

МИХАЙЛОВСКАЯ ВОЕННАЯ АРТИЛЛЕРИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ

Презентация по дисциплине
«Электрические и электронные аппараты»

Тема №6. Микропроцессорные и гибридные
аппараты

Занятие №28. Гибридные электрические аппараты

*Доцент 8 кафедры, к.т.н., доцент
подполковник Сулима А.А.*





Вопросы занятия:

1. Гибридные аппараты постоянного тока. Способы соединения ключей.
2. Гибридные аппараты переменного тока.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С.: Электрические аппараты: Уч. пос. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2018 - 303 с.
2. Электрические аппараты управления и автоматики: учеб. пособие / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев, В.Я. Фролов. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 256 с.
3. Электронные аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П. А. Курбатова. - М.: Издательство Юрайт, 2017. - 195 с.
4. Электрические аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П. А. Курбатова. - М.: Издательство Юрайт, 2017. - 250 с.
5. Электрические и электронные аппараты: электронный учебник / Сулима А.А., Гнутиков А.Н., Клавдиев А.А. – СПб. – МВАА, 2019.
6. Основы теории электрических аппаратов / Под ред. П.А. Курбатова. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 592 с.



Учебный вопрос №1

**Гибридные аппараты постоянного
тока. Способы соединения
ключей**

По статическим ВАХ, зависящим от проводимости во включенном и выключенном состояниях, электрохимические ключи приближаются к идеальным.

По динамическим ВАХ, характеризующим быстродействие, статические ключи приближаются к идеальным.

Электрохимические и статические коммутационные аппараты не исключают друг друга, а дополняют и расширяют область рациональных технических решений задач коммутации.

Статические и электромеханические ключи существенно различаются по следующим показателям:

- возможностям и способам отвода электроэнергии при коммутационных процессах;
- управлению коммутационным процессом;
- стойкости к перегрузкам по току и перенапряжениям;
- количеству коммутаций;
- наличию гальванической развязки между цепями источника, нагрузки и управления.

Гибридными коммутационными аппаратами называются комбинированные аппараты для коммутации цепей постоянного тока посредством как статических, так и электромеханических силовых ключей.

Целью такой комбинации является объединение положительных качеств электромеханических и статических аппаратов, а также достижение новых положительных эффектов, улучшающих технико-экономические показатели. **Электромеханические ключи** позволяют получить низкие значения падения напряжения в проводящем состоянии и хорошую гальваническую развязку в выключенном состоянии. **Статические ключи** обеспечивают высокое быстродействие и позволяют регулировать параметры электроэнергии в коммутируемой цепи.

Положительным результатом гибридной коммутации является также возможность существенного облегчения режима коммутации электромеханических ключей в условиях совместной работы со статическими.

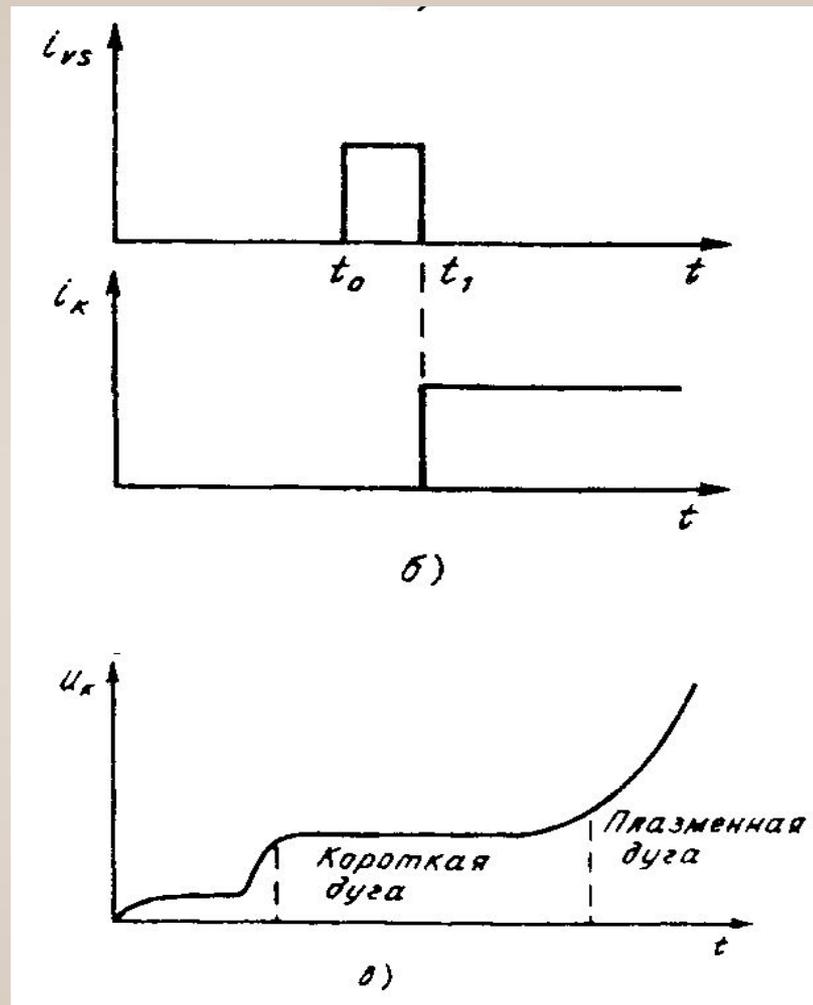
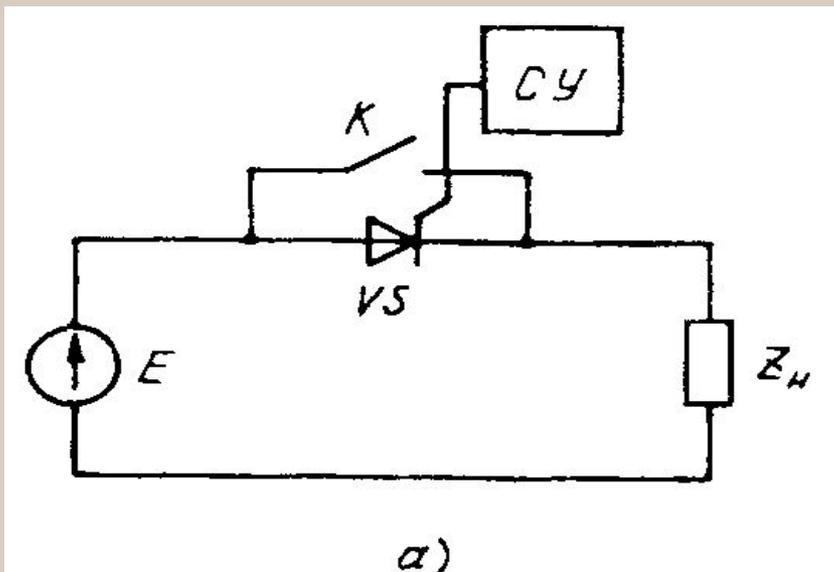


Рисунок 1. Принцип гибридной коммутации:

а - принципиальная схема;

б - диаграммы тока;

в - временная характеристика дуги.

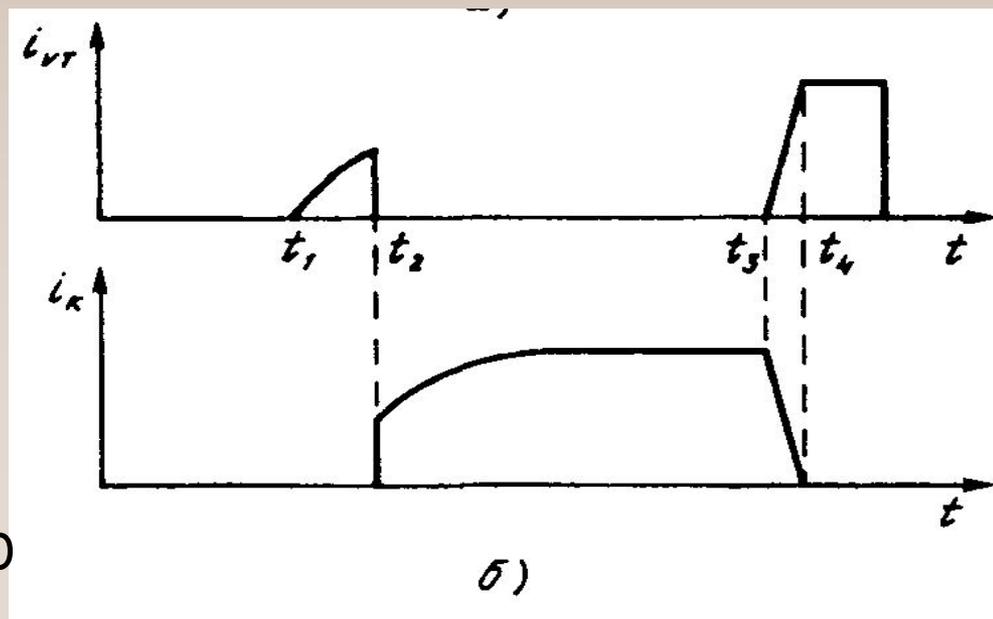
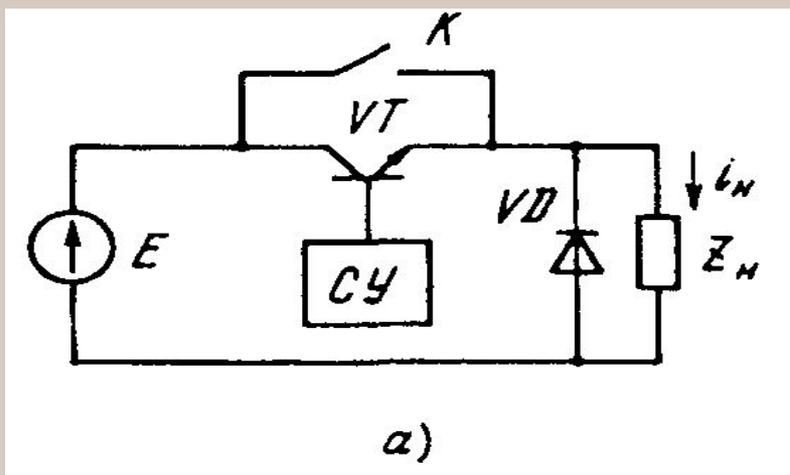
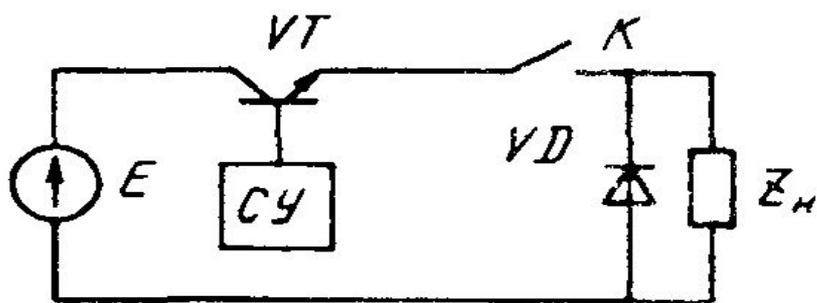


Рисунок 2. Гибридный контактор параллельного типа:

а - принципиальная схема;

б - диаграммы токов.

В гибридном аппарате с параллельным соединением ключей сохраняются быстродействие при включении, присущее статическим ключам, и низкие потери мощности во включенном состоянии, характерные для электромеханических контактов

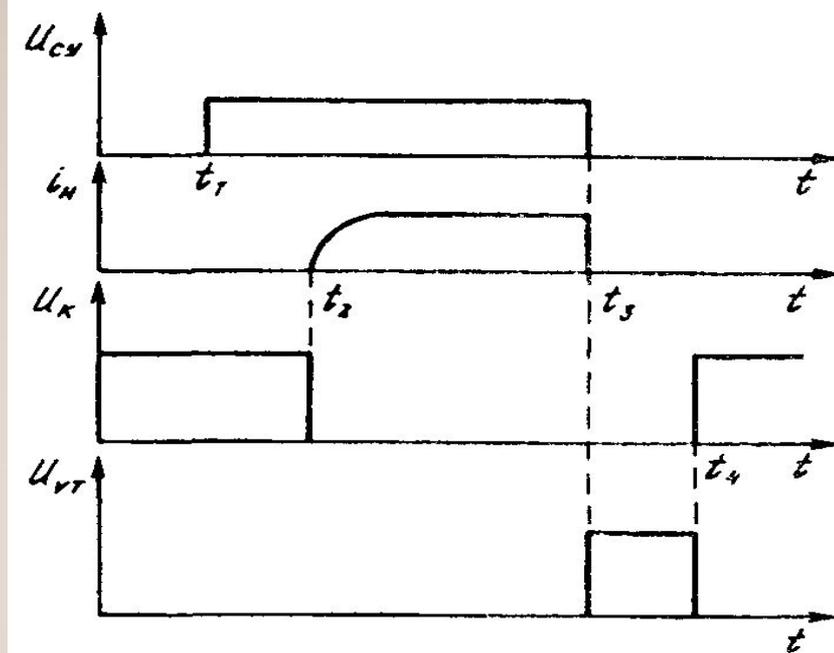


а)

Рисунок 3. Гибридный контактор последовательного типа:

а - принципиальная схема;

б - диаграммы токов и напряжений.



б)

Гибридный аппарат с последовательным соединением ключей позволяет реализовывать быстродействие статических ключей при выключении

Параллельное соединение ключей. Включение гибридного контактора в схеме с параллельным соединением транзисторов и электромеханических контакторов (рис. 2) происходит в следующей последовательности. В момент времени t_1 системой управления СУ формируются сигналы на включение транзистора VT и контактора K . Транзистор включается практически мгновенно и через него начинает протекать ток нагрузки i_H . В общем случае нагрузка обычно имеет активно-индуктивный характер. В этом случае ток i_H будет плавно нарастать по экспоненциальному закону до установившегося значения. С задержкой времени, обусловленной инерционностью электромеханического контактора, в момент времени t_2 замыкаются контакты K , шунтируя транзистор VT . В результате ток нагрузки i_H , переходит в контакт K .

Для выключения гибридного контактора необходимо в СУ сформировать сигналы на включение транзистора VT и выключение контактора K . При подаче этих сигналов в момент времени t_3 транзистор VT оказывается подготовленным к переходу в проводящее состояние, а контактор K начинает выключаться. В начальный период замыкания контактов, через которые протекает ток нагрузки, на них возникает короткая электрическая дуга. На **рис. 2,б** показан начальный участок характеристики изменения напряжения на контактах K при их размыкании. Полярность напряжения на контактах по мере его нарастания, для транзистора VT является прямой, и он переходит в проводящее состояние. В результате ток i_{VT} увеличивается, а ток в контактах контактора i_K уменьшается (**рис. 2,б**). С учетом быстродействия транзистора переход тока можно считать практически мгновенным.

После завершения перехода тока i_H в транзистор контакты контактора K продолжают размыкание, но уже в обесточенном состоянии. В результате в контакторе K не развивается процесс плазменной дуги и его выключение происходит в облегченном режиме.

Если выключение контактора происходит при низком напряжении, равном напряжению на проводящем насыщенном транзисторе, то все процессы коммутации (при включении и выключении) происходят в облегченном для электромеханического контактора режимах. Следствием этого является минимальный электрический износ контактов и, соответственно, увеличение ресурса их работы. Кроме того, отсутствие дугообразования позволяет значительно упростить конструкцию контактора и повысить его экономичность при использовании в условиях гибридного аппарата.

После окончания размыкания контактора K в момент времени t_4 прекращается подача отпирающего импульса от СУ, транзистор VT выключается, и источник E оказывается отключенным от нагрузки Z_H . При активно-индуктивном характере нагрузки ток индуктивной составляющей после выключения транзистора VT протекает через обратный диод VD (рис. 2,а).

Последовательное соединение ключей. Схема силовой части аппарата с последовательным соединением транзистора и электромеханического контактора приведена на рис. 3,а. Предположим, что в исходном состоянии гибридный контактор выключен и напряжение источника E приложено к разомкнутым контактам контактора K , так как их сопротивление существенно больше сопротивления выключенного транзистора VT . При включении гибридного контактора в момент времени t_1 в СУ формируются сигналы на включение контактора K и транзистора VT . После срабатывания контактора K в момент времени $(t_1 - t_2)$ к транзистору приложено прямое напряжение и он переходит в проводящее состояние в режиме насыщения. При выключении цепи СУ формирует сигналы на выключение транзистора VT и отключение контактора K .

Благодаря быстроедействию первым (в момент времени t_3) выключается транзистор VT и отключает нагрузку Z_H от источника напряжения E .

Индуктивная составляющая тока нагрузки начинает протекать через обратный диод VD . Затем, в момент времени t_4 , размыкаются контакты контактора K . Размыкание контактов контактора K как при выключении, так и при включении в этой схеме происходит без токовой нагрузки, т. е. на холостом ходу. Дугообразование в электромеханических контактах не возникает, и их электрическая стойкость существенно возрастает.

Параллельно-последовательное соединение ключей

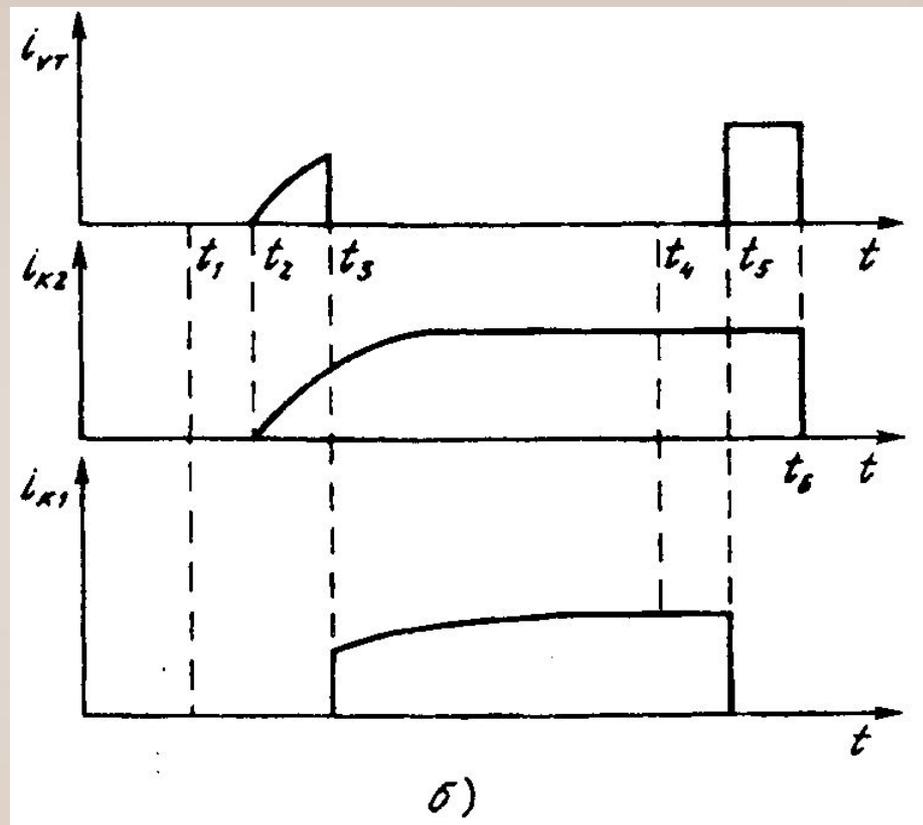
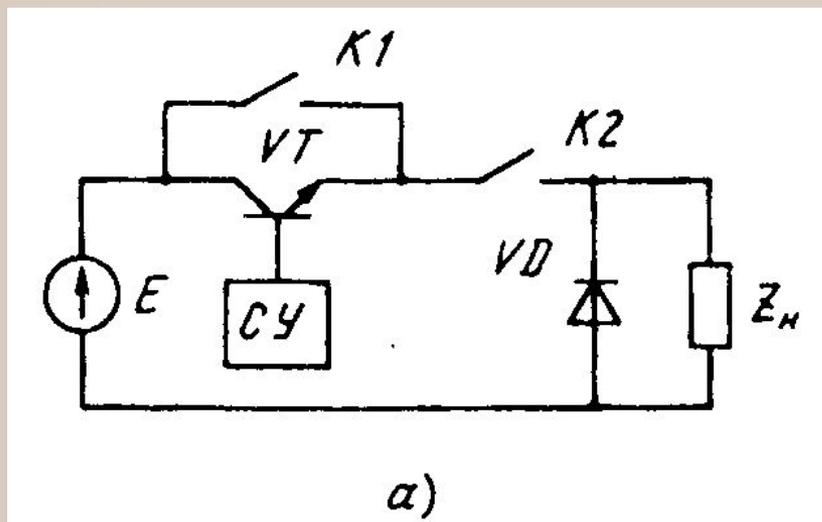


Рисунок 4. Гибридный контактор параллельно-последовательного типа:
 а - принципиальная схема;
 б - диаграммы тока

Параллельно-последовательное соединение ключей (рис. 4).

В этой схеме два электромеханических контакта $K1$ и $K2$: $K1$ подключен параллельно транзистору, а $K2$ - последовательно. Эти контакты могут иметь общий привод, но при этом должна обеспечиваться задержка на размыкание и опережение на включение контакта $K1$ относительно контакта $K2$. Рассмотрим последовательность замыкания и размыкания ключей при включении и выключении аппарата (рис. 4,б).

Предположим, что исходным состоянием гибридного аппарата является состояние «выключено». В момент времени t_1 система управления формирует импульсы на включение силовых ключей VT , $K1$ и $K2$. Первым должен включиться контакт $K2$, после чего практически мгновенно переходит в проводящее состояние транзистор VT , так как на него подан отпирающий сигнал управления.

Затем в момент времени t_3 замыкаются контакты $K1$, и ток нагрузки переходит из цепи транзистора в цепь контакта $K1$. На этом включение гибридного аппарата заканчивается.

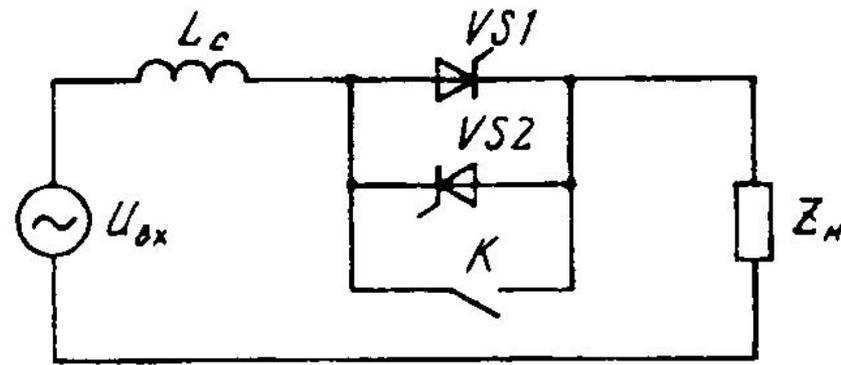
Выключение аппарата происходит следующим образом. В момент времени t_4 , формируются сигналы на размыкание контактов $K1$ и $K2$. Сначала начинает размыкаться контакт $K1$, и в момент времени t_5 ток переходит в транзистор VT . При этом протекают процессы, аналогичные рассмотренным для схемы с параллельным соединением контактов. После перехода тока нагрузки в транзистор VT в момент времени t_6 , формируется сигнал на запираание транзистора, и источник напряжения E оказывается отключенным от цепи нагрузки. Индуктивная часть тока нагрузки при этом начинает протекать через обратный диод VD , постепенно спадая до нуля из-за потерь мощности в ее активной составляющей.

Затем происходит размыкание контактов $K2$, и схема переходит в исходное выключенное состояние. Схема с параллельно-последовательным соединением силовых ключей объединяет достоинства схем с параллельным и последовательным соединением, кроме одного - быстрогодействия при выключении, присущего схеме с последовательным соединением ключей. Это ограничивает область ее использования.

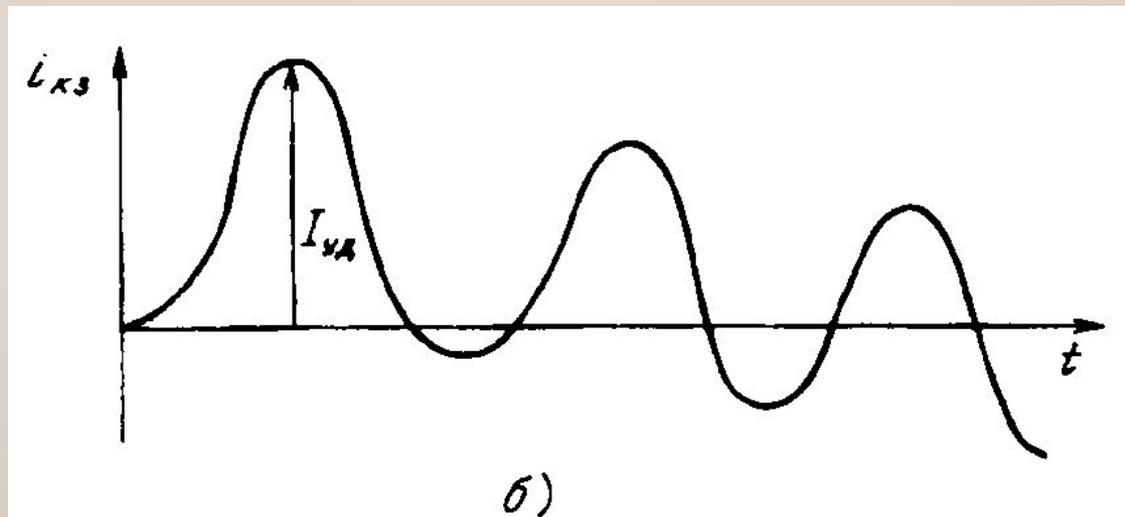


Учебный вопрос №2

Гибридные аппараты переменного тока



а)



б)

Рисунок 5. Гибридный контактор переменного тока:
а - силовая схема; б - диаграмма тока короткого замыкания.

Существуют принципиальные различия между электронными аппаратами постоянного и переменного тока. Во-первых, количество регулируемых параметров в цепях переменного тока больше, чем в цепях постоянного тока. Например, на переменном токе возможно регулирование частоты и фазы тока и напряжения. Во-вторых, на переменном токе более явно различаются понятия мгновенного, среднего и действующего значений, учитывающих форму напряжения или тока.

На переменном токе широко используются обычные, не полностью управляемые тиристоры с естественной коммутацией. Поэтому среди аппаратов переменного тока можно выделить широкий класс тиристорных аппаратов с естественной коммутацией, работа по этому принципу на постоянном токе принципиально невозможна.



Основным достоинством статических коммутационных аппаратов переменного тока на полностью управляемых ключевых элементах является их высокое быстродействие, позволяющие практически мгновенно предотвратить возрастание аварийного тока, ограничив его максимальное значение на любом заданном уровне.

В то же время всем статическим аппаратам присущи два принципиальных **недостатка** — значительные потери активной мощности в проводящем состоянии и отсутствие гальванической развязки в разомкнутом состоянии. Для устранения этих недостатков используются гибридные аппараты.