

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9624

ЭКЗ ЧИТ ЗАЛА

13 - 9624

Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко, М.Крживанек

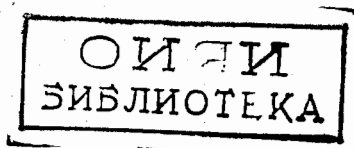
РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТОКА
В КОРРЕКТИРУЮЩИХ ОБМОТКАХ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У-120М

1976

13 - 9624

Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко, М.Крживанек

РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТОКА
В КОРРЕКТИРУЮЩИХ ОБМОТКАХ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У-120М



Для непрерывной перестройки циклотрона У-120М по энергии необходимо для каждого режима ускорения обеспечить соответствующее распределение токов в 18 корректирующих обмотках. Результаты расчетов, приведенные в работе ^{/1/}, показывают, что необходимо изменение как величин токов, так и их направлений. Для питания корректирующих обмоток циклотрона служит управляемая от ЭВМ система питания ^{/2/}, состоящая из транзисторных компенсационных стабилизаторов тока на номинальные токи 300, 400, 600 А. Транзисторные стабилизаторы, используемые в системе, не обеспечивают изменения направления тока в нагрузке. Для обеспечения возможности реверсирования тока эти стабилизаторы снабжаются дополнительными устройствами. Упрощенная блок-схема транзисторного стабилизатора, дополненного такими устройствами, показана на *рис. 1*.

Ток нагрузки I_{II} , получаемый от высокостабильного транзисторного компенсационного стабилизатора тока /ТКСТ/, подводится к нагрузке через реверсивный коммутатор /РК/. Состояние РК, определяющее направление тока в нагрузке, задается устройством управления и защиты реверсивного коммутатора /УУЗ РК/. Кроме того, УУЗ РК обеспечивает отключение выпрямителя при коротком замыкании в цепях реверсивного коммутатора. В свою очередь, УУЗ РК получает командные сигналы от ЭВМ или ручного устройства управления через переключающее устройство /ПУ/.

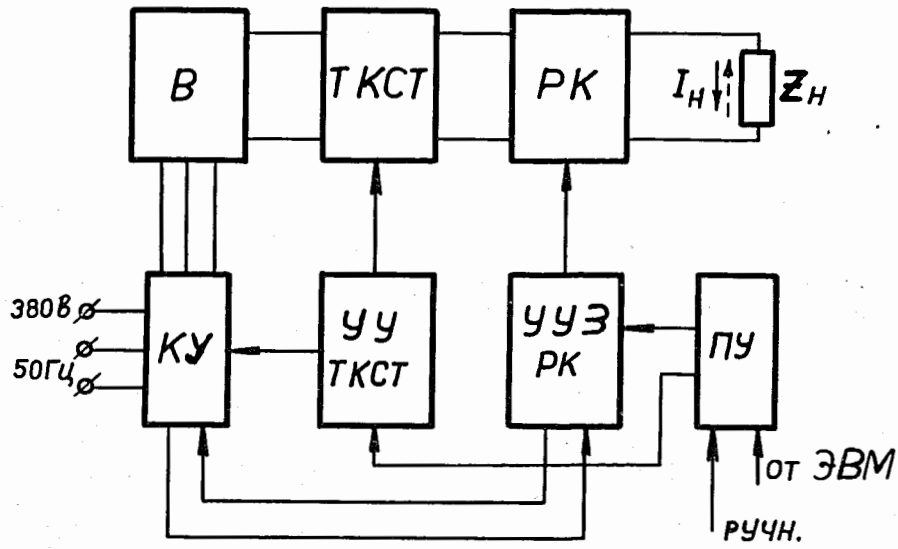


Рис. 1. Блок-схема транзисторного стабилизатора тока с реверсивным коммутатором тока в нагрузке. В - выпрямитель, ТКСТ - транзисторный компенсационный стабилизатор тока, РК - реверсивный коммутатор, КУ - контакторное устройство, УУ ТКСТ - устройство управления транзисторным компенсационным стабилизатором тока, УУЗ РК - устройство управления и защиты реверсивного коммутатора, ПУ - переключающее устройство, Z_H - нагрузка стабилизатора.

Принципиальная схема бесконтактного реверсивного коммутатора приведена на рис. 2. В качестве силовых ключей в коммутаторе применяются тиристоры. Управляющий ток подводится к электродам тиристоров через соответствующие контакты реле переключения полярности /РП/ от двух изолированных однополупериодных выпрямителей /Д1, Д2/.

В каждом плече устройства работает параллельно по 4 тиристора типа Т150. Тиристоры устанавливаются на групповых жидкостных охладителях, хладагентом служит вода. Максимальный рабочий ток коммутатора равен 600 А. Выбор указанного типа тиристора обусловлен

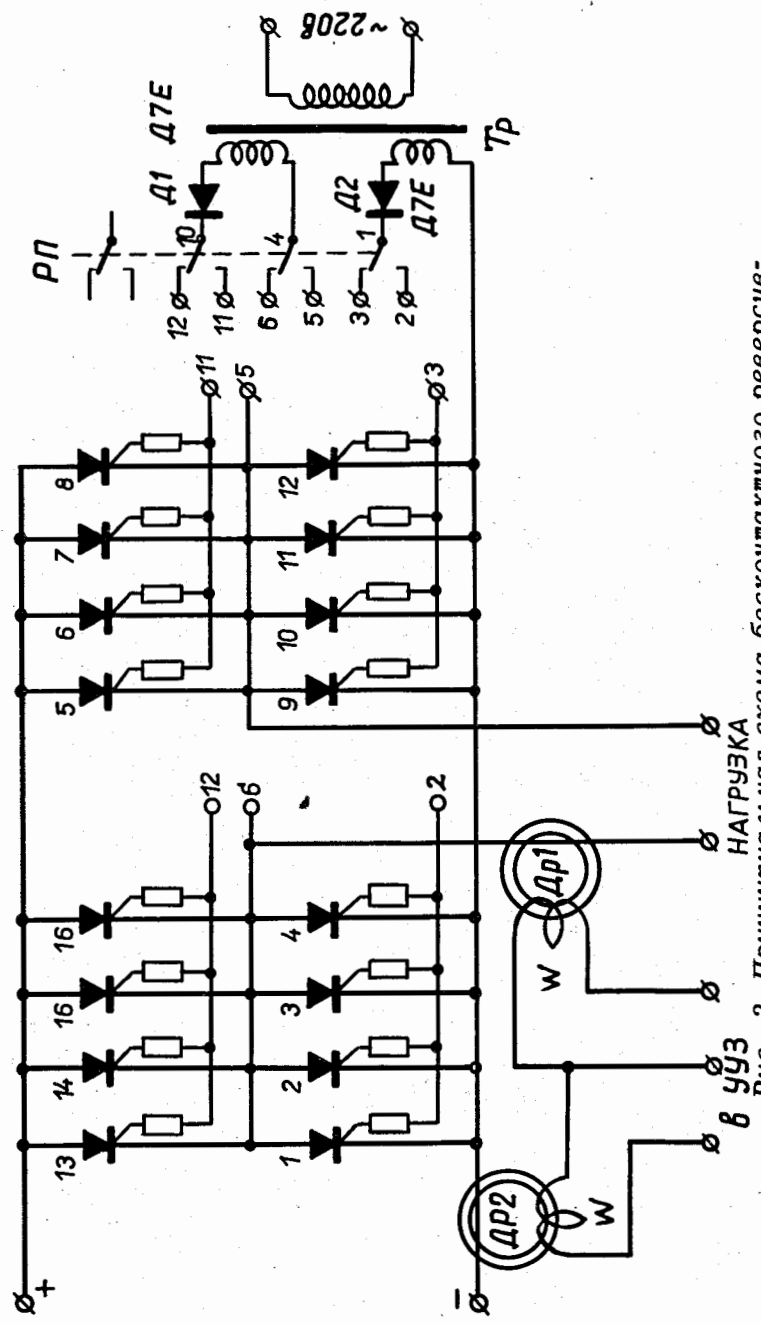


Рис. 2. Принципиальная схема бесконтактного реверсивного коммутатора. Все тиристоры типа Т-150; все резисторы - 30 Ом, 1 Вт; Др1, Др2: сердечник М2000 40x25x7,5 мм, W = 500 вит ПЭЛШОФ0,21.

его доступностью в данных условиях. В работе^{3/}отмечается, что в настоящее время в преобразовательных установках на токи до 1600÷2500 А целесообразно применять тиристоры Т150. При проектировании устройств с параллельным соединением тиристоров должны быть приняты меры^{3,4/}, обеспечивающие эффективное использование последних. Кроме того, необходимо выполнить условие надежной работы схемы

$$\Theta_M \leq \Theta_{доп}$$

где Θ_M - максимальное значение температуры из множества температур структур всех параллельно работающих тиристоров при максимальном рабочем токе схемы, $\Theta_{доп}$ - допустимая температура структуры. Недостаточность статистических данных по тиристорам, трудность расчетов асимметрии силовых конструкций обусловили экспериментальный подход к решению вопросов, связанных с разработкой силовой части реверсивного коммутатора. Подбор тиристоров для параллельной работы в плечах коммутатора производился по величине прямого падения напряжения/классификационного напряжения^{3/}, которое дается заводом-изготовителем на каждый прибор. Были набраны четыре комплекта /в каждом комплекте по четыре тиристора /с прямым падением 0,65; 0,62; 0,64 и 0,61 В.

В таблице приведены некоторые экспериментальные данные, полученные на постоянном токе для этих комплектов тиристоров. Результаты измерений показывают, что тиристоры с одинаковым классификационным напряжением имеют разное прямое падение напряжения на

Таблица

1,3 - номер комплекта и номер тиристора; 2 - среднее значение /по заводским данным/ прямого падения напряжения, В; 4 - прямое падение напряжения при постоянном токе 150 А, В; 5 - крутизна прямой ветви характеристики в окрестности $I_T = 150$ А, А/мВ; 6 - прямое падение напряжения при параллельной работе комплекта, В; 7 - токи через тиристоры при параллельной работе, А; 8 - нагрузка тиристора по току /в процентах от номинального значения/; 9 - температура корпуса тиристора, град.

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|------|----------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | 0,65 | 1 2 3 4 | 1123 1, 1123 1, 1185 1, 1080 | 7,88 8,62 8,62 8,70 | 1, 1120 1, 1132 1, 1132 1, 1144 | 149 151 145 155 | 99 101 97 103 | 52,5 57,0 54,5 53,0 |
| 2 | 0,62 | 5 6 7 8 | 1071 1, 0693 1, 0670 1, 1075 | 8,93 9,61 9,52 12,50 | 1, 0910 1, 0880 1, 0869 1, 0895 | 136 167 169 128 | 91 112 113 85 | 47,8 54,5 55,5 48,0 |
| 3 | 0,64 | 9 10 11 12 | 1, 0982 1, 0968 1, 1065 1, 1170 | 9,61 10,52 9,10 9,35 | 1, 1040 1, 1028 1, 1043 1, 1061 | 155 157 148 139 | 103 105 99 92. | 47,8 54,5 53,0 48,5 |
| 4 | 0,61 | 13 14 15 16 | 1, 0771 1, 0323 1, 0553 1, 0780 | 9,82 13,15 10,53 9,35 | 1, 0613 1, 0529 1, 0580 1, 0605 | 135 178 153 133 | 90 119 102 89 | 45,5 55,5 52,0 50,0 |

постоянном токе /см. колонку 4 таблицы/. Различна также крутизна прямой ветви в окрестности рабочего тока /150 А/. Некоторые данные таблицы для наглядности представлены графически на рис. 3.

Как следует из приведенных результатов измерений, подбор тиристоров по величине классификационного напряжения не обеспечивает ни равенства токов тиристоров, ни равенства температур их корпусов при параллельном соединении. Лучших результатов следует ожидать при подборе тиристоров по двум параметрам: U и r ; здесь U - пороговое напряжение тиристора, r - динамическое сопротивление тиристора. Однако отсутствие таких данных в паспортах приборов требует проведения трудоемких измерений.

Определим максимально допустимую температуру (θ_{KM}) основания корпуса тиристора при максимальном токе $I_T = 150$ А:

$$\theta_{KM} = \theta_M - U_T I_T R_T;$$

подставив значения $\theta_M = 110 \pm 5^\circ\text{C}$, $R_T \leq 0,2^\circ\text{C}/\text{Вт}$ /по справочным данным/, $U_T = 1,1$ В /из таблицы/, получим $\theta_{KM} = 77 \pm 5^\circ\text{C}$. Из таблицы и графика видно, что тиристоры коммутатора работают с запасом по температуре основания порядка 20°C /температура охлаждающей воды $25 \pm 2^\circ\text{C}$ /. Такой запас вполне достаточен для обеспечения высокой надежности коммутатора.

Принципиальная схема устройства управления и защиты реверсивного коммутатора представлена на рис. 4. Основные узлы устройства управления и защиты: дроссели насыщения /Др1, Др2/, выпрямители с удвоением напряжения /Д1, Д2, С1, С2; Д3, Д4, С3, С4/, триггер /ИС1/, логический компаратор /ИС2/, каскады усиления /Т1÷Т4/, реле отключения /РО/, реле переключения /РП/, вспомогательное реле отключения, промежуточное реле и контакторное устройство /РО, ПР и К, см. рис. 5/. РО, РП, РО', ПР и К являются исполнительными элементами УУЗ РК.

Дроссели Др1 и Др2 совместно с резисторами R7 и R8 образуют мостовую схему переменного тока /напряжение питания моста - 6,3 В, частота - 50 Гц/. При нормальной работе коммутатора сердечники дросселей

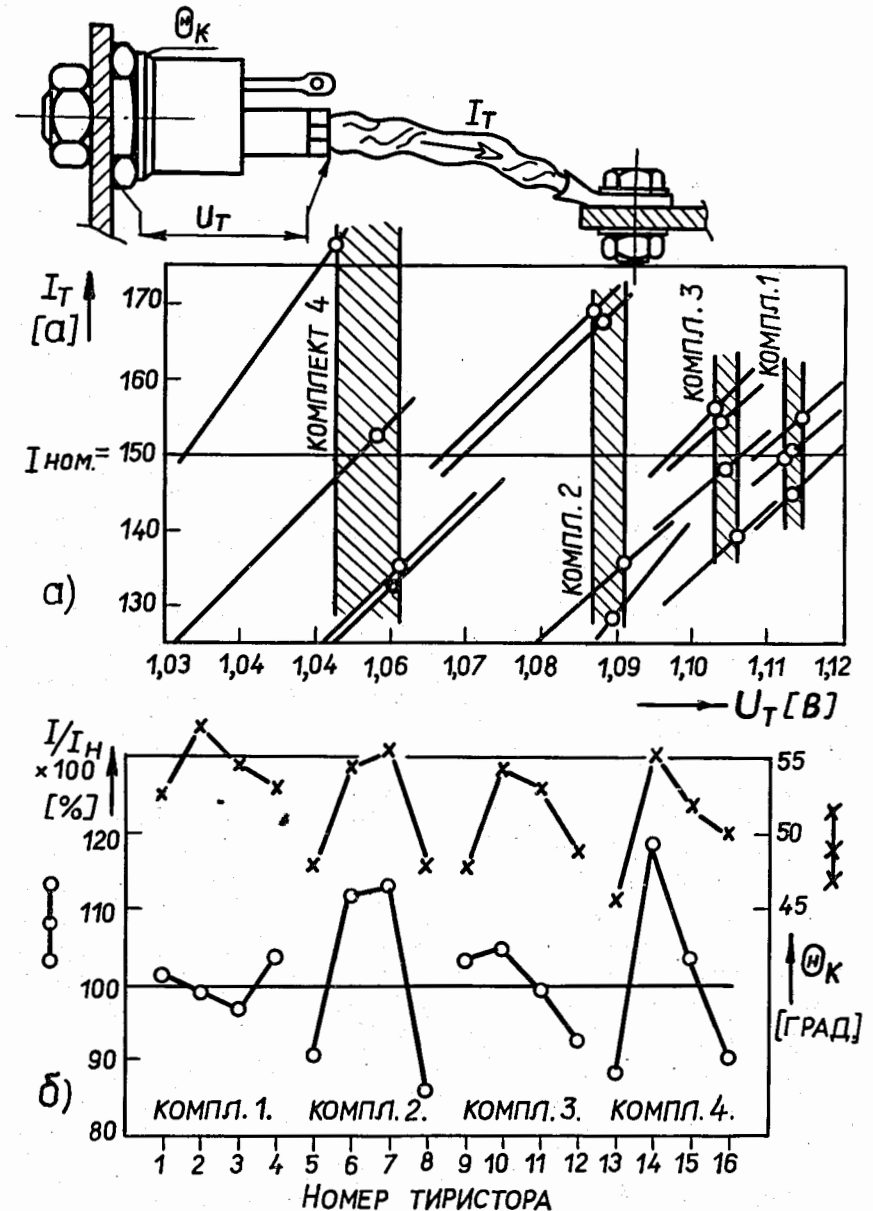


Рис. 3. Участки вольт-амперных характеристик тиристоров /а/, распределение токов и температур корпусов /б/.

приводятся в состояние насыщения током I_H , протекающим через их первичные обмотки. Поэтому напряжения на вторичных обмотках дросселей равны нулю, транзисторы Т3 и Т4 заперты, обмотка РО обесточена. При коротком замыкании в плечах коммутатора на выходе моста появляется напряжение разбаланса, РО приводится в действие и обеспечивает отключение выпрямителя В от сети.

Логический компаратор выполняет логическую функцию в соответствии со следующей таблицей:

| Входы | | Выход |
|--------------|--------------|---------------------|
| от ПУ /А/ | от РП /В/ | коллектор Т2 /F/ |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

/или $F = \bar{A}B + A\bar{B}$, где А - сигнал команды на реверсирование тока, В - информационный сигнал о действительном состоянии коммутатора/.

Таким образом, выходной сигнал логического компаратора, который тоже действует на РО, обеспечивает выключение выпрямителя В при реверсировании тока.

Триггер используется в качестве запоминающего устройства. Он управляется сигналом от ПУ, но изменение его состояния происходит только при наличии на его втором входе сигнала об отключении контактора К. При выполнении команды на реверсирование тока УУЗ РК последовательно осуществляет следующие операции: а/ выключает выпрямитель В, б/ производит изменение состояния реверсивного коммутатора, в/ включает выпрямитель В.

Опытный экземпляр реверсивного коммутатора изготовлен, испытан и введен в опытную эксплуатацию. После коррекции конструкции и схем по результатам опытной эксплуатации будет изготовлена небольшая серия таких коммутаторов для ускорителя У-120М.

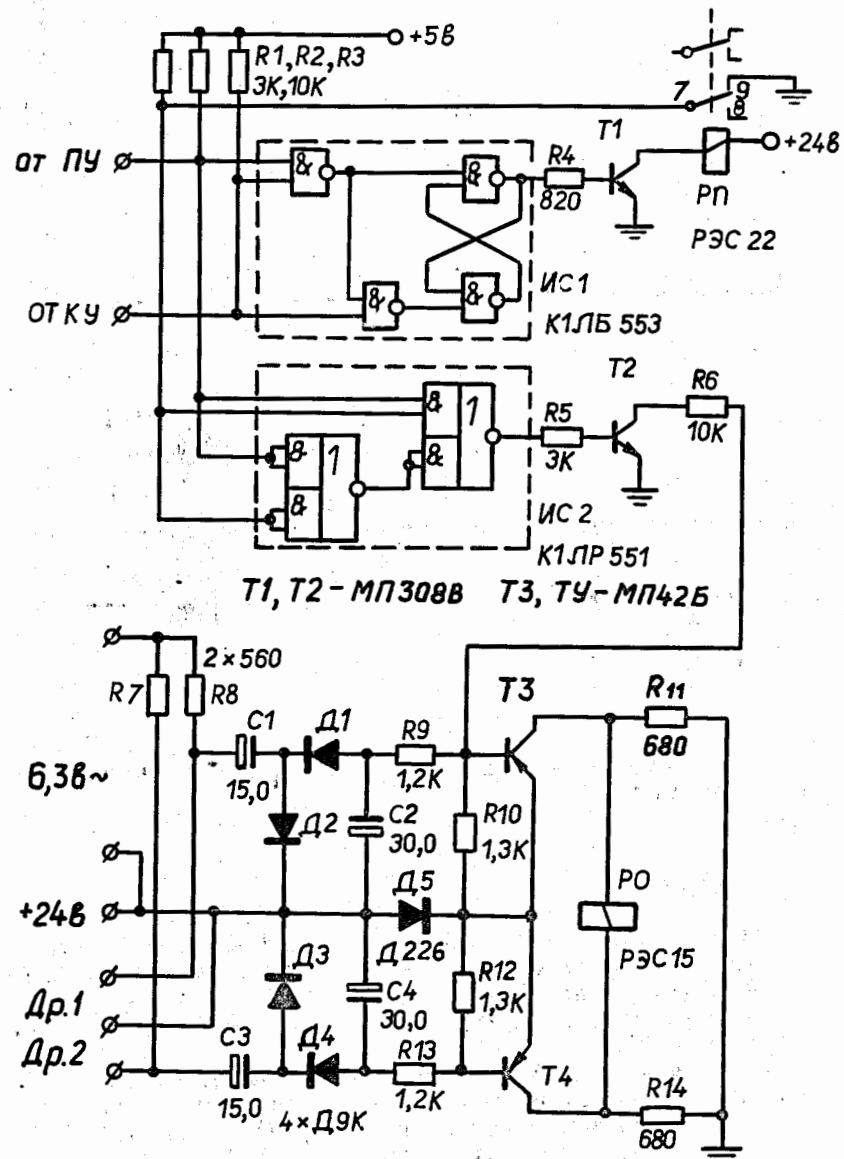


Рис. 4. Принципиальная схема УУЗ РК.

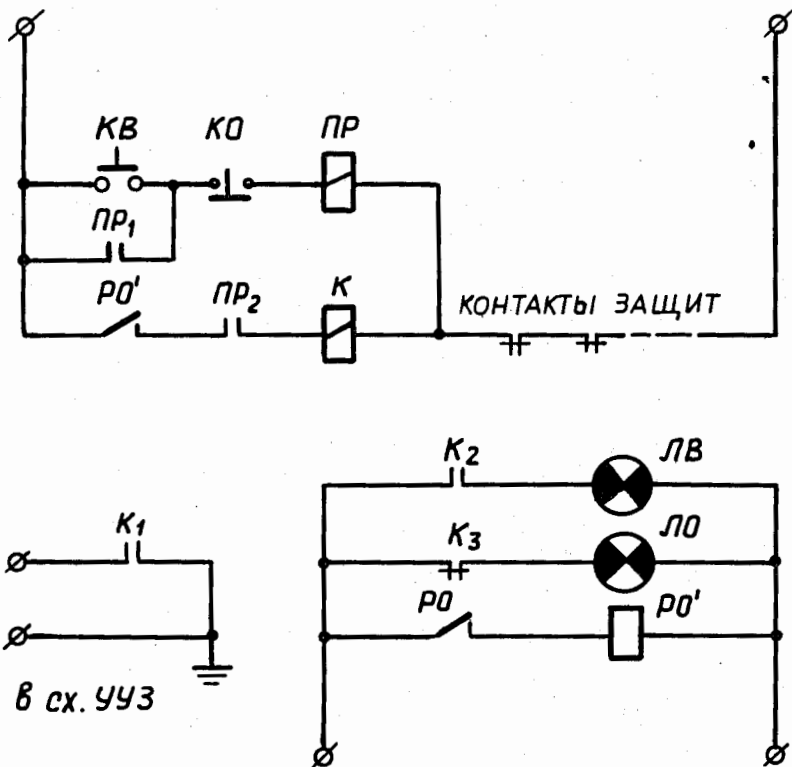


Рис. 5. Принципиальная схема управления контакторным устройством.

Литература

1. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, А.А.Кропин, Н.А.Морозов. Препринт ОИЯИ, Р9-7339, стр. 48, Дубна, 1973.
2. Л.К.Богомолова, Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко, В.А.Пережогин. Препринт ОИЯИ, Р9-7339, стр. 62, Дубна, 1973.
3. Э.М.Аптер, Г.Г.Жемеров, И.И.Левитан, А.Г.Элькин. Мощные управляемые выпрямители для электроприводов постоянного тока. М., изд-во "Энергия", 1975.
4. С.Р.Резинский, В.С.Лабковский, И.Х.Евзеров, И.И.Фейгельман, В.М.Венделанд. Конструирование силовых полупроводниковых преобразовательных агрегатов. М., изд-во "Энергия", 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 марта 1976 года.