

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## Карташов Р. П., Кулиш А. К., Чехет Э. М. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией

Р. П. Карташов, А. К. Кулиш, Э. М. Чехет

### ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ С ИСКУССТВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

КИЕВ «ТЕХНІКА» 1979

Карташов Р. П. и др.

К27 **Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией.** К., «Техніка», 1979. 152 с. Список лит.: с. 147—150. Перед загл. авт.: Р. П. Карташов, А. К. Кулиш, Э. М. Чехет.  
6000 экз. 50 к.

В книге рассмотрены схемы тиристорных преобразователей частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией. Особое внимание уделено преобразователям частоты с однократной модуляцией. Показаны особенности построения устройств искусственной коммутации при различных способах формирования кривой выходного напряжения. Приведены данные для расчета параметров некоторых схем. Рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и эксплуатацией устройств силовой преобразовательной техники.

30307-004

202 (04) 79

41-79 2302030000 6П2.1.082

Рецензенты кандидаты техн. наук В. Ф. Басовский, В. А. Сушко

Редакция литературы по энергетике, электронике, кибернетике и связи Зав. редакцией З. В. Божко

Издательство «Техніка», 1979

### Содержание книги **Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией**

Предисловие

#### **I. Преобразование частоты в тиристорных схемах с искусственной коммутацией**

1. Функциональные схемы вентильных преобразователей частоты
2. Способы формирования напряжения
3. Искусственная коммутация в преобразователях частоты с непосредственной связью
4. Применение коммутационных функций для расчета тиристорных преобразователей
5. Принцип однократного преобразования частоты
6. Особенности преобразования частоты при однократной модуляции

#### **II. Тиристорные схемы преобразования частоты с однократной модуляцией**

1. Разновидности схем

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

2. Схемы с диодно-тиристорными ключами
3. Трансформаторно-тиристорные схемы
4. Схемы с тиристорными ключами
5. Схемы с избирательной коммутацией
6. Схемы с неизбирательной коммутацией
7. Сравнение способов искусственной коммутации
8. Расчет параметров тиристорных схем

## **III. Области применения преобразователей частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией**

1. Регулируемый и электропривод переменного тока
2. Системы электропитания стабильной частоты
3. Источники реактивной мощности
4. Источники тока частоты скольжения и инфранизких частот
5. Измерение несимметрии систем переменного тока

Список литературы

### **Список литературы**

1. Автономные инверторы. Кишенев, «Штиинца», 1974. 336 с. с ил. Авт. Ю. П. Гончаров, В. В. Ермуратский, Э. И. Заика, А. Ю. Штейнберг.
2. Асинхронизированный синхронный генератор как автономный источник электроэнергии переменного тока постоянной частоты при переменной скорости привода. — Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1968—1969 гг. Секция электромеханическая. М., 1969, с. 7—12. Авт.: А. Б. Апаров, В. Г. Еременко, Н. Т. Коробан, Н. З. Мастяев.
3. Ботвинник М. М., Шакарян Ю. Г. Управляемая машина переменного тока. М., «Наука», 1969. 139 с. с ил.
4. Булгаков А. А. Новая теория управляемых выпрямителей. М., «Наука». 1970. 320 с. с ил.
5. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М., «Наука», 1966. 297 с. с ил.
6. Глазенко Г. А., Гончарежо Р. Б. Полупроводниковые преобразователи частоты в электроприводе. Л., «Энергия», 1969. 84 с. с ил.
7. Грабовецкип Г. В. Анализ и методика расчета силовых цепей вентильных преобразователей частоты с непосредственной связью. Автореф. д-р. дис. Новосибирск, 1968.
8. Дорошин Е. Р. Управление тиристорными преобразователями частоты с широтно-импульсным регулированием. В кн.: Современные задачи преобразовательной техники. Ч. 2. Киев, 1975, с. 199—207.
9. Журавлев А. И. Преобразователь низкой частоты. — В кн.: Автоматизированный электропривод производственных механизмов. Т. 3. М., 1966, с. 298—303.
10. Забродин Ю. С. Узлы принудительной конденсаторной коммутации. М., «Энергия», 1974. 128 с. с ил.
11. Загорский В. Т. Технико-экономические показатели непосредственных тиристорных преобразователей с принудительной коммутацией. — «Электричество», 1969. № 1, с. 35—41.
12. Зиновьев Г. С, Попов В. И. Анализ способов формирования кривой выходного напряжения автономных инверторов напряжения. В кн.: Преобразовательная техника. Кн. 1. Новосибирск, 1968, с. 79—95.
13. Зиновьев Г. С, Попов В. И. Инвертор напряжения с непосредственным питанием от

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- трехфазной сети.— В кн.: Преобразовательная техника. Кн. 2. Новосибирск, 1968, с. 208—223.
14. Зиновьев Г. С., Попов В. И. О построении систем управления инверторами напряжения без звена постоянного тока.— В кн.: Преобразовательная техника. Кн. 2. Новосибирск, 1968, с. 290—307.
15. Зиновьев Г. С., Попов В. И. Устройство для управления вентильным преобразователем частоты. А. с. № 283385, опубл. 14.10.70.
16. Зиновьев Г. С., Уланов Е. И. Способ управления инвертором напряжения.— В кн.: Преобразовательная техника. Новосибирск, 1975 с. 24—28.
17. Иванчура В. И., Соустий Б. П., Шурыгин Ю. А. Электромагнитные процессы в многофазном мостовом инверторе напряжения. — В кн.: Материалы VIII научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. Т. IV. Томск, 1974, 103—106.
18. Исследование электромагнитных процессов в системе автономных инверторов напряжения с ШИР. — В кн.: Современные задачи преобразовательной техники. Ч. 2. Киев, 1975, с. 83—89. Авт.: В. А. Жеглов, Э Я. Коркия, В. А. Лабунцов, А. П. Сытин.
19. Карташов Р. П. Основные энергетические соотношения в ключевых преобразователях частоты с искусственной коммутацией. В кн.: Материалы VIII научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. Т. IV. Томск, 1974, с. 21—24.
20. Карташов Р. П. Применение комплексного метода для анализа процессов в ключевых преобразователях.— В кн.: Проблемы технической электродинамики. Вып. 45. Киев, 1974, с. 33—39.
21. Карташов Р. П. Разработка и исследование статических преобразователей частоты с многофазной модуляцией. Автореф. канд. дис. Киев, 1966. 21 с.
22. Карташов Р. П. Тиристорные ключевые преобразователи частоты с однократной модуляцией. — В кн.: Повышение эффективности устройств преобразовательной техники. Ч. 1. Киев, 1-972 с. 133—143.
23. Карташов Р. П. Трансформация частоты в статических преобразователях с однократной модуляцией. Препринт-21. Киев, 1971. 53 с. с ил.
24. Карташов Р. П., Корнилов Б. В., Корольков К. М. Преобразователь частоты с непосредственной связью. А. с. № 373882, опубл. 12.03.73.
25. Карташов Р. П., Корнилов Б. В., Чехет Э. М. Основные схемы тиристорных преобразователей частоты с однократной модуляцией. — В кн.: Современные задачи преобразовательной техники, Киев, 1975, с. 136—145.
26. Карташов Р. П., Чехет Э. М. О построении вентильных преобразователей частоты с непосредственной связью.— В кн.: Проблемы технической электродинамики. Вып. 24. Киев, 1970, с. 20—24.
27. Карташов Р. П., Чехет Э. М. Преобразователь частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией. А. с. № 325671, опубл. 07.01.72.
28. Карташов Р. П., Чехет Э. М. Функциональные схемы преобразователей частоты. — В кн.: Устройства преобразовательной техники. Вып. 2. К., 1969, с. 99—108.
29. Карташов Р. П., Чехет Э. М., Дорошин Е. Р. Преобразователь частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией. А. с. № 483743, опубл. 05.09.75.
30. Козляев Ю. Д. Анализ электромагнитных процессов в преобразователе частоты с многократным ШИР. — В кн.: Повышение эффективности устройств преобразовательной техники. Ч. 2. Киев, 1972, с. 203—213.
31. Кривицкий С. О., Эпштейн И. И. Динамика частотно-регулируемых электроприводов с автономными инверторами. М., «Энергия», 1970. 152 с. с ил.

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

32. Милях А. Н., Кубышин Р. Е., Карташов Р. П. Статический электромагнитный преобразователь частоты и числа фаз А. с. № 472429, опубл. 30.05.75.
33. Милях А. Н., Федий В. С., Чехет Э. М. Способ автоматического регулирования величины и знака реактивной мощности. А. с. № 353314, опубл. 29.09.72.
34. Мыцык Г. С. Расчет параметров входного и выходного токов полностью управляемых непосредственных преобразователей с циклическим алгоритмом управления.— «Электричество», 1977, № 11 с. 62—67.
35. Мыцык Г. С., Мастяев Н. З. Преобразователь частоты с непосредственной связью. А. с. № 314271, опубл. 07.09.71.
36. Основные характеристики непосредственного преобразователя частоты.— В кн.: Современные задачи преобразовательной техники. Вып. 4, 5. Киев, 1975, с. 130—136. Авт.: В. А. Фокин, Ю. В. Васильев, С. В. Смоляков, А. К. Кулиш.
37. Петров Н. К. Исследование моментов асинхронного электропривода при наличии в двигателе полей, вращающихся с разными скоростями. Автореф. канд. дис. Одесса, 1971. 22 с. с ил.
38. Преобразователь частоты с непосредственной связью. А. с. № 309435, опубл. 09.07.71. Авт.: А. Н. Милях, Р. П. Карташов, К. М. Корольков, Б. Е. Пьяных, Э. М. Чехет.
39. Принудительная коммутация в непосредственном преобразователе. В кн.: Устройства преобразовательной техники. Вып. 1. Киев, 1969, с. 169—179. Авт.: Ю. Ф. Берсенев, Г. С. Дворкина, В. Т. Загорский, Ю. Д. Козляев, А. П. Малахов, Г. Н. Малахова.
40. Регулирование частоты и напряжения непосредственного тиристорного преобразователя с принудительной коммутацией. — В кн.: Устройства преобразовательной техники. Вып. 1. Киев, с. 151—159. Авт.: В. Т. Загорский, А. П. Малахов, Ю. Д. Козляев, А. П. Миняйло, Т. Е. Сафронова, В. Н. Самуйло.
41. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями. М., «Энергия», 1966. 143 с. с ил.
42. Сенько Л. И., Чехет Э. М. Тиристорный преобразователь частоты с однократной модуляцией для частотного регулирования скорости асинхронного двигателя.— В кн.: Современные задачи преобразовательной техники. Ч. 2. Киев, 1975, с. 124—132.
43. Способы управления преобразователями частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией. Рига, «Зинатне», 1976. 159 с. с ил. Авт.: Л. А. Рутманис, Я. П. Дрейманис, О. И. Аржаник.
44. Статический источник реактивной мощности. А. с. № 448534, опубл. 30.10.74. Авт.: Р. П. Карташов, Б. Е. Пьяных, Л. В. Чуфрякова, В. И. Шахраук.
45. Толстое Ю. Г., Мирабишвили П. Ф. Использование коммутационных функций и интеграла Дюамеля для исследования переходных процессов в автономных инверторах тока.— IV Всесоюз. межвуз. конференция по теории и методам расчета нелинейных электрических цепей и систем. 1971 г. Тезисы докл. Вып. 2. Ташкент, 1971, с. 196—198.
46. Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Сахаров Ю. В. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. М., «Энергия», 1975. 511 с. с ил.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время в силовой преобразовательной технике широко используют мощные полупроводниковые приборы — тиристоры. При незначительных внутренних потерях они позволяют управлять большими мощностями. Это открывает широкие возможности для преобразования напряжения стандартной промышленной частоты в напряжение другой (чаще регулируемой) частоты. Применение частоты питания, отличной от промышленной,

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

позволяет более эффективно использовать электроэнергию, обеспечить оптимальные режимы многих потребителей и интенсификацию технологических процессов.

Разработка и внедрение в промышленность тиристорных преобразователей частоты (ПЧ). Это относится как к их схемам, так и методам их построения. В настоящее время развитие таких ПЧ идет как на основе уже известных схем, построенных ранее на ионных вентилях, так и по пути создания принципиально новых схем, разработка которых стала возможной благодаря применению тиристорных преобразователей.

Работа тиристорных преобразователей основана на коммутации вентилей, суть которой заключается в переводе тока нагрузки с одной ветви на другую, с одного вентиля на другой. При естественной коммутации это осуществляется за счет естественного изменения фазных напряжений и токов в схеме. При искусственной коммутации (ИК) для такого перехода используются специально формируемые в схеме импульсы напряжения и тока.

Искусственная коммутация применялась и раньше в схемах на ионных вентилях.

Однако ИК стала эффективной благодаря применению тиристорных преобразователей, обладающих относительно малыми временами включения и выключения. Широкое применение искусственной коммутации представляет качественный скачок в развитии ПЧ.

Искусственную коммутацию с полным основанием считают новым направлением в преобразовательной технике. Вентильным преобразователям с естественной коммутацией свойствен существенный недостаток: их работа всегда связана с потреблением дополнительной реактивной мощности от сети переменного тока. Этот недостаток устраняется с помощью искусственной коммутации.

С применением искусственной коммутации открылись перспективы создания устройств, работа которых не только связана с дополнительным расходом реактивной энергии, но и дает возможность ее генерирования. В настоящее время ИК широко используется в различных тиристорных устройствах преобразовательной техники. Относительно новым, слабо освещенным в технической литературе, является применение ИК в преобразователях частоты с непосредственной связью.

Преобразователи частоты с непосредственной связью с ИК (НПЧ с ИК) представляют собой полностью управляемые ключевые преобразователи, отличающиеся наибольшими функциональными возможностями, высокими энергетическими показателями, непосредственной двусторонней связью питающей сети и нагрузки. Перечисленные достоинства и привлекают внимание к НПЧ с ИК, которые в целом сейчас представляют новое развивающееся направление в технике тиристорных ПЧ. За последние годы по НПЧ с ИК накоплен теоретический материал, получены практические результаты в различных организациях нашей страны и за рубежом. Развитие НПЧ с ИК происходит по разным направлениям, разнообразны их схемы. Однако сведения о них разбросаны в отдельных статьях и докладах. Авторы попытались в какой-то мере восполнить указанный пробел, написав эту книгу. В книге используется единый подход с общих позиций ко всем НПЧ с ИК, позволивший их удобно классифицировать, выявить и указать их наиболее принципиальные различия и особенности.

Первая и вторая главы книги написаны Р. П. Карташовым и Э. М. Чехетом, третья — авторами совместно. Авторы выражают свою признательность кандидатам техн. наук В. Ф. Басовскому и В. А. Сушко за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании книги.

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

## Глава I

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ В ТИРИСТОРНЫХ СХЕМАХ С ИСКУССТВЕННОЙ КОММУТАЦИЕЙ

#### 1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

В большинстве случаев **преобразователи частоты** различают по схемным признакам, что ограничивает и затрудняет их сравнение, анализ и выбор более удобного типа для решения конкретной задачи, поэтому известная классификация ПЧ по схемным признакам дополняется классификацией по функциональным признакам [28], т. е. по заложенным в них алгоритмам работы.

В **тиристорных преобразователях** процесс преобразования частоты осуществляется за счет периодического воздействия на параметры напряжений и токов нагрузки, т. е. за счет их модуляции. Характер модуляции определяется по алгоритму работы преобразователя и описывается системой так называемых модуляционных или коммутационных функций. По схемным признакам вентильные ПЧ представляют многополюсники, число внешних зажимов которых определяется соответственно числом фаз на первичной и вторичной сторонах. С помощью ключевых вентильных элементов (тириستоров) внутренней схемы многополюсников обеспечиваются взаимные соединения входных и выходных зажимов. Внутренняя схема может быть различной по сложности и конфигурации, что определяется произвольностью выбора числа ветвей и связей между ними. Последнее может быть сокращено приведением сложных схем к более простым, эквивалентным основным схемам.

Функциональные схемы вентильных ПЧ отражают связь между процессами, протекающими в отдельных узлах и элементах преобразователя, и определяют соотношения между различными величинами, характеризующими процесс модуляции, их число, порядок и кратность.

[Скачать книгу](#) Карташов Р. П., Кулиш А. К., Чехет Э. М. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией. Киев, Издательство «Техніка», 1979