителем / Г.П. Мосткова, Ф.И. Ковалев // Электромеханика. – 1962. – № 5.
3. Хохлов, Ю.И. Режимы работы компенсированных полупроводниковых выпрямителей с комбинированным способом регулирования напряжения / Ю.И. Хохлов, А.В. Баев // Промышленная энергетика. – 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. Патент 2100896 (РФ). Многофазный выпрямительный агрегат / Ю.И. Хохлов // Бюл. изобр. – 1997. – № 36.
6. Патент 1781793 (РФ). Управляемый выпрямитель / Ю.И. Хохлов // Бюл. изобр. – 1992. – № 46.

Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции
Секции технических наук

7. Система управления током серии электролизеров 21/22 корпусов АО «Братский алюминиевый завод» // Технический отчет по наладке и испытаниям. – Екатеринбург: АО «Российская электротехническая компания», 1996. – 21 с.