

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КОЛЛЕКТОР В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО ИНВЕРСИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Э. Ф. ОБЕРГАН, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Рекомендовано семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В автоматизированном электроприводе переменного тока наилучшими технико-экономическими показателями обладают системы, построенные на использовании частотного метода регулирования скорости исполнительного двигателя.

В качестве источников переменного тока регулируемой частоты в подобных системах широко известны инверторы и преобразователи на транзисторах и тиристорах.

Одна из наиболее совершенных схем инвертора приведена на рис. 1, однако широкое распространение их на практике ограничено следующими им присущими недостатками:

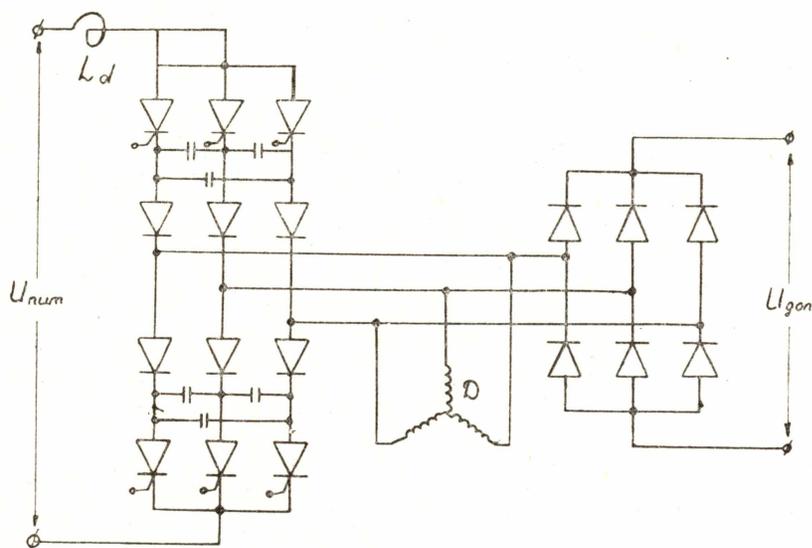


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема независимого инвертора.

1. В пусковом режиме двигателя  $D$ , так же как и в тормозном режиме, не обеспечивается надежная работа тиристорov. В ряде случаев эти режимы являются для схемы аварийными.

2. Несинусоидальная форма кривой напряжения и тока на выходе инвертора с большим коэффициентом искажения формы кривой.

3. Снижение к. п. д. вследствие необходимости включения в цепь постоянного тока дросселя с большой индуктивностью.

4. Диапазон изменения частоты ограничен вследствие необходимости пропорционального с изменением частоты изменения напряжения питания.

5. Для обеспечения работы схемы в практически приемлемом диапазоне изменения  $\cos \phi$  нагрузки приходится применять дополнительный выпрямитель обратного тока.

При необходимости получения источника переменного тока регулируемой частоты в системах, питаемых от трехфазной сети, используются схемы преобразователей, вариант тиристорной силовой части которых приведен на рис. 2.

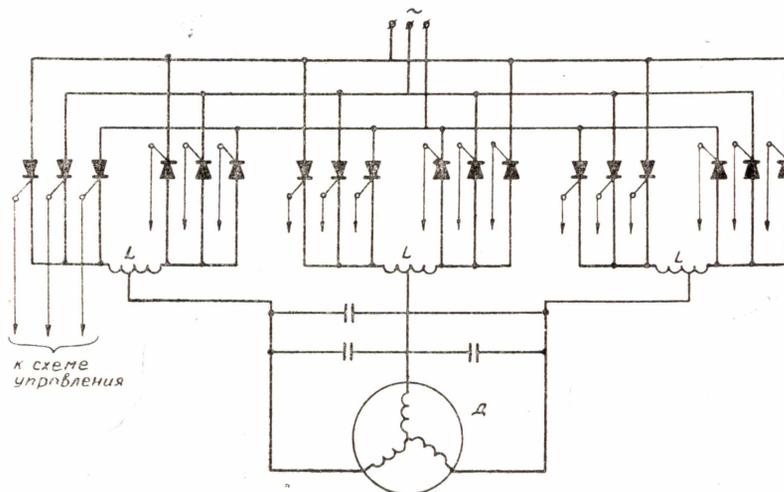


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема силовой ступени преобразователя частоты с питанием от сети переменного тока.

Основные недостатки подобных схем включают перечисленные в п. 1, 2, 4 недостатки инверторных схем и дополнительно следующие:

1. Громоздкая и сложная система управления тиристорами.

2. Невозможность получения без значительного усложнения схемы и конструкции заключающегося в осуществлении промежуточных преобразователей практически приемлемого диапазона регулирования выходной частоты, так как верхний предел регулируемой выходной частоты составляет не более  $0,2 \div 0,25$  от частоты питания.

В значительной степени избежать указанных недостатков можно, применяя комбинированные электронно-машинные схемы инверторов и преобразователей.

В этом случае, в качестве электромашинной части используется трансформатор, выполненный на кольцевом магнитопроводе, одна часть которого (рис. 3) выполнена зубчатой, а другая в виде гладкого цилиндра.

В пазы магнитопровода закладываются две обмотки, одна из которых, первичная, выполнена в виде якорной обмотки с выводами от секций, а другая, вторичная, выполнена в виде трехфазной (в общем случае  $m$ -фазной) обмотки электрической машины.

В некоторых случаях можно ограничиться одной первичной обмоткой, тогда выходное напряжение, например 3-фазное, снимается с трех выводов, расположенных под углом  $120^\circ$ . Электронная часть представляет собой полупроводниковый коллектор (коммутатор), соединенный с выводами обмотки.

В качестве примеров рассмотрим электронно-машинные схемы преобразователя переменного тока фиксированной частоты в переменный ток регулируемой частоты и инвертора с регулируемой частотой на выходе.

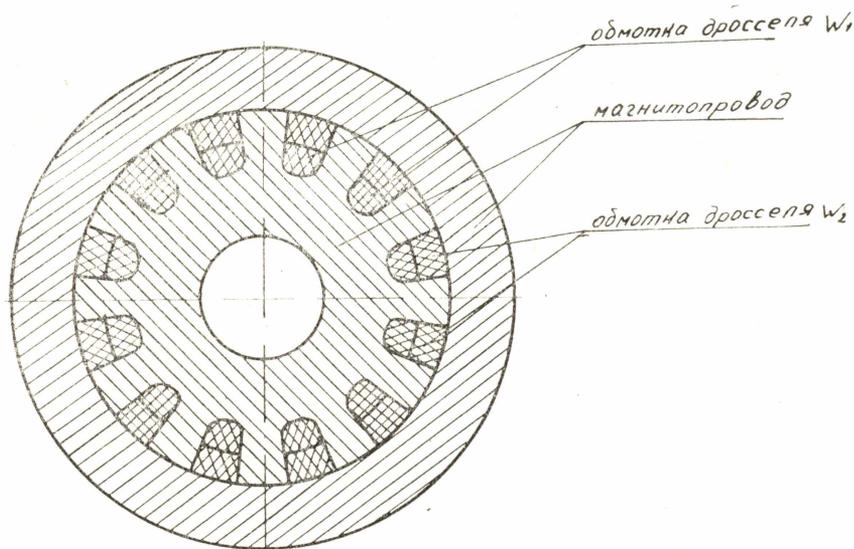


Рис. 3. Схема конструкции кольцевого трансформатора с электромашиной обмоткой.

Пример 1. Принципиальная электрическая схема преобразователя приведена на рис. 4. Через клеммы  $A_1B_1C_1$  обмотка питается от трехфазного источника переменного тока фиксированной частоты.

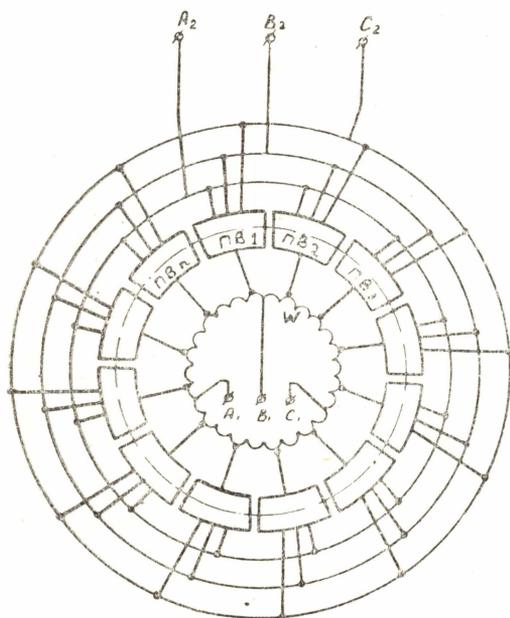


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема преобразователя с полупроводниковым коллектором.

В данном примере каждая группа  $ПВ$  состоит из трех тиристоров, так как с клемм  $A_2B_2C_2$  снимается трехфазное напряжение. Выходы обмотки соединены с группами тиристоров  $ПВ$ . Каждая группа  $ПВ$  включает в себя тиристоры, соединенные каждый с определенной фазой  $m$ -фазной системы выходного напряжения.

Способ соединения тиристоров с выводами обмотки и шинами трехфазной выходной цепи показан на рис. 5.

Для обеспечения симметричного трехфазного напряжения в выходной сети  $A_2B_2C_2$  в каждый момент времени должны быть открыты только три тиристора, каждый из которых соединен с одной из шин  $A_2B_2C_2$  и одним из трех выводов обмотки, расположенных под углом  $120^\circ$ .

Управление тиристорами осуществляется от кольцевой пересчетной схемы, питаемой от задающего генератора переменной частоты. Каждая ячейка пересчетной схемы питает управляющие электроды одновременно трех тиристоров.

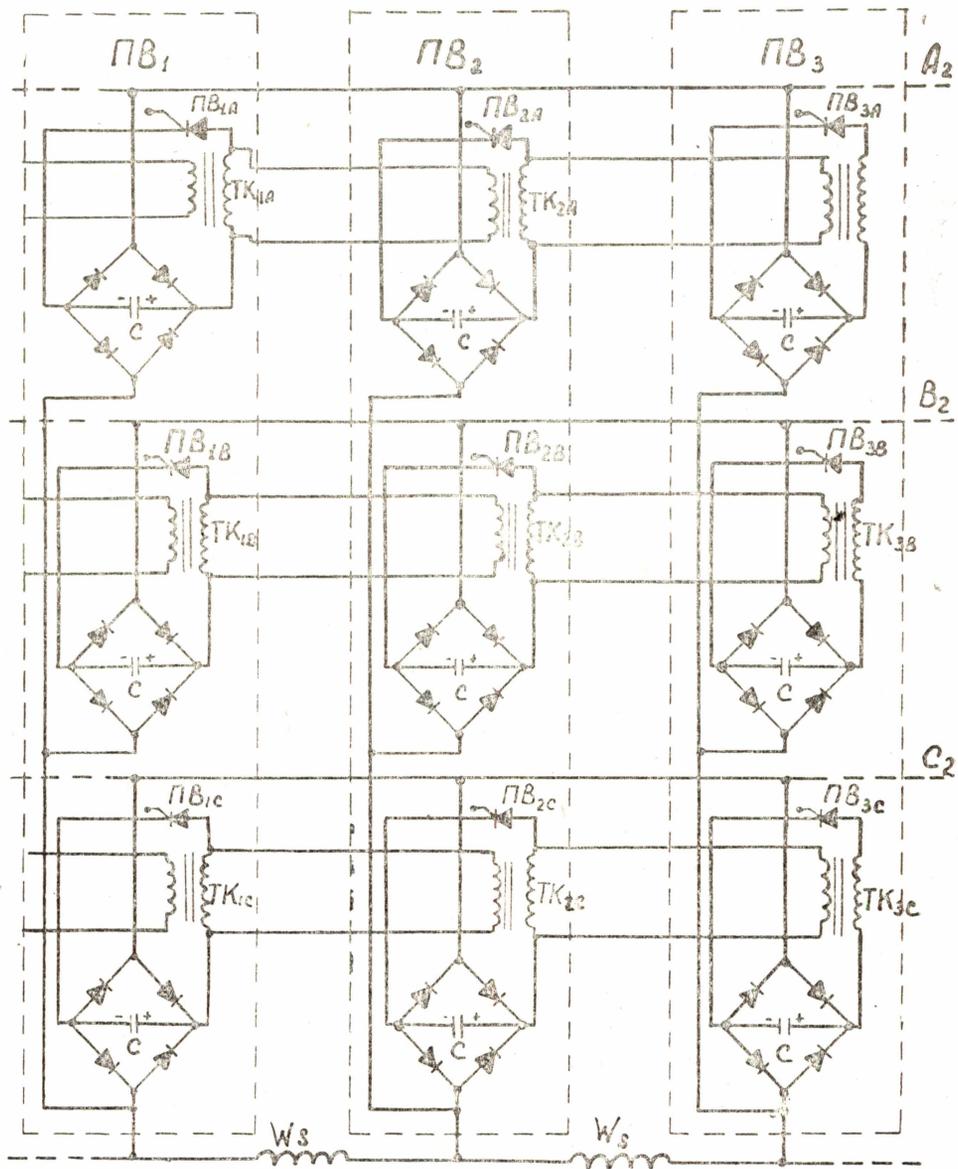


Рис. 5. Электрическая схема соединения ячеек полупроводникового коллектора преобразователя с обмоткой и шинами выходной сети.

Если первый управляющий импульс от пересчетной схемы открывает тиристоры

$$ПВ_{1A}; ПВ\left(\frac{n}{3} + 1\right)B \text{ и } ПВ\left(\frac{2n}{3} + 1\right)C,$$

где  $n$  — число выводов обмотки, то следующий управляющий импульс от сменной ячейки пересчетной схемы открывает тиристоры

$$ПВ_{2A}; ПВ\left(\frac{n}{3} + 2\right)B \text{ и } ПВ\left(\frac{2n}{3} + 2\right)C$$

и так далее.

Запирание открытого тиристора при открывании следующего по порядку тиристора рассмотрим на примере тиристорov  $ПВ_{1A}$  и  $ПВ_{2A}$ .

При подаче управляющего импульса на тиристор  $ПВ_{2A}$  последний открывается и при наличии напряжения между точками обмотки, соответствующими выводам  $ПВ_2$ ;  $ПВ \left( \frac{n}{3} + 2 \right)$  и  $ПВ \left( \frac{2n}{3} + 2 \right)$ , первичная обмотка коммутирующего трансформатора  $ТК_{2A}$  оказывается под напряжением.

Со вторичной обмотки трансформатора  $ТК_{2A}$  напряжение подается на первичную обмотку трансформатора  $ТК_{1A}$  таким образом, чтобы минус указанного напряжения прикладывался к аноду тиристора.

Принимая во внимание, что при открытом тиристоре  $ПВ_{1A}$  напряжение на обкладках конденсатора, включенного в диагональ моста, параллельно тиристору  $ПВ_{1A}$  и первичной обмотке трансформатора  $ТК_{1A}$ , значительно меньше э. д. с., индуктируемой во вторичной обмотке трансформатора  $ТК_{2A}$ , то указанная э. д. с. оказывается приложенной через конденсатор к тиристору  $ПВ_{1A}$  в обратном направлении, т. е. в направлении запирания этого тиристора.

При соответствующем расчете трансформатора  $ТК_{2A}$ , обеспечивающем значение индуктированной во вторичных обмотках э. д. с. большей, чем э. д. с., наводимой в части обмотки  $W_s$ , заключенной между смежными выводами, после включения тиристора  $ПВ_{2A}$  тиристор  $ПВ_{1A}$  запирается.

Аналогично работают все другие тиристоры.

В результате последовательного переключения групп тиристорov с частотой, пропорциональной частоте  $f_{\text{упр}}$  задающего генератора, частота  $f_2$  выходного напряжения на клеммах  $A_2B_2C_2$  равна

$$f_2 = f_1 \pm \frac{f_{\text{упр}}}{n},$$

где  $f_1$  — частота питающей сети  $A_1B_1C_1$ .

Амплитуда выходного напряжения при любой частоте равна амплитуде входного напряжения.

Пример 2. Принципиальная схема инвертора представлена на рис. 6.

В данном случае каждая группа  $ПВ$  состоит из двух тиристорov „В“, один из которых соединен с шиной „+“ питающего напряжения, а другой — с шиной „—“.

Схема управления тиристорами  $B$  построена так, что в каждый данный момент времени, исключая периоды коммутации, открыты только два тиристора  $B$ , соединенных с разнополярными шинами питания и расположенных в группах  $ПВ$ , соединенных с диаметрально противоположными выводами обмотки  $W_1$ .

При подаче напряжения  $U_{\text{пит}}$  по обмотке  $W_1$  протекает постоянный ток, обуславливающий в магнитопроводе постоянный во времени и определенным образом ориентированный магнитный поток.

Работу схемы рассмотрим на примере работы двух пар  $ПВ$ , связанных с диаметрально расположенными секциями  $W_s$  обмотки  $W_1$ , принципиальная электрическая схема которых приведена на рис. 7.

Если в начальный момент времени являются открытыми и проводят ток тиристоры  $B_1 B_2$ , то по обмотке  $W_1$  протекает ток

$$i = \frac{U_{\text{пит}}}{R}.$$

Здесь  $R$  — омическое сопротивление двух параллельных ветвей обмотки  $W_1$ , замеренное в точках  $a$  и  $b$ .

Вследствие постоянства во времени и в пространстве магнитного потока, создаваемого током  $i$ , в обмотке  $W_2$  не будут находиться э. д. с. и соответственно протекать токи.

Управление тиристорами также осуществляется импульсами тока, снимаемыми с кольцевой пересчетной схемы, питаемой задающим генератором.

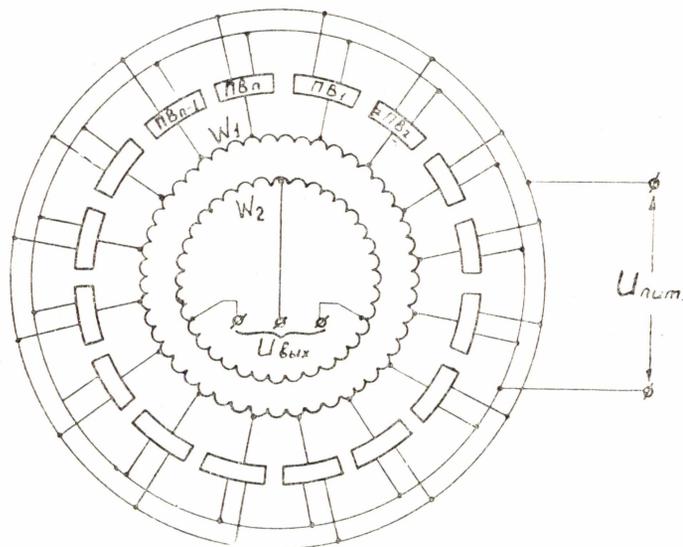


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема электронно-машинного инвертора с полупроводниковым коллектором.

При подаче управляющего импульса на следующие по порядку, т. е. смежные с  $B_1$  и  $B_2$  тиристоры  $B_3$  и  $B_4$ , наступает период коммутации тока с выводов  $a$  и  $b$  на выводы  $a^1$  и  $b^1$  обмотки  $W_1$ .

При этом конденсаторы  $C_{13}$  и  $C_{24}$ , разряжаясь через открытые тиристоры  $B_1, B_3$  и  $B_2, B_4$ , обеспечивают условия запираания тиристоров  $B_1$  и  $B_2$ . Наличие диодов  $D_1, D_2, D_3$  и  $D_4$  предотвращает разряд конденсаторов  $C_{13}$  и  $C_{24}$  на секции  $W_s$ .

При поступлении следующего управляющего импульса открываются следующие по порядку тиристоры, смежные с тиристорами  $B_3$  и  $B_4$ , которые при этом запираются и т. д.

Последовательное включение закрытых и запираение смежных ранее открытых тиристоров приводит к перемещению точек подключения питающего напряжения к обмотке  $W_1$  вдоль этой обмотки.

Поскольку направление оси магнитного потока, образуемого током, протекающим по обмотке  $W_1$ , совпадает с осью, проходящей через точки подключения напряжения  $U_{пит}$  к обмотке  $W_1$ , то перемещение точек подключения вызывает поворот в пространстве постоянного магнитного потока.

Скорость вращения магнитного потока определяется скоростью переключения групп  $ПВ$ , что в свою очередь определяется частотой задающего генератора и числом групп  $ПВ$ , равным числу выводов обмотки  $W_1$ .

Вращение постоянного магнитного потока в пространстве приводит к индуктированию в обмотке  $W_2$  э. д. с. и обеспечивает на выходе инвертора трехфазное напряжение  $U_{вых}$  синусоидальной формы.

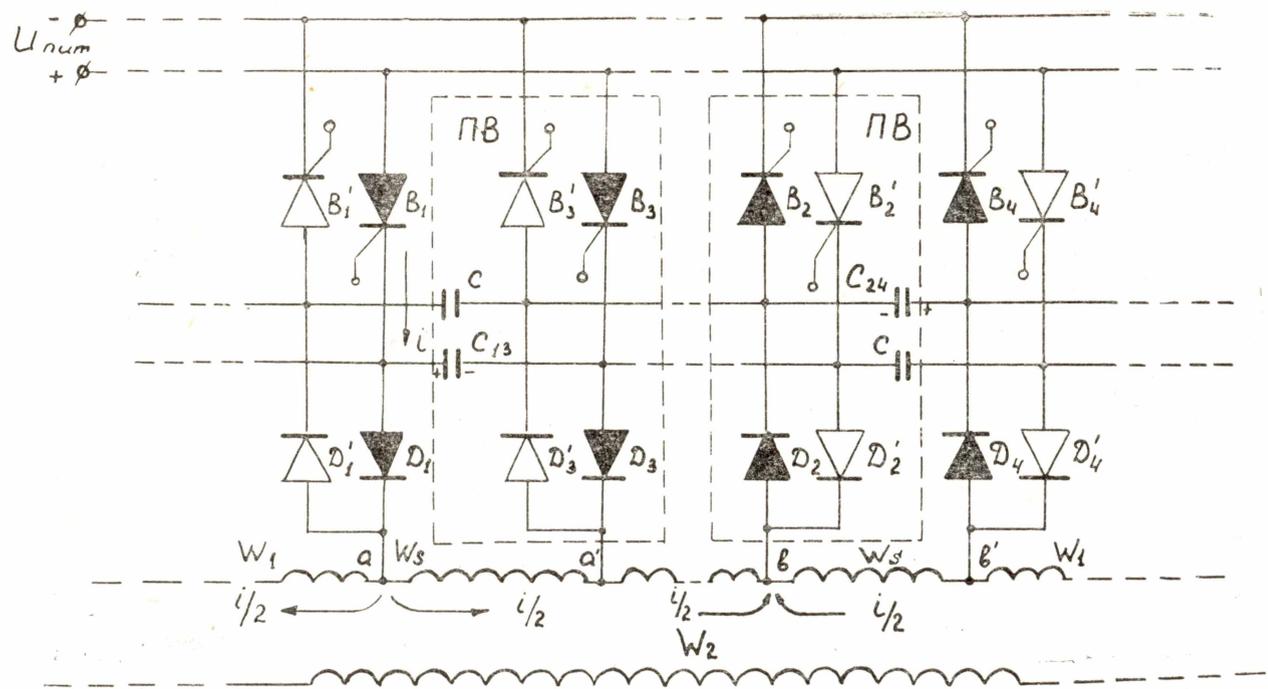


Рис. 7. Электрическая схема соединения ячеек полупроводникового коллектора инвертора с обмоткой и источником питания.

## Выводы

Применение полупроводникового коллектора в схемах электромагнитного инверсирования и преобразования позволяет получить пределы регулирования частоты выходного напряжения от нуля до нескольких сотен герц. Верхний предел выходной частоты ограничивается временем восстановления управляющих свойств тиристоров и не зависит от источника питания схемы.

Регулирование выходной частоты значительно упрощено при любом характере нагрузки.

Работа схемы инвертора исключительно надежна, в частности, даже при полном коротком замыкании вторичной обмотки, ток в первичной обмотке и, следовательно, через тиристоры не превысит номинальной величины, определяемой омическим сопротивлением обмотки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ш. И. Лутидзе. Полупроводниковая коммутация электрических машин. Сб. «Режимы работы электросистем и регулирование синхронных машин», Издательство Наука, 1964.
  2. Ш. И. Лутидзе. Управления и схемы электрических машин с управлением полупроводниковым коммутатором. Известия АН СССР, № 6, 1964.
  3. И. Л. Каганов. Электронные и ионные преобразователи. ч. III, ГЭИ. 1956.
  4. Ш. И. Лутидзе. Электрические машины с управляемым полупроводниковым коммутатором. АН СССР, Электроэнергетика, вып. 5, 1962.
-