

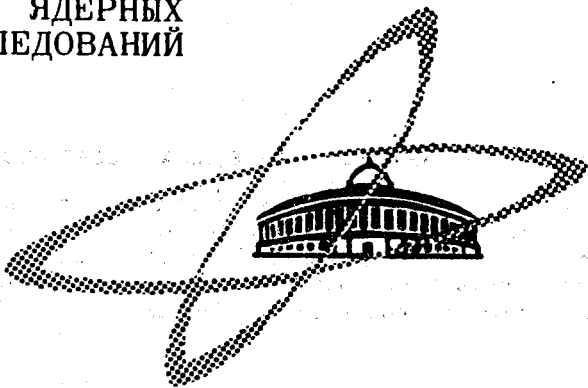
6363

Экз. чит. 801

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 6363



В.В.Калиниченко

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ  
С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ  
НАПРЯЖЕНИЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

13 - 6363

В.В.Калиниченко

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ  
С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ  
НАПРЯЖЕНИЯ**

Полупроводниковые выпрямители с дискретным регулированием выпрямленного напряжения находят применение в прецизионных системах стабилизации тока (напряжения), выполненных по схеме двойного регулирования /1/, а также в полупроводниковых выпрямителях с комбинированным регулированием /2/.

В работе /1/ обсуждается однофазный выпрямитель с дискретным регулированием выпрямленного напряжения, построенный на базе трансформаторно-тиристорного регулятора переменного тока, предложенного в /3/. Этот регулятор обеспечивает дискретное изменение переменного напряжения на входе выпрямительного моста путем коммутаций обмоток силового трансформатора, осуществляемых с помощью тиристорных переключателей переменного тока. Достоинствами такого варианта трансформаторно-тиристорного регулятора являются высокое значение к.п.д. и коэффициента мощности  $\cos \phi$ , а также незначительные искажения формы напряжения и тока на выходе регулятора.

Рассматриваемому устройству присущи следующие недостатки: а) требуется большое количество управляемых вентилях, б) имеется возможность коротких замыканий обмоток через тиристоры при неисправностях в схеме управления.

В настоящей статье описываются однофазный и трехфазный выпрямители с дискретным регулированием выходного напряжения. В предлагаемых устройствах исключена возможность закорачивания обмоток силового транс-

форматора через тиристорные переключатели, уменьшено количество управляемых вентилях. Описанные устройства, кроме упомянутого выше применения, могут быть использованы как нестабилизированные дискретно регулируемые источники постоянного тока для питания потребителей средней и большой мощности.

Схема однофазного полупроводникового выпрямителя с дискретным регулированием выпрямленного напряжения приведена на рис. 1. Силовой трансформатор выпрямителя имеет  $n$  вторичных обмоток, пронумерованных цифрами  $1, 2, \dots, n$ . В цепи каждой обмотки имеется тиристорный переключатель переменного тока (ТП) и выпрямительный мост (В); эти элементы вместе с обмоткой образуют выпрямительную секцию. Тиристорный переключатель выполнен по схеме встречно-параллельного соединения тиристоров и служит для подключения обмотки к выпрямительному мосту. Все выпрямительные мосты соединены последовательно.

Обмотки силового трансформатора выполняются таким образом, чтобы напряжение на зажимах первой вторичной обмотки  $U_1$  было равно  $E_2 + U_s$ , на зажимах второй -  $U_2 = 2E_2 + U_s$ , на зажимах  $n$ -ой обмотки -  $U_n = 2^{n-1}E_2 + U_s$ . Здесь  $E_2$  - действующее значение напряжения первой вторичной обмотки при использовании переключателя без потерь, значение  $E_2$  определяется из соотношения  $E_2 = 1,11 E_d$  (для индуктивно-активной нагрузки при идеальном выпрямителе)  $E_d$  - требуемая величина шага (ступеньки) выпрямленного напряжения при дискретном изменении;  $U_s$  - действующее значение падения напряжения на тиристорном переключателе.

Рассмотренный вариант распределения напряжения по обмоткам является самым простым (но не единственным), обеспечивающим равномерное изменение выходного напряжения.

При подключении питающей сети к первичной обмотке силового трансформатора напряжение на выходе выпрямителя  $U_d$  будет равно нулю, если отсутствует отпирающее напряжение на управляющих электродах тиристоров. При подаче отпирающего напряжения на управляющие электроды тиристоров переключателя ТП1, обмотка 1 окажется подключенной к выпрямительному мосту В1. На выходе моста В1 появится пульсирующее напряжение, которое через последовательно соединенные вентили мостов В2, ...

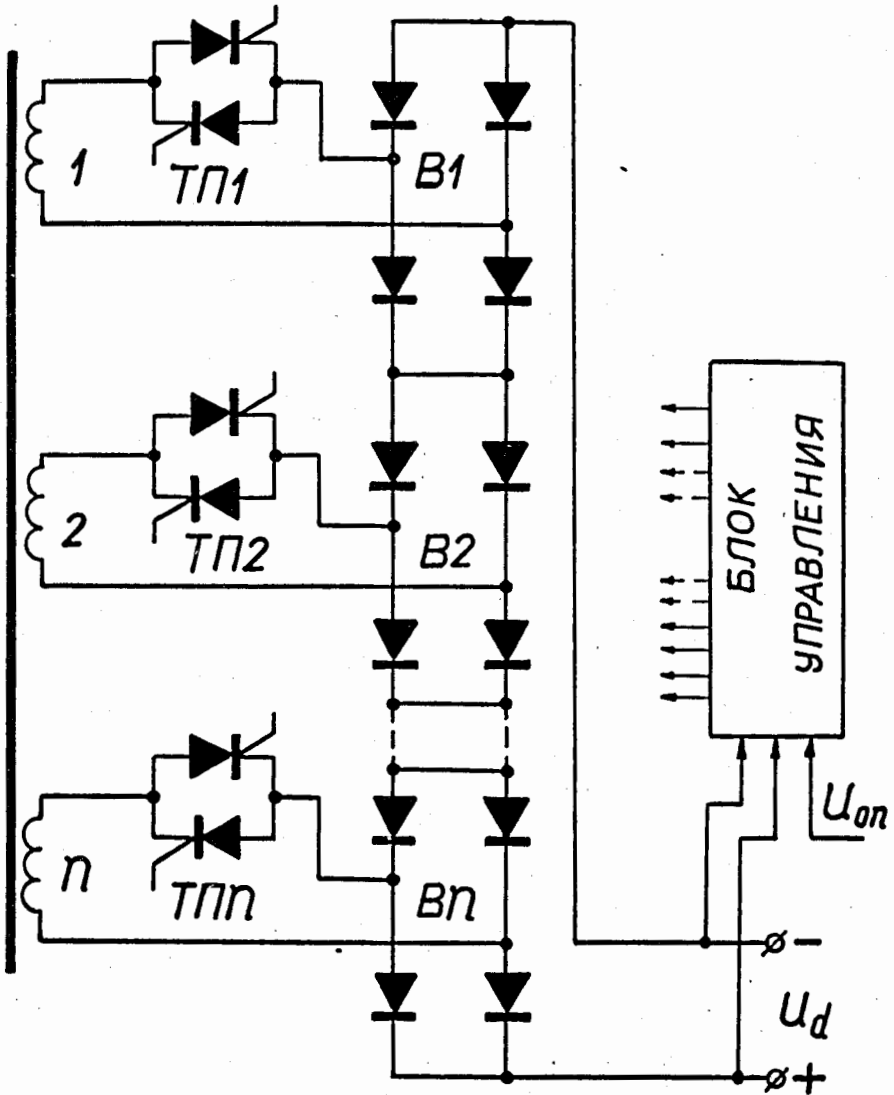


Рис. 1. Схема однофазного полупроводникового выпрямителя с дискретным регулированием выпрямленного напряжения.

$V_n$  будет приложено к нагрузке, так как все вентили по отношению к этому напряжению включены в прямом (проводящем) направлении. Если для простоты считать вентили идеальными, то постоянная составляющая выходного напряжения выпрямителя  $U_d$  будет равна  $E_d$ .

При подаче отпирающего напряжения только на управляющие электроды тиристорных переключателя ТП2 к выпрямительному мосту В2 будет подключена обмотка 2 и выходное напряжение выпрямителя  $U_d$  будет равно  $2 E_d$  (по изложенным выше соображениям).

При одновременной подаче отпирающего напряжения на управляющие электроды тиристорных переключателей ТП1 и ТП2  $U_d = 3 E_d$  и т.д.

Количество включенных обмоток и очередность переключения задаются схемой управления, которая вырабатывает команды для автоматического поддержания требуемого отношения между  $U_d$  и  $U_{он}$  (опорным напряжением).

Для питания потребителей большой мощности целесообразно использовать трехфазный вариант выпрямителя с дискретным регулированием, упрощенная схема которого представлена на рис. 2. Силовой трехфазный трансформатор установки содержит  $n$  комплектов вторичных обмоток, которые с помощью тиристорных переключателей переменного тока могут быть подключены к выпрямительным мостам в различных комбинациях, обеспечивая тем самым изменение напряжения на выходе выпрямителя. Количество мостов равно количеству комплектов вторичных обмоток, мосты соединены друг с другом последовательно и согласно. Для осуществления коммутаций необходимо иметь  $n$  трехфазных тиристорных переключателей переменного тока.

Каждый комплект вторичных обмоток состоит из трех одинаковых обмоток, принадлежащих соответственно фазам А, В, С. Обмотки комплекта могут быть соединены звездой или треугольником (на рис. 2 показано лишь соединение звездой). Для получения одинаковых по величине ступенек во всем диапазоне регулирования необходимо, чтобы напряжение на зажимах каждой обмотки первого комплекта (фазное напряжение)  $U_{1ф}$  было равно  $E_{2ф} + U_s$ , напряжение на зажимах обмоток второго комплекта  $U_{2ф} = 2 E_{2ф} + U_s$ , напряжение на зажимах обмоток  $n$ -го комплекта -

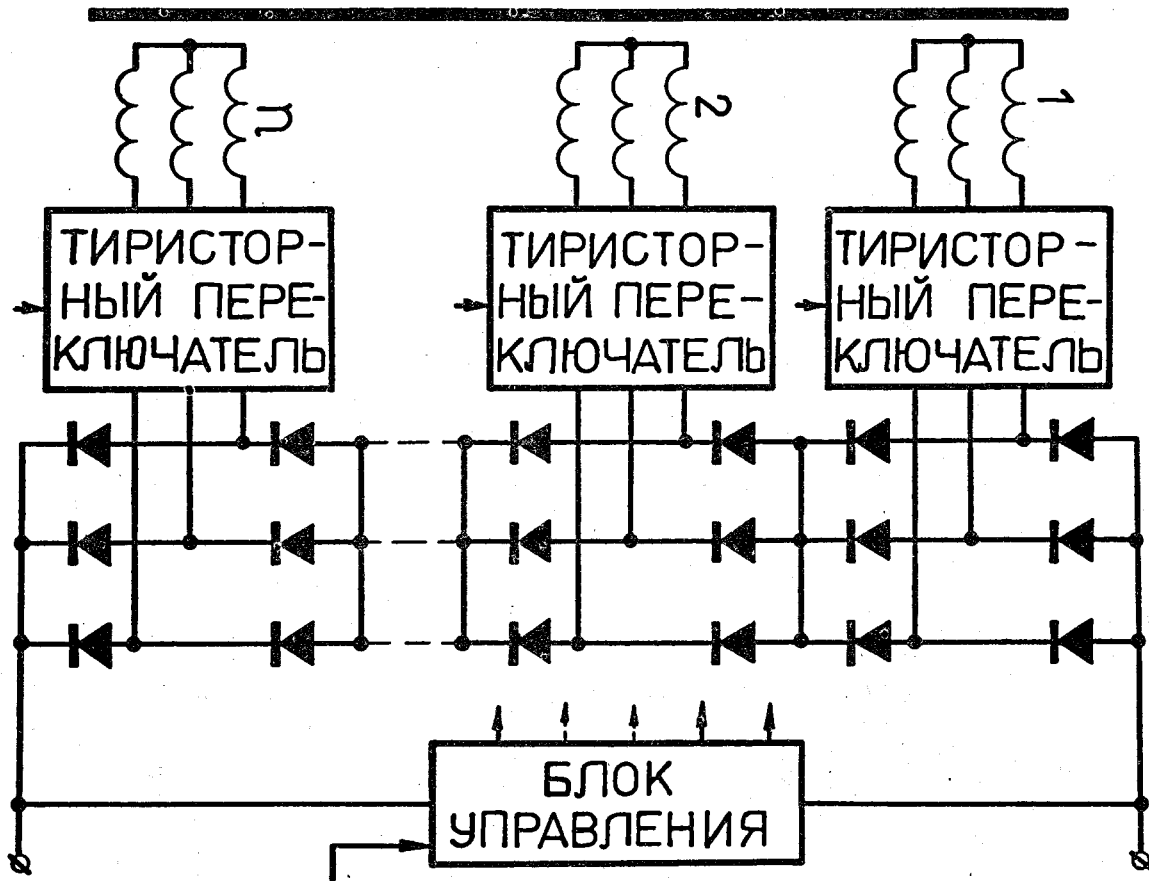


Рис. 2. Упрощенная схема трехфазного полупроводникового выпрямителя с дискретным регулированием выпрямленного напряжения.

$U_n = 2^{n-1} E_{2\phi} U_s$ . Здесь  $E_{2\phi}$  - действующее значение напряжения на зажимах вторичной обмотки первого комплекта при использовании идеальных переключателей без потерь, значение  $E_{2\phi}$  определяется соотношением  $E_{2\phi} = B E_d$ , где  $E_d$  - требуемая величина шага (ступеньки) выпрямленного напряжения при его дискретном регулировании,  $B$  - коэффициент выпрямленного напряжения;  $U_s$  - действующее значение падения напряжения на тиристорном переключателе, приведенное к вторичной обмотке.

Трехфазные тиристорные переключатели переменного тока, применяемые в установке (рис. 2), могут быть выполнены по различным схемам. Несколько вариантов схем таких переключателей рассмотрено в /4/.

В секциях установки рис. 2 целесообразно использовать экономичные трехфазные тиристорные переключатели, выполненные на трех тиристорах. При этом, однако, следует учитывать увеличение пульсаций выпрямленного напряжения за счет асимметрии таких переключателей. Вследствие указанной асимметрии в спектре выпрямленного напряжения, кроме гармоник с порядковыми номерами, кратными шести, появляются гармоники с порядковыми номерами, кратными трем.

Схема секции установки с переключателем на трех тиристорах показана на рис. 3. Среднее значение тока через любой тиристор переключателя  $I_a = 0,5 I_d$ , амплитуда тока  $I_{a \max} = I_d$  (при индуктивной нагрузке); здесь  $I_d$  - постоянная составляющая выпрямленного тока.

Рассмотренные выпрямительные устройства обеспечивают ступенчатое регулирование выпрямленного напряжения от нуля до максимального значения  $U_{d \max}$ , равного  $(2^n - 1) E_d$ . При больших значениях отношения  $U_{d \max} / E_d$  выпрямительные устройства такого типа имеют большое количество секций, что является их существенным недостатком. В указанном случае целесообразно применять выпрямительные установки дискретного действия с комбинированным регулированием.



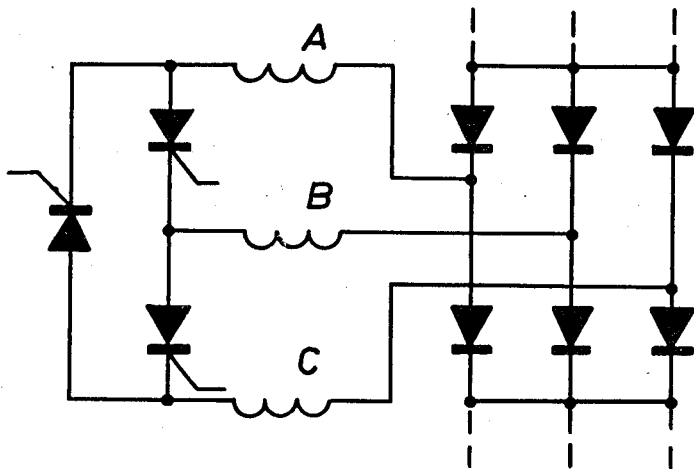


Рис. 3. Схема секции трехфазного выпрямителя с экономичным переключателем на трех тиристорах.

#### Литература

1. Ю.Н. Денисов, В.В. Калининченко, В.А. Пережогин. Сообщения ОИЯИ, 13-5194, Дубна, 1970.
2. В.В. Калининченко. Сообщения ОИЯИ, 13-8271, Дубна, 1972.
3. M.G.Y. Fry. Proceedings The Second International Conference on Magnet Technology, Oxford, 432-450 (1967).
4. С.С. Бруфман, Н.А. Трофимов. Тиристорные переключатели переменного тока. Изд-во "Энергия", М., 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 апреля 1972 года.