

С. 31525

К-172

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

944 / 2-72

24/III.72

13 - 6271



В.В. Калиниченко

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

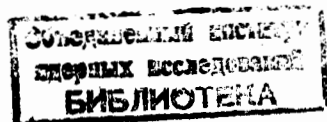
КОМБИНИРОВАННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ  
ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МОЩНЫХ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЯХ

1972

13 - 6271

В.В. Калиниченко

КОМБИНИРОВАННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ  
ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МОЩНЫХ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЯХ



Для питания электромагнитов физических установок требуются мощные источники постоянного тока, способные обеспечить высокую стабильность тока нагрузки, малую величину пульсаций и широкий диапазон регулирования тока (напряжения). Этим требованиям в полной мере удовлетворяют стабилизаторы тока, выполненные по схеме двойного регулирования<sup>1,2/</sup>. Система двойного регулирования содержит два контура: контур грубого регулирования и контур точного регулирования. Каждый из этих контуров имеет в общем случае измерительный и исполнительный элементы.

Исполнительным элементом грубого контура в системе двойного регулирования является регулируемый источник постоянного тока. В качестве регулируемых источников постоянного тока для указанной цели широко используются электромашинные агрегаты, управляемые выпрямители на ионных или полупроводниковых управляемых вентилях, выпрямители с регулированием на стороне переменного тока.

Управляемые выпрямители на полупроводниковых управляемых вентилях (тиристорах) имеют ряд положительных свойств (широкий диапазон плавного регулирования, малые потери мощности, компактность и пр.) и благодаря этим свойствам являются подходящими устройствами для использования их в качестве исполнительных элементов в контурах грубого регулирования.

Однако управляемым выпрямителям присущи и серьезные недостатки, причём эти недостатки проявляются тем сильнее, чем шире диапазон регулирования. Регулирование выпрямленного напряжения в таких устройствах сопровождается, во-первых, значительным искажением формы выпрямленного напряжения, приводящим к увеличению пульсаций, во-вторых, увеличением потребляемой из сети реактивной мощности, что приводит к уменьшению коэффициента мощности. С учётом этих факторов считается целесообразным в мощных установках такого типа иметь диапазон регулирования не более (5-10)%.

При необходимости регулирования выпрямленного напряжения в широком диапазоне целесообразно перейти к комбинированному регулированию. Несколько вариантов устройств с комбинированным регулированием рассмотрено в [3]. Общим недостатком описанных в [3] устройств является малая скорость регулирования, обусловленная применением контактных коммутирующих устройств.

Свободен от указанного недостатка выпрямитель с комбинированным регулированием, блок-схема которого показана на рис. 1. Устройство по блок-схеме рис. 1 состоит из двух полупроводниковых выпрямителей, соединенных последовательно и согласно. Один из них представляет собой полупроводниковый выпрямитель с дискретной регулировкой выпрямленного напряжения, другой - полупроводниковый управляемый выпрямитель.

Выпрямитель с дискретной регулировкой выпрямленного напряжения обеспечивает ступенчатое изменение напряжения на нагрузке с заданным значением шага  $U_{d0}$  ( $U_{d0}$  - среднее значение величины шага); при этом напряжение на нагрузке может принимать значения  $iU_{d0}$ , где  $i = 0, 1, 2, 3$  и т.д., предельное максимальное значение  $i$  равно  $2^n - 1$ , здесь  $n$  - число секций выпрямителя с дискретной регулировкой.

Плавное регулирование напряжения в интервалах между дискретными значениями достигается с помощью управляемого выпрямителя, постоянная составляющая напряжения на выходных зажимах которого равна

$$U_{d\alpha 0} = k U_{d0} \cos \alpha .$$

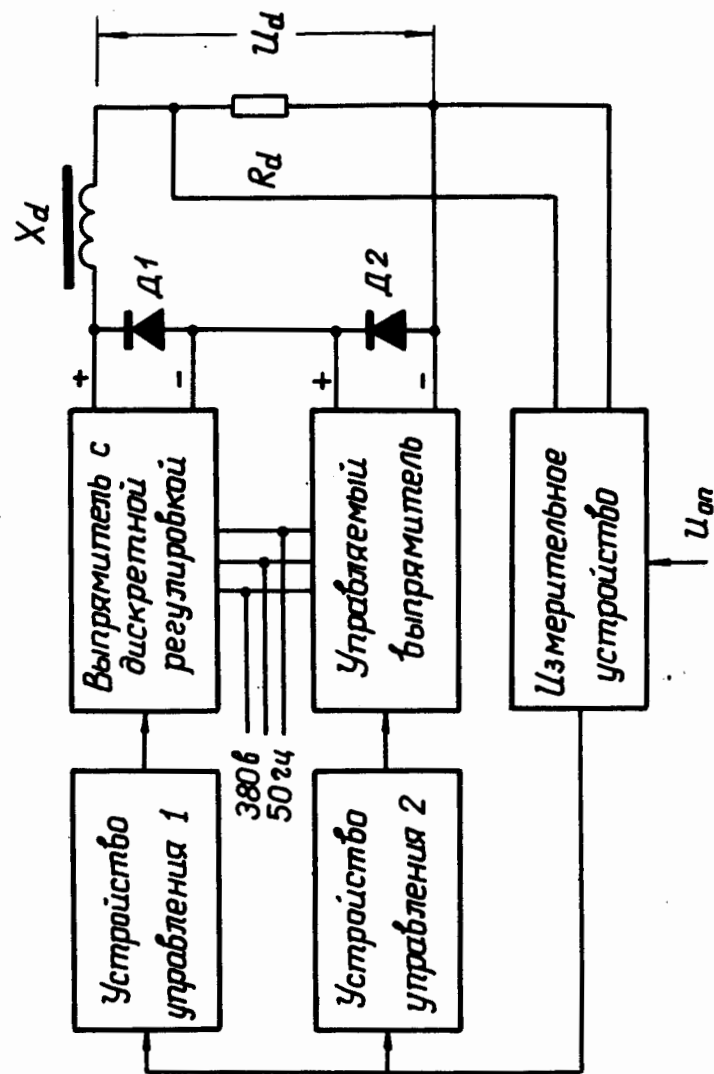


Рис. 1. Блок-схема выпрямителя с комбинированным регулированием.

Для обеспечения плавного изменения напряжения на выходе всего устройства при неравномерных шагах дискретной регулировки необходимо, чтобы диапазон регулирования управляемого выпрямителя несколько превышал максимально возможную величину шага. Коэффициент  $k$  и учитывает отклонение от среднего значения в сторону возрастания величины шага:

$$k \geq U_{d_{\max}} / U_{d_0} .$$

Напряжение на нагрузке  $U_d$  (без учета падения напряжения на блокирующих диодах Д1 и Д2 и на реакторе  $X_d$ ) равно

$$U_d = U_{d_0} (i + k \cos \alpha) .$$

При  $i = 0$  (работает только управляемый выпрямитель, выпрямитель с дискретной регулировкой отключен) напряжение на нагрузке изменяется от 0 до значения  $k U_{d_0}$  при изменении угла регулирования  $\alpha$  в пределах  $0 \rightarrow 90^\circ$ . При  $i = 1$  напряжение на нагрузке изменяется от значения  $U_{d_0}$  до значения  $U_{d_0} (1 + k)$  и т.д.

Полупроводниковый выпрямитель с дискретной регулировкой выполнен с бесконтактной коммутацией (в качестве бесконтактных переключателей используются тиристорные переключатели переменного тока), благодаря чему все устройство в целом обладает относительно высокой скоростью регулирования. Вопросы построения выпрямителей с дискретной регулировкой обсуждались в [2,4].

Выпрямители, входящие в состав устройства по блок-схеме рис. 1, в зависимости от предъявленных требований могут быть однофазными или многофазными.

Важным параметром регулируемого выпрямителя является коэффициент мощности  $\cos \phi$ . Можно показать, что для рассматриваемой установки

$$\cos \phi = \frac{i + k \cos \alpha}{\sqrt{i^2 + 2ik \cos \alpha + k^2}} .$$

При выводе этого выражения учитывалась только реактивная мощность, появляющаяся за счёт регулирования, не учитывалось явление коммутации и предполагалось, что соответствующим выбором значения  $X_d$  обеспечен режим непрерывного тока в нагрузке (при  $i = 0$ ).

На рис. 2 представлены зависимости  $\cos \phi = f(\alpha)$  для некоторых значений параметров  $i$  и  $k$ . Эти графики могут быть полезны при расчёте установки.

#### Литература

1. С.Д. Додик. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. Изд-во "Советское радио", 1962 г.
2. Ю.Н. Денисов, В.В. Калинин, В.А. Пережогин. Сообщение ОИЯИ, 13-5194, Дубна, 1970.
3. Г.А. Ривкин. Преобразовательные устройства. Изд-во "Энергия", 1970 г.
4. M.G.J. Fry. Proceedings The Second International Conference on Magnet Technology, Oxford, 432-450 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 февраля 1972 года.