

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра управления в технических системах

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

« _____ » _____ 201__ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Б1.Б.19

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Многоканальные телекоммуникационные системы

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	6
4.3 Лабораторные работы.....	76
4.4 Практические занятия.....	76
4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа.....	77
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	78
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	79
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	79
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	79
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	80
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ практических работ	80
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы	90
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	91
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	91
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	92
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	97
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	98
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	98

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к экспериментально-исследовательским видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Изучение общих принципов построения систем электропитания их основных параметров и требований, предъявляемых к ним инфокоммуникационной аппаратурой, а также изучение принципа действия и способов реализации устройств, входящих в состав систем бесперебойного электропитания и перспектив их развития.

Задачи дисциплины

Ознакомление обучающихся с особенностями построения структурных и принципиальных схем источников вторичного электропитания устройств и систем телекоммуникаций, изучение методик расчета таких источников электропитания; ознакомление студентов с принципами построения импульсных источников электропитания и схемотехнического проектирования таких устройств.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-3	Способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации.	Знать: - Принципы построения систем электропитания телекоммуникационной аппаратуры и их структур, функционирования их узлов; Уметь: - применять на практике методы анализа основных устройств электропитания: трансформаторов, выпрямителей, статических преобразователей, стабилизаторов напряжения, уметь проводить компьютерное моделирование узлов системы электропитания. Владеть: - навыками практической работы с лабораторными макетами узлов системы электропитания;
ПК-10	Способность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормами и стандартами	Знать: - Принципы оформления проектной и рабочей технической документации; Уметь: - применять на практике технические нормативы и требования к оформлению проектно-конструкторский работ. Владеть: - навыками разработки и обоснования соответствующих техническому заданию и современному уровню развития источников и систем электропитания.
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	Знать: - Принципы проведения типовых технических расчетов и проектов; Уметь: - производить на практике расчеты типовых технических проектов Владеть: - навыками составления технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.19 Электропитание устройств и систем телекоммуникаций относится к базовой части.

Дисциплина электропитание устройств и систем телекоммуникаций базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Б1.Б.13 Электроника, Б1.Б.17 Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей, Б1.Б.23 Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях, Б1.В.7 Физические основы электроники.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, электропитание устройств и систем телекоммуникаций представляет основу для изучения дисциплины: Б1.В.15

Проектирование и эксплуатация систем передачи.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

2015-2017 год набора

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Контрольная работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	7	108	51	17	17	17	21	кр	Экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2018 год набора

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Контрольная работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	7	108	51	17	17	17	21	-	Экзамен
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			7
1	2	3	4

	преобразователя постоянного напряжения.					
2.7.	Промышленные выпрямительные устройства.	2	1	-	-	1
3.	Системы электропитания предприятий связи	9	4	-	-	8
3.1.	Структурная схема системы электропитания предприятия связи.	5	2	-	-	3
3.2.	Структурная схема электроустановки.	3	1	-	-	3
3.3.	Модификация системы электропитания в цепи постоянного тока.	3	1	-	-	2
	ИТОГО	72	17	17	17	21

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

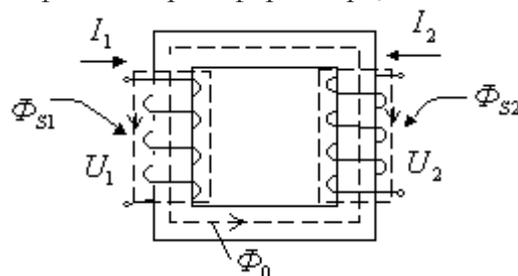
1. Трансформаторы и дроссели

1. 1. Однофазные трансформаторы

1.1.1. Основные параметры трансформаторов

Трансформатор - это статический электромагнитный аппарат, преобразующий электрическую энергию напряжения переменного тока с одними параметрами в электрическую энергию с другими параметрами (частота, напряжение, фазность, форма напряжения и т.д.).

Принцип действия трансформатора основан на законе электромагнитной индукции. Рассмотрим работу трансформатора по логической цепочке на "холостом" ходу. На рисунке изображена конструкция однофазного трансформатора,



Здесь Φ_0 основной магнитный поток (магнитопровод предназначен для направления и концентрации основного магнитного потока);

$\Phi_{S1}\Phi_{S2}$ потоки рассеяния основного магнитного потока в обмотках первичной и вторичной цепей. Они зависят от сцепления обмоток (удаленности друг от друга), от расположения их на стержнях, а также от контура прохождения основного потока. Представим принцип действия трансформатора в виде логической цепочки:

$$U_1 \xrightarrow{1} I_1 \xrightarrow{2} H \xrightarrow{3} B_m, \Phi_0 \begin{matrix} \xrightarrow{4} e_1 \\ \longrightarrow e_2 \end{matrix}$$

1 - При подключении трансформатора к первичной цепи переменного тока возникает ток (по закону Ома), обратно пропорциональный входному сопротивлению трансформатора:

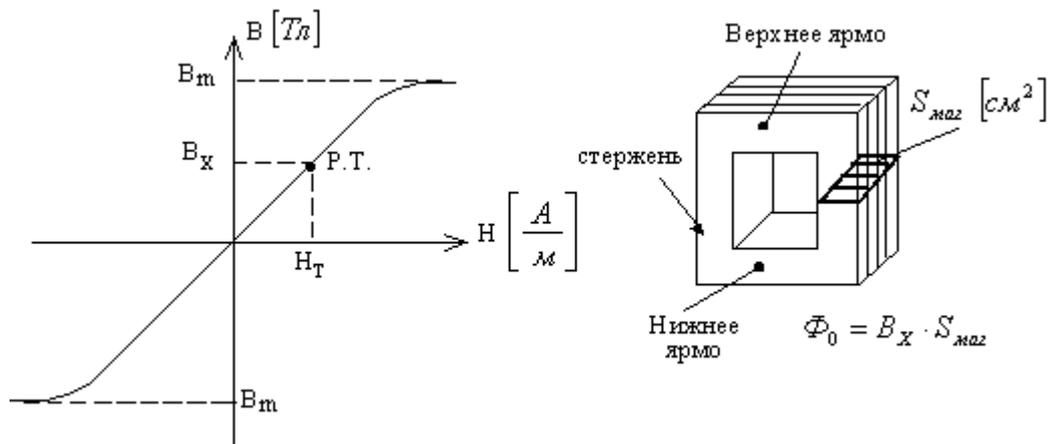
$$I_1 = \frac{U_1}{Z_{ex}}$$

2 - При протекании тока по обмотке трансформатора, намотанной на замкнутый магнитопровод, возникает напряженность магнитного поля (H):

$$H = \frac{I_1 \cdot W_1}{l_{cp}} = \frac{F}{l_{cp}} \left[\frac{As}{M} \right],$$

где F - магнитодвижущая сила, l_{cp} - средняя линия магнитопровода, W_1 - число витков в первичной цепи. Магнитопровод трансформатора необходимо выполнять из ферромагнитного материала.

3 - Под действием напряженности магнитного поля H в магнитопроводе (сердечнике) трансформатора возникает основной магнитный поток Φ_0 , прямо пропорциональный сечению магнитопровода (S_{mag}). Магнитная индукция B_m является рабочей точкой на основной кривой намагничивания и выбирается на линейном участке, чтобы при намагничивании сердечника постоянным током магнитопровода не было захода ее в область насыщения.



4 - При прохождении основного магнитного потока по сердечнику в первичной цепи возникает ЭДС самоиндукции, а во вторичной цепи ЭДС взаимной индукции, которые определяются по закону магнитодвижущих сил - закону Максвелла - Фарадея:

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = -W \frac{d\Phi}{dt},$$

где ЭДС - это изменение потока сцепления во времени.

Логическая цепочка работы трансформатора под нагрузкой

При подключении нагрузки во вторичной цепи начинает протекать ток I_2 , при этом в сердечнике возникает размагничивающий магнитный поток, противоположный по направлению к основному. Это приводит к уменьшению ЭДС в первичной цепи. В электромагнитной системе нарушается равновесие ($e_1 \approx U_1$), что приводит к возрастанию потребляемого тока из сети I_1 , т.е. к самобалансированию системы и поток Φ_0 восстанавливается:

$$I_2 \uparrow \rightarrow \Phi_p \rightarrow e_1 \downarrow \rightarrow I_1 \uparrow \rightarrow \Phi_0 = const$$

Отсюда следует уравнение магнитодвижущих сил (МДС):

$$I_1 \cdot W_1 + I_2 \cdot W_2 = I_0 \cdot W_1, \text{ где } I_0 - \text{ток цепи намагничивания (ток "холостого" хода).}$$

Уравнение ЭДС трансформатора

Рассмотрим его для низкочастотного трансформатора, в котором напряжение питания изменяется по синусоидальному закону:

$$F = F_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} = -W \cdot \Phi_m \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) = +W \cdot \sqrt{2} \cdot \Phi_m \cdot 2\pi f \cdot \sin(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}).$$

При анализе работы однофазного трансформатора используют связь действующего значения ЭДС с конструктивными параметрами трансформатора:

$$E = 4 \cdot K_\Phi \cdot B_m \cdot f \cdot W \cdot S_{маг} \cdot K_{маг},$$

где K_Φ - коэффициент формы, для низкочастотного трансформатора имеем синусоидальную форму напряжения $K_\Phi=1,11$, для высокочастотного трансформатора форма напряжения - прямоугольная и $K_\Phi=1$.

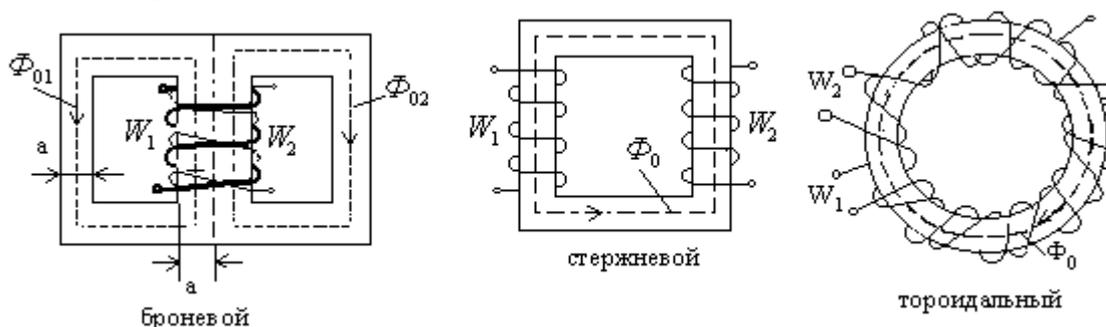
$S_{маг.ак}=S_{маг} \cdot K_{маг}$ - активная площадь сердечника. Под активной площадью понимается не геометрическая площадь сечения, чистая площадь магнитного материала. Для борьбы с вихревыми токами сердечник изготавливается в виде пластин или лент с лаковым покрытием. Поэтому коэффициент $K_{маг}=0,9...0,98$, он учитывает процентное содержание магнитного материала в сечении сердечника.

При работе трансформатора на высокой частоте прямоугольная форма напряжения объясняется использованием магнитомягких материалов, таких как феррит, альсифер, пермаллой, обладающие узкой прямоугольной петлей гистерезиса.

При неправильном проектировании трансформатора (выборе рабочей точки B_x на участке близком к области насыщения) происходит перегрев сердечника магнитопровода, например при понижении частоты напряжения питания или повышении уровня напряжения питания.

1.1.2. Конструктивные особенности трансформатора

Однофазные трансформаторы классифицируются по типу магнитопровода на броневые, стержневые и тороидальные.

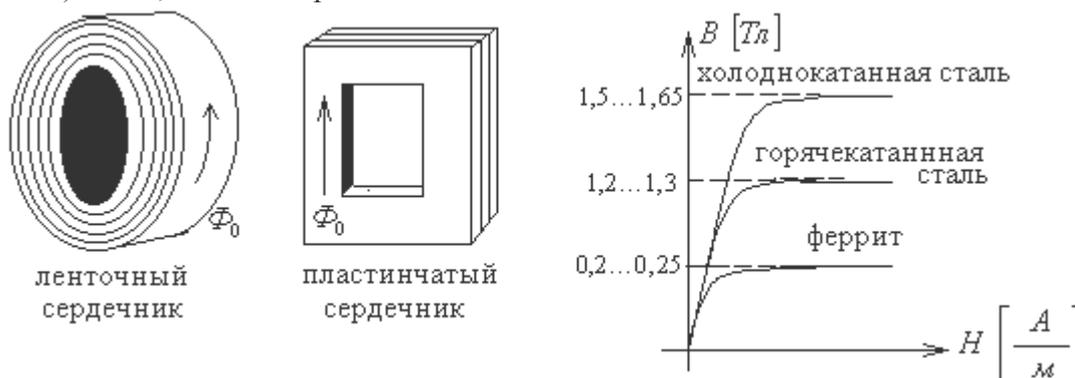


Броневые сердечники используются при мощности менее 150 ВЧА и частота до 8 кГц, стержневые при мощности от 150 до 800 [ВЧА] и частоте до 8 кГц, тороидальные - при мощности 250 [ВЧА], частоте свыше 8 кГц. В броневом сердечнике трансформатора основной магнитный поток раздваивается, что приводит к увеличению потока рассеяния. Расположение обмоток на одном (среднем) стержне трансформатора улучшает их сцепление и защищает обмотки от механических воздействий и электромагнитных помех. Такая конструкция обладает наибольшим рассеиванием основного потока (Φ_0), поэтому используется при малых мощностях.

В стержневом сердечнике трансформатора для улучшения сцепления обмоток первичную и вторичную обмотки разводят по двум стержням и при намотке чередуют послойно. В такой конструкции поток рассеяния меньше, чем в броневом.

Тороидальная конструкция сердечника трансформатора обладает наименьшим потоком рассеяния, благодаря круговому движению силовой линии основного магнитного потока Φ_0 и хорошему сцеплению обмоток (из-за намотки по всему тороиду). Ограничение по мощности связано с плохим охлаждением обмоток и технологическими трудностями изготовления тороида. Поперечное сечение тороида и стержней приближается к округлой форме, что позволяет экономить материал сердечника.

Сердечники магнитопроводов изготавливаются в виде лент, пластин или прессуют из ферромагнитного порошка с добавлением кремния (небольшой процент, так как он придает хрупкость конструкции) для ограничения вихревых токов, перпендикулярных основному потоку. Низкочастотные трансформаторы выполняются из холоднокатанной (анизотропной, изотропной) стали, а также горячекатанной стали.



Холоднокатанная сталь обладает высокой магнитной проницаемостью и малыми удельными потерями на единицу веса, но является дорогостоящим металлом. В анизотропной холоднокатанной стали направление проката диктует направление силовой линии магнитного потока (Φ_0) потому, что в перпендикулярном направлении ухудшаются магнитные свойства материала. Горячекатанная сталь более экономичная, но имеет более высокие удельные потери и более низкую магнитную проницаемость (μ_d). В высокочастотных трансформаторах в качестве материала сердечника используют следующее: феррит, пермаллой, альсифер. Альсифер используется для дросселей сглаживающих фильтров, т.к. имеется запас по намагниченности, пермаллой подвержен механическим воздействиям. Феррит обладает широким диапазоном рабочих частот,

поэтому широко используется в импульсных трансформаторах.

Обмотки трансформатора изолируются друг от друга. В конструкции трансформатора они размещаются на каркасе и используется межвитковая, межслойная изоляция (лак, волокно, х/б нитки и т.д.). Тип изоляции зависит от рабочей температуры. Провода для обмоток имеют прямоугольное или круглое сечение, прямоугольные используются при повышенных токах нагрузки. При проектировании трансформаторов вводится понятие плотности тока.

$$j = \frac{I_i}{S_{np}}$$

$$j = [2 \dots 8] \text{ A/мм}^2$$

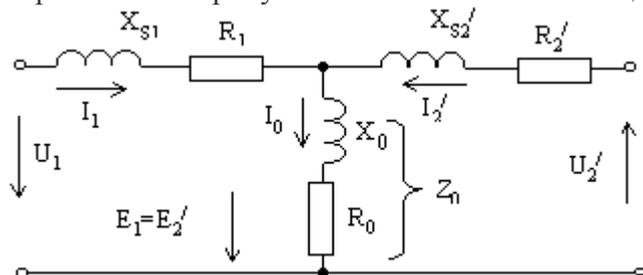
Выбор плотности тока зависят от расположения обмотки на магнитопроводе и типа магнитопровода.

1.1.3. Схема замещения трансформатора

Для упрощения анализа электромагнитных процессов в трансформаторе вводится схема замещения, в которой магнитная связь заменяется электрической и коэффициент трансформации n

$$n = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Коэффициент трансформации является и коэффициентом приведения вторичной цепи к первичной. На рисунке показана схема замещения трансформатора:



где введены такие обозначения:

R_0 - учитывает потери в магнитопроводе (на вихревые токи и на гистерезис);

X_0 - учитывает намагниченность материала сердечника и зависит от марки материала (в идеальном трансформаторе Z_0);

R_1, R_2 - учитывают потери на нагрев обмоток первичной и вторичной цепей;

X_{S1}, X_{S2} - индуктивности рассеяния основного потока в обмотках первичной и вторичной цепей;

Для получения соотношения между реальными и приведенными параметрами, воспользуемся равенством полных мощностей, активных мощностей и углов

$$\text{потерь: } S_2 = S_2^1 \Delta P_2 = \Delta P_2^1 \varphi_2 = \varphi_2^1$$

$$E_2 I_2 = E_2^1 \cdot I_2^1 \Rightarrow I_2^1 = \frac{I_2}{n}$$

$$\Delta P_2 = U_2 I_2 = U_2^1 I_2^1 \Rightarrow U_2^1 = n \cdot U_2$$

$$\Delta P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = (I_2^1)^2 \cdot R_2^1$$

$$R_2^1 = n^2 \cdot R_2$$

3

$$\varphi_2 = \varphi_2^l$$

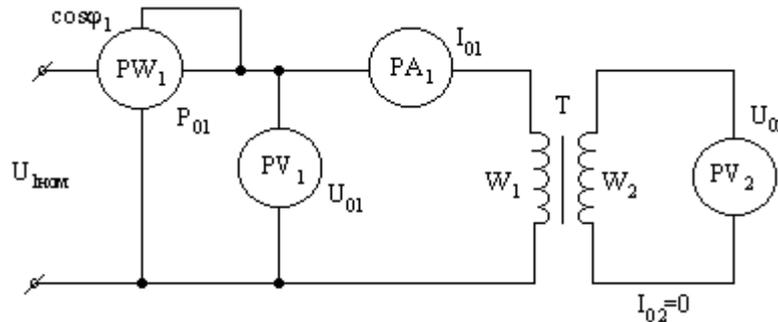
$$\frac{X_{s2}}{R_2} = \frac{X_{s2}^l}{R_2^l} \Rightarrow X_{s2}^l = n^2 X_{s2}$$

Запишем систему уравнений для схемы замещения:

$$\begin{cases} U_1 = -E_1 + I_1 Z_1 = -E_1 + I_1 \cdot (jX_{s1} + R_1) \\ U_2 = -E_2 - I_2 Z_2 = E_2^l - I_2^l \cdot (jX_{s2}^l + R_2^l) \\ I_1 + I_2^l = I_0 \end{cases}$$

1.1.4. Опыт холостого хода

Условия проведения опыта: на вход подается номинальное напряжение $U_{1ном}$, вторичная цепь размыкается.



Измеряемыми параметрами являются номинальное напряжение вторичной цепи (U_{02}) и первичной цепи (U_{01}) (их называют напряжением холостого хода), ток первичной цепи (I_{01} - ток холостого хода), активная мощность или потери в магнитопроводе (P_{01}). Если устанавливаем измеритель коэффициента мощности, то активная мощность рассчитывается из соотношения:

$$P_{01} = S_{01} \cdot \cos \varphi_1$$

В этом опыте рассчитываются - коэффициент трансформации (n) и значение процентного соотношения тока холостого хода к номинальному току первичной цепи

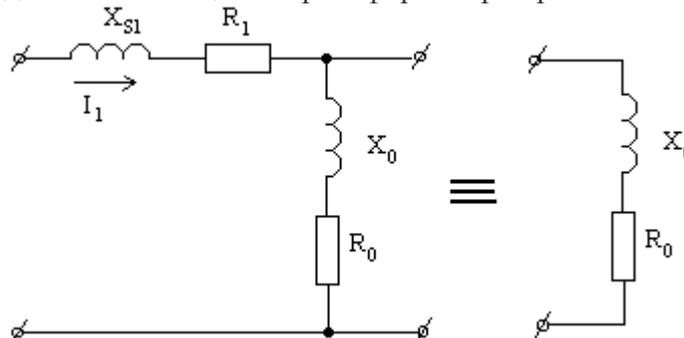
$$i_{01} (\%) = \frac{I_{01}}{I_{1ном}} \cdot 100\% < 30\%$$

Это значение нормируется в процентах в зависимости от области использования трансформатора, его мощности, частоты преобразования.

Параметры схемы замещения поперечного плеча рассчитываются по соотношениям:

$$Z_0 = \frac{U_{01}}{I_{01}}, R_0 = \frac{P_{01}}{I_{01}^2}, x_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = Z_0 \cdot \sin \varphi_1$$

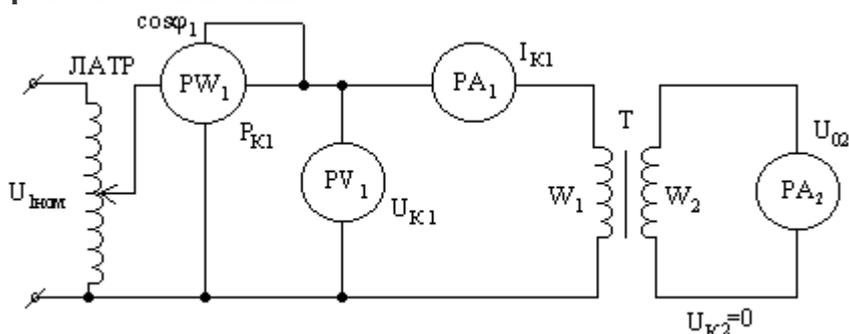
Если из опыта значение тока холостого хода получилось больше 30%, то значит завышено входное напряжение, или при проектировании завышена величина магнитной индукции. Для устранения этого потребуется изменить сечение магнитопровода или перемотать обмотки. В опыте холостого хода схема замещения трансформатора принимает вид:



Так как параметры продольного плеча значительно меньше, чем параметры поперечного плеча схемы замещения и ток "холостого" хода значительно меньше номинального тока

первичной цепи, то в схеме замещения трансформатора на "холостом" ходу пренебрегаем параметрами X_{S1} и R_1 .

1.1.5. Опыт короткого замыкания



Опыт "короткого" замыкания проводится при пониженном напряжении питания, так как ток в обмотках трансформатора может превысить номинальные значения при повышении напряжения. Необходимо плавно увеличивать напряжение на выходе ЛАТРА до достижения номинальных токов в цепях. Измеряемыми параметрами являются: номинальные токи в цепях I_{K1} , I_{K2} , напряжение короткого замыкания первичной цепи (U_{K1}) и потери в обмотках. При измерении коэффициента мощности потери определяются из выражения:

$$P_{K1} = S_1 \cdot \cos \varphi_1 = U_{K1} \cdot I_{K1} \cdot \cos \varphi_1.$$

Расчетными параметрами является процентное соотношение напряжения короткого замыкания по отношению к номинальному входному напряжению:

$$U_{K1} (\%) = \frac{U_{K1}}{U_{1НОМ}} \cdot 100\% \leq (5...7)\%$$

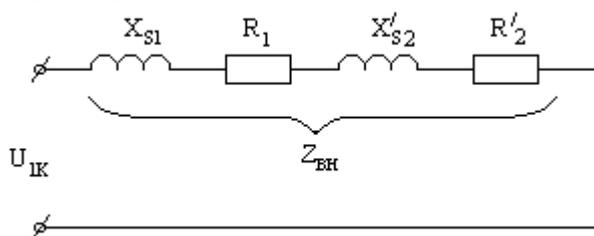
Внутреннее сопротивление трансформатора (сопротивление продольного плеча схема замещения) определяется из опыта "короткого" замыкания:

$$Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1K}}; \quad R_K = R_1 + R_2' = \frac{P_{K1}}{I_{K1}^2}; \quad X_K = X_{S1} + X_{S2}' = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$$

При переходе к реальным параметрам трансформатора принимается

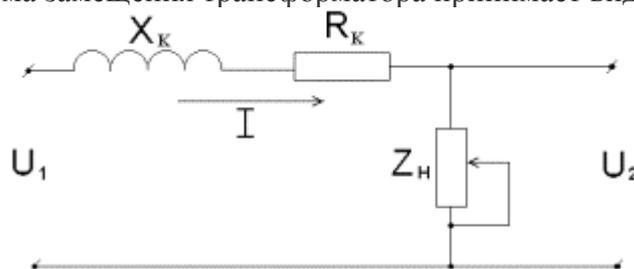
равенство: $R_1 = R_2' = R_K / 2$ и $X_{S1} = X_{S2}' = X_K / 2$.

Схема замещения трансформатора в опыте "короткого" замыкания приводится в виде:

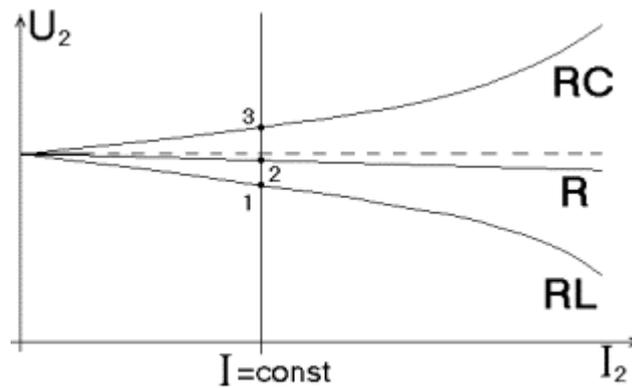


1.1.6. Внешняя характеристика трансформатора

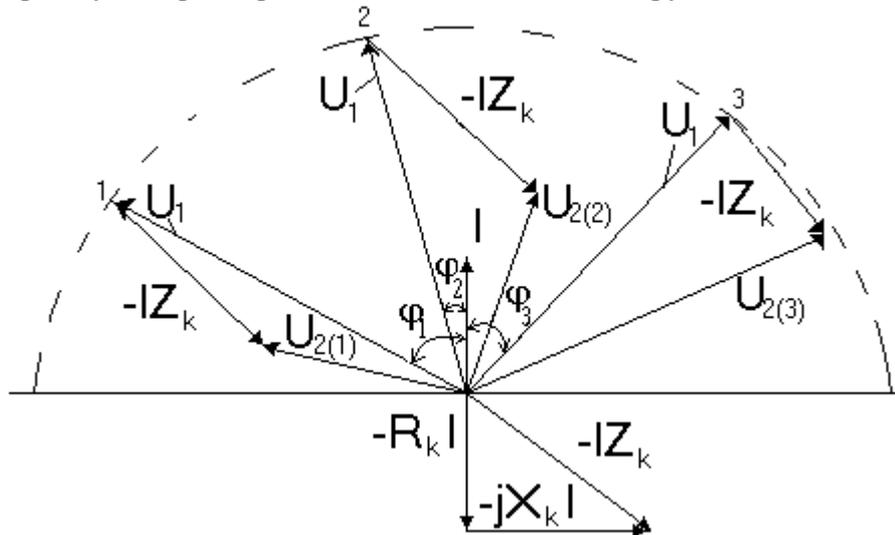
Под внешней характеристикой понимается зависимость выходного напряжения от тока нагрузки с учетом его характера (активная - R, активно- емкостная - RC, активно - индуктивная - RL). Схема замещения трансформатора принимает вид:



По второму закону Кирхгофа запишем уравнение для схемы замещения трансформатора: $U_2 = U_1 - I Z_k = U_1 - I (jX_k + R_k)$.



Для объяснения закона внешних характеристик для различных видов нагрузок построим векторную диаграмму для фиксированного значения тока нагрузки $I = \text{const}$.

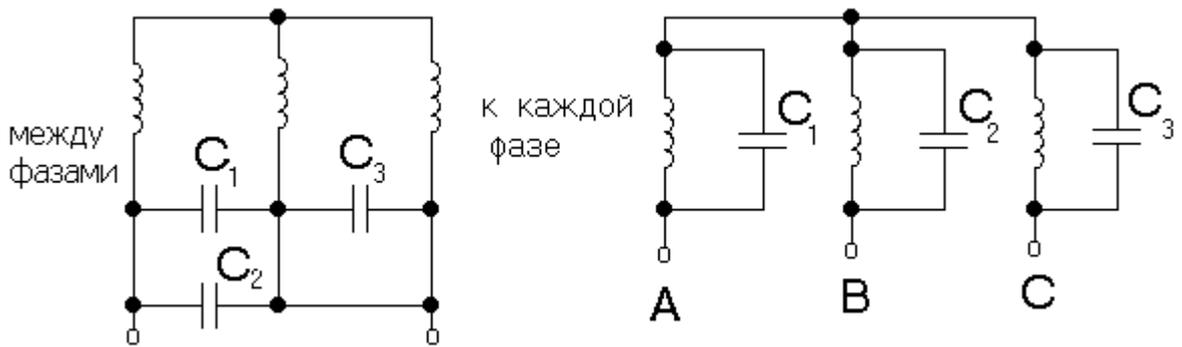


При построении векторной диаграммы принимается такая условность: по часовой стрелке отставание вектора тока от вектора напряжения. При индуктивной нагрузке ток отстает от напряжения на угол j_1 , поэтому вектор напряжения U_1 повернут против часовой стрелки по отношению к вектору тока I ; при емкостной нагрузке напряжение U_1 отстает от тока I_1 на угол j_3 , поэтому вектор напряжения U_1 повернут по часовой стрелки по отношению к вектору тока I .

При активной нагрузке вектор напряжения U_1 повернут против часовой стрелки по отношению к вектору тока I на небольшой угол j_2 из-за малой величины индуктивности нагрузки.

Вектор $(-R_k I)$ противоположен по направлению к вектору тока I . Так как X_k - индуктивность рассеяния трансформатора, то вектор $(-jX_k I)$ перпендикулярен по отношению к вектору $(-R_k I)$ и имеет поворот против часовой стрелки.

Каждый из векторов $U_{2(1)}$, $U_{2(2)}$, $U_{2(3)}$ получается в результате суммирования двух векторов U_1 и $(-IZ_k)$. Из векторной диаграммы видно, что при активной и индуктивной нагрузках происходит уменьшение напряжения во вторичной цепи трансформатора с увеличением тока I . Если нагрузка имеет емкостный характер, то напряжение увеличивается. При проектировании трансформатора необходимо учитывать характер нагрузки. Например, индуктивная нагрузка требует увеличивать количество витков во вторичной цепи с учетом понижения напряжения при работе под нагрузкой. Конденсаторы используются для компенсации реактивной составляющей в трансформаторах, они включаются в трехфазных трансформаторах параллельно в каждой фазе или между фазами, как показано на рисунке.



1.1.7 Энергетические показатели трансформатора

К энергетическим показателям трансформатора относятся: КПД трансформатора и коэффициент мощности.

КПД трансформатора - это отношение активной (полезной) мощности в нагрузке к потребляемой (активной) мощности трансформатора, т.е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{МАГ} + P_{ОБ}}; \quad (1)$$

где, $P_{МАГ} = P_{ГИСТ} + P_{ВИХ.ТОКИ}$ - потери в магнитопроводе трансформатора. Они являются постоянными потерями, не зависящими от тока нагрузки, и включают в себя два вида потерь: потери на "гистерезис" (перемагничивание сердечника трансформатора) и потери на "вихревые" токи (круговые токи Фуко, перпендикулярные направлению основного магнитного потока).

Потери в магнитопроводе зависят от следующих параметров:

$$P_{МАГ} = S_1 B_x^2 f^2 G,$$

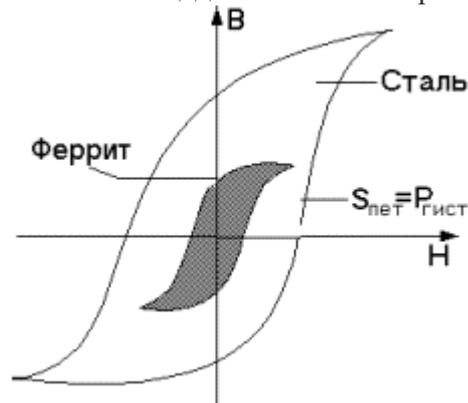
где s_1 - коэффициент, зависящий от типа ферромагнитного материала;

G - вес магнитопровода (в кг);

B_x - величина магнитной индукция (определяемая положением рабочей точки на кривой намагничивания трансформатора).

С увеличением частоты преобразования возрастают магнитные потери, поэтому используют материалы с малыми удельными потерями и понижают рабочее значение магнитной индукции B_x .

Потери на гистерезис определяются площадью петли гистерезиса:



Учитывая, что $P_{ОБ} = I^2 R_{об}$ - потери в обмотках. Получим соотношение для КПД в зависимости от коэффициента нагрузки $b = I_2 / I_{2НОМ}$.

Потери в магнитопроводе определяются из опыта "холостого хода" и равны $P_{МАГ} = P_{10}$.

Мощность в нагрузке P_2 можно представить в виде

$$P_2 = S_2 \cos \varphi = U_{2НОМ} \cdot I_2 \cos \varphi \frac{I_{2НОМ}}{I_{2НОМ}} = S_{2НОМ} \cdot \beta \cdot \cos \varphi,$$

Потери в обмотках трансформатора равны:

$$P_{об} = I_2^2 \cdot R_{об} = I_2^2 \cdot R_{об} \cdot \frac{I_{2\text{НОМ}}^2}{I_{2\text{НОМ}}^2} = P_{1К} \cdot \beta^2,$$

где $P_{1К}$ - потери определяемые из опыта "короткого замыкания".

Таким образом выражение для КПД принимает вид:

$$\eta = \frac{S_{2\text{НОМ}} \cdot \beta \cdot \cos \varphi}{S_{2\text{НОМ}} \cdot \beta \cdot \cos \varphi + P_{10} + P_{1К} \cdot \beta^2}.$$

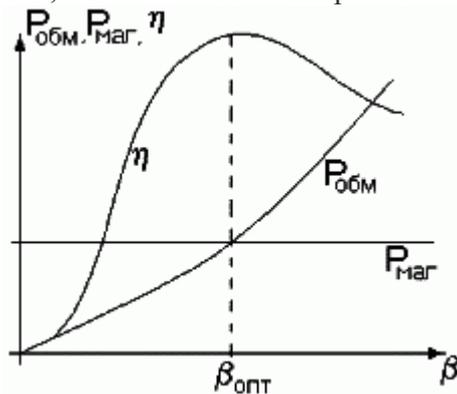
КПД будет иметь максимальное значение при

$$P_{10} + P_{1К} \cdot \beta_{\text{опт}}^2 = 0.$$

Отсюда,

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{P_{10}}{P_{1К}}}.$$

При проектировании трансформатора необходимо добиваться равенства потерь в магнитопроводе потерям в обмотках для обеспечения эффективной работы трансформатора. При расчета трансформатора за критерии оптимизации выбираются: КПД, габаритные размеры, стоимость и температурный режим работы трансформатора. При $P_{\text{маг}} > P_{\text{об}}$ ($b < b_{\text{опт}}$) получим минимальную стоимость, большой вес и габариты трансформатора. Если же $P_{\text{маг}} < P_{\text{об}}$, то имеем высокую стоимость, меньший вес и габариты.



1.1.7. Электромагнитная мощность трансформатора

Электромагнитная мощность - это полусумма электромагнитных мощностей всех обмоток трансформатора. Так как на первичную цепь приходится половина мощности, то при расчете электромагнитной мощности берут либо сумму мощностей всех вторичных цепей, либо мощность первичной цепи. При проектировании трансформатора вводят понятие габаритной мощности трансформатора - это связь электромагнитной мощности с параметрами трансформатора.

$$P_{ЭМ} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n E_i I_i = E_1 I_1 = \sum_{i=2}^n E_i I_i;$$

Для получения выражения для габаритной мощности трансформатора, воспользуемся следующими уравнениями:

уравнением ЭДС трансформатора -
$$E = 4 \cdot K_{\Phi} \cdot K_{\text{МАГ}} \cdot f \cdot W \cdot B_m \cdot S_{\text{МАГ}}, (1);$$

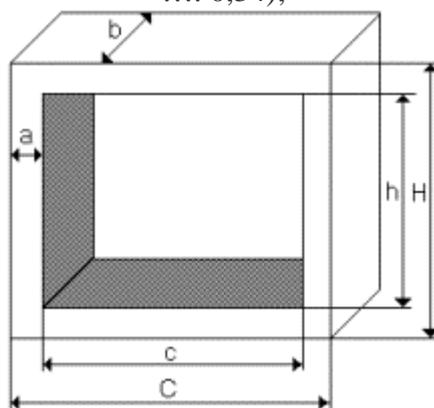
$$j = \frac{I}{S_{\text{пр}}}, (2)$$

понятием плотности тока j -

где $S_{пр}$ - сечение проводника обмотки трансформатора;

$$W = \frac{K_{ок} \cdot S_{ок}}{2S_{пр}}, (3);$$

определением количества витков через сечение окна $S_{ок}$ -
 где, $K_{ок}$ - коэффициент, учитывающий заполнение окна магнитопровода обмотками, его
 низкое значение гарантирует попадание обмоток в окно при выборе сердечника $K_{ок} = (0,28$
 $0,34)$;



Площадь окна равна: $S_{ок} = c \cdot h$ [см²].

Подставим (1), (2), (3) в выражение для электромагнитной мощности и получим выражение для габаритной мощности:

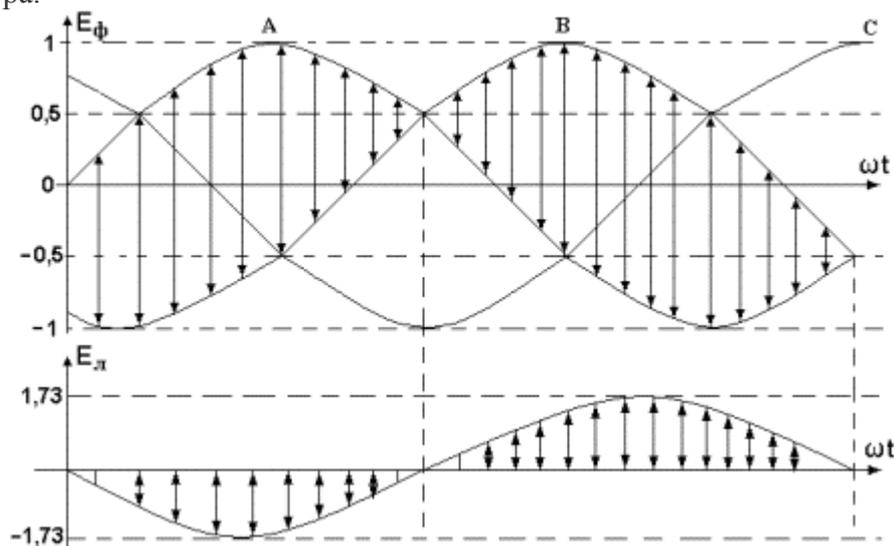
$$P_{габ} = 2 K_{ф} K_{маг} K_{ок} B_m f j S_{маг} S_{ок}.$$

При заданной мощности трансформатора определяют типоразмеры трансформатора, затем по уравнению ЭДС рассчитывается количество витков первичной и вторичной цепей.

1.2. Трехфазные трансформаторы

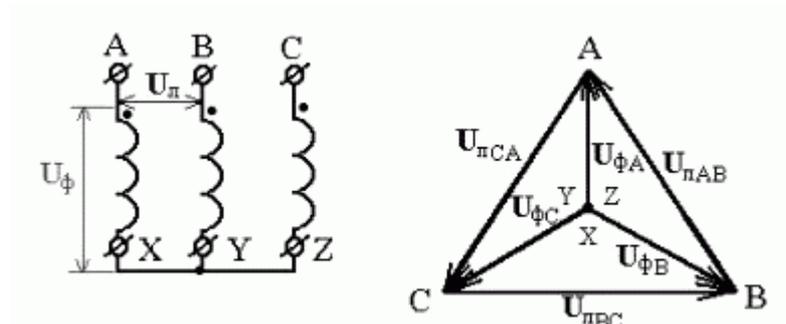
Это система, объединяющая три источника переменного тока, ЭДС которых сдвинуты друг относительно друга на 120°. Трансформирование трехфазного тока можно осуществить тремя однофазными трансформаторами, соединенными в трансформаторную группу. Обмотки первичной и вторичной цепей соединяются одним из способов: "звезда", "треугольник", "зигзаг".

На рисунке изображены временные зависимости для фазных и линейных ЭДС трехфазного трансформатора.



Рассмотрим способ соединения "звезда".

На рисунке изображена векторная диаграмма напряжений и условное обозначение схемы соединения обмоток трансформатора.

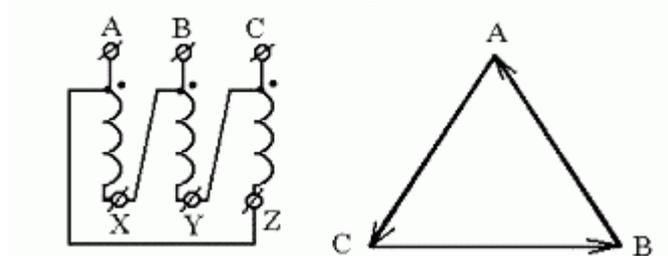


Точка на схеме трансформатора обозначает конец вектора ЭДС или начало обмотки. При соединении звездой линейные (I_L) и фазные токи (I_ϕ) одинаковы, потому что для тока, проходящего через фазную обмотку, нет иного пути, кроме линейного провода. Линейные напряжения (U_L) больше фазных (U_ϕ) в $\sqrt{3} = 1,73$ раза.

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi; I_\phi = I_L.$$

Соединение в звезду выполняется с нулевым выводом или без него, что является достоинством схемы соединения

Соединение в "треугольник":



При соединении треугольником $U_L = U_\phi$, потому что каждые два линейных провода присоединены к началу и концу одной из фазных обмоток, а все фазные обмотки одинаковы.

Линейные токи $I_L = \sqrt{3} I_\phi$.

Мощности при соединениях звездой и треугольником определяются выражениями:

Полная

$$S = m \cdot S_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{3} U_L I_L, [BA]$$

активная

$$P = \sqrt{3} U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi,$$

реактивная

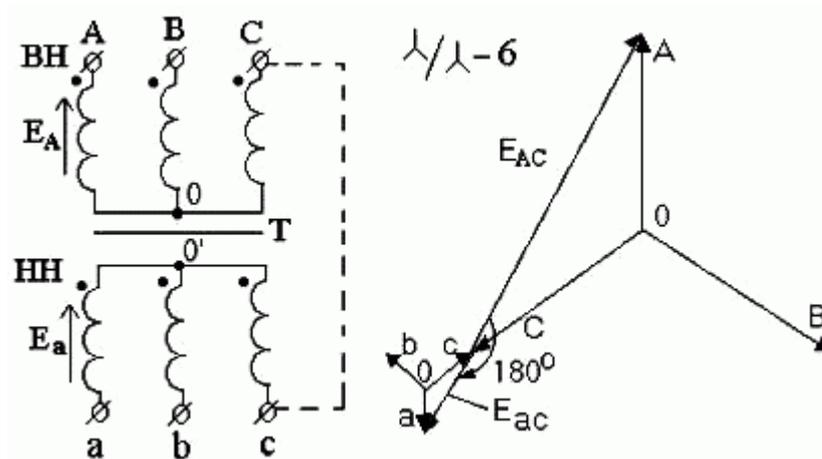
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi,$$

где φ - угол сдвига фаз между напряжением и током.

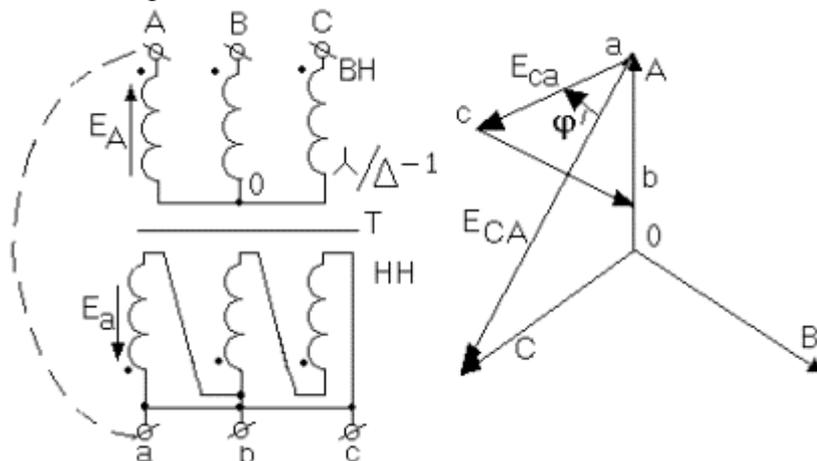
1.2.1. Группа соединения трехфазного трансформатора

При определении группы соединения обмоток трансформатора пользуются циферблатом часов. Линейный вектор обмотки высшего напряжения (ВН) соответствует минутной стрелке циферблата часов и устанавливается на цифру 12, часовая стрелка соответствует линейному вектору ЭДС обмотки низкого напряжения (НН) и ее поворот по отношению к обмотке ВН определяет номер группы и угол поворота $a = n \cdot 30^\circ$, где n - группа.

Определим группу соединения обмоток трансформатора для соединения "звезда-звезда". Для построения диаграммы условно объединяем одноименные выводы обмоток первичной (с) и вторичной (С) цепей трансформатора. Из построения видно, что номер группы соединения равен $n = 180^\circ / 30^\circ = 6$.



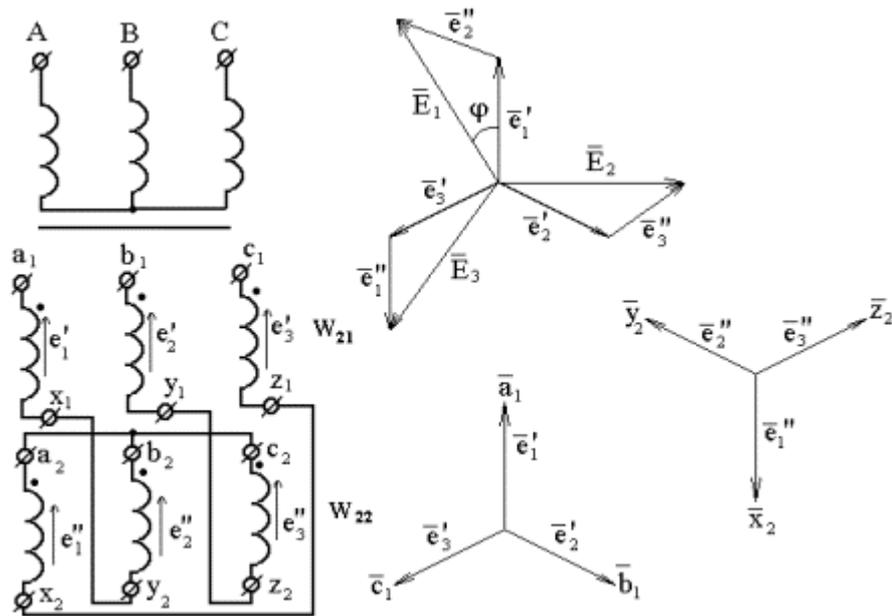
Определим группу соединения обмоток трансформатора для соединения "звезда-треугольник". Для построения диаграммы условно объединяем одноименные выводы обмоток первичной (A) и вторичной (a) цепей трансформатора. Из построения видно, что номер группы соединения равен $n = \alpha/30^\circ = 30^\circ/30^\circ = 1$.



Соединение вторичных обмоток трансформатора в зигзаг

Соединение зигзагом применяют чтобы нагрузку вторичных обмоток распределить более равномерно между фазами первичной сети, а также для расщепления фаз при создании многопульсных выпрямителей и в других случаях.

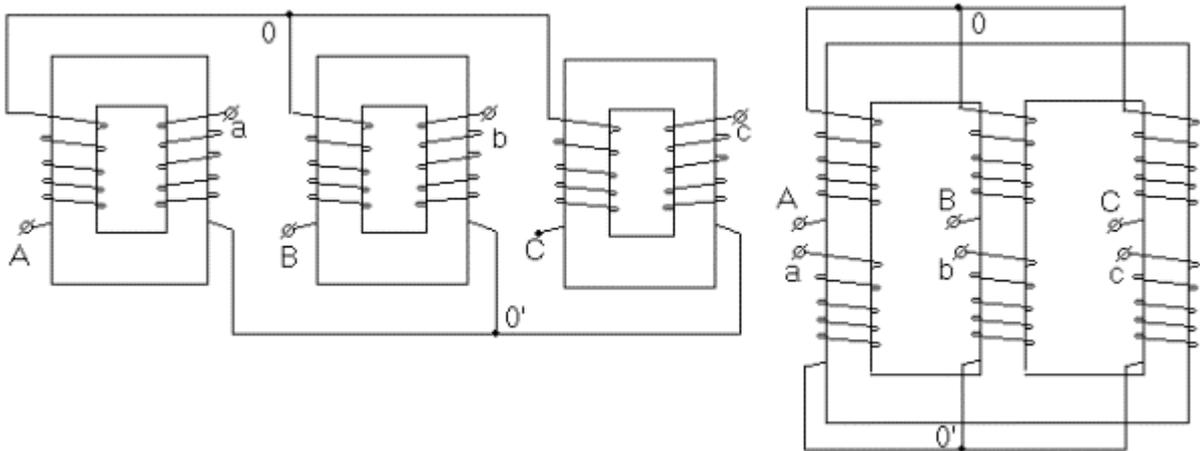
Для соединения зигзагом вторичная обмотка каждой фазы состоит из двух половин: одна половина расположена на одном стержне, другая - на другом. Конец полуобмотки, например x_1 соединен с концом y_2 и т.д. Начала полуобмоток a_2 , b_2 и c_2 соединены и образуют нейтраль. К началам a_1 , b_1 , c_1 присоединяют линейные провода вторичной сети. При таком соединении э.д.с. обмоток, расположенных на разных стержнях, сдвинуты на угол 120° .



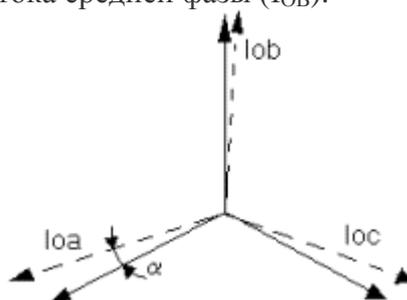
Вектор E_3 является суммой двух векторов e''_3 и e''_1 . Вектор e''_1 параллелен e'_1 и противоположен по направлению. Вектор e'_3 совпадает с направлением фазы с. Угол поворота j вектора ЭДС вторичной цепи по отношению к первичной зависит от соотношения витков W_{21}/W_{22} .

1.2.2. Конструкция трехфазных трансформаторов

Трехфазные трансформаторы изготавливаются в виде отдельных однофазных трансформаторов, объединенных в группу при повышенной мощности (свыше 60000 кВА). Такой тип получил название - трансформатор с раздельной магнитной системой. Трансформатор, у которого обмотки расположены на трех стержнях, называется трансформатором с объединенной магнитной системой.



В трехстержневом трансформаторе вследствие магнитной несимметрии магнитопровода, намагничивающие токи отдельных фазных обмоток не равны: намагничивающие токи крайних фаз (I_{0A} и I_{0C}) больше тока средней фазы (I_{0B}).



Для уменьшения магнитной несимметрии трехстержневого магнитопровода, т.е. уменьшения магнитного сопротивления потокам крайних фаз, сечение ярма делают больше.

Параллельная работа трансформаторов

Для увеличения мощности трансформаторы включают параллельно. Существуют условия параллельного включения трансформаторов:

1) Трансформаторы должны иметь одинаковые значения напряжения "холостого хода" или коэффициенты трансформации. При несоблюдении этого условия возникает уравнительный

$$I_{ур} = \frac{\Delta U}{R_{сн1} + R_{сн2}};$$

ток ($I_{ур}$), обусловленный разностью вторичных напряжений ΔU ,

где $R_{вн1}$, $R_{вн2}$ - внутренние сопротивления трансформатора. При этом трансформатор с более высоким вторичным напряжением "холостого хода" оказывается перегруженным.

2) Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединений. Если это условие не выполняется, то появляется уравнительный ток, обусловленный разностью ЭДС

$$I_{ур} = \frac{\Delta E}{R_{сн1} + R_{сн2}}.$$

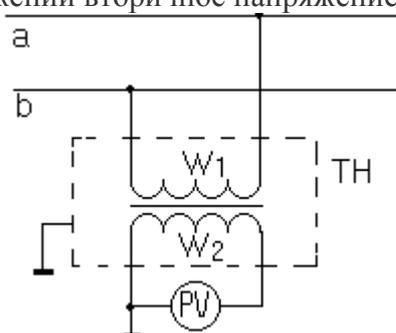
трансформатора:

3) Трансформаторы должны иметь одинаковые значения напряжения короткого замыкания. Трансформатор с меньшим напряжением короткого замыкания перегружается.

1.3. Специальные трансформаторы

1.3.1. Трансформаторы напряжения

Измерительный трансформатор напряжения (ТН) применяется при измерениях в сетях переменного тока напряжением свыше 220 В. ТН представляет собой понижающий трансформатор с таким соотношением витков в первичной и вторичной обмотках, чтобы при номинальном первичном напряжении вторичное напряжение составляло 100 В.



ТН работает в режиме, близком к режиму "холостого хода", т.е. $I_2 = 0$. Класс точности прибора зависит от выбора рабочей точки на петле гистерезиса ($B_m = 0,1 \dots 0,2$ Тл, $I_1 = I_0$). Для этого увеличивают количество витков первичной цепи. Соотношение витков в трансформаторе подбирается таким образом, чтобы получить во вторичной цепи $U = 100$ В. Для обеспечения надежной работы ТН обязательно заземляется вторичная цепь и корпус трансформатора. Система уравнений для трансформатора имеет вид:

$$\begin{cases} U_1 = -E_1 + I_1 Z_1 \\ U_2 = E_2 - I_2 Z_2 \end{cases}$$

Так как $U_1 = -E_1$, $U_2 = E_{2ном}$, то напряжение в первичной обмотке определяется выражением:

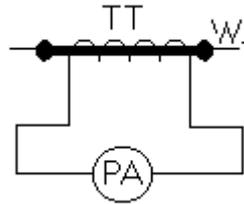
$$U_1 = \frac{W_1}{W_2} \cdot U_2.$$

1.3.2. Трансформатор тока

Измерительный трансформатор тока (ТТ) применяется для включения амперметров и обмоток тока ваттметров, счетчиков энергии и фазометров в цепях переменного тока, чаще

всего в сильно точных (с большим значением тока).

ТТ работает в режиме, близком к "короткому замыканию". Первичная обмотка ТТ выполняется из провода большого сечения и включается в сеть последовательно (количество витков первичной цепи равно 1). Вторичная обмотка - многовитковая.



Уравнение МДС имеет вид: $I_1 W_1 + I_2 W_2 = I_0 W_1$;

Точность тока измерительной цепи определяется выбором точки на петле гистерезиса ($B_m = 0,1 \dots 0,2 \text{ Тл}$, $I_0 = 0$). Количество витков во вторичной цепи подбирается таким образом, чтобы во вторичной цепи протекал ток 5 А, откуда

$$n = \frac{W_1}{W_2} = \left| - \frac{I_2}{I_1} \right|.$$

Данный трансформатор является опасным при эксплуатации, так как нельзя размыкать вторичную цепь под нагрузкой. При размыкании цепи произойдет рост потерь в магнитопроводе в квадратичной зависимости (B^2), что приведет к пробое изоляции и обслуживающий персонал может попасть под высокое напряжение.

2. Источники вторичного электропитания

2.1. Неуправляемые выпрямители

Критериями качества работы выпрямителя являются:

коэффициент пульсации:

$$K_{\Pi(k)} = \frac{U_{m(k)}}{U_0} \quad \text{- отношение амплитуды } k\text{-ой гармоники к средневывпрямленному значению напряжения.}$$

коэффициент выпрямления по напряжению:

$$K_{\text{ои}} = \frac{U_0}{U_2} \quad \text{- отношение средневывпрямленного значения напряжения к действующему значению напряжения во вторичной цепи трансформатора.}$$

пульсность:

$$p = \frac{f_n}{f} = \frac{T}{T_n} = m \cdot a \quad \text{- отношение частоты пульсации к частоте питающего напряжения. } m \text{ - фазность схемы выпрямителя (1 или 3), } a \text{ - число периодов выпрямления (1 или 2). КПД: } a \text{ - отношение активной (полезной) мощности в нагрузке к потребляемой (активной) мощности.}$$

Критериями качества сглаживающего фильтра являются: коэффициент сглаживания:

$$\eta_B = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}, \quad S = \frac{K_{\text{н.вх}}}{K_{\text{н.вх}} \cdot K_{\text{н.вых}}} \quad \text{где } K_{\text{н.вх}}, K_{\text{н.вх}}, K_{\text{н.вых}} \text{ коэффициенты пульсации на входе и выходе соответственно. КПД:}$$

$$\eta_{\Phi} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

К выпрямительному устройству предъявляются требования по качеству выходного напряжения, которое характеризуется:
нестабильностью выходного напряжения

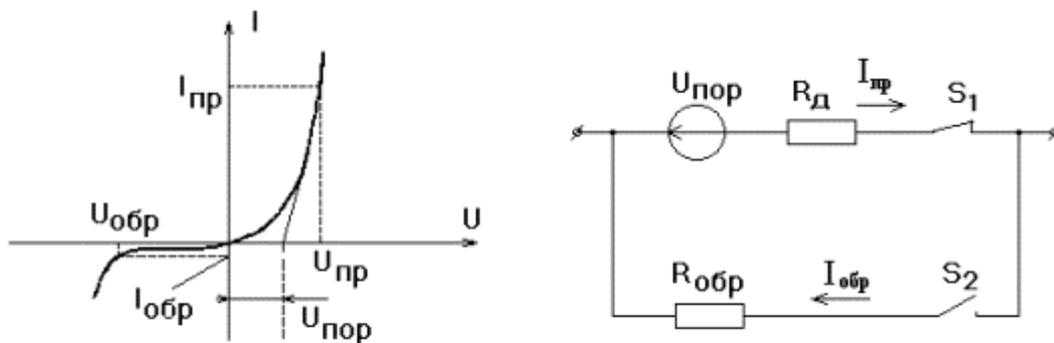
$$N_2 = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых.ном}}}$$

это отношение отклонения напряжения от номинального значения к номинальному значению.
В выпрямительном устройстве с трансформаторным входом существуют следующие способы регулирования выходного напряжения:

- Регулирование в цепи переменного тока (непрерывного и импульсного действия).
- В звене выпрямителя за счет использования полупроводниковых управляемых элементов (тиристоров, симисторов, динисторов).
- В цепи постоянного тока на выходе выпрямительного устройства за счет использования стабилизаторов напряжения (тока) непрерывного или импульсного действия.

Полупроводниковый диод, как элемент выпрямительного устройства

Рассмотрим вольт-амперную характеристику (ВАХ) полупроводникового диода и его схему замещения.



Основными параметрами полупроводникового диода являются:

$$R_{\text{д}} = \frac{dU_{\text{пр}}}{dI_{\text{пр}}}$$

– динамическое сопротивление диода

$$R_{\text{обр}} = \frac{U_{\text{обр}}}{I_{\text{обр}}}$$

– обратное (статическое) сопротивление

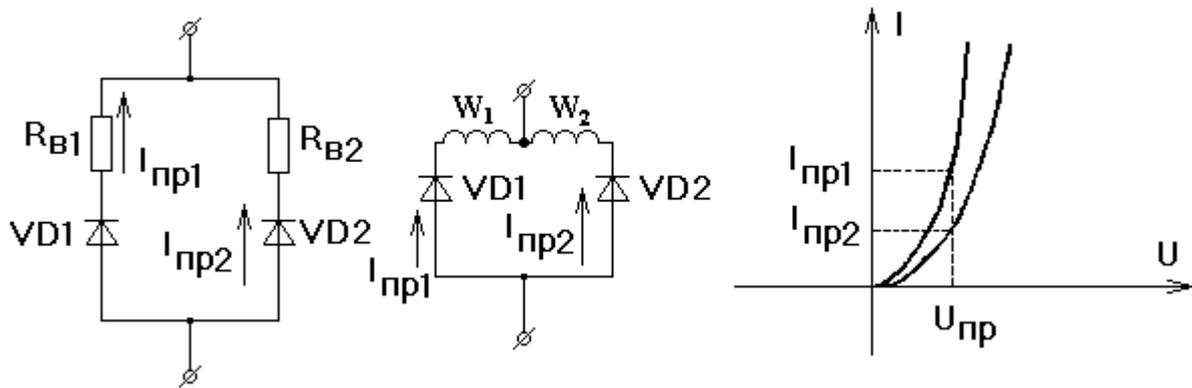
$I_{\text{пр}}$ - предельно допустимый средний прямой ток при включении п/п диода в однополупериодную схему выпрямителя с активной нагрузкой, частотой питающего напряжения 50 Гц с естественным охлаждением элемента и нормальной температурой окружающей среды,

$U_{\text{пр}}$ - среднее прямое напряжения (падение на диоде) в открытом состоянии диода,

$U_{\text{пор}}$ - пороговое напряжения, т.е. противоэдс, которая препятствует нарастанию прямого тока при включении диода,

$U_{\text{обр}}$ - максимально допустимое обратное напряжение, которое может выдержать диод длительно в закрытом состоянии, не подвергаясь опасности пробоя.

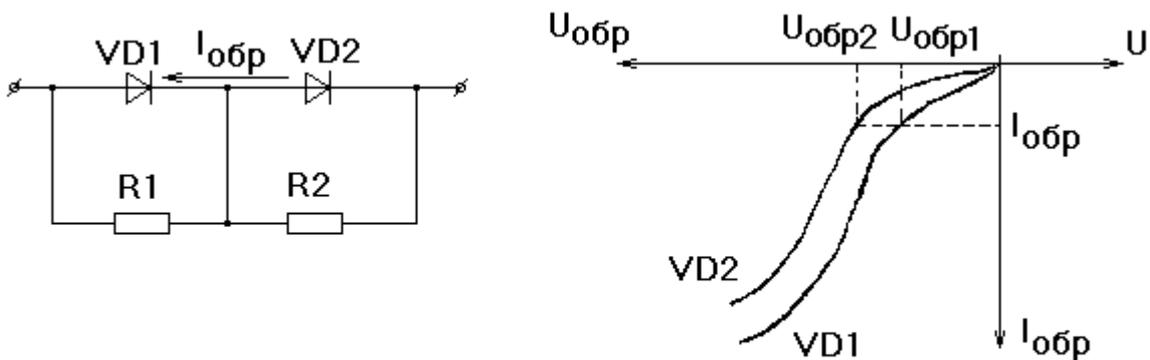
Для увеличения среднего прямого тока ($I_{\text{пр}}$) используют параллельное включение диодов с выравнивающими элементами.



При параллельной работе диодов из-за несовпадения их ВАХ, токи в них распределяются неравномерно (в одном из них будет преобладать среднев्यпрямленный ток $I_{np2} > I_{np1}$). Это может привести к выходу из строя одного из диодов.

Для выравнивания токов используются дополнительные элементы: для средней мощности - резисторы, для большой мощности - уравнивающий реактор.

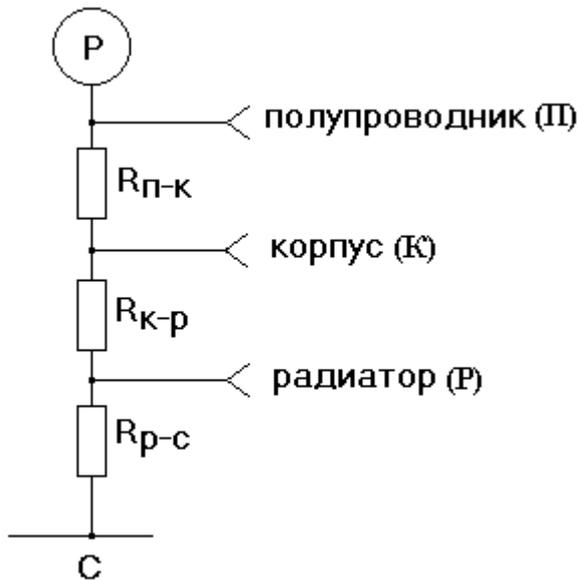
Под действием токов (I_{np2}, I_{np1}), протекающих по обмоткам W_1, W_2 , в них наводится ЭДС. За счет разностного тока образуется поток ДФ, который вызывает появление ЭДС самоиндукции. Там, где произошло превышение тока, ЭДС самоиндукции уменьшает скорость его нарастания, а где уменьшение - за счет ЭДС взаимоиנדукции ток увеличивается. Для увеличения $U_{обр}$ диоды включают последовательно с выравнивающими элементами.



Для выравнивания напряжений ($U_{обр}$), в маломощным выпрямителях, последовательно включенные диоды шунтируются резисторами, величина сопротивлений которых в несколько раз меньше обратного сопротивления диода. Для выпрямителей большой мощности этот способ выравнивания обратных напряжений не пригоден из-за больших потерь в резисторах. Поэтому для мощных выпрямительных устройств применяют реактивные делители напряжения.

Тепловая модель полупроводника

Во время работы полупроводника происходит его перегрев, для охлаждения используют радиатор. Расчет площади радиатора ведется с помощью *тепловой модели*. Тепло, выделяемое в кремниевой пластине диода (П) передается на корпус (К) и далее в окружающую среду (С) через ряд конструктивных элементов.



Величины тепловых сопротивлений в соответствии с типом элемента и радиатора приводятся в справочной литературе. Тепло, распространяющееся от пластины П в окружающую среду, создает на элементах температурный перепад Δt

$$\Delta t = P \cdot (R_{п-к} + R_{к-р} + R_{р-с})$$

Температуру кремниевой пластины можно определить как сумму температуры окружающей среды и перепадов температуры на отдельных элементах:

$$t_n = t_{oc} + \Delta t.$$

Для обеспечения нормального функционирования диода необходимо выполнения условия $t_n < t_{доп}$.

Потери мощности на диоде суммируются из потерь от прямого тока ($P_{пр}$), потерь на преодоления противоЭДС ($P_{пор}$) и коммутационных потерь ($P_{ком}$):

$$P = P_{пор} + P_{пр} + P_{ком}.$$

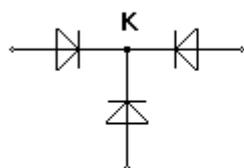
В низкочастотных выпрямительных устройствах коммутационные потери составляют небольшую долю по отношению к остальным потерям, поэтому принимаем

$$P_{ком} = 0, P_{пор} = U_{пор} \cdot I_{пр.ср}, P_{пр} = I_{пр.д}^2 \cdot R_D.$$

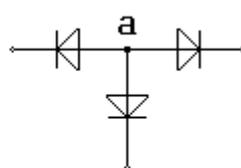
Критерий качества выпрямительных устройств

Полупроводниковые диоды предназначены для коммутации нагрузки к источнику с целью формирования однополярного напряжения в нагрузке при разнополярном напряжении источника.

Существуют понятия *анодной* и *катодной группы* диодов (при соединении элементов в узел катодами или анодами).



катодная гр.



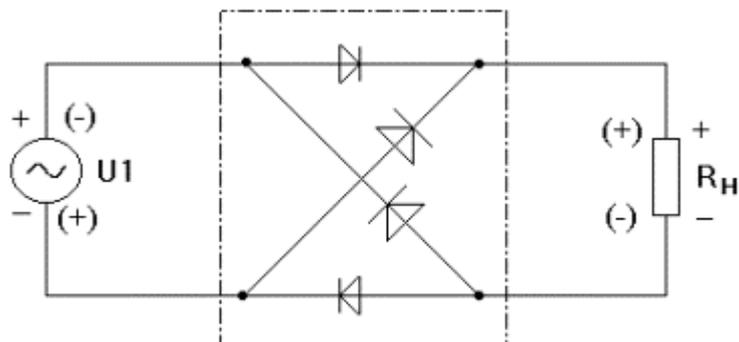
анодная гр.

Принцип коммутации:

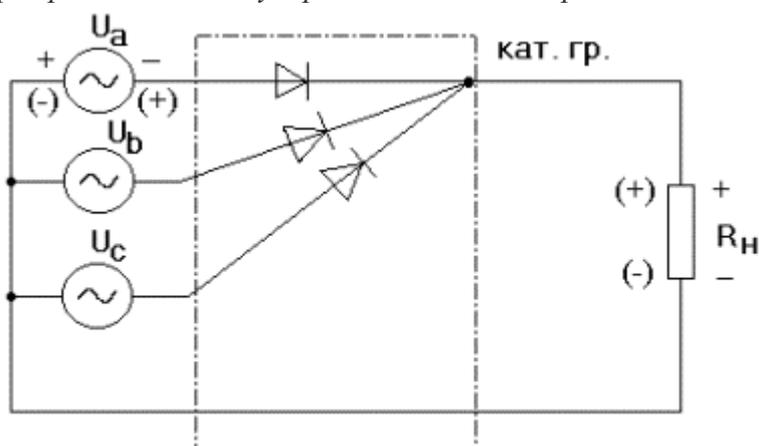
К нагрузке должны быть скоммутированы одна или две разноименные группы. Свободные концы элементов, не соединенные в узел должны быть разведены по источникам. При наличии одной группы другой конец нагрузки должен быть подключен к нулевому выводу или земле. Однополупериодные схемы выпрямления имеют одну группу, двухполупериодные - две.

Рассмотрим принцип коммутации на примере однофазной двухполупериодной и трехфазной однополупериодной схем выпрямления.

Однофазная двухполупериодная схема выпрямления



Трехфазная однополупериодная схема выпрямления

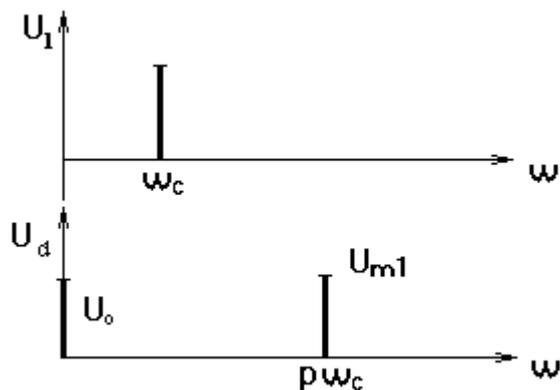


Для анализа выпрямительных устройств используют графоаналитический метод, который включает:

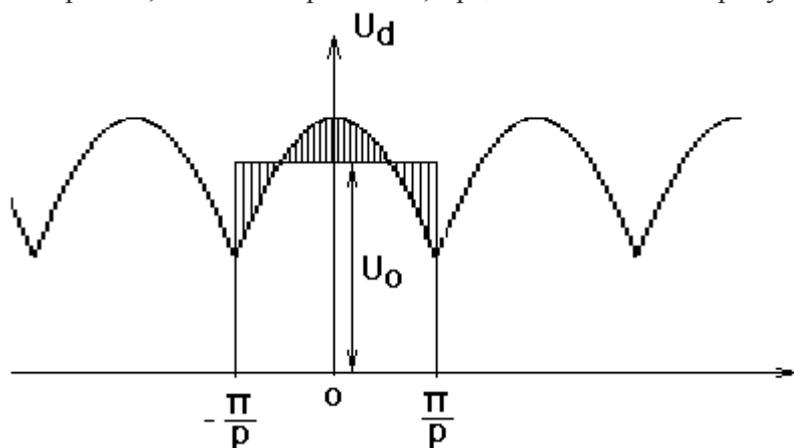
- 1) построение временных диаграмм для I и U при анализе электромагнитных процессов в цепях,
- 2) разложение в ряд Фурье и получение выражений для коэффициентов выпрямления K_0 и пульсаций K_p .

Напряжение на выходе выпрямителя содержит кроме постоянной составляющей U_0 целый ряд гармонических составляющих:

$$U_d = U_0 + \sum_{i=1}^N U_{m_k} \cdot e^{-j\varphi}$$



В соответствии с разложением периодической функции в ряд Фурье ее среднее значение определяется площадью, ограниченной рассматриваемой функцией за период повторяемости, отнесенной к величине периода. Так как площадь определяется вольт-секундным интегралом, то для напряжения, представленного на рисунке получим выражение для U_0 .



Под средневывпрямленным напряжением (U_0) понимается высота прямоугольника, эквивалентного по площади кривой, описывающей выпрямленное напряжение (U_d) за период повторения данной кривой, который равен $2p/p$.

$$U_0 = \frac{P}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}} U_{2m} \cos(\omega \cdot t) d\omega \cdot t = \frac{P}{\pi} U_{2m} \sin \frac{\pi}{p} = \frac{P}{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \sin \frac{\pi}{p}.$$

Коэффициент выпрямления по напряжению равен

$$K_0 = \frac{U_0}{U_2} = \frac{P}{\pi} \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{p}.$$

Получим выражение для амплитуды k -ой гармоники U_{mk} . Очевидно, что U_d - четная функция, поэтому учитываем только косинусоидальные составляющие.

$$U_{mk} = \frac{2}{T_{\Pi}} \int_0^{T_{\Pi}} U_d(t) \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) \cdot dt = \frac{P}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{p}}^{\frac{\pi}{p}} U_{2m} \cos \omega \cdot t \cdot \cos k \omega \cdot t \cdot d\omega \cdot t.$$

$$U_{mk} = \frac{P}{\pi} U_2 \sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{2}{k^2 p^2 - 1}$$

Коэффициент пульсаций определяется выражением:

$$K_{n(k)} = \frac{2}{k^2 p^2 - 1},$$

где k - номер гармоники.

Для повышения качества выпрямленного напряжения необходимо увеличивать пульсность схемы выпрямления. Существуют следующие способы ее повышения:

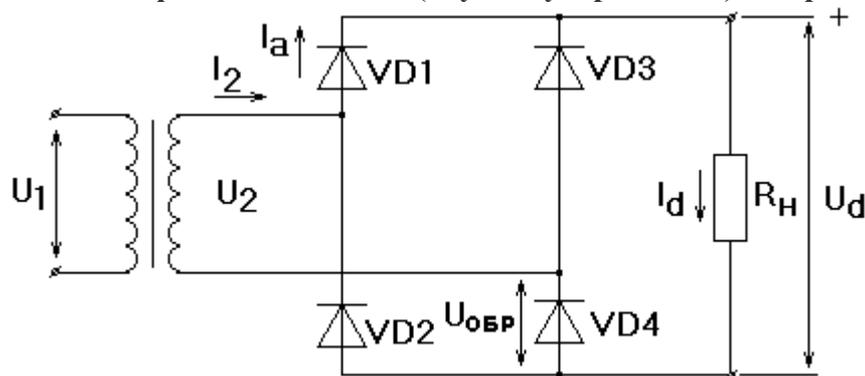
- увеличение фазности питающих напряжений,
- увеличение числа коммутируемых элементов,
- расщепление фазных напряжений за счет использования способа соединения трансформатора "зигзагом".

Для вычисления предельного значения K_0 по правилу Лопиталья при $p \rightarrow \infty$: $K_0 \rightarrow \sqrt{2}$, а $U_0 \rightarrow U_{2m}$.

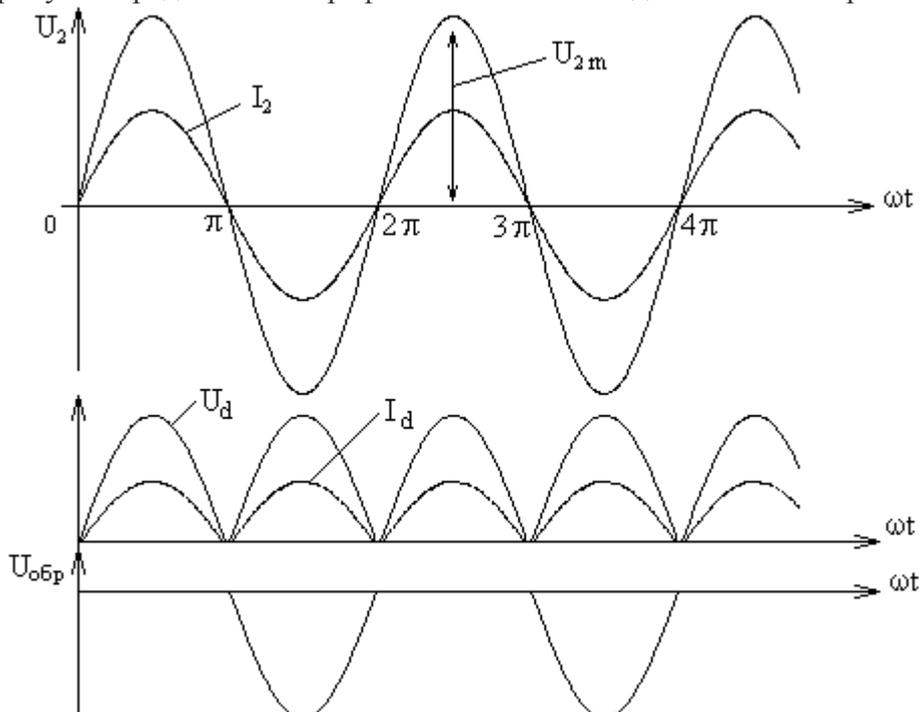
Неуправляемые выпрямители

При анализе схем выпрямления принимаем потери в диодах и трансформаторе равными нулю, и будем анализировать работу схемы на активную нагрузку.

2.1.1 Однофазный мостовой (двухполупериодный) выпрямитель



Данная схема позволяет получить двухполупериодное выпрямление. Она содержит трансформатор и четыре диода, два из которых, соединяясь анодами, образуют общий минус выпрямителя, а два другие, соединяясь катодами, образуют общий плюс выпрямителя. На рисунке представлены графики зависимостей для токов и напряжений цепей.



На интервале от 0 до π фазное напряжение (U_2) имеет положительное значение. При этом диоды VD1 и VD4 находятся в открытом состоянии, и положительная полуволна напряжения U_2 проходит в нагрузку. В момент смены полярности U_2 происходит перекоммутация вентилей (коммутируются VD3, VD2).

Достоинства однофазного мостового выпрямителя:

- высокое значение коэффициента выпрямления K_0 , малый уровень пульсации напряжения (низкое значение K_n) по сравнению с однополупериодной схемой выпрямителя.
- по сравнению со схемой "со средней точкой трансформатора" (двухполупериодной, однофазной) в схеме обеспечивается лучшее использование трансформатора и уровень обратного напряжения имеет меньшее значение.

Недостатки: коммутация двух вентилей в каждый момент времени приводит к увеличению потерь в звене выпрямителя, что нежелательно при больших токах. Наличие двух групп в схеме не позволяет размещать их на одном радиаторе без изоляции.

Получим основные соотношения для данной схемы выпрямления:

$$K_{I_a} = \frac{I_a}{I_0} = 0,5$$

- т.к. ток через диод протекает в течение полупериода.

$$K_0 = \frac{P}{\pi} \sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0.9$$

$$K_{n(1)} = \frac{2}{p^2 - 1} = \frac{2}{2^2 - 1} = \frac{2}{3} = 0.67$$

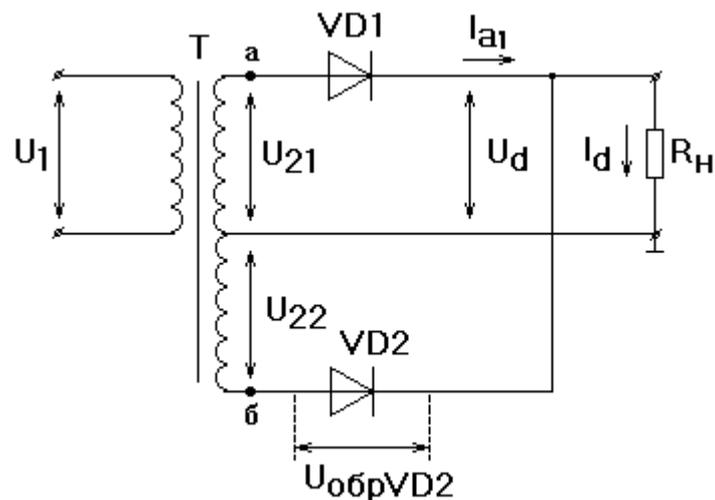
$$K_{mp} = \frac{P_{mp}}{P_0}, \text{ где}$$

$$P_{mp} = \frac{1}{2}(U_1 I_1 + U_2 I_2) = U_2 \cdot I_2 = K_{0U}^{-1} \cdot U_0 \cdot K_{0I}^{-1} \cdot I_0 =$$

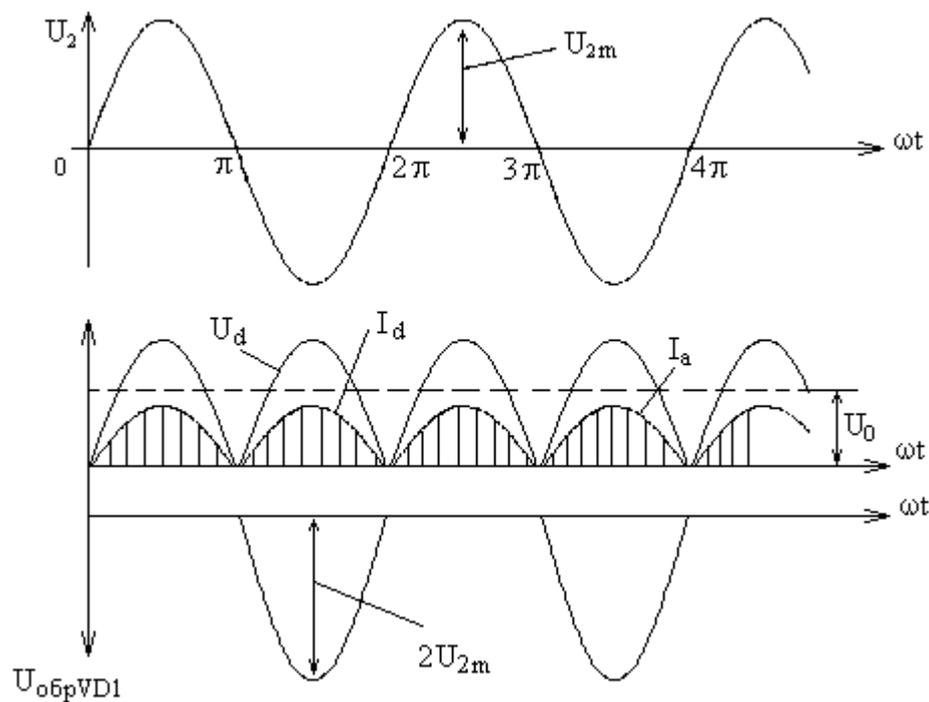
$$= 1,11 \cdot 1,11 \cdot P_0; K_{mp} = 1,23.$$

2.1.2. Однофазная схема с нулевым выводом (двухполупериодная)

Схема выпрямителя представляет собой сочетание двух однополупериодных выпрямителей, работающих на общую нагрузку.



На рисунке представлены графики зависимостей для токов и напряжений цепей.



На интервале времени $[0; \pi]$ потенциал точки а - положительный, а точки б - отрицательный, поэтому диод VD1 - открыт и через него протекает ток. Напряжение, снимаемое с верхней обмотки трансформатора прикладывается к нагрузке. В момент π происходит перекоммутация с VD1 на VD2, т.к. отрицательный потенциал прикладывается к катоду VD2. Таким образом через нагрузку ток протекает в одном и том же направлении в течение одного периода.

Достоинства схемы выпрямления: за счет малого числа коммутируемых элементов уменьшаются потери в выпрямительном звене, что позволяет использовать схему при высоком токе нагрузки. Существует возможность размещения полупроводников на одном радиаторе без изолятора.

Недостатки схемы выпрямления: при отключении диода за счет наведения ЭДС с работающей полуобмотки в неработающую происходит удвоение напряжения, прикладываемого к диоду в закрытом состоянии. Это не позволяет использовать схему при высоких уровнях выпрямленного напряжения. Кроме того на каждом такте участвует в работе только одна из полуобмоток, что ухудшает использование трансформатора. С точки зрения качественных показателей (K_0, K_n) данная схема не отличается от однофазной мостовой схемы выпрямления.

Основные соотношения для схемы выпрямителя:

$$p = 2; K_{I_a} = \frac{I_a}{I_0} = 0,5; K_{n(1)} = \frac{2}{k^2 p^2 - 1} = \frac{2}{2^2 - 1} = 0,67$$

$$K_{U_{обр}} = \frac{U_{обр}}{U_0} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_2}{0,9 \cdot U_2} = 3,14$$

$$P_{mp} = \frac{1}{2}(U_1 I_1 + U_2 I_2) = \frac{1}{2}(1,23 \cdot P_0 + 1,23 \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot P_0) = 1,47 \cdot P_0$$

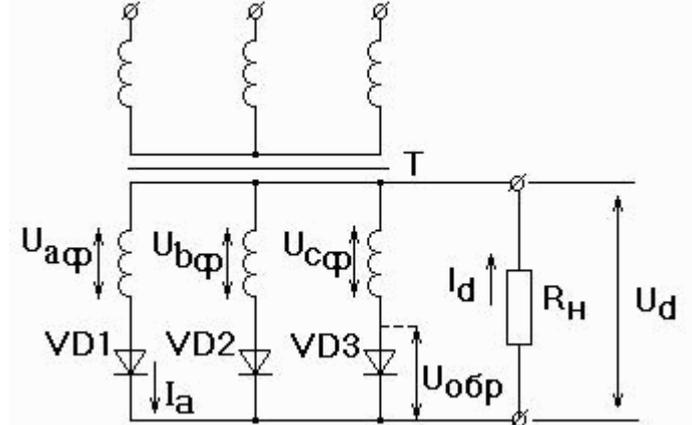
Под габаритной мощностью трансформатора понимаем полусумму мощностей всех обмоток трансформатора, поэтому с учетом 2-х полуобмоток трансформатора в уравнение для P_{mp} во втором слагаемом появляется множитель, равный 2. Ток I_a протекает в течение одного полупериода и имеет синусоидальную форму, поэтому дополнительно появляется

$$I_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_2^2(t) \cdot dt}$$

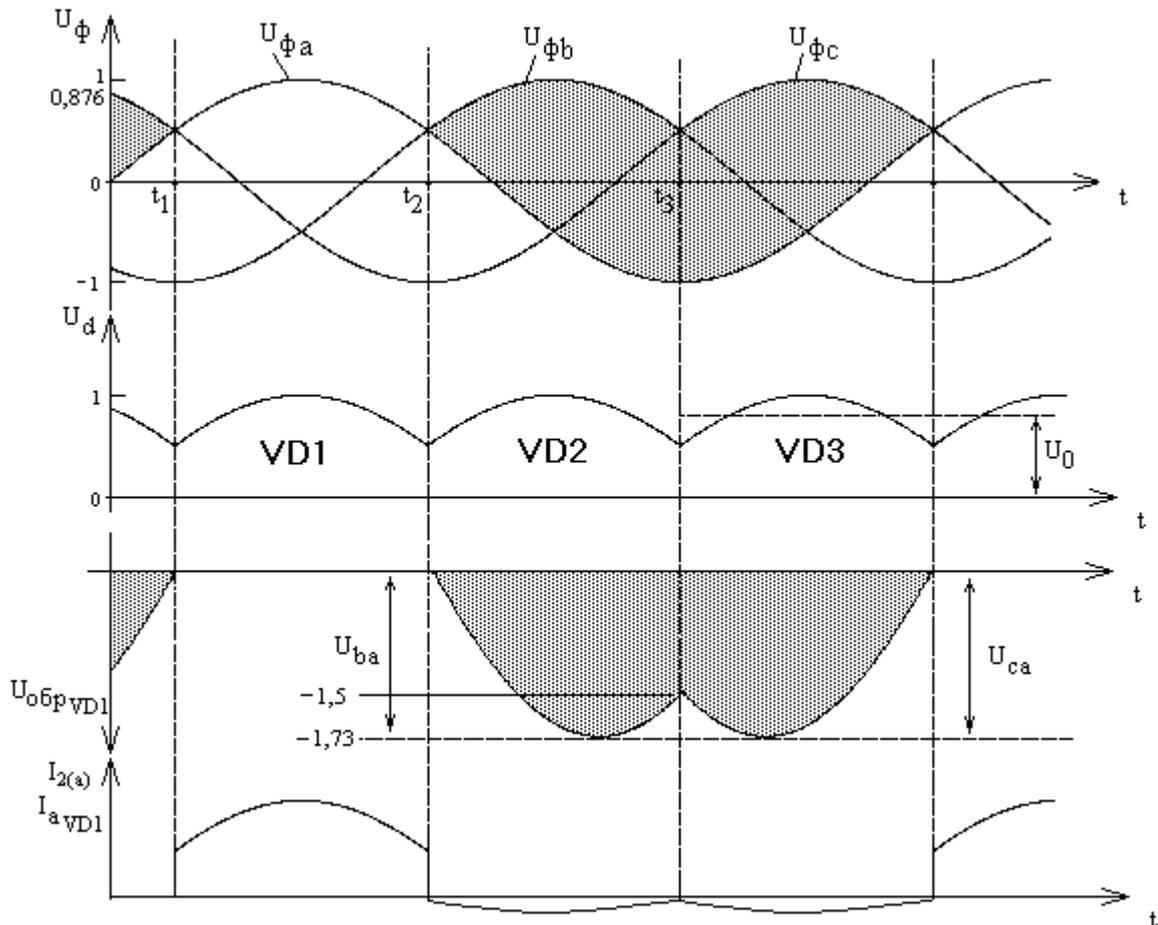
множитель, равный 1/ (поскольку $K_{тр} = 1,23$, что используется в уравнение для $P_{тр}$. Тогда, для двухполупериодной схемы имеем $K_{мп} = 1,47$).

2.1.3. Трехфазный выпрямитель с нулевым выводом (трехфазный однополупериодный)

Данная схема содержит трехфазный трансформатор Т и три диода. Нагрузка включается между точкой соединения диодов и нулевым выводом.



На рисунке представлены графики зависимостей для токов и напряжений различных цепей схемы выпрямления.



На интервале времени $[t_1; t_2]$ фаза "a" имеет наибольший потенциал по сравнению с другими фазами относительно нулевой точки трансформатора, поэтому диод VD1 находится в

открытом состоянии и через него протекает ток. На нагрузке напряжение изменяется по закону огибающей фазы "а". В момент t_2 происходит перекоммутация с VD1 на VD2, т.к. потенциал фазы "b" становится наибольшим по отношению к нулевой точке. К нагрузке прикладывается фазное напряжение.

На интервале времени $[t_2; t_3]$ к первому диоду прикладывается линейное напряжение между фазами "b" и "а" и он находится в закрытом состоянии. В момент t_3 прикладывается линейное напряжения U_{ca} , так как происходит переключение вентилей (с VD2 на VD3).

К недостатком этой схемы можно отнести:

- Высокий уровень обратного напряжения (среднее напряжение - фазное, обратное - линейное), что не позволяет использовать данную схему при повышенных уровнях напряжения.
- Ток во вторичной цепи трансформатора протекает в течение одной третьей части периода и имеет одностороннее направление, что увеличивает габаритные размеры трансформатора. Для исключения подмагничивания сердечника необходимо делать запас по намагниченности (уменьшать значение B_m), что приводит к дополнительному увеличению габаритов трансформатора. Иногда в сердечник трансформатора вводят воздушный зазор.
- Более низкие качественные показатели (K_p , K_0) по сравнению с двухполупериодной схемой выпрямления.
- Индуктивность рассеяния трансформатора влияет на форму выпрямленного напряжения, что является ограничением по мощности. При этом снижается уровень выпрямленного напряжения, и возрастают пульсации.
- С точки зрения монтажа схемы - исключена возможность соединения вторичной цепи треугольником из за нулевого вывода.

Достоинствами схемы выпрямления являются:

- более высокие токи нагрузки по сравнению с двухтактной схемой (малые потери из-за того, что в работе участвует один вентиль в любой момент времени).
- с точки зрения монтажа - существует возможность размещения полупроводников на одном радиаторе.

Основные соотношения:

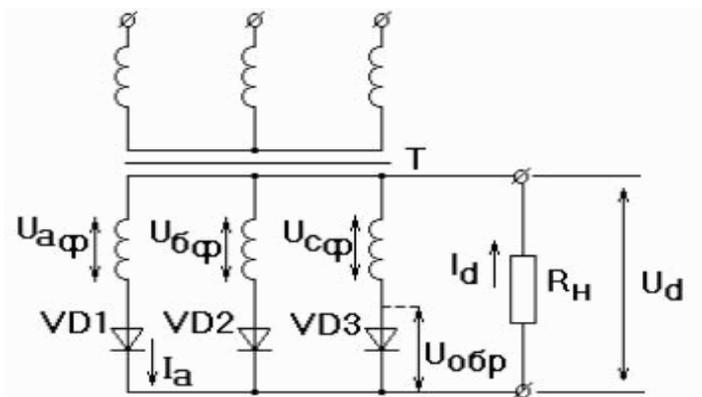
$$p = 3; K_{Ia} = \frac{I_a}{I_0} = 0,33;$$

$$K_{n(1)} = \frac{2}{k^2 p^2 - 1} = \frac{2}{3^2 - 1} = 0,25;$$

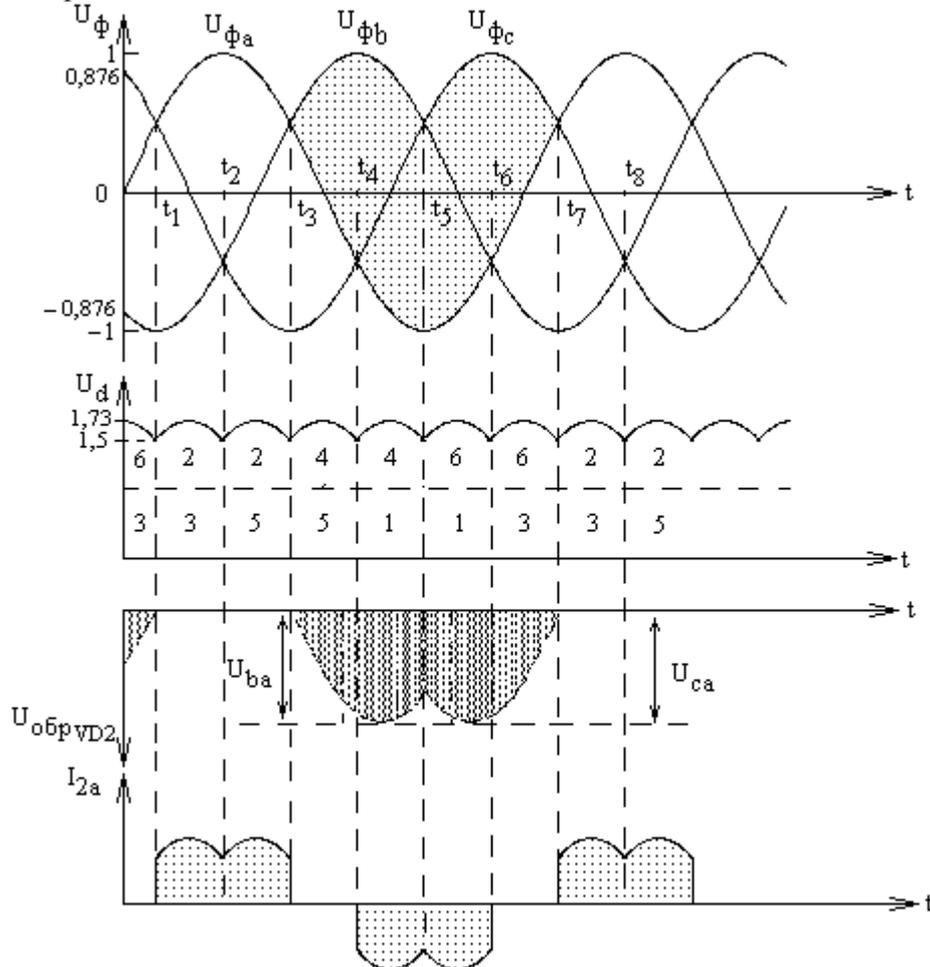
$$K_{U_{св}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_2}{1,17 \cdot U_2} = 2,08; \quad K_{mp}=1,35$$

2.1.4. Трехфазная мостовая схема выпрямителя

Данная схема состоит из двух трехфазных однополупериодных схем выпрямления, питающихся от одних и тех же вторичных обмоток трансформатора и, работающих на общую нагрузку.



На рисунке представлены графики зависимостей для токов и напряжений цепей схемы выпрямления.



На интервале $[t_1; t_3]$ фаза "a" имеет наибольший потенциал по отношению к другим фазам, поэтому диод VD2 работает два такта (т.к. к аноду прикладывается "+"). В момент времени t_3 происходит перекоммутация в катодной группе со второго на четвертый диод, т.к. фаза "b" становится более положительной по отношению к другим фазам.

На интервале $[t_2; t_4]$ фаза "c" имеет более отрицательный потенциал по отношению к другим фазам. Отрицательный потенциал прикладывается к катоду пятого вентиля, и он работает два такта.

К недостаткам схемы можно отнести:

- Большое падение напряжения на внутреннем сопротивлении выпрямителя за счет работы двух вентилях, что не позволяет использовать схему при высоких значениях тока нагрузки.
- Наличие двух радиаторов для анодной и катодной групп.

Достоинствами схемы выпрямления являются:

- Высокое значение коэффициента выпрямления K_0 и малый уровень обратного напряжения, что позволяет использовать схему при высоких уровнях напряжения.

- Малое значение коэффициента пульсаций по сравнению со схемой с нулевым выводом, что уменьшает габариты сглаживающего фильтра.
- Возможность использования различных способов соединения обмоток трансформатора во вторичной цепи.
- Отсутствие одностороннего намагничивания сердечника трансформатора (ток во вторичной цепи трансформатора - двухполярный).
- Хорошее использование трансформатора (ток во вторичной цепи трансформатора протекает 2/3 периода), что увеличивает КПД устройства.

В связи с вышеперечисленным рядом достоинств данная схема нашла очень широкое распространение.

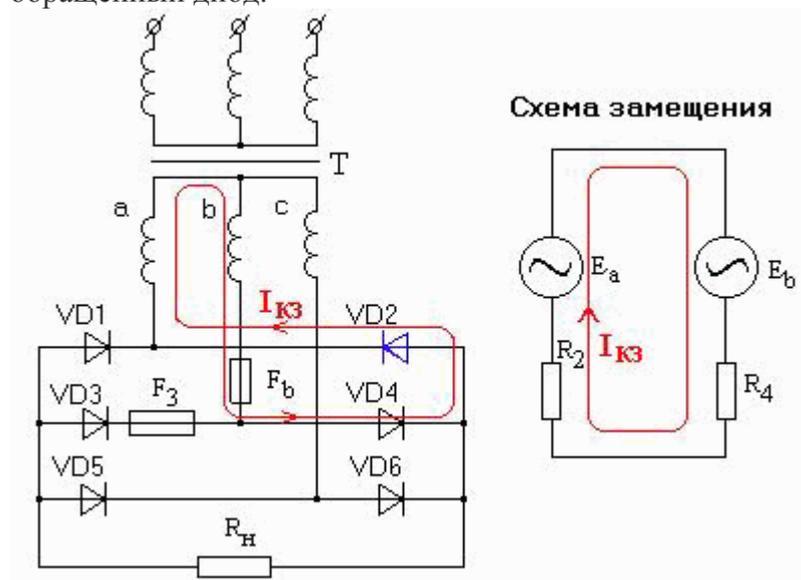
Основные соотношения:

$$p = 6; K_{Ia} = \frac{I_a}{I_0} = 0,33 \quad ; \quad K_{n(1)} = \frac{2}{k^2 p^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0,057$$

$$K_0 = \frac{p}{\pi} \sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) = \frac{6}{3,14} \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{6} = 1,35 \quad ; \quad K_{U_{ав}} = \frac{\sqrt{3} \sqrt{2} \cdot U_2}{1,35 \cdot U_2} = 1,05 \quad ; \quad K_{mp} = 1,05$$

Аномальные режимы работы выпрямителей

1. При неправильном подключении диода (обращенный диод) в схеме выпрямителя возникает короткозамкнутый контур, что приводит к выгоранию группы, где установлен обращенный диод.

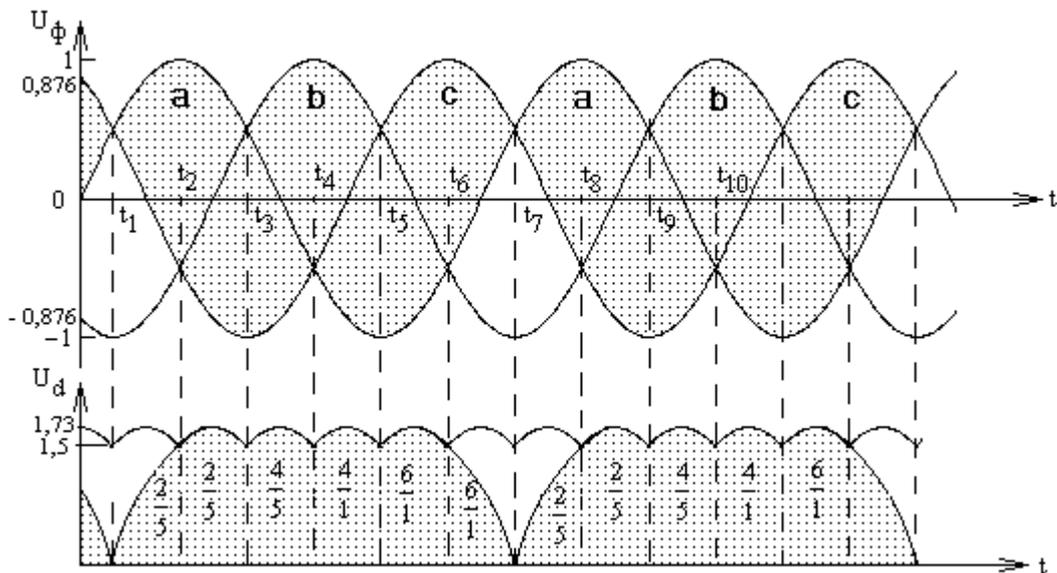


Где R₂, R₄ - динамические сопротивления диодов,

$$I_{кз} = \frac{E_a + E_b}{R_2 + R_4}$$

II При сгорании предохранителя, установленного в цепи диода, происходит пропадание одной из полуволн фазного напряжения, что приводит к снижению уровня средневыхрямленного напряжения и появлению низкочастотной пульсации.

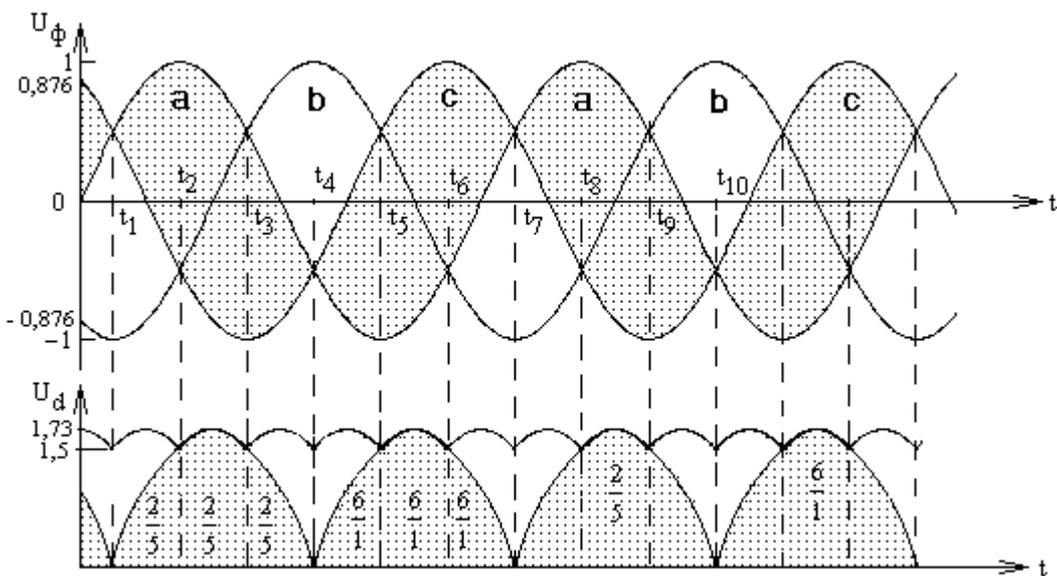
Рассмотрим на примере предохранителя F3. При сгорании данного предохранителя не обеспечивается прохождение отрицательной полуволны напряжения фазы " b ".



На интервале $[t_1; t_3]$ наиболее высокий потенциал имеет фаза "a" по сравнению с другими фазами, низкий - у фазы "c", т.к. фаза "b" отсутствует. В момент времени t_2 не будет происходить перекоммутация. Поэтому второй и пятый вентили работают два такта.

В момент t_7 происходит перекоммутация двух вентилей т.к. отрицательная полуволна фазы "b" отсутствует, а фазы "a" и "c" в точки пересечения изменяют свой знак.

III При сгорании предохранителя, установленного во вторичной цепи трансформатора в одной из фаз (смотрите выше приведенный рисунок для F_b) происходит обрыв этой фазы, что приводит к уменьшению уровня средневывпрямленного напряжения и появлению низкочастотной пульсации, равной $2\omega f_{\text{сети}}$. Форма выпрямленного напряжения идентична форме на выходе однофазного мостового выпрямителя с той разницей, что вместо фазного напряжения на вход подается линейное напряжения двух фаз.

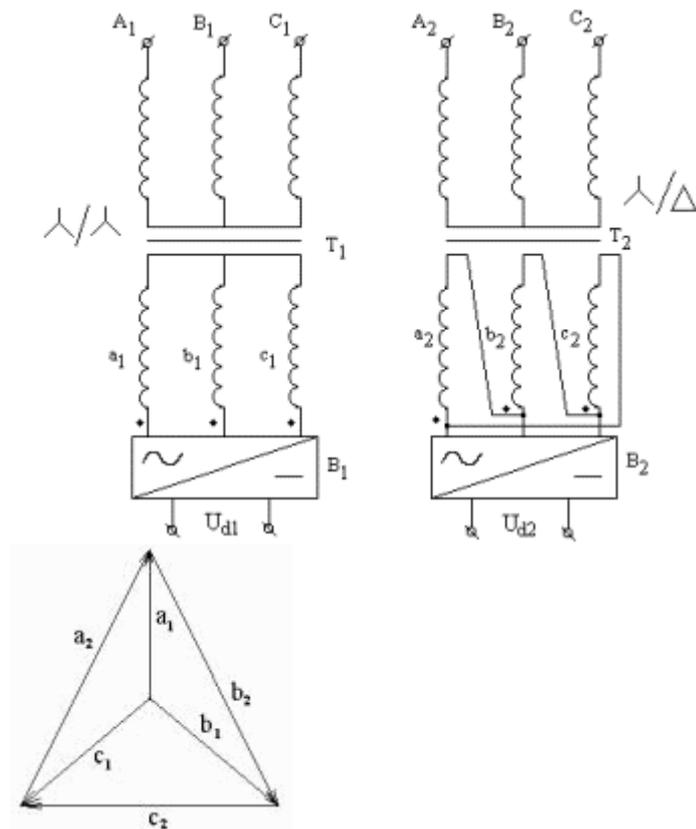


В моменты времени t_2 и t_3 нет коммутации из-за препятствия прохождения фазы "b". В моменты времени t_1 и t_4 происходит перекоммутация двух вентилей. На интервале $[t_1; t_4]$ наибольший потенциал имеет фаза "a", поэтому положительный потенциал прикладывается к диоду VD2 и через него протекает ток, а наибольший отрицательный потенциал фазы "c" прикладывается к катоду VD5.

IV При перекосе фазных напряжений происходит снижение уровня выпрямленного напряжения и появление низкочастотной пульсации. Диаграммы аналогичны пропаданию фазы.

2.1.5. Способы повышения пульсности выпрямителей

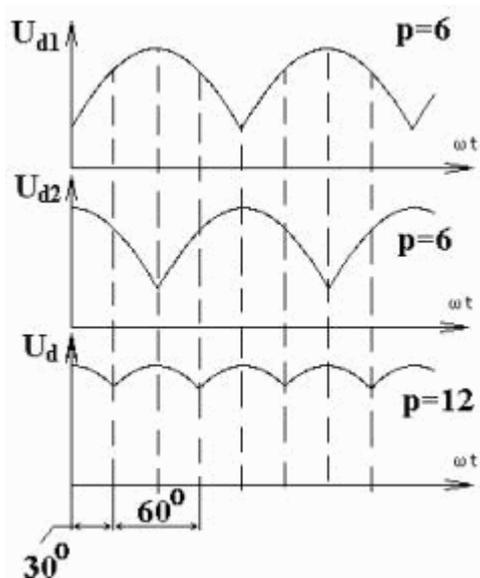
I Для повышения мощности выпрямительных устройств используют последовательное или параллельное включение выпрямителей. При сочетании двух способов соединения обмоток трансформатора ("треугольник" и "звезда") в первичной либо во вторичной цепях схем выпрямителей, включенных параллельно или последовательно пульсность устройства возрастает в два раза.



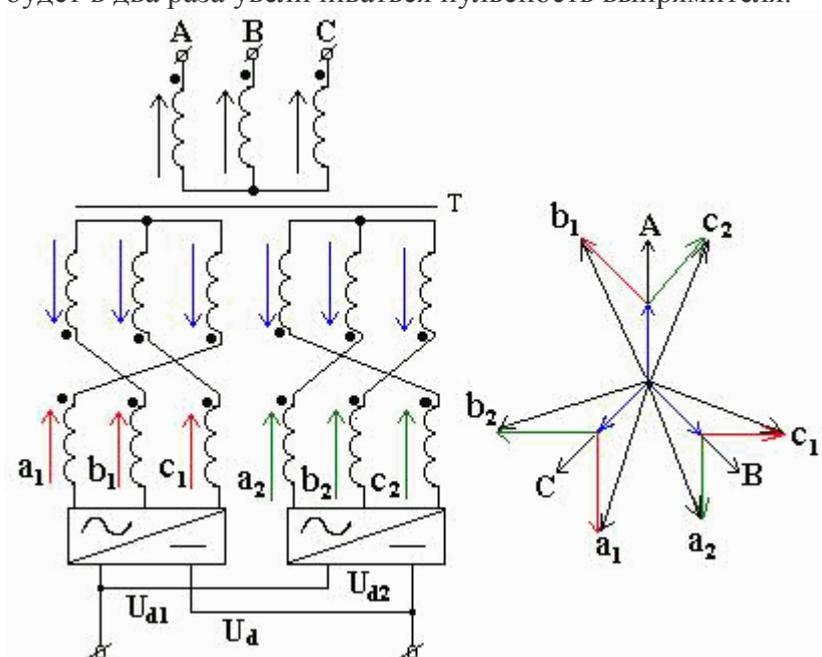
Если каждый из выпрямителей построен по трехфазной мостовой схеме ($p=6$), то получаем схему 12-пульсного выпрямителя. При питании каждого из мостов напряжениями, сдвинутыми по фазе на угол $2p/6$ (30°), пульсации выходных напряжений мостов B_1 и B_2 оказываются сдвинутыми также на 30° .

При расчете трансформатора для 12-пульсного выпрямителя следует учесть, что из первичной цепи трансформатора во вторичную передаются фазные напряжения. В трехфазном мостовом выпрямителе в нагрузку передается линейное напряжение трансформатора. Поэтому для согласования выпрямителей во вторичной цепи трансформатора, включенного в "треугольник" необходимо увеличивать число витков фазных обмоток вторичной цепи в $\sqrt{3}$ раз (т. к. в "звезде": $U_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U_{\Phi}$; "треугольнике": $U_{\Delta} = U_{\Phi}$).

На рисунке приводятся временные зависимости выпрямленного напряжения в 12-пульсном выпрямителе.



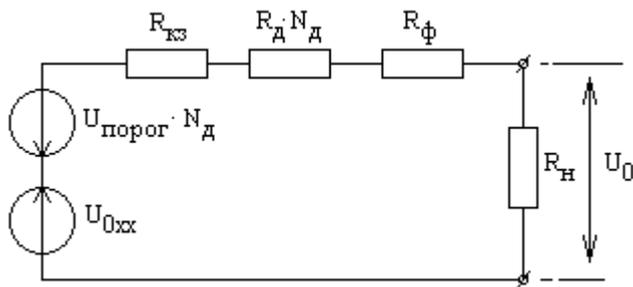
II За счет использования включения трансформаторов во вторичной цепи в "зигзаг" можно осуществлять многократное расщепление фазных напряжений. При каждом расщеплении будет в два раза увеличиваться пульсность выпрямителя.



Соотношение витков полу обмоток вторичной цепи трансформаторов, включенных в "зигзаг" подбирается таким образом, чтобы получить фазовый сдвиг напряжений на входах выпрямителей 15° по отношению к друг другу. При этом пульсность на выходе выпрямительного устройства (для U_d) увеличивается в 2 раза.

2.1.6. Внешняя характеристика выпрямителя

Внешняя характеристика выпрямителя - зависимость средневыврямленного напряжения от изменения тока нагрузки. Схема замещения выпрямителя в цепи постоянного тока имеет вид:



U_{0xx} - максимальный уровень напряжения на "холостом ходу" неуправляемого выпрямителя

$$U_{0xx} = \frac{P}{\pi} U_{2m} \sin \frac{\pi}{p}, \text{ где } U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_{2xx};$$

без учета противоЭДС ($U_{пор}$), т.е.

N_d - число одновременно коммутируемых элементов (в однополупериодной схеме $N_d=1$, в двухполупериодной $N_d=2$);

$R_{кз}$ - потери в обмотке трансформатора, определяемые из опыта "короткого замыкания";

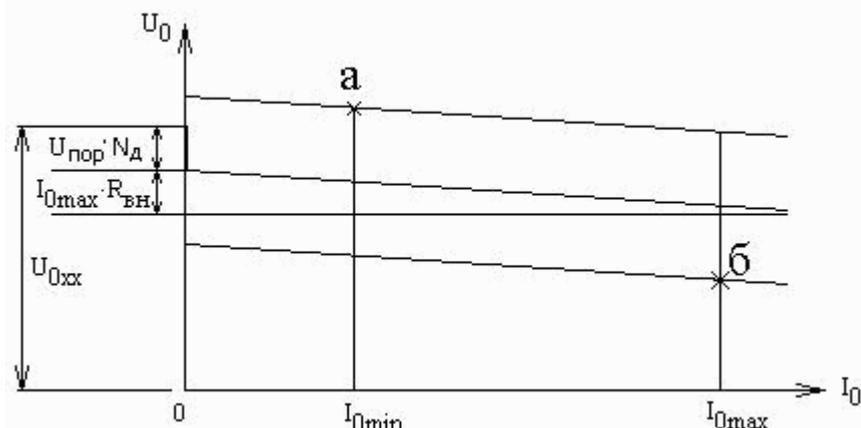
R_d - динамическое сопротивление диода;

$R_{фр}$ - активные потери в дросселе сглаживающего фильтра.

Уравнение для определения среднего напряжения на выходе нагруженного выпрямителя

имеет вид: $U_0 = U_{0xx} - U_{пор} \cdot N_d - I_0 \cdot R_{ен}$, где $R_{ен} = R_{кз} + R_d \cdot N_d + R_{фр}$.

На рисунке представлена внешняя характеристика выпрямителя.



Напряжение в точке "а" характеристики определяется из

выражения $U_{0a} = U_{0xx} (1 + N_c) - U_{пор} \cdot N_d - I_{0min} \cdot R_{ВН}$,

$$N_c = \frac{\Delta U_2}{U_{2ном}}$$

где

N_c - нестабильность входного напряжения (относительные единицы),

$U_{2ном}$ - номинальное значение напряжения во вторичной цепи трансформатора.

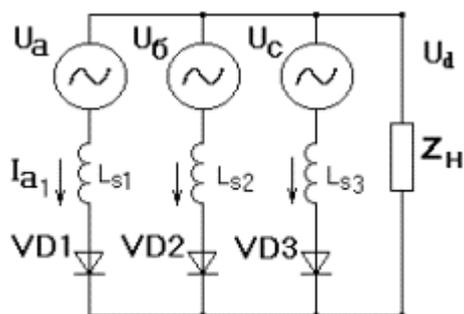
Напряжение в точке "б" характеристики равно

$$U_{0б} = U_{0xx} (1 - N_c) - U_{пор} \cdot N_d - I_{0max} \cdot R_{ВН}.$$

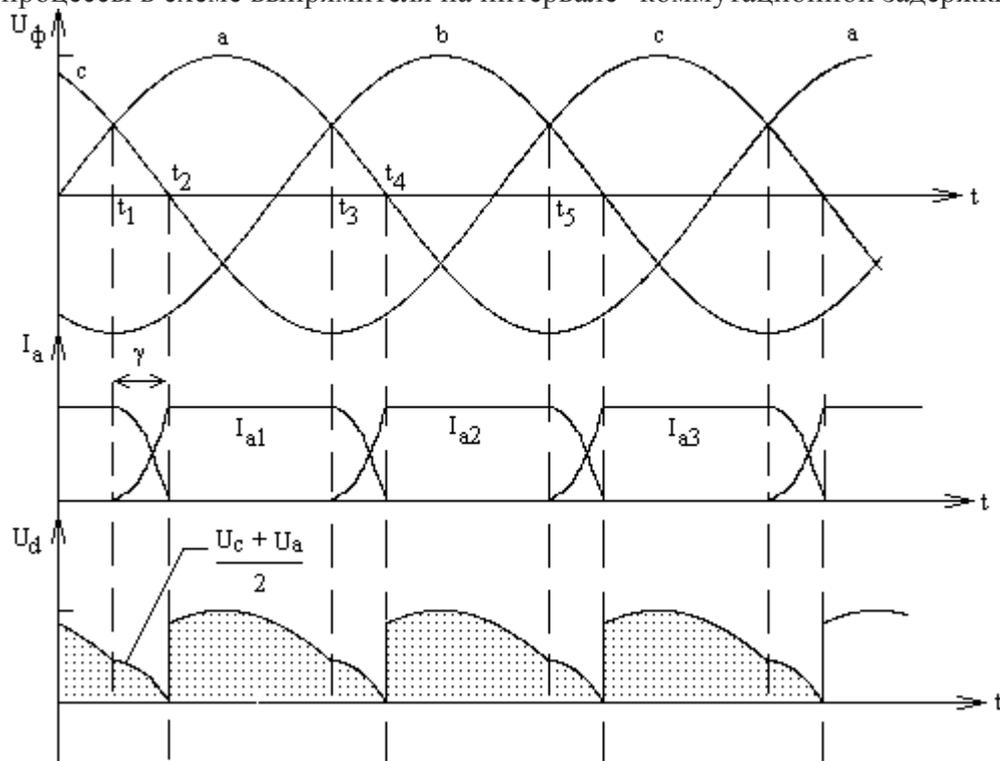
Под *семейством внешних характеристик* понимается построение $U_0=f(I_0)$ с учетом отклонения напряжения сети и в диапазоне тока ($I_{0max} \dots I_{0min}$). При построении регулировочной характеристики в управляемом выпрямителе учитываются значения напряжения в точках "а" и "б" и диапазон отклонения напряжения от номинального (N_c).

2.1.7. Влияние индуктивности рассеяния трансформатора на форму выпрямленного напряжения в 3-х фазной схеме выпрямителя с нулевым выводом

На интервале $[t_1; t_2]$ по первому закону коммутации ток VD1 не может скачком измениться до нуля, происходит снижение тока по экспоненциальному закону. Ток в цепи диода VD2 также нарастает по экспоненте. К нагрузке прикладывается напряжение 2-х фаз ("a" и "c"), что оказывает влияние на форму выпрямленного напряжения. Это уменьшает уровень выпрямленного напряжения и увеличивает уровень пульсаций напряжения на нагрузке. При работе на индуктивную нагрузку происходит аналогичное влияние на форму выпрямленного напряжения коммутационных задержек, связанных с индуктивными элементами нагрузки. Интервал "коммутационной задержки" зависит от величины $I_{нагр}$, поэтому данная схема имеет ограничение по величине тока из-за влияния индуктивности рассеяния. Схема замещения на интервале задержки имеет вид:



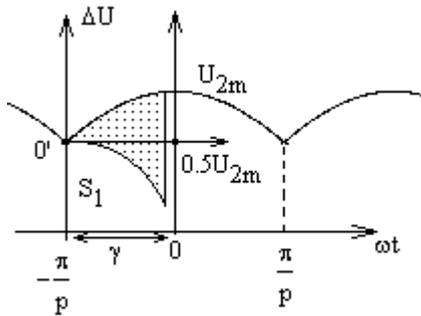
На рисунке изображены временные зависимости токов и напряжений в цепях, поясняющие процессы в схеме выпрямителя на интервале "коммутационной задержки" g .



Используя метод узловых потенциалов, получим выражение для среднего значения выходного напряжения выпрямителя с учетом влияния индуктивности нагрузки:

$$U_0 = \frac{\frac{U_c}{R_{\partial 3}} + \frac{U_a}{R_{\partial 1}}}{\frac{1}{R_{\partial 3}} + \frac{1}{R_{\partial 1}} + \frac{1}{R_n}} = [m.k.R_n \gg R_{\partial 1} = R_{\partial 3}] = \frac{U_c + U_a}{2}$$

При получении выражения для U_0 с учетом влияния индуктивных элементов цепей пренебрегают не заштрихованной площадью S_1 , а заштрихованную площадь описывают синусоидальным законом изменения напряжения при $0.5U_{2m}$.

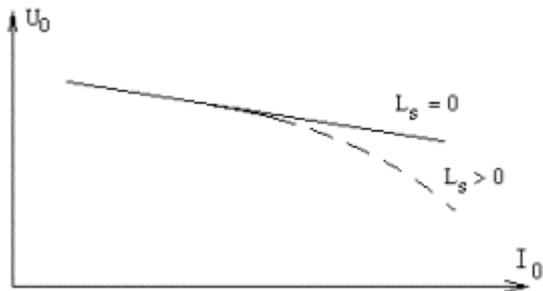


$$U_0(\gamma) = U_0 - \Delta U, \text{ где}$$

$$\Delta U = \frac{P}{2\pi} \int_0^\gamma \frac{1}{2} U_{2m} \sin \omega \cdot t \cdot d\omega \cdot t = \frac{P}{4\pi} U_{2m} (1 - \cos \gamma),$$

$$R_\gamma = \frac{\omega_n \cdot L_s}{2\pi}$$

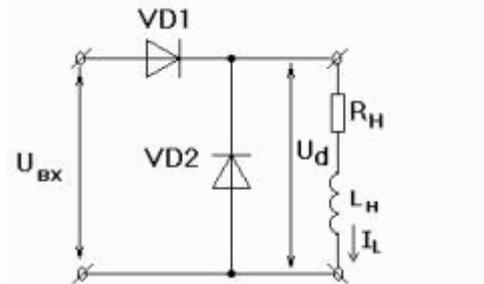
Для анализа внешней характеристики выпрямителя вводят параметр учитывающий влияние L_s . С увеличением тока спад внешней характеристики будет больше.



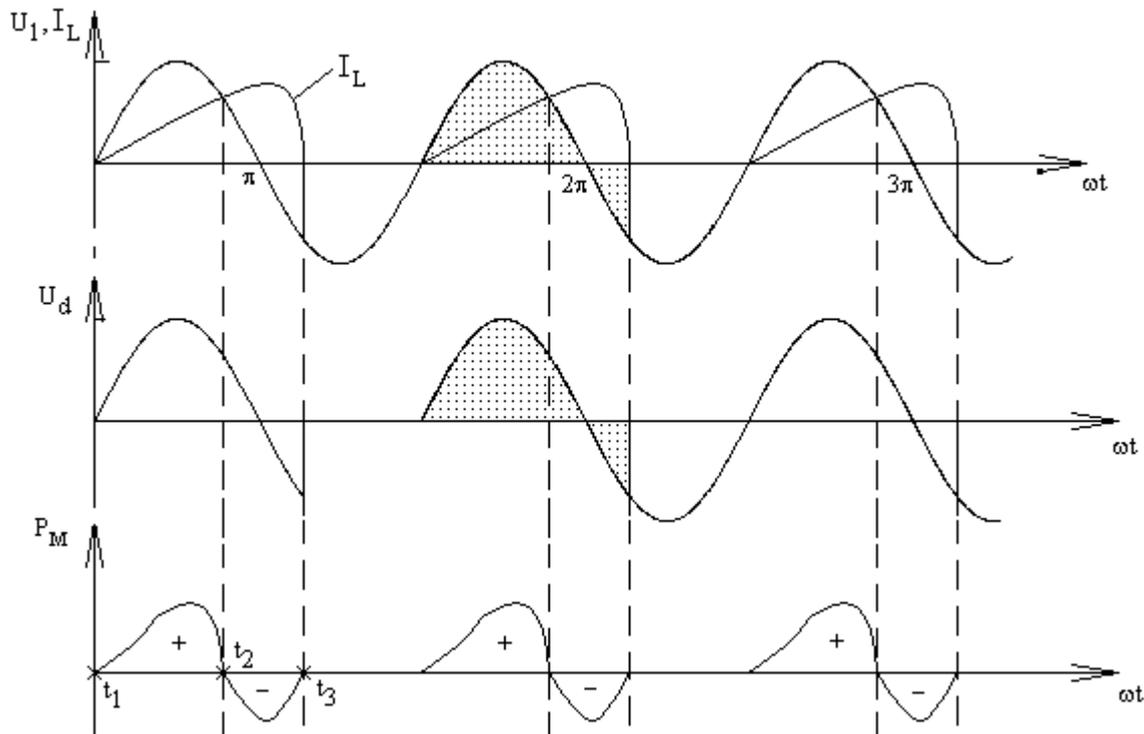
2.1.8. Влияние различных видов нагрузок на работу неуправляемых выпрямителей

Активно-индуктивная нагрузка

Рассмотрим на примере однополупериодной схемы выпрямления:



На рисунке изображены графические зависимости для токов, напряжений и мгновенной мощности с целью пояснения процессов, протекающих в схеме выпрямления.



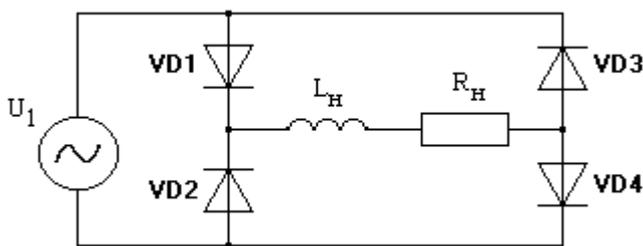
На интервале $[t_1 ; t_2]$ положительный потенциал фазы U_1 коммутует диод VD1, при этом в

$$\frac{L_H I_L^2}{2}$$

дросселе L_H накапливается реактивная энергия. На интервале $[t_2 ; t_3]$ VD1 остается открытым из-за положительного тока дросселя и энергия дросселя отдается в источник U_1 (такой режим называется инверторным). Коммутационная задержка на выключение VD1 уменьшает уровень выпрямляемого напряжения, увеличивая его пульсации.

Для исключения влияния индуктивности нагрузки на форму выпрямленного напряжения параллельно к нагрузке включается обратный диод, который обеспечивает сброс реактивной энергии дросселя в нагрузку и тем самым исключает отрицательный выброс выпрямленного напряжения.

В двухполупериодной однофазной схеме роль обратного диода играет один из диодов выпрямителя, который включается первым.

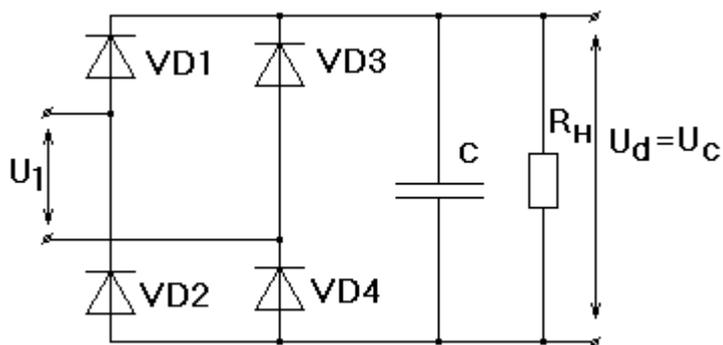


При положительной полуволне напряжения U_1 ток протекает по контуру: "+" U_1 ® VD1 ® L_H ® R_H ® VD4 ® "-" U_1 .

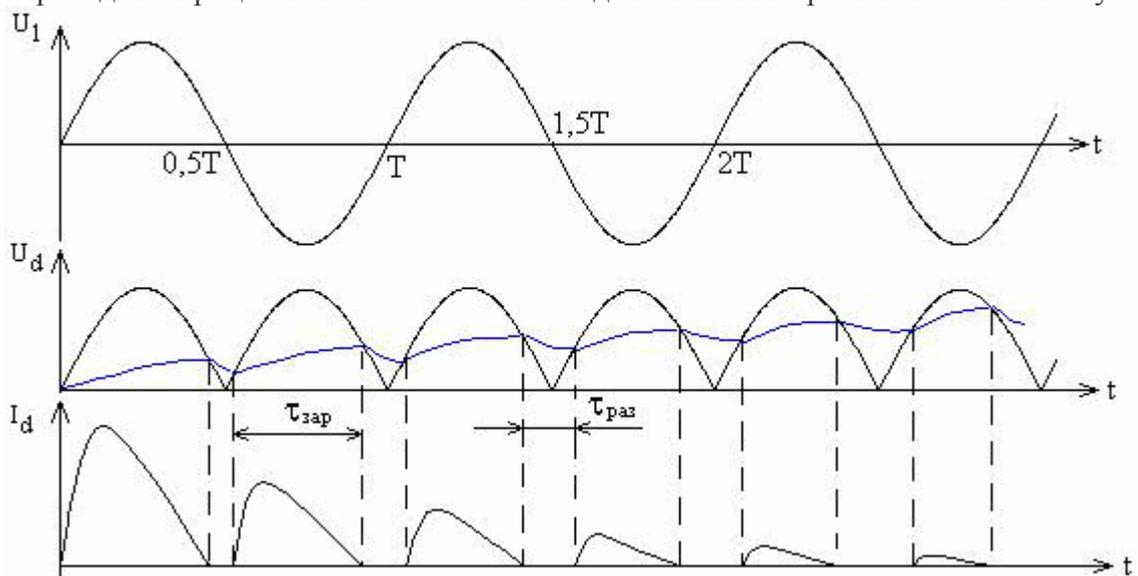
Предположим, что при прохождении напряжения U_1 через ноль в момент смены полярности, первым включился диод VD2. Тогда сброс реактивной энергии будет осуществляться через VD4 и включенный VD2. В выпрямленном напряжении не будет присутствовать отрицательного выброса напряжения.

Активно-емкостная нагрузка

Рассмотрим влияние активно-емкостной нагрузки на примере работы однофазного мостового выпрямителя.



На рисунке представлены графические зависимости токов и напряжений, поясняющие переходные процессы в схеме в момент подключения выпрямителя к источнику U_1 .

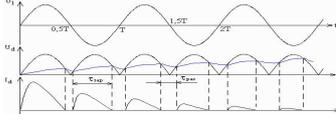


На интервале $t_{зар}$ $U_1 > U_c$ и при этом происходит заряд емкости C сглаживающего фильтра через внутреннее сопротивление выпрямительного звена. При этом появляется большой импульсный ток, значения которого в 20...40 раз выше установившегося значения средневывпрямленного тока вентиля. Особенно это выражено в источниках питания с бестрансформаторным входом. Для ограничения этого тока вводят резисторы, терморезисторы или резисторы шунтированные управляемыми ключами, выполненные на симисторах, тиристорах или динисторах. Ключи позволяют с учетом времени установления переходного процесса производить ограничение тока только в момент пуска источника питания, следовательно, повышаются КПД и надежность выпрямителя.

На интервале $t_{раз}$, когда напряжение на емкости уравнивается с напряжением источника, конденсатор разряжается на нагрузку. С увеличением тока нагрузки увеличивается уровень пульсации выпрямленного напряжения из-за уменьшения постоянной цепи разряда $t_{раз} = R_n C$. При этом ухудшаются сглаживающие действия фильтра.

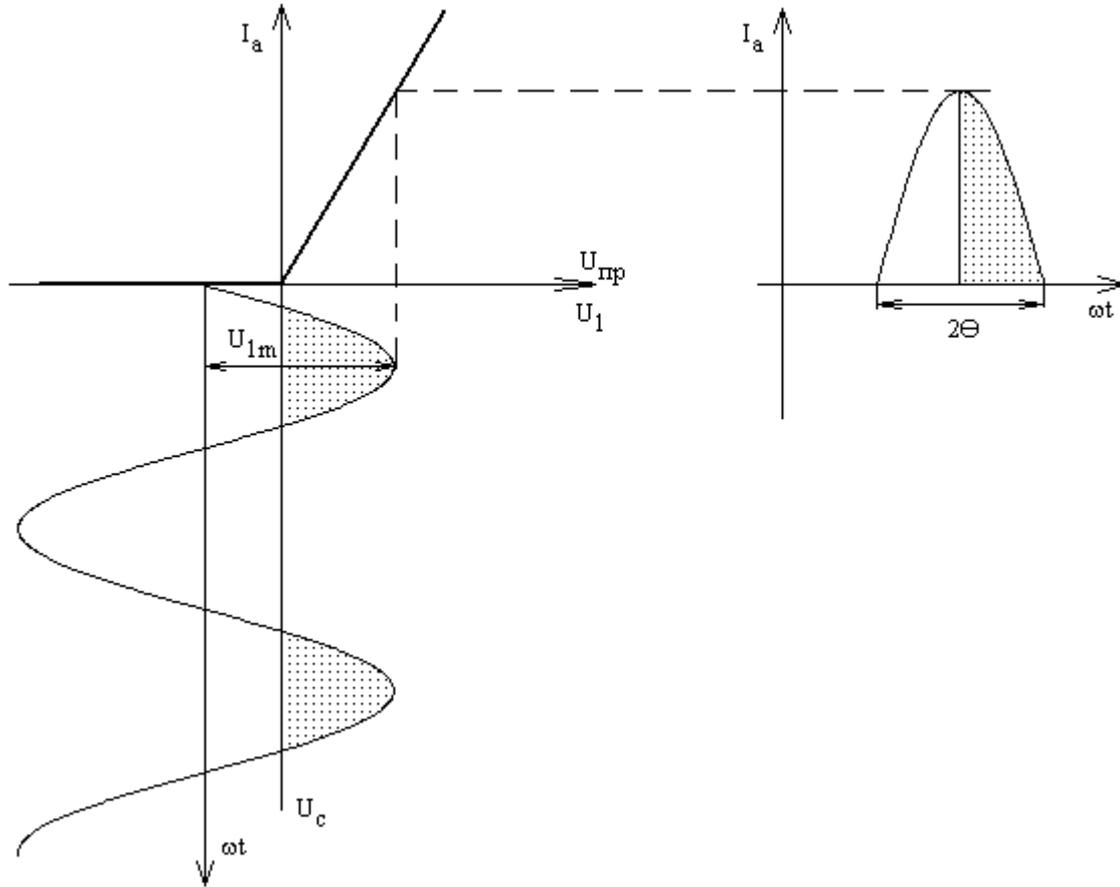
При расчете выпрямителя с емкостной нагрузкой используют метод Терентьева - метод номограмм. Он основан на расчете вспомогательных коэффициентов зависящих от угла протекания тока через вентиль. Вводят коэффициент $A=f(Q)$, где Q - угол протекания тока через вентиль. Для различных схем выпрямителей приводятся номограммы, которые получены экспериментальным путем для различных мощностей и схем выпрямителей. Для расчета параметров $U_{обр}$, $I_{аср}$, $I_{ад}$, U_2 , I_2 вводят вспомогательные коэффициенты: B , C , $D=f(A)$. Для получения связи среднего тока через вентиль с параметром A проведем интегрирование на интервале Q . При выводе соотношения примем емкость конденсатора, близкую к бесконечности (СЮГ), а пороговое напряжение равным нулю на ВАХ диода. Для получения среднего значения тока через вентиль переместим оси координат в середину импульса тока и воспользуемся уравнением для среднего значения тока:

$$I_{\text{аср}} = \frac{P}{2\pi^2} \int_{-\theta}^{\theta} \frac{U_{1m} \cos \omega \cdot t - U_{1m} \cos \theta}{R_{\text{сн}}} d\omega \cdot t = \frac{\pi U_{1m}}{P R_{\text{сн}}} (\sin \theta - \theta \cdot \cos \theta) \quad (1)$$

$$U_0 = U_{1m} \cos \theta$$


(2).

Нижеприведенные диаграммы поясняют вывод соотношений для U_d .



На интервале $2Q$ ток вентиля совпадает с током нагрузки. Приравняем (1) и (2) и поделим внутреннюю скобку в выражении (1) на $\cos Q$, получим:

$$\frac{P R_{\text{сн}}}{\pi R_{\text{н}}} = \text{tg} \theta - \theta = A$$

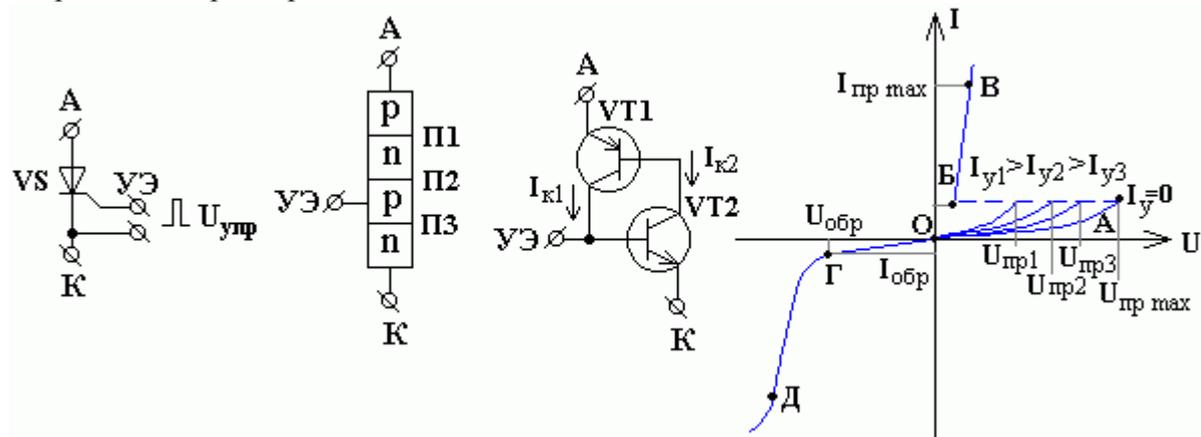
2.2. Управляемые выпрямители

2.2.1. Элемент управляемых выпрямителей – тиристор

В источниках питания тиристор используется для регулирования (стабилизации) напряжения в управляемых выпрямителях и стабилизаторах напряжения в цепи переменного тока. Изменение фазы подачи управляющего импульса на тиристор по отношению к точке "естественной" коммутации (коммутация в неуправляемых выпрямителях) изменяется уровень напряжения в нагрузке. Кроме того, тиристор нашел широкое распространение в защитных устройствах.

Тиристор имеет четырехслойную структуру с тремя p-n переходами. Его быстрое включение при подаче импульса управления (по отношению к катоду или аноду) обеспечивается внутренней, положительной обратной связью по току. При поступлении $U_{\text{УПР}}$ на базу VT2 увеличивается коллекторный ток $I_{\text{К2}}$, что приводит к возрастанию тока

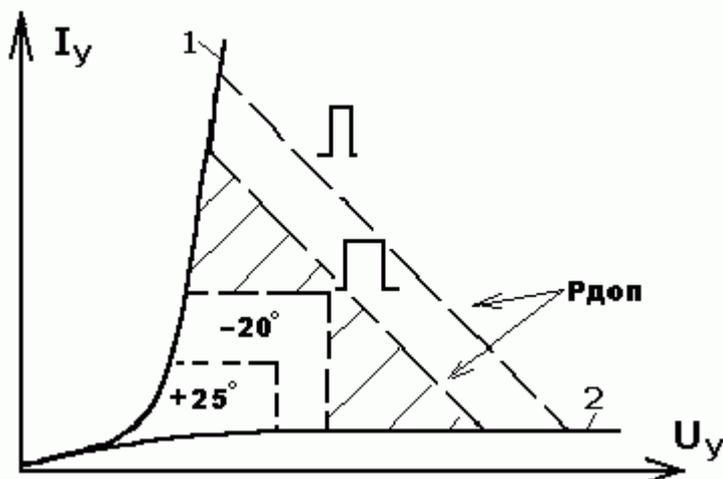
базы транзистора VT1 и увеличению его коллекторного тока I_{K1} , происходит лавинное открывание тиристора.



На вольт-амперной характеристике тиристора (ВАХ) участок ОА соответствует открытым переходам П1 и П3 и закрытому переходу П2, к тиристорному прикладывается прямое положительное напряжение $U_{пр}$ и отсутствует импульс управления на управляющем электроде (УЭ), что соответствует закрытому состоянию полупроводника. Участок АВ соответствует ВАХ полупроводникового диода, когда все р - n переходы открыты. Напряжение $U_{пр\ max}$ соответствует динисторному режиму, когда открывание тиристора происходит при достижении граничного значения прямого напряжения ($U_{пр\ max}$) при токе управления равным нулю. Это позволяет управлять включением тиристора без использования системы управления. Участок ОГ ВАХ соответствует открытому переходу П2 и закрытым переходам П1 и П3. Для обеспечения гарантированного включения тиристора необходимо подобрать по мощности и длительности сигнал управления тиристором. Если значение прямого напряжения $U_{пр}$ мало, то необходимо увеличить управляющий ток I_y (смотри ВАХ тиристора).

Условием включения тиристора является подача положительного импульса управления на УЭ с определенной длительностью (с учетом времени включения тиристора) при положительном прямом напряжении между анодом (А) и катодом (К). Условием выключения тиристора является снижение прямого тока ниже уровня тока удержания ($I_{уд}$), который близок к нулю. При выключении тиристора необходимо выдержать время, необходимое для гарантированного его выключения (время выключения тиристора достаточно большое и составляет несколько десятков мкс). Для выключения тиристора достаточно приложить обратное напряжение или снизить ток в цепи до нуля.

На рисунке изображена ВАХ управляющего перехода тиристора:



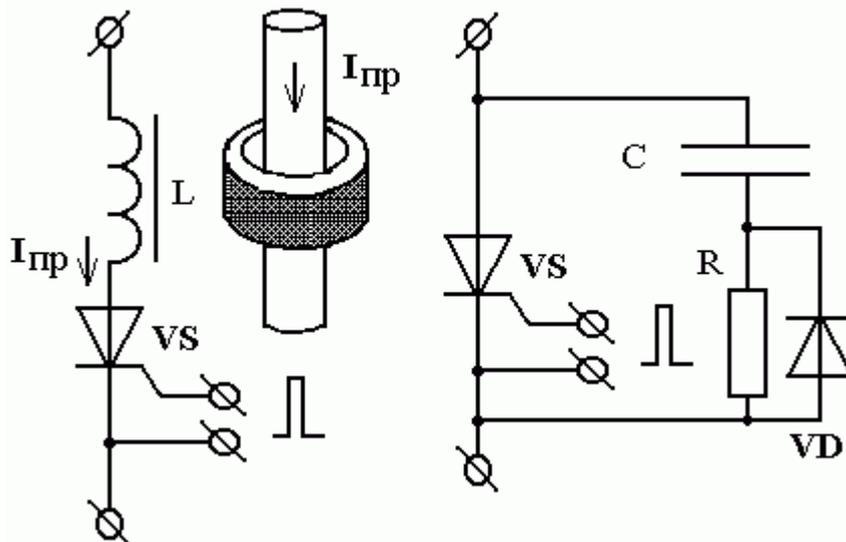
Заштрихованная область ВАХ соответствует пределам допустимой мощности сигнала управления для обеспечения гарантированного отпирания тиристора. Нижние границы учитывают температуру полупроводникового элемента. В зависимости от длительности управляющего сигнала изменяется верхняя граница допустимой мощности сигнала ($P_{доп}$). Вторая ВАХ определяет границы максимальной температуры и минимального

сопротивления управляющего р-п перехода, первая ВАХ определяет границы минимальной температуры и максимального сопротивления управляющего р-п перехода.

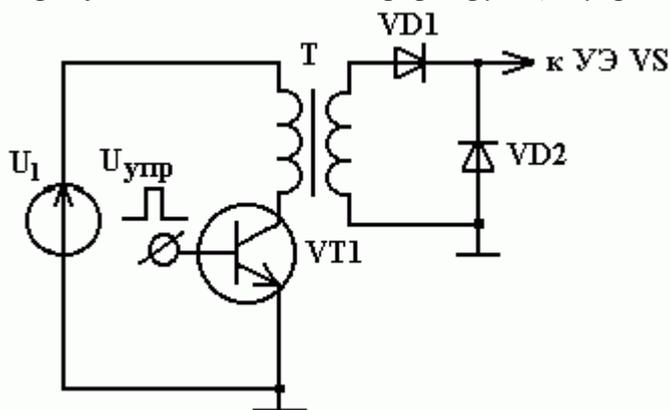
Существуют *требования к динамическим параметрам тиристора*: скорости изменения прямого тока тиристора $di_{пр}/dt$ и скорости изменения прямого напряжения тиристора $dU_{пр}/dt$. Для регулирования скорости изменения тока последовательно с тиристором включают уравнивающий реактор. Достаточно одного витка в дросселе, чтобы ограничить скорость нарастания тока, поэтому на проводник надевается ферритовое кольцо.

При увеличении скорости изменения прямого напряжения $U_{пр}$, может возникнуть самопроизвольное включение элемента.

Для ограничения скорости нарастания прямого напряжения параллельно тиристорю включается RVDС-цепь. Конденсатор ограничивает уровень всплесков напряжения, что исключает возникновение аварийного режима (перенапряжения), а диод обеспечивает рекуперацию энергии.



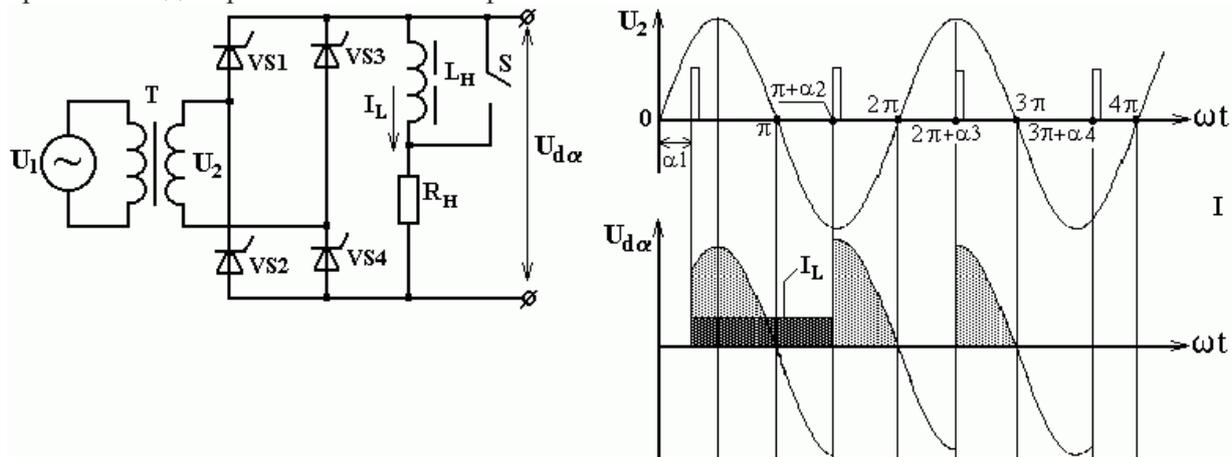
На рисунке показана *схема, формирующая управляющий сигнал на тиристор*.



Трансформатор Т обеспечивает гальваническую развязку силовой цепи и системы управления и повышает уровень напряжения управляющего сигнала, транзистор увеличивает мощность сигнала. При подаче управляющего импульса с системы управления на транзисторный ключ VT1 протекает ток по контуру: "+" U_1 ; первичная цепь трансформатора Т; коллектор-эмиттер VT1; "-" U_1 . В цепи намагничивания трансформатора Т накапливается реактивная энергия, которая вызывает появления отрицательного выброса напряжения в форме импульса управления. Индуктивность рассеяния и емкостью коллекторного перехода VT1 приводят к появлению всплесков напряжения на "переднем фронте" импульса управления (переходный процесс). Во избежание "ложного" включения тиристора во вторичной цепи трансформатора установлены: выпрямительный диод VD1 и диод рекуперации VD2.

2.2.2. Симметричный управляемый выпрямитель (однофазный, двухтактный)

На рисунке показана принципиальная схема симметричного управляемого выпрямителя и временные диаграммы токов и напряжений.



На интервале времени $[0; \square]$ к тиристорам VS1 и VS4 приложено прямое положительное напряжение. В момент времени $a1$ на управляющий электрод этих тиристоров подается импульс управления. Тиристоры открываются, во вторичной обмотке трансформатора наводится ЭДС и напряжение U_2 передается в нагрузку. При работе на активную нагрузку в момент \square (из-за снижения анодного тока ниже тока удержания) происходит запираение тиристоров VS1 и VS4. На интервале $[\square; \square+a2]$ в нагрузке напряжение равно нулю, т.к. происходит задержка подачи управляющего импульса на угол $a2$.

При работе на индуктивную нагрузку (ключ S разомкнут) на интервале $[\square; \square+a2]$ отрицательное напряжение U_2 передается в нагрузку. Ток в цепи выпрямителя (I_L) имеет положительное значение и тиристоры VS1, VS4 остаются в открытом состоянии; тиристоры VS2, VS3 не открылись, т.к. на них не поступили управляющие импульсы. На этом интервале происходит рекуперация реактивной энергии дросселя в источник U_1 . Этот режим называется *инверторным* режимом работы выпрямителя. Появление отрицательного "выброса" напряжения в составе выпрямленного напряжения снижает его уровень. Для исключения этого явления используют обратный диод, включенный параллельно нагрузке или переходят к несимметричной схеме выпрямителя.

2.2.3. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя - это зависимость средневых выпрямленного значения напряжения U_{0a} от угла регулирования a . Для стабилизации выходного напряжения в управляемом выпрямителе используют фазовый способ регулирования. При возрастании входного напряжения U_1 или уменьшении тока нагрузки увеличивают угол регулирования a для поддержания постоянства напряжения в нагрузке U_{0a} в заданных пределах.

Диапазон регулирования в управляемых выпрямителях определяется следующими параметрами:

1. нестабильностью входного напряжения U_1 ;
2. диапазоном тока нагрузки (I_{0min} ; I_{0max});
3. характером нагрузки (активная, активно-индуктивная нагрузка);
4. допустимым минимальным значением угла регулирования, который зависит от дрейфа фазного напряжения, инерционности системы управления, динамических параметров тиристоров;
5. температурной зависимостью параметров полупроводников.

Для построения регулировочной характеристики получим выражение для средневых выпрямленного напряжения при активной нагрузке:

$$U_{0\alpha} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \cdot \sin(\omega \cdot t) d\omega \cdot t = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \cdot (-\cos \cdot \omega \cdot t) \Big|_{\alpha}^{\pi} = U_{0(\alpha=0)} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

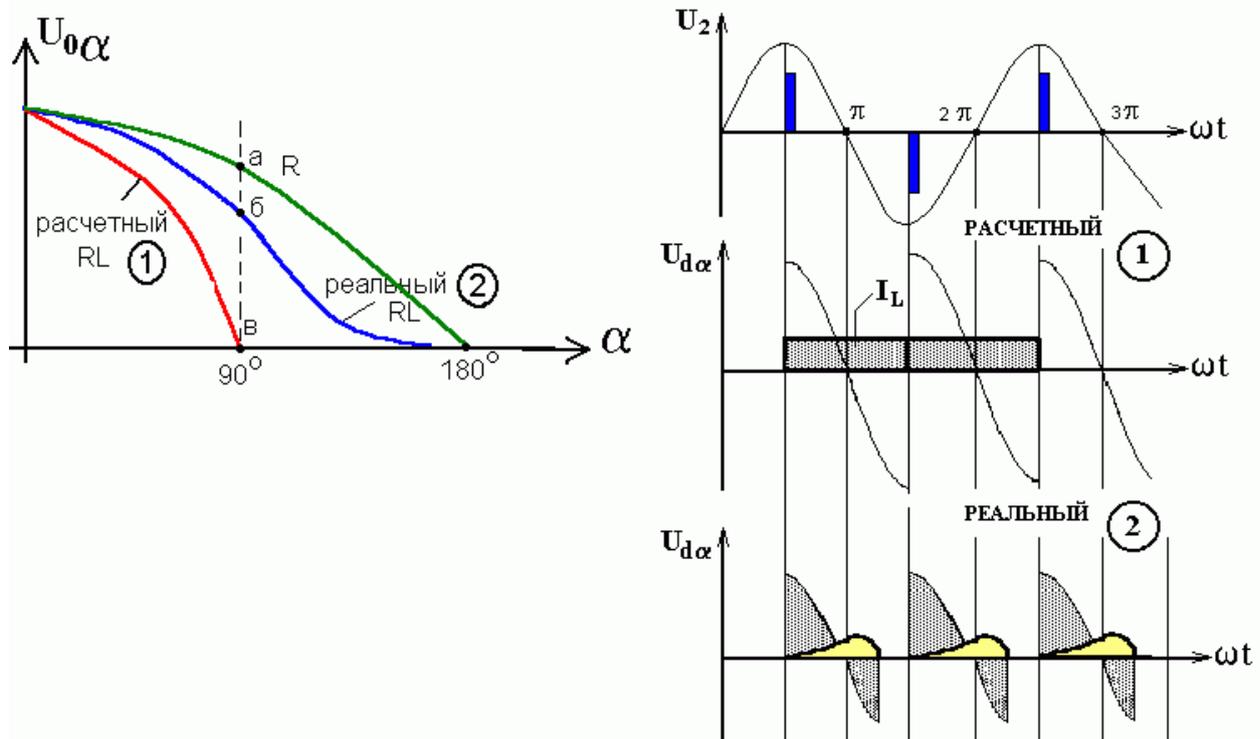
$$\text{где: } U_{0(\alpha=0)} = \frac{P}{\pi} U_2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{P} = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U_2.$$

При активно-индуктивной нагрузке:

$$U_{0\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_{2m} \cdot \sin(\omega \cdot t) d\omega \cdot t = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \cdot (-\cos \cdot \omega \cdot t) \Big|_{\alpha}^{\pi+\alpha} =$$

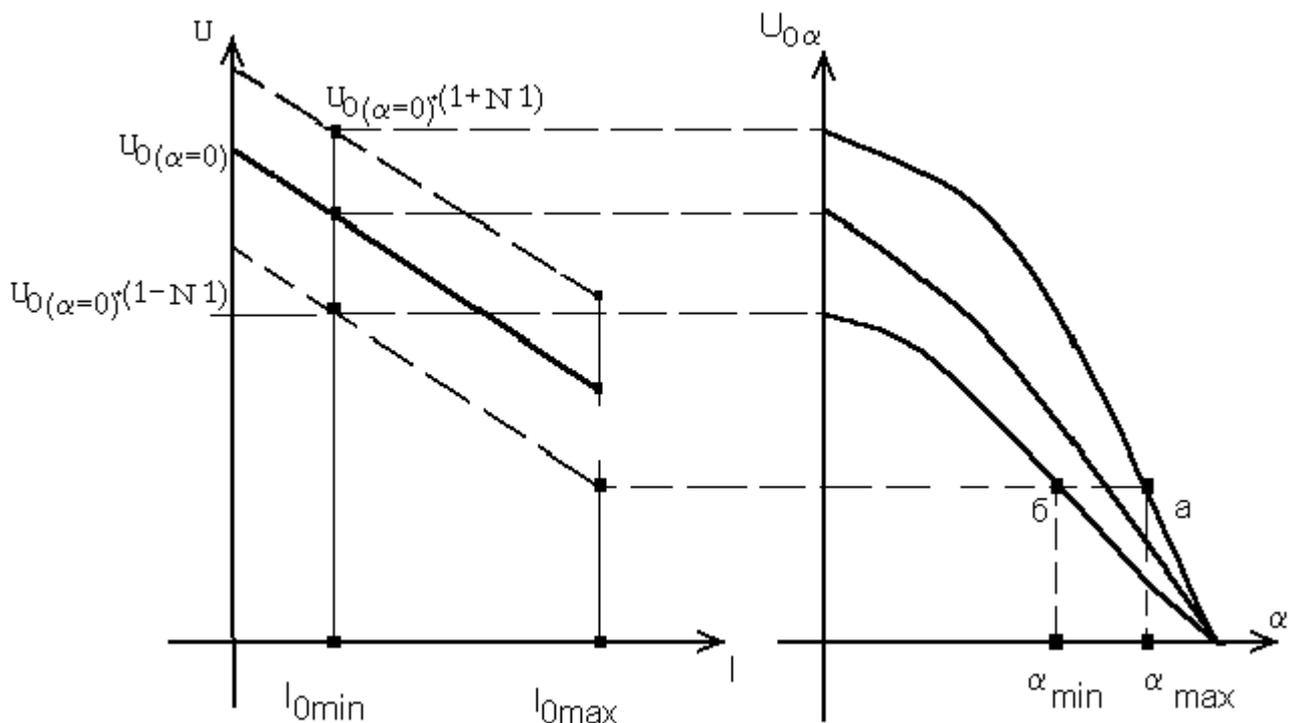
$$\frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \cdot \cos \alpha = U_{0(\alpha=0)} \cdot \cos \alpha.$$

При индуктивной нагрузке в симметричной схеме выпрямителя диапазон регулирования выходного напряжения уменьшается в два раза. Графическая зависимость 2 (см. рисунок ниже) соответствует "прерывистому" режиму тока дросселя (из-за малой величины тока нагрузки или малой индуктивности фильтра). Величина энергии, накапливаемой в дросселе равна $W_{ЭЛ} = (L \cdot I_L^2) / 2$. Ток в цепи выпрямителя спадает до нуля раньше, чем приходит управляющий импульс на тиристоры, что уменьшает интервал воздействия отрицательного напряжения на нагрузку. Следовательно, увеличится уровень средневыхрямленного значения напряжения.



Графическая зависимость 1 соответствует непрерывному режиму тока дросселя. Величина индуктивности дросселя должна быть достаточно большой, чтобы во всем диапазоне изменения тока нагрузки обеспечивался непрерывный режим его протекания.

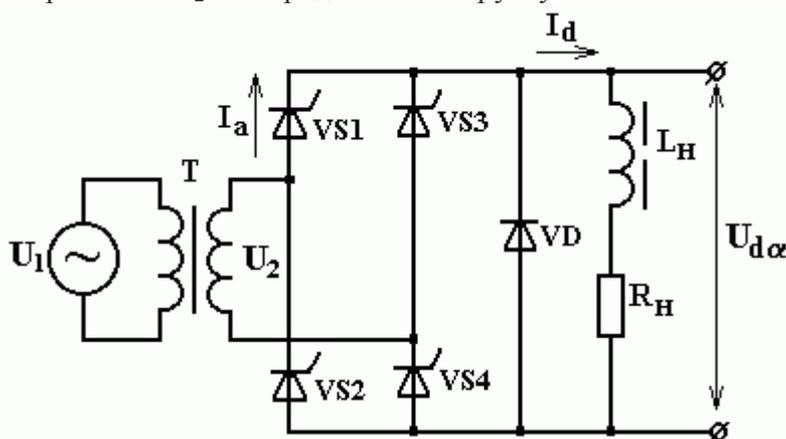
При проектировании управляемого выпрямителя рассчитывается диапазон изменения угла регулирования [α_{max} ; α_{min}].



Максимальный угол регулирования (α_{\max}) определяется для регулировочной характеристики при максимальном отклонении входного напряжения при заданном уровне выходного напряжения. Необходимо учитывать потери на токораспределительной сети и на внутреннем сопротивлении выпрямителя. Минимальный угол регулирования (α_{\min}) должен учитывать "дрейф" фазы в силовой цепи, системы управления. Он определяется при минимальном уровне входного напряжения.

Симметричный выпрямитель с обратным вентилем

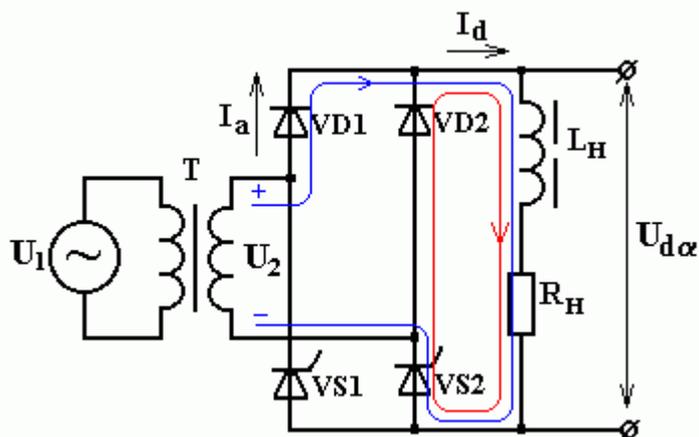
На рисунке изображена принципиальная схема симметричного выпрямителя с обратным диодом. При положительном уровне входного напряжения U_1 и подачи управляющего импульса на тиристоры $VS1$ и $VS4$ с фазовой задержкой на угол a , происходит открывание тиристорных ключей, во вторичной цепи наводится ЭДС и напряжение U_2 передается в нагрузку. В дросселе сглаживающего фильтра накапливается реактивная энергия. На интервале $[\alpha; \alpha + \pi]$ происходит рекуперация реактивной энергии через обратный диод VD в нагрузку. Тиристорные ключи $VS1$ и $VS4$ закрываются и отрицательный полуволна напряжения U_2 не передается в нагрузку.



К достоинствам данной схемы относятся: широкий диапазон регулирования выходного напряжения ($\alpha_{\max}=180^\circ$); высокий уровень выходного напряжения. Недостатки схемы: большее количество элементов силовой цепи по сравнению с симметричной схемой без обратного диода и несимметричной схемой. Последнее увеличивает габариты устройства и снижает его надежность.

2.2.4. Несимметричный выпрямитель

В промышленности нашла широкое распространение несимметричная схема выпрямления из-за ряда достоинств: простота управления; широкого диапазона регулирования выходного напряжения; высокого уровня выходного напряжения; высокой надежности; малых габаритов.



На интервале $[a; \square]$ ток дросселя протекает по контуру: "+" U_2 ; диод VD1; сопротивление нагрузки (L_H ; R_H); тиристор VS2; "-" U_2 . Происходит накопление реактивной энергии в дросселе фильтра. На интервале $[\square; \square+a]$ происходит рекуперация реактивной энергии дросселя в нагрузку по контуру, изображенному красным цветом (через включенные VS2 и VD2). Этот контур возникает потому, что произошла смена полярности напряжения U_2 и к диоду VD2 прикладывается прямое падение напряжения, он открывается. Тиристор VS2 еще не закрылся, т.к. анодный ток не снизился ниже тока удержания (из-за влияния дросселя), а тиристор VS2 не включился, так как не пришел управляющий импульс.

2.2.5. Структурная схема системы управления

Существует две структуры построения системы управления (СУ) в управляемых выпрямителях:

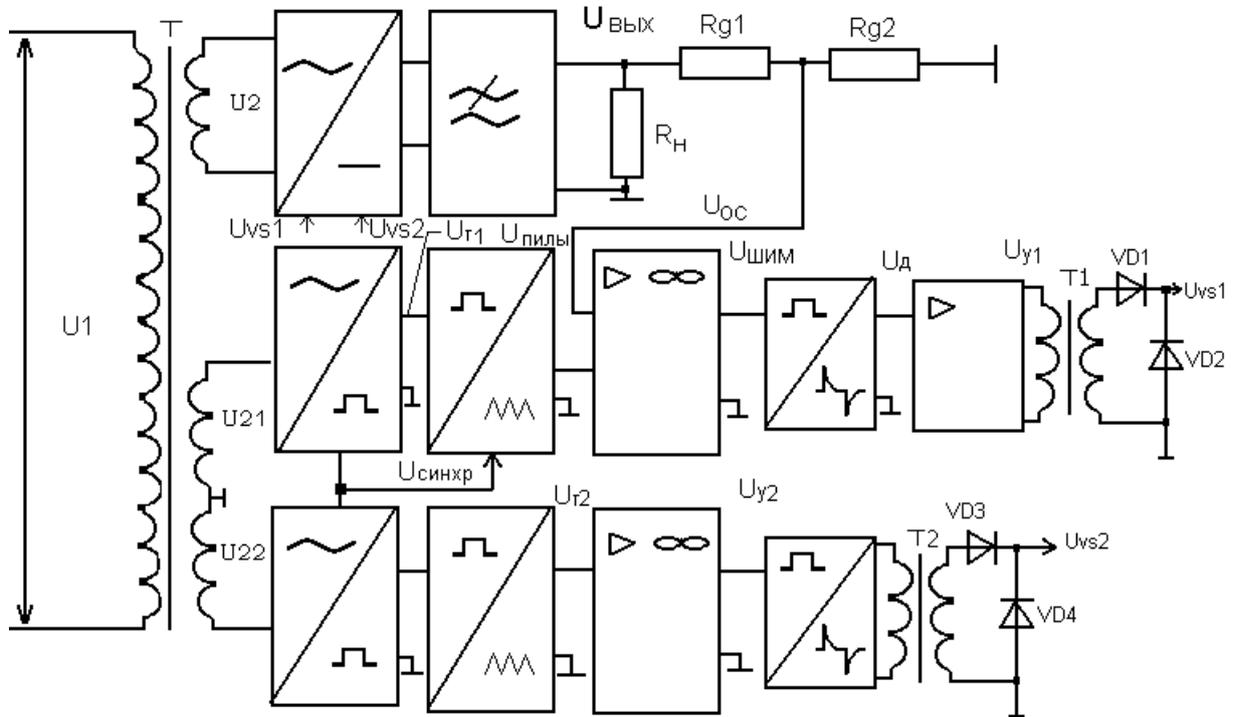
□ *одноканальная*, где формирование сигналов управления происходит в общем канале, а на выходе канала выполняется распределение импульсов управления по каналам. Такая структура используется при большой асимметрии в трехфазных системах. Достоинством одноканальной структуры является: простота системы управления, недостатком - низкое быстродействие и плохое качество стабилизации выходного напряжения выпрямителя.

□ *многоканальная*, в которой все каналы построены по одной структуре. Достоинством многоканальной схемы является: высокое быстродействие и качество стабилизации напряжения в нагрузке, широкий диапазон регулирования. Не допускается использование данной структуры при асимметрии фазных напряжений в трехфазной системе. Эта схема более дорогостоящая по сравнению с предыдущей.

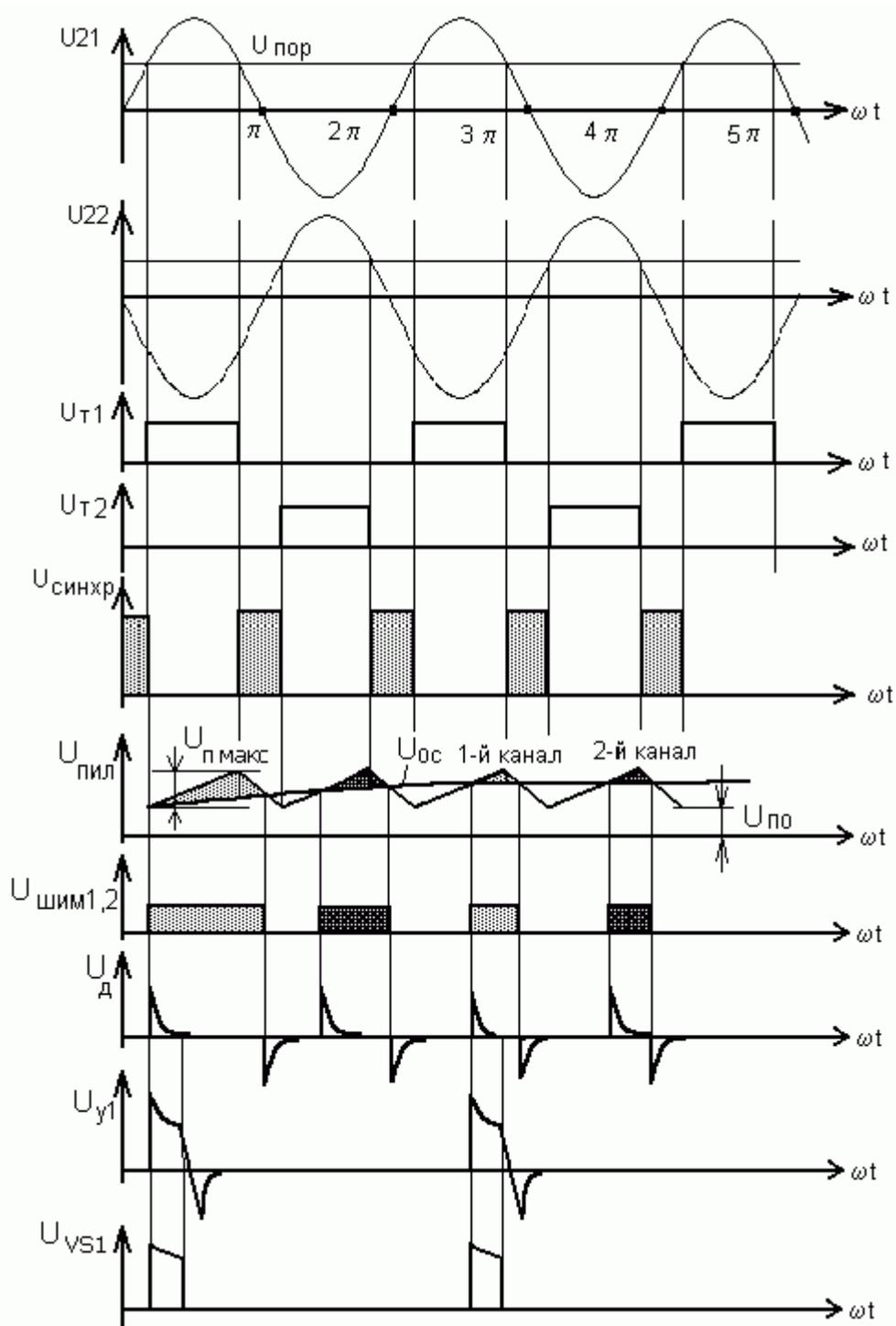
Требования к системе управления:

1. Необходима синхронизация управляющих сигналов с напряжением питающей сети, что легко реализуется введением дополнительной обмотки силового трансформатора во вторичной цепи для питания СУ (смотрите ниже схему СУ).
2. Обеспечение диапазона регулирования выходного напряжения с учетом всех дестабилизирующих факторов, что обеспечивается подбором параметров пилообразного напряжения ("размаха") в системе управления при использовании метода широтно-импульсной модуляции для стабилизации выходного напряжения.
3. Мощность импульсов управления должна соответствовать паспортным данным тиристоров для обеспечения гарантированного включения элементов.
4. Должна обеспечивать гальваническую развязку силовой цепи и СУ. С этой целью используется синхронизирующий входной трансформатор и выходной импульсный трансформатор.

5. Должна исключать вероятность возникновения режима сквозных токов, обусловленного инерционностью элементов силовой цепи и системы управления. Для этого подбирается определенная длительность синхроимпульсов.
6. Должна блокировать подачу управляющих сигналов на тиристор во избежание возникновения аномальных режимов работы силовой цепи.
7. Должна исключать помехи со стороны входных цепей во избежания ложных включений тиристоров. Это обеспечивается введением помехоподавляющих фильтров на входе каналов.



На рисунке изображены графические зависимости для напряжений СУ.



За счет выполнения трансформатора со средней точкой, напряжения U_{21} и U_{22} сдвинуты по отношению друг к другу на 180 градусов. Прямоугольные импульсы напряжения на выходе тактового генератора формируются посредством сравнения фазного напряжения с эталонным напряжением ($U_{пор}$), которое значительно ниже по уровню относительно фазного напряжения. Синхроимпульсы формируются в момент прохождения входного напряжения через ноль. Длительность синхроимпульса выбирается с учетом времени выключения тиристора и минимального угла регулирования выходного напряжения. За интервал прохождения синхроимпульса конденсатор, установленный в цепи генератора пилообразного напряжения должен успеть разрядиться до минимального уровня ($U_{по}$). На конечном фронте синхроимпульса наступает процесс заряда конденсатора в цепи генератора пилообразного напряжения. Постоянная цепи заряда конденсатора должно быть больше периода коммутации тиристорных ключей для обеспечения высокого качества стабилизации напряжения на выходе выпрямителя.

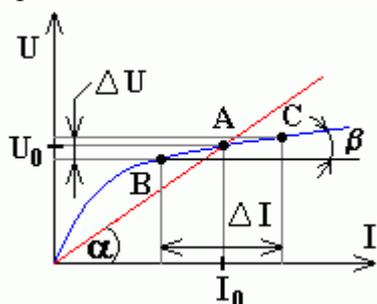
При увеличении входного напряжения U_1 в первоначальный момент времени из-за инерционности системы управления происходит увеличение напряжения на выходе выпрямителя и напряжения обратной связи (сняемого с нижнего плеча делителя напряжения $R_{д2}$). При сравнении напряжения обратной связи с пилообразным напряжением в компараторе напряжения уменьшается площадь, отсекаемая напряжением $U_{ос}$, что приводит к уменьшению длительности широтно-модулированного сигнала. На выходе дифференцирующего звена фиксируется начало и конец ШИМ-сигнала и происходит смещение положительного импульса напряжения на угол a (большой, чем в предыдущем периоде). Усилитель мощности формирует положительный импульс напряжения определенной мощности, необходимой для гарантированного включения тиристора. Трансформаторы T , $T1$ и $T2$ обеспечивают гальваническую развязку по входу и выходу. Сигналы управления на выходе системы управления $UVS1$ и $UVS2$ приходят с большим фазовым сдвигом по отношению к точке естественной коммутации ($a=0$), что приводит к уменьшению уровня выпрямленного напряжения, то есть оно восстанавливается.

2.3. Стабилизаторы в цепи постоянного тока

2.3.1 Параметрический стабилизатор напряжения

Основные понятия и определения

В параметрических стабилизаторах напряжения режим стабилизации осуществляется за счет нелинейности вольт-амперной характеристики (ВАХ) регулирующего элемента. От ВАХ зависит качество стабилизации. В параметрических стабилизаторах напряжения находят применение элементы, ВАХ которых представлена на рисунке.



Степень нелинейности ВАХ на рабочем участке BC оценивается отношением динамического и статического сопротивлений.

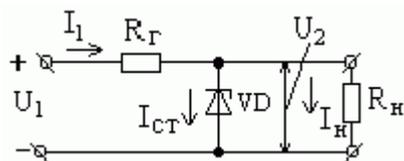
Статическое сопротивление R_C — это сопротивление, которое оказывает нелинейный элемент постоянному по величине току в выбранной рабочей точке A характеристики: $R_C = U_0 / I_0 = \operatorname{tg} \alpha$.

Динамическое сопротивление элемента R_D равно отношению изменения падения напряжения на элементе ΔU к изменению величины тока, протекающего через элемент ΔI . Динамическое сопротивление является тем сопротивлением, которое оказывает элемент изменениям протекающего через него тока: $R_D = \Delta U / \Delta I = \operatorname{tg} \beta$.

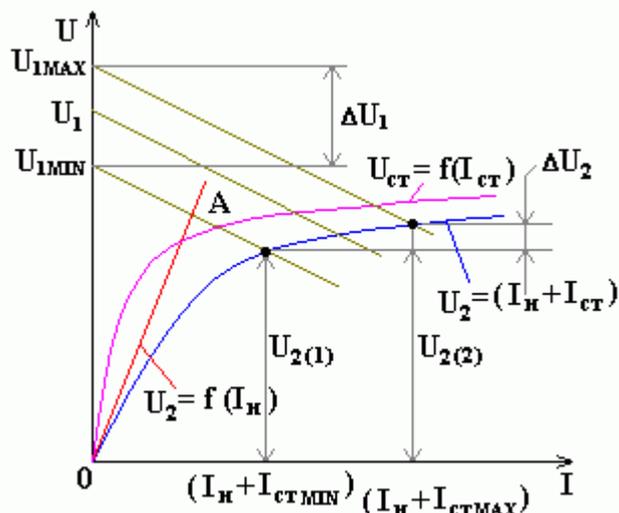
Статическое и динамическое сопротивления не равны между собой и изменяются в зависимости от величины напряжения и тока: $\beta < \alpha$; $R_C > R_D$.

В качестве нелинейных элементов в параметрических стабилизаторах напряжения используются газоразрядные и кремниевые стабилитроны. Схемы параметрических стабилизаторов с использованием стабилитронов применяются для стабилизации напряжения при мощности в нагрузке до нескольких ватт. Достоинство таких схем — простота исполнения и малое количество элементов, недостаток — отсутствие плавной регулировки и точной установки номинального значения выходного напряжения, кроме этого, у таких схем мал к.п.д..

Схема стабилизатора состоит из гасящего сопротивления R_G , включенного последовательно с нагрузкой, и стабилитрона VD, включенного параллельно нагрузке.



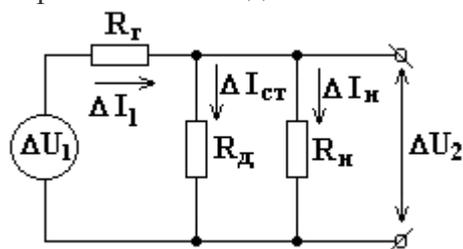
Рассмотрим принцип действия данного стабилизатора.



На рисунке изображены ВАХ стабилитрона и нагрузки. Так как сопротивление нагрузки и стабилитрон включены параллельно, то для построения суммарной характеристики необходимо сложить характеристики сопротивления R_H (прямая OA) и стабилитрона VD по оси токов. Полученная кривая представляет собой зависимость $U_2 = f(I_H + I_{CT})$. Рабочий участок этой кривой получается смещением характеристики стабилитрона на величину тока нагрузки I_H . Отложив на оси ординат величину входного напряжения U_0 , строим из этой точки характеристику сопротивления R_G . Точка пересечения этой характеристики с суммарной характеристикой сопротивления нагрузки и стабилитрона определяет установившийся режим для данной величины входного напряжения. При изменении входного напряжения характеристика сопротивления R_G перемещается и соответственно перемещается рабочая точка на суммарной характеристике $U_2 = f(I_H + I_{CT})$.

Как видно из рисунка, при изменении входного напряжения от U_{1MIN} до U_{1MAX} напряжение на сопротивлении нагрузки изменятся от $U_{2(1)}$ до $U_{2(2)}$, причем изменение выходного напряжения ΔU_2 значительно меньше изменения напряжения на входе ΔU_1 .

Для определения основных показателей качества параметрического стабилизатора постоянного напряжения представим его функциональной схемой для изменений напряжения на входе.



Считая, что стабилизатор нагружен на активное сопротивление R_H , изменение ΔU_1 является медленным и дифференциальное сопротивление стабилитрона неизменно в пределах рабочего участка характеристики стабилитрона. Тогда, передаточная функция, связывающая возмущение на входе ΔU_1 с реакцией на выходе ΔU_2 , представляется коэффициентом деления

$$K_D = \Delta U_2 / \Delta U_1 = R_H || R_D / (R_G + R_H || R_D). \quad (1)$$

Преобразуя (1), имеем

$$K_D = 1 / \left(1 + \frac{R_G}{R_D} + \frac{R_G}{R_H} \right). \quad (2)$$

Из (1) определяем

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{1}{K_D} = 1 + \frac{R_G}{R_D} + \frac{R_G}{R_H}. \quad (3)$$

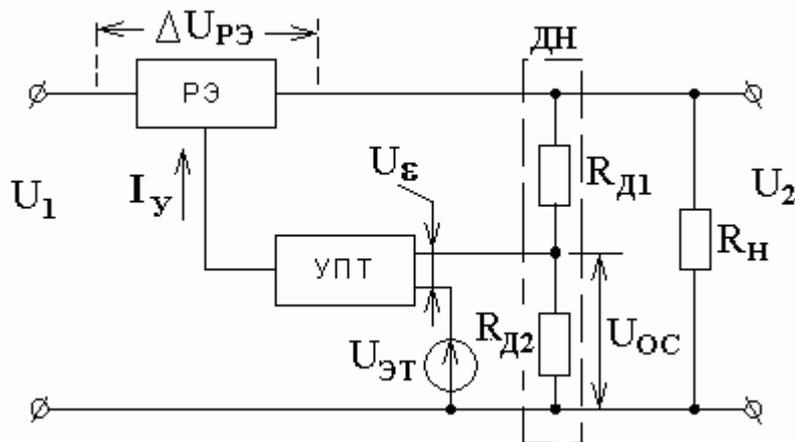
Отношение $\Delta U_1 / \Delta U_2$ является дифференциальным коэффициентом стабилизации $K_{ст.д.}$, который связан с коэффициентом стабилизации $K_{ст.у}$ выражением

$$K_{ст.у} = K_{ст.д.} \cdot K_0, \quad (4)$$

где $K_0 = U_2 / U_1$ - коэффициент передачи постоянной составляющей напряжения стабилизатора.

2.3.2 Компенсационные стабилизаторы напряжения

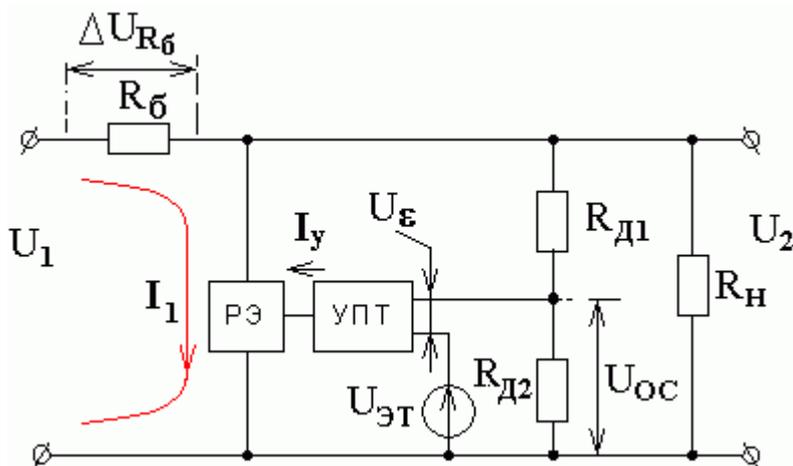
Компенсационные стабилизаторы напряжения в зависимости от места расположения регулирующего элемента (РЭ) *разделяются на стабилизаторы с последовательным и параллельным включением РЭ*. На рисунке представлена функциональная схема стабилизатора напряжения с последовательным РЭ.



Силовая цепь стабилизатора представляет из себя регулирующий элемент (РЭ) и нагрузку (R_H). За счет изменения падения напряжения на РЭ поддерживается постоянство напряжения на нагрузке U_2 . Цепь отрицательной обратной связи по напряжению (ООС) включает в себя: делитель напряжения (ДН), усилитель постоянного тока (УПТ), источник эталонного напряжения ($U_{ЭТ}$). Напряжение обратной связи (U_{OC}) снимается с нижнего плеча ДН (R_{D2}) и подается на вход УПТ, где происходит сравнение U_{OC} и $U_{ЭТ}$. В УПТ усиливается разностное напряжение (сигнал ошибки $U_e = U_{OC} - U_{ЭТ}$), что приводит к изменению тока управления (I_y) и изменению падения напряжения на РЭ ($\Delta U_{РЭ}$). Напряжение на выходе (U_2) при этом восстанавливается до своего первоначального значения. Например, при возрастании напряжения на входе (U_1) или уменьшении тока нагрузки происходит увеличение сигнала ошибки (U_e), уменьшение тока управления (I_y) и увеличение напряжения на РЭ и восстановление напряжения на нагрузке.

Схема имеет более высокий КПД по сравнению со стабилизатором напряжения с параллельным РЭ. Недостатком схемы является невысокая надежность из-за возможных перегрузок РЭ по току.

Рассмотрим функциональную схему стабилизатора напряжения с параллельным РЭ:

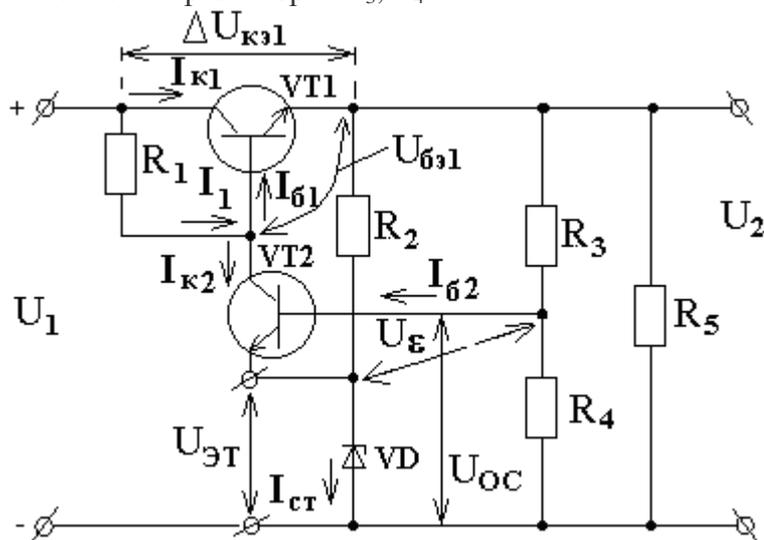


При возрастании входного напряжения U_1 в первоначальный момент времени увеличивается напряжение на нагрузке U_2 и, следовательно U_{OC} . Последнее приводит к возрастанию напряжения ошибки U_e , тока управления I_y и потребляемого тока I_1 . При этом увеличивается падение напряжения на балластном резисторе ΔU_{R6} и напряжение в нагрузке восстанавливается, т.е. уменьшается.

Схема имеет невысокий КПД из-за потерь на балластном резисторе R_6 , но более высокую надежность, т.к. так как силовой транзистор включен параллельно по отношению к нагрузке и не подвергается воздействию при коротких замыканиях.

2.3.2.1 Принципиальная схема компенсационного стабилизатора напряжения

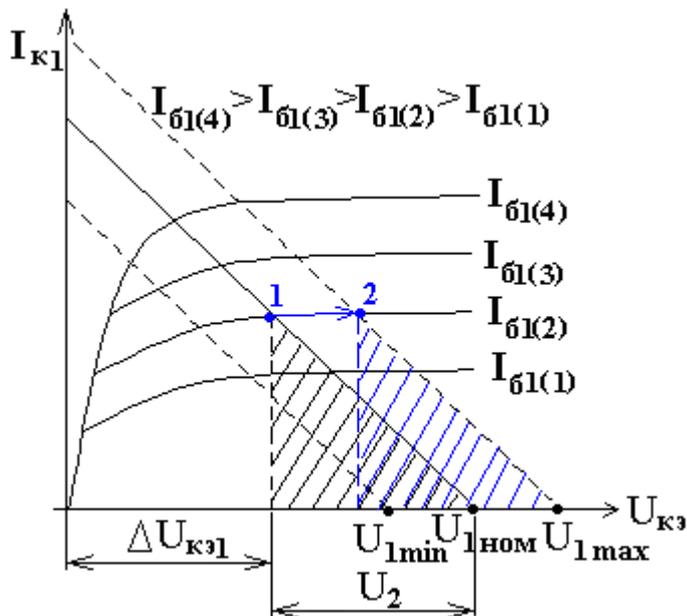
На рисунке представлена принципиальная схема компенсационного стабилизатора непрерывного действия с последовательным РЭ. Регулирующий элемент выполнен на транзисторе VT_1 , УПТ на транзисторе - VT_2 , источником эталонного напряжения служит стабилитрон VD , резистор R_2 ограничивает ток стабилитрона. Делитель напряжения выполнен на резисторах R_3, R_4 .



При возрастании напряжения U_1 в первоначальный момент времени возрастает напряжение на нагрузке U_2 и напряжение обратной связи U_{OC} , снимаемое с нижнего плеча делителя напряжения R_4 . Напряжение ошибки U_e увеличивается, потенциал эмиттера транзистора VT_2 остается постоянным, а потенциал базы становится более положительным. Транзистор VT_2 открывается, что приводит к увеличению тока $I_{к2}$. По закону Кирхгофа для узла:

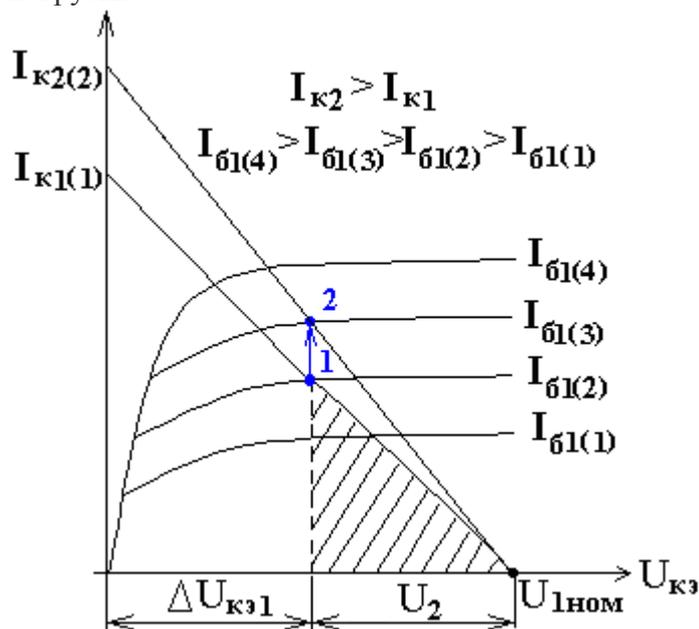
$I_{б1} = I_1 - I_{к2}$, поэтому ток базы транзистора VT_1 уменьшается и транзистор прикрывается. Падение напряжения $\Delta U_{кэ1}$ увеличивается, а напряжение в нагрузке восстанавливается.

Рассмотрим перемещение рабочей точки на выходных характеристиках транзистора (РЭ) при возрастании входного напряжения. При этом нагрузочная прямая перемещается параллельно вправо по отношению к нагрузочной прямой для номинального уровня $U_{1ном}$.



При возрастании напряжения U_1 катет прямоугольного треугольника U_2 остается постоянным, изменяется падение напряжения $\Delta U_{кэ1} = U_1 - U_2$. Рабочая точка переходит из положения "1" в "2".

Рассмотрим принцип действия компенсационного стабилизатора при изменении тока нагрузки.



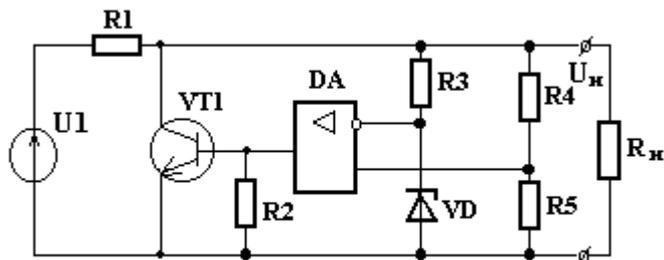
При возрастании тока нагрузки возрастает потребляемый ток от источника $I_{к1}$, что приводит к увеличению падения напряжения на РЭ - $\Delta U_{кэ1}$ и уменьшению напряжения на нагрузке. Рабочая точка переходит из положения "1" в "2" и происходит приоткрывание транзистора VT1 за счет увеличения тока базы. Напряжение на нагрузке восстанавливается.

2.3.2.2 Способы повышения качества стабилизации в компенсационных стабилизаторах непрерывного действия

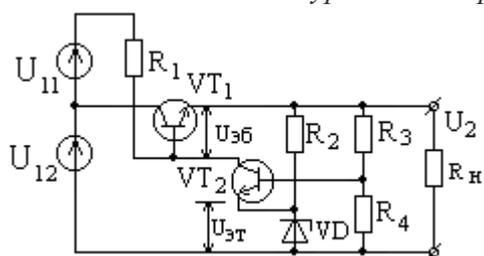
Существуют следующие способы повышения качества стабилизации в компенсационных стабилизаторах непрерывного действия:

1. Увеличение коэффициента усиления по постоянному току за счет *использования в качестве УПТ вместо транзистора операционного усилителя*. При этом повышается коэффициент стабилизации за счет увеличения коэффициента усиления, но снижается устойчивость системы с замкнутой ООС. Включение цепей коррекции (интегрирующе-дифференцирующих звеньев) исключает частотные изменения коэффициента усиления и повышает устойчивость. На рисунке приведена схема компенсационного стабилизатора с параллельным РЭ и операционным усилителем. При возрастании

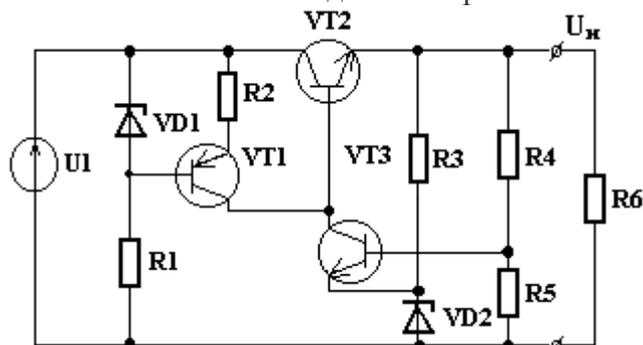
напряжения U_1 в первоначальный момент времени увеличивается напряжение на нагрузке U_H . Это приводит к увеличению напряжения обратной связи и повышению положительного потенциала на базе транзистора VT1. Транзистор VT1 приоткрывается, возрастает ток, потребляемый от источника U_1 , увеличивается падение напряжения на балластном резисторе R_1 и напряжение на нагрузке восстанавливается.



Для увеличения коэффициента усиления УПТ можно увеличить сопротивление нагрузки R_1 и, соответственно, напряжение питания и *подавать его на УПТ от отдельного внешнего источника с большим уровнем напряжения.*

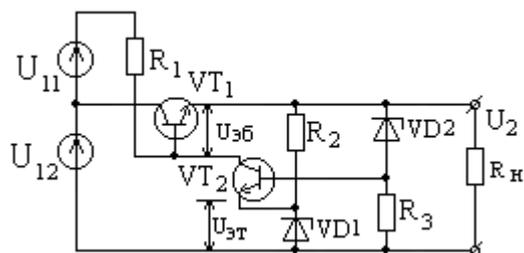


2. Введение токостабилизирующего звена в выходной цепи УПТ, при этом исключается влияние изменений входного напряжения на выходной ток усилителя.



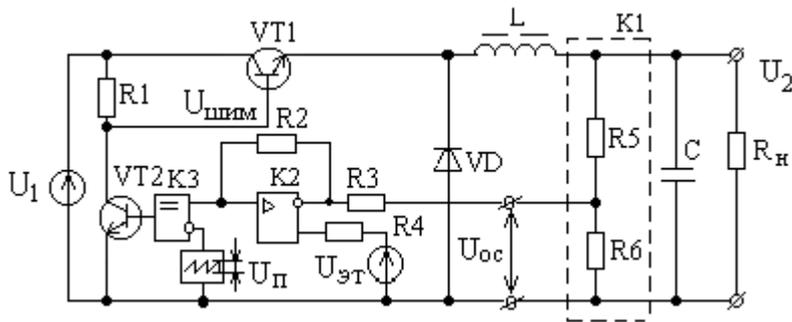
При возрастании входного напряжения U_1 напряжение на стабилитроне VD1 остается постоянным, что позволяет поддерживать постоянство напряжения между базой и эмиттером транзистора VT1. При этом выходной ток стабилизатора тока (I_{K1}) остается постоянным. Поэтому выходной ток УПТ становится зависимым только от уровня напряжения обратной связи.

3. Введение *дополнительных источников эталонного напряжения*, которые устанавливаются в цепи эмиттера и базы транзисторного усилителя, при этом повышается чувствительность стабилизатора.

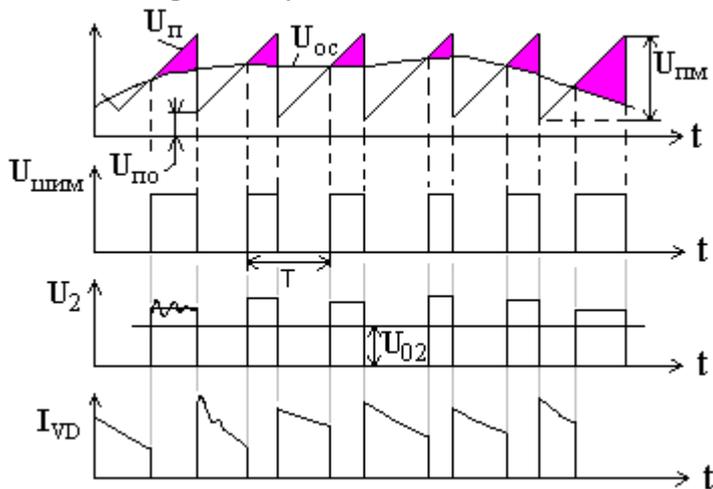


2.3.2.3 Функциональная схема импульсного стабилизатора постоянного напряжения

Импульсный стабилизатор напряжения включает в себя РЭ (VT1), сглаживающий фильтр (LC), схему управления.

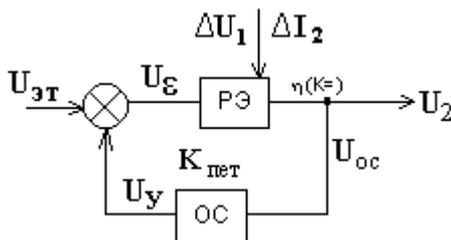


Силовой контур импульсного стабилизатора имеет три состояния. При подаче управляющего импульса ($U_{ШИМ}$) на силовой транзисторный ключ VT1 происходит передача напряжения источника питания U_1 через открытый транзистор в нагрузку. Накапливается реактивная энергия в дросселе сглаживающего фильтра L. При размыкании ключа (на интервале паузы широтно модулированного (ШИМ) сигнала) энергия дросселя передается через обратный диод VD в нагрузку. Если на интервале паузы ток дросселя спадает до нуля, то возникает режим прерывистого тока дросселя, при котором конденсатор разряжается в нагрузку. Схема управления включает в себя: делитель напряжения (R_5, R_6) с коэффициентом деления $K_1 = R_6 / (R_5 + R_6)$; усилитель сигнала рассогласования с коэффициентом передачи K_2 ($U_e = U_{OC} - U_{эТ}$); компаратор напряжения K_3 , который формирует ШИМ - сигнал. Он равен "1", если уровень пилообразного напряжения больше уровня напряжения U_{OC} . При возрастании входного напряжения U_1 уменьшается площадь между уровнем напряжения "пило" и U_{OC} , что приводит к уменьшению по длительности ШИМ- сигнала. Среднее значение напряжения на выходе при этом уменьшается, т.е. U_2 восстанавливается.



2.3.2.4 Коэффициент стабилизации компенсационного стабилизатора напряжения

Компенсационный стабилизатор - это система автоматического регулирования с ООС.

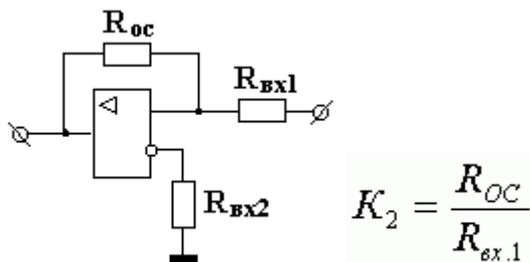


Дестабилизирующими факторами для выходного напряжения являются изменение тока нагрузки, температурный режим нелинейных элементов и изменение напряжения на входе. На выходе схемы сравнения получаем сигнал ошибки, как разность управляющего сигнала и эталонного напряжения. По сигналу ошибки U_e изменяется состояние РЭ, за счет чего поддерживается постоянство напряжения на выходе U_2 . Качество стабилизации компенсационного стабилизатора определяется значением петлевого коэффициента усиления $K_{пет}$:

$$K_{СТ} = \eta \cdot (1 + K_{ПЕТ}), K_{ПЕТ} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3.$$

где K_1 - коэффициент передачи делителя цепи обратной связи;

$K_2 = \beta_1 * \beta_2 * \beta_n$ - коэффициент усиления по току составного транзистора УПТ, если в качестве УПТ используется операционный усилитель,



то

Для компенсационных стабилизаторов напряжения непрерывного действия -

$K_3 = \beta_1 * \beta_2 * \beta_n$ - коэффициент усиления по току составного транзистора РЭ.

Для компенсационного стабилизатора напряжения импульсного действия:

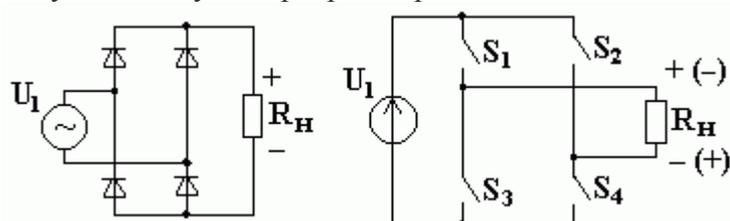
$$K_3 = \frac{U_1}{U_{пм}}$$

, где $U_{пм}$ - размах пилообразного напряжения генератора пилы.

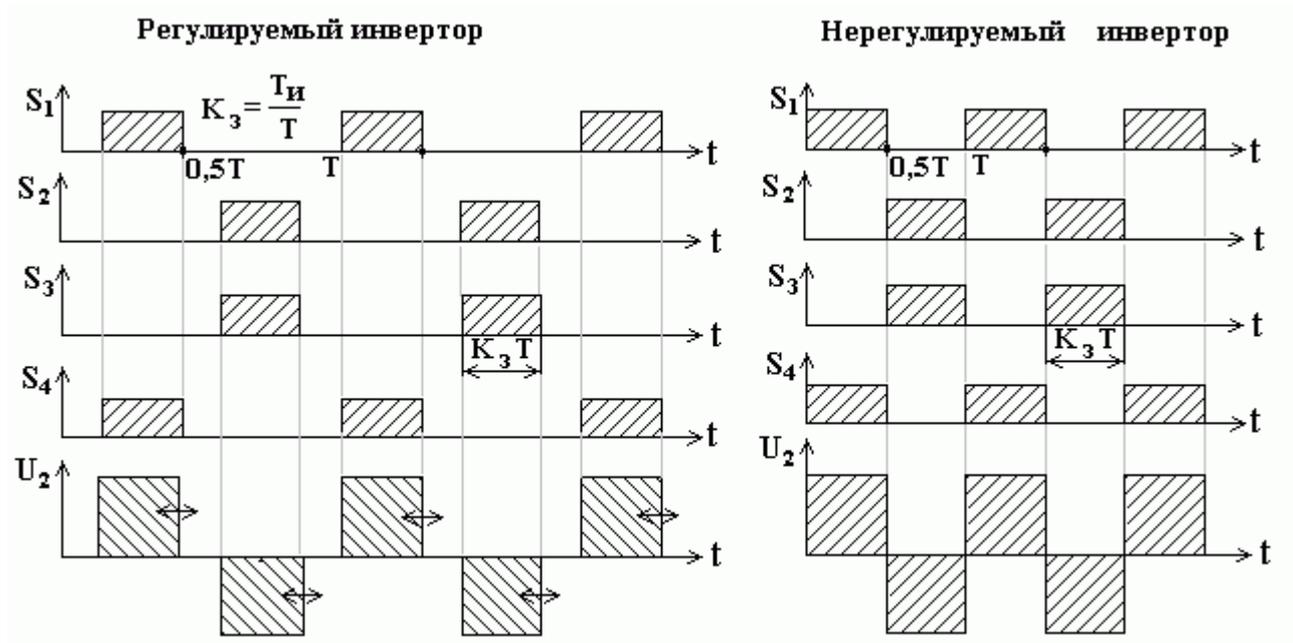
2.4. Инверторы напряжения

2.4.1 Принцип инвертирования напряжения

Для построения схемы инвертора напряжения воспользуемся принципом дуальности. Инвертор является устройством, противоположным выпрямителю, т.к. он преобразует напряжение постоянного тока в разнополярное напряжение прямоугольной или синусоидальной формы. Поменяем местами источник с нагрузкой в схеме выпрямителя и получим схему инвертора напряжения:



Для формирования двухполярного напряжения необходимо определенным образом управлять ключевыми элементами. Обеспечить стабилизацию (регулирование) напряжения на выходе инвертора можно изменением длительности импульсов управления ключами в зависимости от дестабилизирующих факторов.

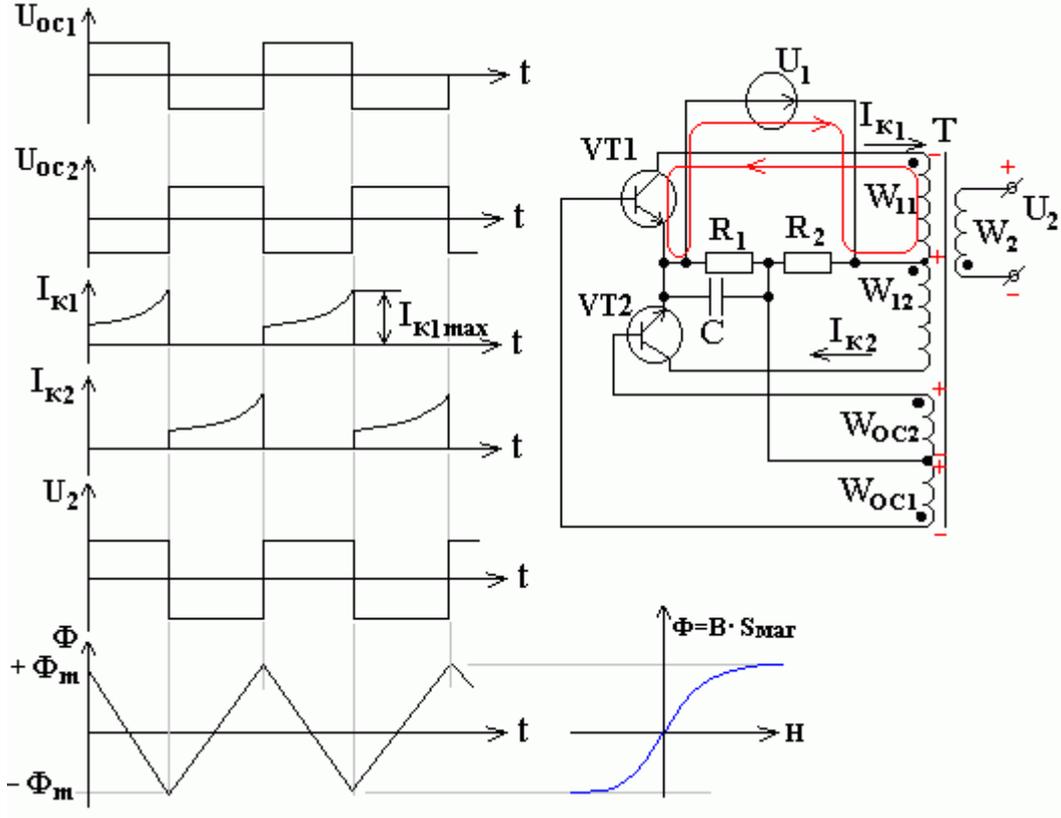


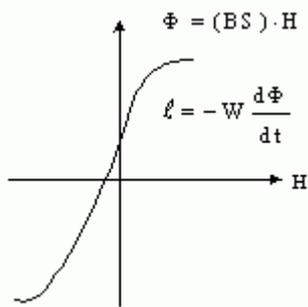
Транзисторный двухтактный инвертор напряжения с самовозбуждением

Транзисторный инвертор с насыщающимся трансформатором

На рисунке представлена принципиальная схема транзисторного инвертора напряжения с насыщающимся трансформатором, где R_1, R_2 - создают смещение на базе транзисторов VT1 и VT2, работающих в ключевом режиме, конденсатор C - обеспечивает прохождение переменной составляющей напряжения обратной связи, обмотки W_{OC1}, W_{OC2} - образуют цепь положительной обратной связи (ПОС) по напряжению для этого они включены согласно по отношению к обмоткам силового контура W_{11}, W_{12} .

Запуск схемы обеспечивается за счет асимметрии плеч инвертора (транзисторы VT1, VT2 имеют различные ВАХ). Иногда приходится делать принудительный запуск схемы в момент включения, если асимметрия недостаточна для первоначального пуска.

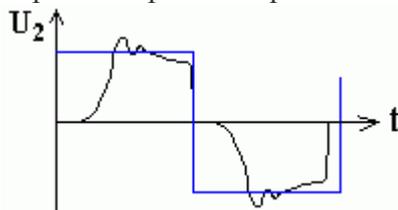




При преобладании коллекторного тока в полуобмотке W_{11} за счет разностного тока формируется ЭДС с полярностью, указанной красным цветом на рисунке. На выходе инвертора напряжения имеет место положительный сигнал прямоугольной формы. За счет обмотки ПОС происходит приоткрывание VT_1 и приоткрывание VT_2 . Нарастание коллекторного тока I_{K1} имеет лавинообразный характер, которое прекращается при заходе в область насыщения транзистора или трансформатора. Скорость изменения потока (Φ_0) снижается и происходит смена полярности ЭДС во всех обмотках трансформатора T , приоткрывается транзистор VT_2 и процессы повторяются. Частота преобразования инвертора определяется выражением:

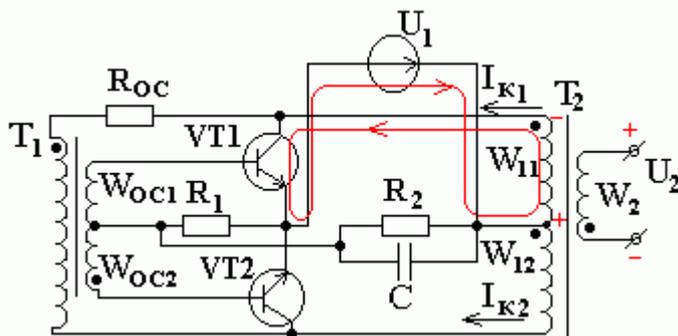
$$f = \frac{U_1 - 2 \cdot \Delta U_{кз}}{4K_{\Phi} \cdot B_m \cdot W_{11(12)} \cdot S_{МАГ}}$$

С увеличением тока нагрузки происходит уменьшение частоты преобразования за счет увеличения потерь на транзисторных ключах. Если рассматривать реальные процессы, то к концу полупериода работы инвертора напряжения происходит "спад" вершины импульса U_2 за счет влияния цепи намагничивания на величину коллекторного тока, что приводит к значительным потерям на силовых ключах. В моменты коммутации ключей возникает переходной процесс, обусловленный индуктивностью рассеяния и емкостью коллекторного перехода транзистора. В начале импульса U_2 имеет место "дребезг" сигнала.



При работе инвертора напряжения на выпрямитель в момент прохождения U_2 через ноль появляется коммутационная задержка, обусловленная влиянием выпрямителя. Для ее ослабления источник напряжения U_1 шунтируется полупроводниковыми диодами по отношению к нагрузке, т.к. в момент переключения диодов ($t_{выкл} > t_{вкл}$) все диоды моста включены.

Транзисторный инвертор с самовозбуждением с коммутирующим трансформатором



Силовой трансформатор T_2 работает в линейном режиме, за счет этого повышается КПД устройства, трансформатор T_1 является коммутирующим и работает с насыщением. Транзисторы VT_1 , VT_2 работают в ключевом режиме.

Преобладание тока I_{K1} , за счет ПОС приводит к лавинному нарастанию этого тока и увеличивается падение напряжения на R_{OC} , что влечет уменьшение ЭДС в первичной цепи

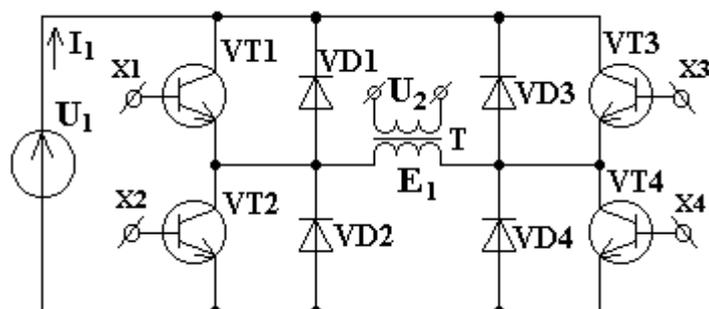
трансформатора T_1 . При заходе трансформатора в область насыщения происходит переключение транзисторов. Достоинством данной схемы является высокий КПД, к недостаткам относится сильная зависимость частоты преобразования от тока нагрузки (увеличение I_n приводит к росту частоты из-за возрастания скорости переключения транзисторных ключей).

Транзисторные инверторы напряжения с внешним управлением

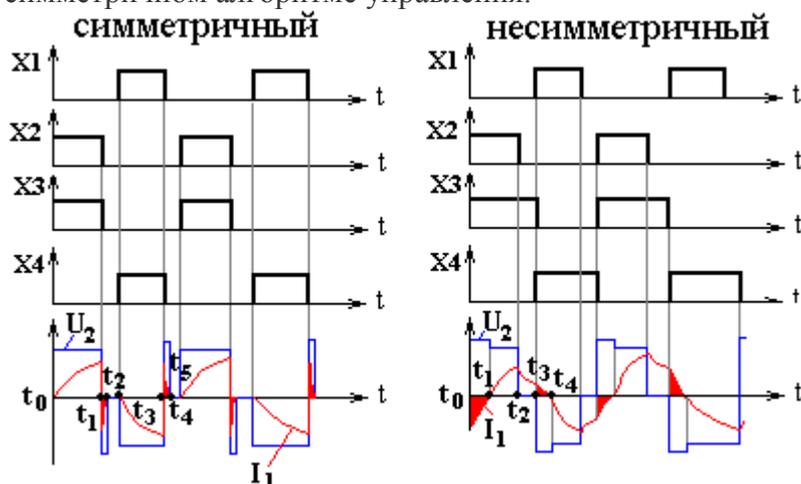
2.4.2 Двухтактные транзисторные инверторы напряжения

2.4.2.1 Мостовая схема инвертора напряжения

Мостовая схема инвертора напряжения применяется на больших мощностях при повышенном уровне напряжения источника питания. Сигналы управления $X1...X4$ поступают таким образом, что в каждом полупериоде два транзистора включены, а два других выключены.



Существует два алгоритма управления ключевыми элементами инвертора напряжения: симметричный и несимметричный. На рисунке приведены временные зависимости токов и напряжений для этих двух алгоритмов. Рассмотрим принцип действия инвертора при симметричном алгоритме управления.



При подачи управляющих импульсов $X1, X4$ на транзисторы $VT1, VT4$ на интервале времени $[t_3; t_4]$ ток протекает по контуру:

"+" U_1 ; коллектор-эмиттер $VT1$; обмотка трансформатора (T) в первичной цепи; коллектор-эмиттер $VT4$;

"-" U_1 . На этом же интервале накапливается реактивная энергия в цепи намагничивания трансформатора T , происходит плавное нарастание тока в первичной цепи по экспоненциальному закону.

На интервале $[t_4; t_5]$ осуществляется рекуперация энергии в источник U_1 через обратные диоды по контуру:

"+" ЭДС (E_1); $VD3$; противоположное направление по отношению к U_1 ; $VD2$;

"-" E_1 . Тока источника падает до нуля.

В плече моста инвертора напряжения достаточно управлять одним ключом для осуществления стабилизации напряжения на выходе инвертора (U_2), другой ключ можно удерживать в открытом состоянии, что исключает воздействие инвертора на входной

источник. Рассмотрим принцип действия инвертора при несимметричном алгоритме управления.

На интервале времени $[t_0; t_2]$ за период работы второго и третьего ключей в цепи намагничивания трансформатора T накопилась реактивная энергия. На интервале $[t_2; t_3]$ происходит рекуперация энергии в нагрузку по контуру:

"+" ЭДС (E_1); VD1; коллектор- эмиттер VT3;
 "-"

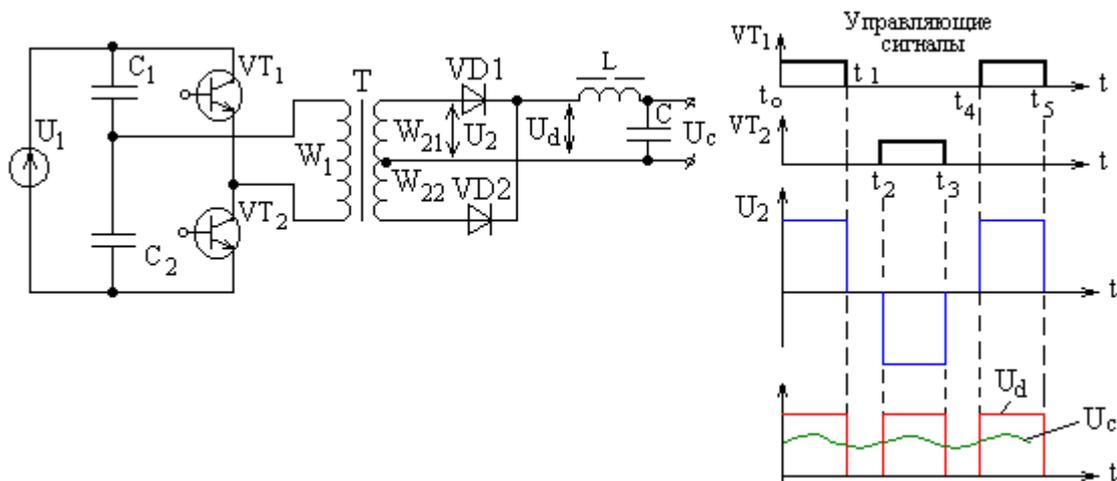
E_1 .

Если на данном интервале ток I_1 не снизился до нуля (т.е. ток не поменял свой знак), то на интервале $[t_3; t_4]$ энергия передается в источник по контуру:

"+" ЭДС (E_1); VD1; противоположное направление по отношению к U_1 ; VD4;

"-" E_1 , при этом образуется "полочка" в форме напряжения U_2 .

Транзисторный инвертор с емкостным делителем напряжения (полумостовой инвертор)



Принцип работы схемы заключается в поочередном подключении транзисторами VT1, VT2 первичной обмотки трансформатора к конденсаторам C_1, C_2 . На интервале времени $[t_2; t_3]$ происходит заряд конденсатора C_1 по цепи:

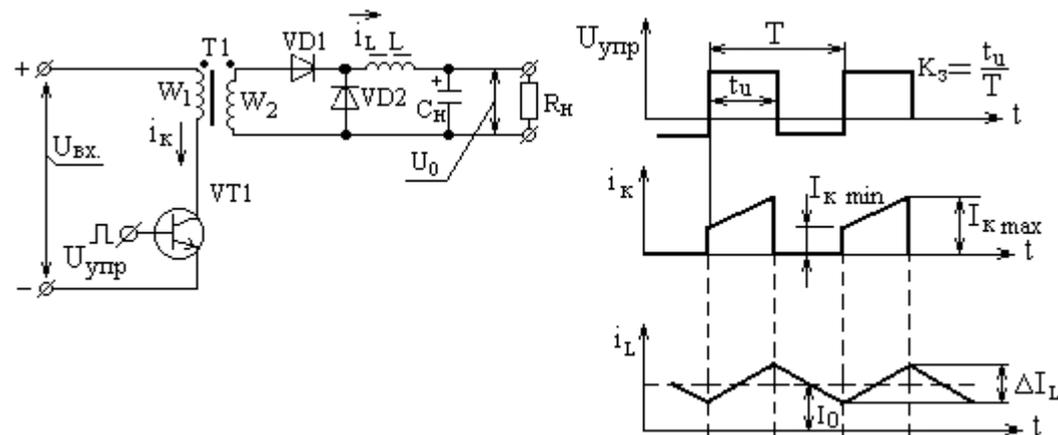
"+"; U_1 ; C_1 ; обмотка трансформатора первичной цепи W_1 ; коллектор- эмиттер VT2;

"-" U_1 . На этом же интервале происходит разряд конденсатора C_2 по цепи: "+" C_2 ;

обмотка трансформатора первичной цепи W_1 ; коллектор- эмиттер VT2; "-" U_1 .

К достоинствам схемы инвертора можно отнести: малые потери в силовой цепи за счет коммутации одного ключа на каждом такте работы схемы. За счет конденсаторов поддерживается баланс токов в схеме за период работы, что исключает возникновение асимметричного режима намагничивания трансформатора. Кроме того, в этой схеме малый уровень обратного напряжения на ключах, поэтому схема может использоваться при высоких входных напряжениях.

Однотактный транзисторный инвертор напряжения с передачей энергии на прямом ходе



При подаче управляющего сигнала ($U_{упр}$) на базу транзистора VT1 в первичной цепи трансформатора появляется ток. Контур его протекания:

"+" $U_{вх}$; обмотка трансформатора в первичной цепи; коллектор- эмиттер VT1;

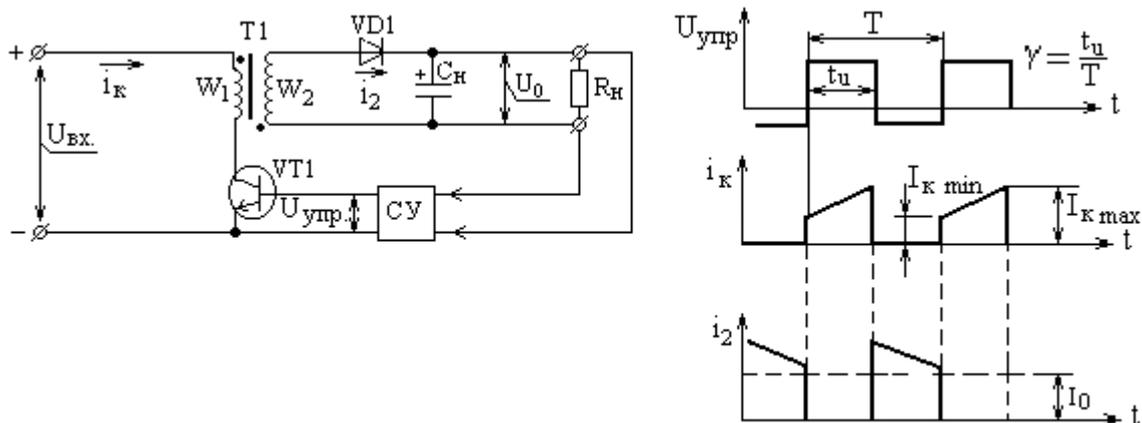
"-" U_1 . На интервале импульса происходит передача энергии в нагрузку через выпрямительный диод VD_1 и накопление реактивной энергии в дросселе сглаживающего фильтра

На интервале паузы $(1-K_3)T$ осуществляется рекуперация энергии дросселя L через обратный диод VD_2 в нагрузку, конденсатор C дополнительно сглаживает пульсации.

К достоинствам схемы относятся: простота силовой цепи и системы управления, дешевизна конструкции, отсутствие режима сквозных токов.

Недостатки: ограничения на максимальное значение коэффициента заполнения импульсов K_3 , большие габариты сглаживающего фильтра, одностороннее намагничивание сердечника трансформатора.

2.4.2.2. Транзисторный инвертор с передачей энергии на обратном ходе



При подаче управляющего сигнала на базу транзистора $VT1$ происходит накопление реактивной энергии E в цепи намагничивания трансформатора T_1 . Ток в цепи намагничивания трансформатора протекает по контуру:

"+" $U_{вх}$; обмотка трансформатора первичной цепи; коллектор- эмиттер $VT1$;

"-" U_1 . При этом выпрямительный диод $VD1$ закрыт, конденсатор фильтра разряжается в нагрузку. На интервале паузы происходит передача энергии намагничивания в нагрузку через выпрямительный диод $VD1$.

К достоинствам схемы относятся: простота силовой цепи и системы управления, дешевизна конструкции, отсутствие режима сквозных токов.

Недостатки: ограничения на максимальное значение коэффициента заполнения импульсов K_3 , большие габариты сглаживающего фильтра, одностороннее намагничивание сердечника трансформатора.

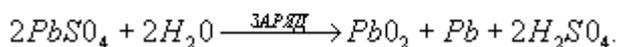
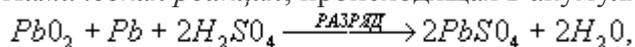
2.5. Аккумуляторы

Аккумулятор – это химический источник тока многократного действия. Он способен накапливать, длительно сохранять и отдавать по мере надобности электрическую энергию, полученную от внешнего источника постоянного тока.

Во время заряда, когда внешний источник постоянного тока подключен к аккумулятору, электрическая энергия этого источника превращается в химическую энергию активных веществ, входящих в состав аккумулятора. При разряде, когда внешний источник отключен, а аккумулятор замкнут на сопротивление нагрузки, химическая энергия, накопленная в аккумуляторе, вновь преобразуется в электрическую энергию, которая расходуется нагрузкой. Аккумулятор состоит из положительной и отрицательной пластин, активная часть которых погружена в раствор электролита (водного раствора серной кислоты). Первоначальным материалом положительных и отрицательных электродов аккумулятора является свинец. После заряда аккумулятора на положительном электроде образуется активная масса – двуокись свинца (PbO_2), а на отрицательном – губчатый свинец (Pb). Когда

аккумулятор заряжен, концентрация серной кислоты в растворе высокая, т.е. электролит имеет повышенную плотность. Разряд аккумулятора представляет собой электрохимический процесс, при котором двуокись свинца и губчатый свинец превращаются в сульфат свинца (PbSO₄).

Химическая реакция, происходящая в аккумуляторе, описывается уравнением:



В процессе заряда сульфат свинца на отрицательных пластинах восстанавливается до губчатого свинца, а на положительных пластинах превращается в двуокись свинца. При этом образуется серная кислота и расходуется вода. Концентрация кислоты, т.е. плотность электролита, повышается. Если заряд продолжать дальше, то весь зарядный ток будет расходоваться на разложение воды с бурным выделением образующихся газов - водорода и кислорода.

2.5.1 Электрические характеристики аккумуляторов

1. *Емкость* аккумулятора – это количество электричества, которое можно получить от аккумулятора в определенных условиях разряда.

Номинальная емкость аккумуляторов приведенная к условному 10-часовому режиму разряда и температуре среды 20°C зависит от ряда факторов: тока разряда I_p, времени разряда t_p и соответствующего ему коэффициента отдачи по емкости h_Q, температуры окружающей среды t_{ср}:

$$Q_{НОМ} = \frac{I_p t_p}{\eta_Q (1 + 0,008(t_{ср} - 20^0))}$$

Значения коэффициента отдачи по емкости h_Q приведены в таблице. В таблице указаны также коэффициенты кратности тока h_i, определяющие превышение разрядного тока приведенной величины в 10-часовом режиме разряда (h_i=I_p/ I_{p10}).

t _p , ч	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
h _Q	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,83	0,8	0,75	0,61	0,51
h _i	1	1,1	1,15	1,3	1,48	1,66	2,0	2,5	3,05	5,1

2. *Номинальное напряжение* аккумулятора – это напряжения на выводах полностью заряженного исправного аккумулятора в течение первого часа разряда током 10 – часового режима разряда при температуре электролита 20°C (U_{ЭЛ.НОМ} =2 В).

Количество элементов в батарее определяется отношением:

$$N = \frac{U_{АПП}}{U_{ЭЛ.НОМ}} = \frac{U_{АПП}}{2}$$

В процессе заряда и разряда аккумуляторов напряжение элемента изменяется на ±0,2...0,22 В.

3. *Напряжение в конце разряда* равно U_{ЭЛ.КЗ}=(1,75...1,8)В. При разряде аккумулятора токами, превышающими ток 10 – часового режима разряда, напряжение в процессе разряда будет понижаться быстрее, чем в 10 - часовом режиме и дойдет до уровня 1,8В, когда с аккумулятора еще не снята номинальная емкость. В таких случаях показателем окончания разряда является величина напряжения элемента.

4. *Величина напряжения при заряде* должна быть больше ЭДС, так как зарядному току приходится преодолевать внутреннее сопротивление аккумулятора: U_{ЗАР}=E+I_З×R_{ВН}=(2,3...2,35)В.

5. *Внутреннее сопротивление* аккумулятора R_{ВН} складывается из сопротивления аккумуляторных пластин, сепараторов и электролита. Внутреннее сопротивление увеличивается по мере разряда в силу уменьшения плотности электролита, а также в связи с образованием сульфата свинца. Омическое сопротивление полностью заряженного аккумулятора составляет примерно 0,0036 Ом, а в состоянии полного разряда – 0,007 Ом.

б. Плотность электролита заряженного аккумулятора составляет (1,25...1,3) г/ см³, в состоянии разряда – 1,05 г/ см³.

2.5.2. Современные типы аккумуляторов

Закрытые негерметичные аккумуляторы (ЗНА) выпускают в настоящее время ряд зарубежных фирм. Основными представителями рынка негерметичных аккумуляторов для электросвязи являются CHLORIDE inc., VARTA GmbH, HAGEN GmbH, YUASA Corp., OLDHAM France.

Конструкция (ЗНА) предполагает технологию изготовления, сходную с открытыми аккумуляторами, но обеспечивающую пониженное испарение воды. Газы, выделяющиеся при заряде-разряде собираются в резервуаре над слоем электролита.

Широкое распространение на практике получила “прозрачная” конструкция кислотных аккумуляторов. Она практически едина для разных фирм-изготовителей. Корпус аккумулятора изготавливается из прозрачного ударопрочного материала, в верхней части корпуса имеется транспортная (заливная) пробка. В закрытом состоянии эта пробка обеспечивает газообмен внутренней полости аккумуляторного элемента с окружающей средой. После извлечения пробки обеспечивается доступ к поверхностному слою электролита и к верхним частям пластин.

Благодаря описанной конструкции *возможно*:

- визуально контролировать уровень электролита в каждом элементе батареи и его чистоту;
- определять сульфатацию торцов пластин;
- наблюдать “кипение” электролита при заряде;
- ареометром проверять плотность электролита;
- делать отбор электролита на лабораторный анализ

Тем не менее *не представляется возможным* наблюдать сульфатацию и коробление внутренних пластин, сравнивать и измерять, делать анализ глубинных слоёв электролита, хотя в технических описаниях указывается, что состав электролита, сульфатация и деформация пластин внутри объёма аккумуляторного элемента различны.

Все ЗНА можно условно разделить на два типа:

А) *Конструкция с избыточным объёмом электролита* –обеспечивает запас на “выкипание”, так что долив электролита необходим примерно 1 раз в год.

Б) *Конструкция с доливом воды* –аналогична закрытой конструкции, но предполагает в дополнение наличие резервуара с дистиллированной водой, снабжённого мерным клапаном. При понижении уровня электролита клапан открывается и происходит пополнение аккумуляторного бака. Плотность электролита при этом не регулируется, и, вследствие частичной летучести серной кислоты, происходит разбавление электролита.

Все современные негерметичные конструкции не рассчитаны на разборку и ремонт. Вскрытие возможно лишь путём нарушения целостности корпуса с опасностью последующего протекания электролита.

Герметичные аккумуляторы с рекомбинацией газа

Наличие отмеченных выше недостатков “классических” аккумуляторов привело к созданию герметичных аккумуляторов (ГА) с рекомбинацией газа и регулированием газовой выделению. В зарубежной литературе они получили название VRLA (Valve Regulated Lead Acid). В настоящее время, благодаря новым техническим решениям, ГА обладают в 8...9 раз большей энергией на единицу массы по сравнению с открытыми.

Конструкция герметичных аккумуляторов

В отличие от негерметичных ГА изготавливаются из непрозрачной пластмассы. На верхней крышке расположены выходные клеммы и регулирующий клапан (Valve). Часто регулирующий клапан скрыт декоративно-защитной панелью и обнаружить его трудно. Регулирующий клапан имеет принципиальное отличие от пробки негерметичного аккумулятора, хотя в некоторых моделях выглядит как заливная пробка.

Следует отметить, что замена и пополнение электролита в ГА невозможны, равно как и контроль плотности электролита и сульфатации пластин. В этом смысле герметичные аккумуляторы относятся к “безуходным”, неремонтопригодным элементам.

Регулирующий клапан осуществляет одностороннее пропускание газов из бака аккумулятора наружу, но препятствует проникновению газообразных и иных примесей внутрь бака. Избыточное давление, создаваемое внутри бака регулируется клапаном и способствует протеканию процессов рекомбинации газа. Кроме того, клапан выполняет защитную функцию – предохраняет бак от разрушения повышенным внутренним давлением при кипении электролита.

ГА различаются способом абсорбции (связывания) электролита и газов. Из анализа технических описаний герметичных аккумуляторов таких фирм как YUASA, CHLORIDE, VARTA, HAGEN, OLDHAM France, выделено два типа связывания электролита:

А) *Пропитка микропористого (стекловолоконного) сепаратора* (МС) сернокислотным электролитом. Капиллярная структура сепаратора предотвращает вытекание электролита. По такому принципу строятся аккумуляторы фирм OLDHAM France, YUASA и CHLORIDE.

Б) *Электролит с желеобразным силиконом*, нетекучей, вязкой консистенции. Сепаратор в этом случае изготавливается аналогично “классическим” аккумуляторам. По такому принципу строятся аккумуляторы VARTA и HAGEN.

Стекловолоконный МС плотно прилегает к пластинам и препятствует их осыпанию, выполняя роль “опалубки” для активной массы.

Желеобразный электролит используется совместно с сепараторами сетчатой или гофрированной конструкции, поэтому процессы осыпания пластин в жележных (гельных) аккумуляторах более интенсивны. Технологически желе-технология более дешева, однако, технические характеристики аккумуляторов уступают элементам с микропористым сепаратором.

2.6 Принципиальная схема двухтактного преобразователя постоянного напряжения на базе микросхемы 1169eu1

Микросхема 1169EU1 (рисунок 1) включает набор функциональных блоков, предназначенный для построения двухтактного импульсного источника питания. Микросхема включает усилитель ошибки, масштабный усилитель, регулируемый генератор, компаратор регулировки “мертвого” времени, ШИМ-компаратор, счетный и RS-триггеры, источник опорного напряжения (ИОН) и выходные каскады для управления мощными транзисторами. Микросхема представляет возможность для реализации различного вида защитных функций, необходимых в двухтактном импульсном источнике питания, а также возможность реализации плавного запуска и блокировку при понижении напряжения питания. Допускается синхронизация встроенного генератора внешним сигналом.

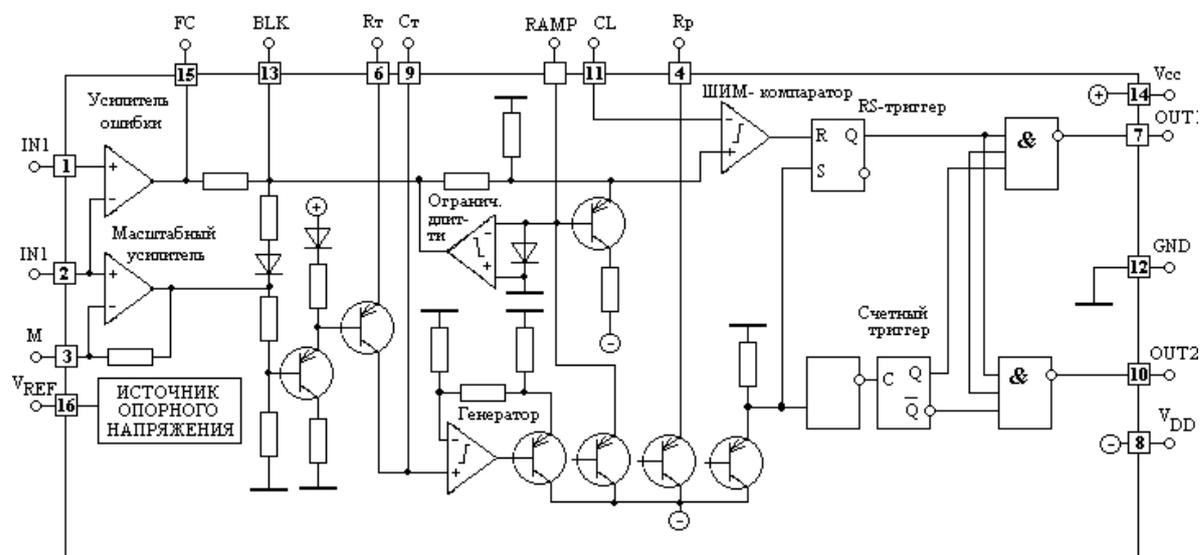


Рисунок 1. Структурная схема микросхемы 1169EU1

(IN) - неинвертирующий вход УС ошибки;

(IN) - инвертирующий вход ОС;

(M)- изменение масштабирования;

(Rp)- резистор формирования паузы;

(RAMP)-конденсатор формирования пилообразного сигнала;

(R_T) - установка частоты генератора;

(OUT1) - выход 1;

(V_{DD})- минус источника питания;

(C_T)- частотозадающий конденсатор;

(OUT2) – выход 2;

(CL) - подключение датчика тока;

(GND)- общий;

(BLK)- отключение ШИМ (блокировка);

(V_{cc})- плюс источника питания V_{CC1};

(FC)- коррекция усилителя;

(V_{REF})-опорное напряжение.

Микросхема 1169EУ1 может работать как от однополярного, так и от двухполярного источника питания. При работе от двухполярного источника питания должна обеспечиваться возможность объединения точки источников питания и микросхемы. На рисунке 2 представлена схема полумостового двухтактного преобразователя.

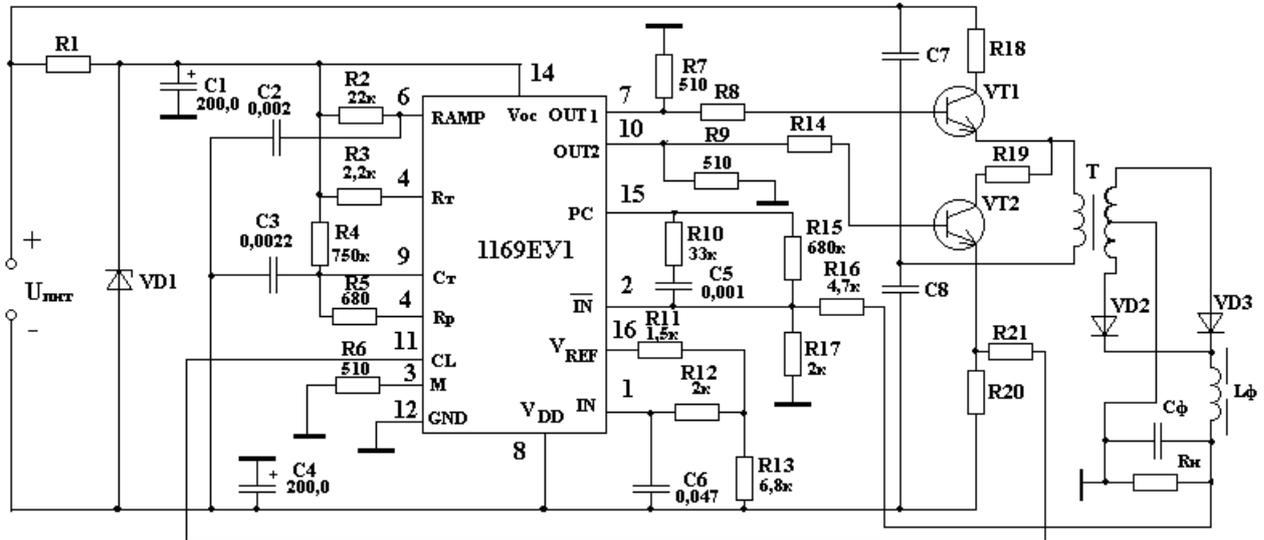
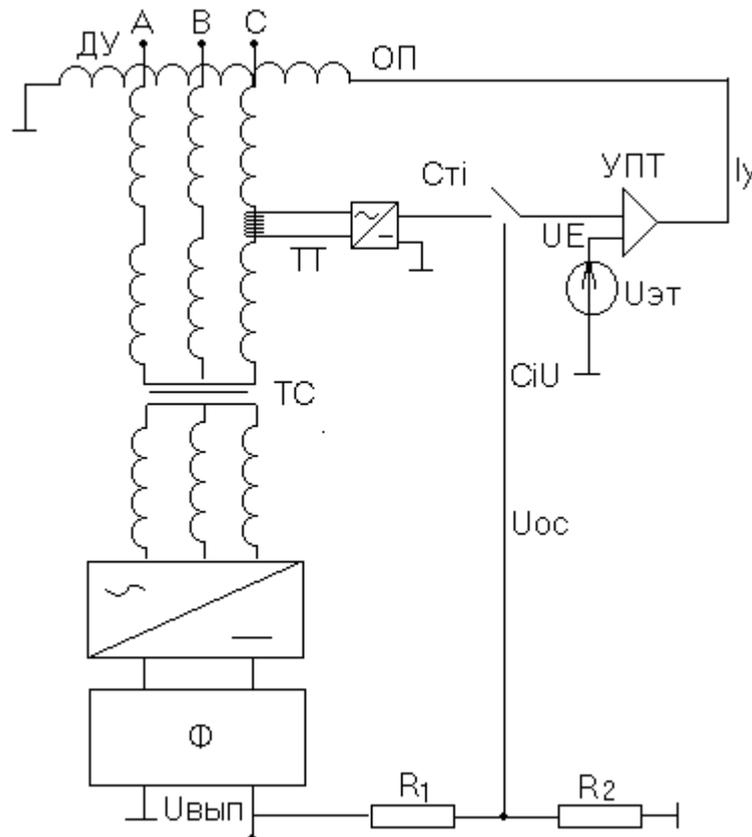


Рисунок 2. Типовая схема двухтактного ШИМ-преобразователя.

2.7. Промышленные выпрямительные устройства



Функциональная схема выпрямителя серии ВУК.

Схема выпрямителя включает в себя трехфазный силовой трансформатор, трехфазный мостовой выпрямитель и двухзвенный LC сглаживающий фильтр. Выпрямитель работает в двух режимах.

- режиме стабилизации напряжения, который необходим для питания основного оборудования и заряда аккумуляторных батарей,
- режиме стабилизации тока для заряда АБ после аварии.

Стабилизация тока и напряжения осуществляется в цепи переменного тока. Выпрямительное устройство можно отнести к типу стабилизаторов с последовательным регулирующим элементом (дроссель управления - ДУ) непрерывного действия. В ДУ происходит изменение индуктивного сопротивления обмоток трансформатора (А,В,С) за счет подмагничивания сердечника обмоткой подмагничивания (ОП). Рассмотрим режим стабилизации напряжения при изменении напряжения на входе: при увеличении $U_{вх}$ в первый момент времени увеличивается $U_{вых}$, что приводит к увеличению $U_{ос}$, снимаемого с нижнего плеча делителя напряжения R_1, R_2 . При этом увеличивается $U_{ошибки}$ в результате сравнения с эталонным напряжением ОС. Это приводит к уменьшению тока управления на выходе УПТ (усилитель постоянного тока) и увеличению индуктивного сопротивления в каждой фазе ДУ, увеличивается падение напряжения на регулирующем элементе(ДУ) и напряжение на выходе восстанавливается, то есть уменьшается. В режиме стабилизации тока информация об изменении тока в нагрузке снимается в первичной цепи с трансформатора тока, далее через выпрямительное устройство напряжение обратной связи, пропорциональное величине тока, поступает на вход УПТ, при возрастании тока в нагрузке может произойти разрушение элементов АБ, если он превысит допустимую норму на элементе, поэтому происходит ограничение величины тока за счет увеличения сопротивления в дросселе управления.

3. Системы электропитания предприятий связи

3.1. Структурная схема системы электропитания предприятия связи

Предприятия многоканальной электросвязи питаются напряжением как постоянного, так и переменного тока.

Существуют следующие градации напряжения:

1. Электропитание аппаратуры линейно-аппаратного цеха (ЛАЦ) узла связи, а также пунктов регенерации (промежуточных, оконечных и узловых) кабельных и воздушных магистралей связи должно осуществляться напряжением $-24В \pm 3\%, \pm 10\%$ постоянного тока.
2. Питание накальных цепей ламповой аппаратуры осуществляется напряжением $-21,2В \pm 3\%$.
3. Питание анодных цепей аппаратуры дальней связи должны питаться напряжением $+206В \pm 3\%$.
4. Питание радиорелейных линий связи обеспечивается напряжением $-24В \pm 3\%, \pm 10\%$.

При внедрении волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) переходят к уровням напряжения питания : ± 48 В, ± 400 В и структура системы питания приближается к системе электропитания автоматической электросвязи. Дистанционное питание при этом ликвидируется. В ГОСТе 5237-83 оговариваются требования по качеству питающих напряжений, основные из них: действующее напряжение пульсации в полосе до 300 Гц лежит в диапазоне от 100 до 250 мВ, в полосе частот от 300 Гц до 20 кГц пульсации лежат в диапазоне от 5 до 25 мВ. Существуют также требования к динамическим показателям: напряжение питания может отклоняться от установившегося значения в пределах до +20% за время 0,4 с., при отклонении +40% от установившегося значения за время не более 5 мс.

3.1.1. Требования к системе электропитания

Система электропитания должна

- быть *эффективной* с точки зрения преобразования энергии (высокий к.п.д и коэффициент мощности). Для этого источники электропитания строятся с бестрансформаторным входом по импульсной технологии (высокая частота преобразования);
- обеспечивать *гарантированную и бесперебойную* подачу электроэнергии. Для этого используются резервные источники энергии (аккумуляторные батареи, дизель- генераторные установки, солнечные установки и т.д., а также обеспечивать два ввода);
- быть *надежной*. Это достигается применением различных способов защиты системы питания (предохранительная, контакторная, быстродействующая - электронная). Кроме того, используется резервное оборудование (преобразователи) при параллельной их работе. Внедряется микропроцессорное управление режимами работы системы питания. Для обеспечения области безопасной работы ключевых элементов преобразователей используется режим "мягкой коммутации" и т.д..
- предусматриваться *возможность модернизации* отдельных блоков в течение 5...10 лет без замены основного оборудования;
- быть по мере возможности *не обслуживаемой*. Для этого вводятся компьютерные технологии: в блоке управления имеет место интерфейс и микроконтроллер с выходом на дисплей пользователя.
-

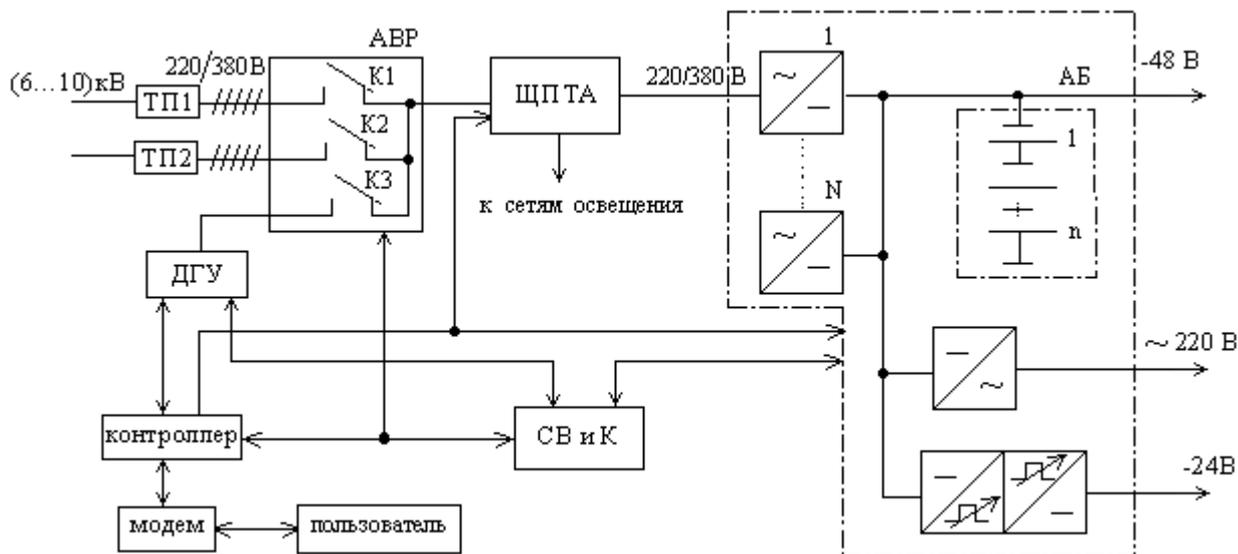
3.2. Структурная схема электроустановки

Электрическая установка – это комплекс сооружений на территории предприятия связи и в производственных помещениях, обеспечивающий функционирование предприятия связи, как в нормальных так и в аварийных режимах его работы.

Электроустановка включает в себя следующее оборудование:

- дизель-генераторные установки (ДГУ);
- трансформаторные подстанции (ТП);
- электропитающие установки (ЭПУ);
- система вентиляции и кондиционирования воздуха;
- электросети освещения.

ЭПУ – это комплекс оборудования, предназначенного для распределения и резервирования электрической энергии, а также ее регулирование и преобразование для удовлетворения требований по качеству питающих напряжений. ЭПУ включает в себя конверторы напряжения, аккумуляторные батареи, инверторы и токораспределительную сеть (ТРС).



Система питания должна предусматривать два ввода (фидера) от двух независимых трансформаторных подстанций. Трансформаторная подстанция бывает открытого и закрытого типа. Она обеспечивает понижение напряжения от (5...10) кВ до 220/380В.

На трансформаторной подстанции находятся масляные выключатели, которые позволяют размыкать высоковольтные линии электропередачи без снятия нагрузки. Размыкание происходит при прохождении тока через ноль, что позволяет уменьшить уровень перенапряжения. Кожух масляного выключателя заполняется маслом, что позволяет гасить искру. Кроме того, на ТП устанавливаются разъединители, которые представляют собой рубильники с изоляторами. Трансформаторы ТП устанавливаются на изолированных опорах. Вторичные цепи трансформаторов ТП должны быть включены по схеме звезда с нулевым проводом.

АВР - автоматический ввод резерва, осуществляет переключение на резервный фидер в случае пропадания напряжения на основном фидере. При выходе из строя обоих фидеров осуществляется подключение дизель-генераторной установки автоматически или ручным способом при помощи размыкателя. Существуют два способа запуска ДГУ: сжатым воздухом или с помощью электрического стартера. Запуск дизеля должен произойти за (1...3) минуты. Разрешается запускать его с помощью стартера до 3-х раз (по 5...6 с). Это обусловлено возможностью выхода из строя стартерных аккумуляторов. Мощность ДГУ лежит в пределах от 8кВт до 1500кВт. В системах электропитания чаще всего используется два ДГУ, один – основной, другой резервный.

ЩПТА – щит переменного тока автоматизированный, обеспечивает ввод и распределение по потребителям токоведущих шин. На передней панели ЩПТА расположены измерительные приборы (вольтметр, амперметр, ваттметр, измеритель $\cos\varphi$) для контроля коэффициента мощности $\cos\varphi$ и полной мощности S .

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + Z^2},$$

где, S – полная мощность, P – активная мощность; Q – реактивная мощность, Z – составляющая мощности, учитывающая не синусоидальное потребление тока из сети. Полный коэффициент мощности нагрузки с определяется из выражения:

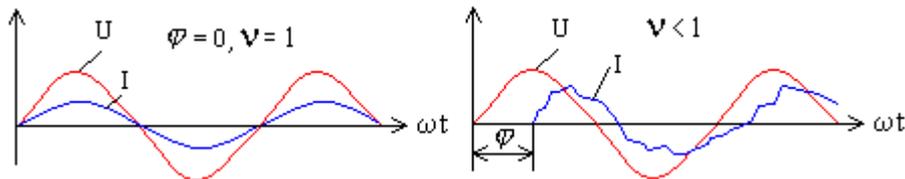
$$\lambda = \nu \cdot \cos \varphi,$$

где ν - коэффициент, учитывающий не синусоидальность потребляемого тока и равен

$$\nu = \frac{I_{(1)}}{\sqrt{I_{(1)}^2 + I_{(2)}^2 + \dots + I_{(n)}^2}}$$

j - учитывает фазовый сдвиг первой гармоники тока по отношению к напряжению сети.

Для обеспечения минимальной оплаты за энергопотребление необходимо, чтобы $\lambda=1$, при этом также исключается влияние на источник электроэнергии.



Расчет за электрическую энергию осуществляется по показателям, снимаемым с ЩПТА по одна-, двух- или трех-ставочным тарифам в зависимости от мощности потребления и категории предприятия. Одноставочный тариф учитывает только показания ваттметра (P), т.е. расчет производится за 1 кВт электроэнергии по показаниям счетчика. Двухставочный тариф учитывает помимо P расходы за полную мощность S. Трехставочный тариф учитывает три составляющие мощности P, S и Q.

Блок выпрямительного устройства -



преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока и допускает параллельную работу для увеличения тока нагрузки. Существует два режима работы выпрямительного устройства:

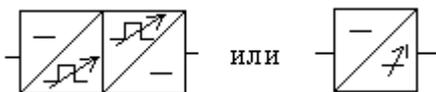
- режим стабилизации напряжения для питания аппаратуры связи и подзарядки аккумуляторных батарей;
- режим стабилизации тока для заряда аккумуляторных батарей после аварии.

Инвертор напряжения -



преобразует напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока прямоугольной или синусоидальной формы и обеспечивает его стабилизацию.

Конвертор напряжения (или преобразователь постоянного напряжения)



– это преобразователь постоянного напряжения одного уровня в постоянное напряжение другого уровня. Конвертор напряжения включает в себя инвертор напряжения и выпрямитель. Промежуточным звеном является - высокочастотный трансформатор. Конвертор напряжения может выполнять одну из двух функций в системе электропитания:

- формировать дополнительные градации напряжения;
- обеспечивать вольтодобавку к напряжению аккумуляторной батареи при ее саморазряде в аварийном режиме работы системы электропитания.

Аккумуляторная батарея (АБ) – химический источник постоянного тока. Используется в качестве резервного источника энергии в аварийном режиме работы системы электропитания до момента запуска ДГУ.

Контроллер следит за скоростью вращения генератора ДГУ, уровнем напряжения, наличием воздуха, топлива и воды, масла, за давлением масла, которое используется для смазки ДГУ, за повышением температуры воды и т.д. Контроллер также обеспечивает выравнивание токов на выходе выпрямителей для повышения надежности системы, и переход из режима стабилизации тока в режим стабилизации напряжения по информации поступающей от устройств контроля состояния АБ.

Система вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и К) обеспечивает нормальное функционирование (что также повышает надежность системы) преобразователей напряжения, ДГУ, аккумуляторных батарей. СВ и К регулирует процессом охлаждения или подогрева отдельных устройств. При зарядке аккумуляторной батареи происходит выделение газов в окружающую среду, поэтому необходимо производить очистку воздуха для обеспечения нормальной жизнедеятельности персонала. СВ и К обеспечивает циркуляцию воздуха и очистку от вредных примесей.

Модем предназначен для передачи на обработку, информации о состоянии системы электропитания в сервисный центр обслуживания по телефонным каналам.

3.2.2. Режимы работы системы электропитания

Нормальный режим: электропитание аппарата связи получает по цепи: основной фидер, замкнутый контакт (K1), АВР, ЩПТА, выпрямители и ответвления на конвертор напряжения, инвертор напряжения и аккумуляторную батарею. Если нестабильность сети выходит за нормы допустимые для питающего оборудования или аппарата связи предъявляет высокие требования к питающим напряжениям переменного тока, то инвертор напряжения включается и в нормальном режиме работы. В этом режиме происходит подзаряд АБ от выпрямителя.

Аварийный режим: до момента запуска ДГУ питание основного оборудования осуществляется от АБ постоянным током. Аппаратура, питающаяся переменным током подключается к инвертору напряжения. При пропадании питания от одного из фидеров сразу же происходит запуск ДГУ. После окончания его запуска питание аппаратуры связи протекает по тому же пути, как и в нормальном режиме (только вместо K1 или K2 замыкается K3). После запуска ДГУ происходит отключение АБ.

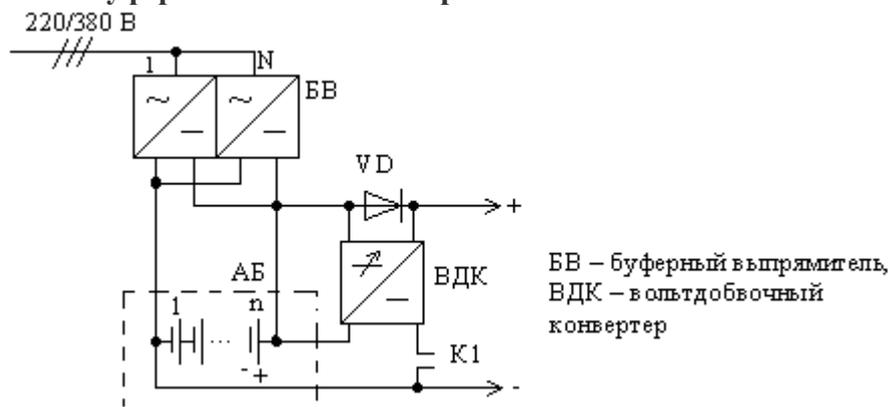
После аварийный режим: происходит восстановление элементов АБ в режиме стабилизации тока при подключении одного из фидеров.

3.3. Модификации системы электропитания в цепи постоянного тока

На предприятиях связи используются три модификации системы электропитания на стороне постоянного тока:

1. Буферная система электропитания.
2. С отделенной от нагрузки АБ.
3. Безаккумуляторная система электропитания.

3.3.1. Буферная система электропитания

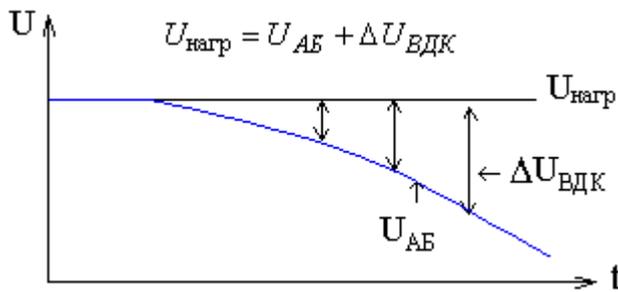


Преимуществом буферных систем электропитания является: использование сглаживающих свойств АБ, что значительно уменьшает габаритные размеры сглаживающих фильтров, установленных на выходе БВ.

Недостатком данной системы является воздействие импульсной нагрузки на АБ, что снижает срок службы и, особенно, герметичных аккумуляторов.

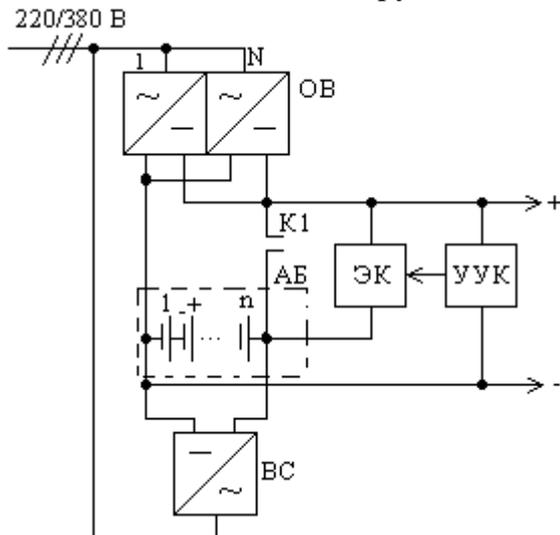
Диод (VD), установленный во внешнюю цепь необходим для обеспечения непрерывного протекания тока в момент срабатывания контактора K1. Недостатком использования является увеличение потерь в схеме конвертора напряжения. Существуют схемы подключения конвертора напряжения без использования диода, но с двумя контакторами. В такой схеме имеет место более высокий КПД, но при этом снижается надежность системы.

При саморазряде АБ ВДК добавляет недостающую долю напряжения для обеспечения стабилизации напряжения в нагрузке.



В нормальном режиме работы контактор К1 разомкнут, элементы АБ поддерживают нормальное состояние от БВ, одновременно обеспечивается питание основного оборудования от выпрямителя. В аварийном режиме замыкается контактор К1 и выход ВДК соединяется последовательно с АБ, вход ВДК при этом подключается к выходу АБ.

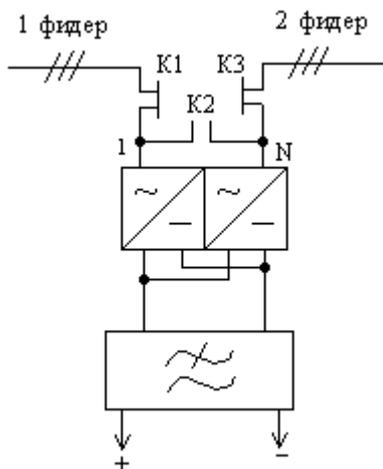
3.3.2. С отделенной от нагрузки АБ



Достоинством данной системы электропитания является отсутствие влияния импульсной нагрузки на работу АБ. К недостаткам можно отнести: низкий КПД основного выпрямителя (ОВ) за счет больших габаритных размеров сглаживающих фильтров и дополнительного выпрямителя- выпрямителя содержания (ВС) элементов АБ.

В нормальном режиме работы системы электропитание аппаратуры обеспечивается за счет ОВ, элементы АБ подзаряжаются от ВС. Устройство управления ключом (УУК) контролирует напряжение в нагрузке. При снижении его ниже допустимой нормы срабатывает электронный ключ (тиристорный или транзисторный) и подготавливается замыкание контактора К1. Преимуществом данной системы является содержание элементов АБ от отдельного выпрямителя, что предоставляет возможность перехода в режим стабилизации по току не только в после аварийном режиме, но и при работе системы на нагрузку.

3.3.3. Безаккумуляторная система электропитания



Данная система электропитания требует наличие не менее трех независимых источников энергии, один из которых дизель-генератор. В этой системе всегда работает парное число выпрямителей (при этом улучшается форма потребляемого тока) и они должны быть загружены не более чем на 50%.

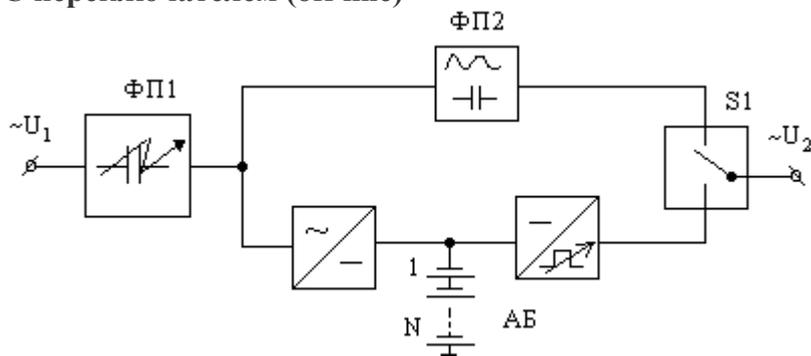
Преимуществом данной системы является простота схемы построения, дешевизна системы. При выходе из строя одного из фидеров замыкается K2 и выпрямители подключаются к другому фидеру.

3.3.4. Модификации систем питания в цепи переменного тока (АБП – агрегаты бесперебойного питания)

Существуют следующие модификации систем электропитания в цепи переменного тока:

1. С переключателем (off line).
2. Линейно – интерактивная (line interactive).
3. С гальванической развязкой цепей (on line).
4. С дельта – преобразованием (on line).

С переключателем (off line)



Преимуществом данной структуры является: низкая стоимость, простота конструкции. К недостаткам можно отнести: низкое качество питающих напряжений из-за отсутствия стабилизаторов напряжения в цепи переменного тока.

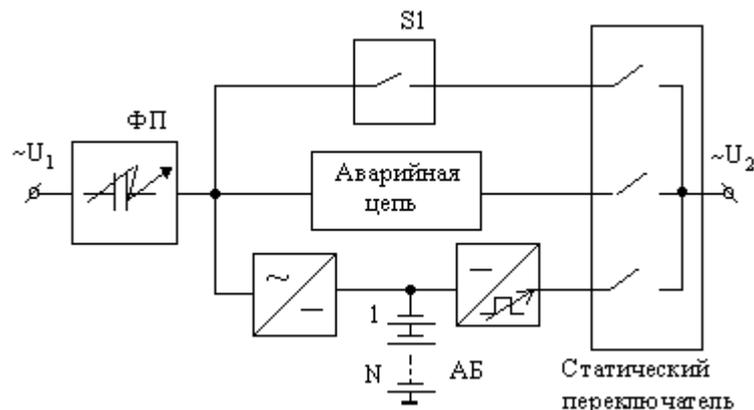
В нормальном режиме работы питание осуществляется через фильтры помех ФП1 и ФП2. ФП1 защищает от высоких "бросков" напряжения, возникающих при воздействии молний и переходных процессов при "коротких замыканиях". ФП2 улучшает гармонический состав напряжения (обеспечивает фильтрацию высокочастотных помех). В нормальном режиме АБ подзаряжается от выпрямителя. При прекращении подачи электроэнергии от основного источника напряжения переменного тока U_1 аппаратура получает питание от резервного источника энергии - АБ через инвертор напряжения. Переключатель S1 в этом режиме переходит в нижнее положение.

Эта система не предусматривает отключение АБ при достижении минимально допустимого уровня напряжения на элементе АБ, т.е. не предусматривает защиту АБ от глубокого разряда.

Линейно – интерактивная (line interactive)

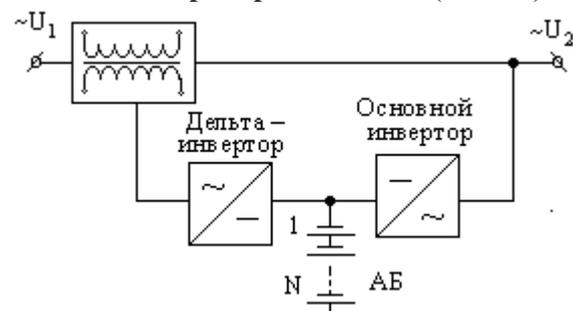
В нормальном режиме работы аппаратура получает питание через помехоподавляющий фильтр (ФП), устройство коррекции (УК), ключ S1 находится в разомкнутом положении. УК представляет собой автотрансформатор с отводами, которые переключаются механическими контактами, либо электронными ключами, регулируя тем самым выходное напряжение. УК выполняется иногда в виде феррорезонансного стабилизатора. Аварийный режим совпадает со структурой off line.

С гальванической развязкой цепей (on line)



В нормальном режиме аппарата получает питание через фильтр помех, выпрямитель, инвертор напряжения и статический переключатель. В данной структуре повышено качество питающего напряжения за счет стабилизации методом широтно-импульсного преобразования в звене инвертора напряжения. Аварийная цепь обеспечивает резервирование основной цепи. Дополнительная цепь, коммутируемая ключом S1 в случае выхода из строя преобразователей или при глубоком разряде АБ, называется обходным путем, т.е. байпасом. Статический переключатель включает в себя электронные ключи (выполненные на транзисторах или паре встречно-параллельных тиристоров, а также контакторов).

С дельта – преобразованием (on line)



При понижении питающего напряжения U_1 дельта-инвертор работает как выпрямитель, основной инвертор напряжения выполняет функции инвертора. При повышении напряжения U_1 наоборот, блок основного инвертора напряжения работает как выпрямитель, а блок дельта-инвертора как инвертор. Т.е. преобразователи в структуре являются обратимыми устройствами и они оказывают воздействие на входной трансформатор. Достоинством данной системы является высокое качество питающих напряжения, высокий к.п.д. системы.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Изучение принципа работы и определение параметров однофазной однополупериодной схемы выпрямления	2	Работа в малых группах (2 часа)
2	2.	Изучение принципа работы и определение параметров однофазной двухполупериодной схемы выпрямления с выводом от средней точки трансформатора	3	Работа в малых группах (3 часа)
3	2.	Изучение принципа работы и определение параметров трехфазной мостовой схемы выпрямления разомкнутого типа	3	Работа в малых группах (3 часа)
4	2.	Изучение принципа работы и определение параметров трехфазной мостовой схемы выпрямления замкнутого типа	3	Работа в малых группах (3 часа)
5	2.	Изучение принципа работы выпрямителей с умножением напряжения	3	Работа в малых группах (3 часа)
6	2.	Изучение принципа работы выпрямителя с умножением напряжения в четыре раза.	3	Работа в малых группах (3 часа)
ИТОГО			17	17

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование практической работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Расчет силового трансформатора инвертора	2	-
2	1.	Расчет параметрического стабилизатора	3	-
3	1.	Расчет линейного стабилизатора на базе ИМС	3	-
4	2.	Расчет входного фильтра импульсного стабилизатора	3	-
5	2.	Расчет устройства управления инвертора	3	-
6	2.	Расчет преобразователя напряжения.	3	-
ИТОГО			17	-

4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа

2015-2017 год набора

Цель: Рассчитать основные характеристики выпрямительных устройств, предназначенных для электропривода постоянного тока.

Структура: Каждое индивидуальное задание предполагает выполнение студентом следующих разделов:

- Расчет схемы полупроводникового выпрямителя без емкостного фильтра,
- Расчет схемы неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром,
- Расчет схемы неуправляемого выпрямителя с индуктивным фильтром,
- Расчет схемы управляемого выпрямителя,
- Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя,
- Определение мощности потерь вентильных обмоток и коэффициентов использования. Выбор трансформаторов.

Основная тематика: Расчет параметров выпрямительных устройств.

Рекомендуемый объем: Пояснительная записка объемом 15 - 20 страниц должна содержать титульный лист, задание, описание выполняемых действий по каждому разделу и полученные результаты.

Выдача задания и прием кр проводится в соответствие с календарным учебным графиком

Оценка	Критерии оценки контрольной работы
отлично	Во время защиты контрольной работы студент демонстрирует знание все основных определений и продемонстрировал уверенное умение использовать методы расчета основных показателей качества электропитания, владение достаточным уровнем понимания материала, и способностью самостоятельно высказать мысль на научно-техническом языке.
хорошо	Во время защиты контрольной работы студент показал не полное понимание материала и навыков владения практическими приемами.
удовлетворительно	Во время защиты контрольной работы студент показал слабое понимание материала и навыков владения практическими приемами.
неудовлетворительно	Во время защиты контрольной работы студент не продемонстрировал теоретических знаний по теме работы, либо не показал ни каких практических навыков..

2018 год набора

Учебным планом не предусмотрено

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>			<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср} час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>					
		<i>3</i>	<i>10</i>	<i>13</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Трансформаторы и дроссели	17	+	+	+	3	17	ЛК,ПК,СРС	ЭКЗАМЕН
2. Источники вторичного электропитания	42	+	+	+	3	42	ЛК,ПК,ЛР,СРС	ЭКЗАМЕН
3. Системы электропитания предприятий связи	12	+	+	+	3	12	ЛК,СРС	ЭКЗАМЕН
<i>всего часов</i>	72	24	24	24	3	72		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011. – 372 с.
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР, ПЗ, КП, КР, кр)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011	Лк, ЛР	10	0,8
2.	Шпилевой, А.А. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебное пособие. [Электронный ресурс] : Учебные пособия — Электрон. дан. — Калининград : БФУ им. И.Канта, 2010. — 131 с. http://ecat.brstu.ru/catalog/Ресурсы%20свободного%20доступа/Шпилевой%20А.А.Электропитание%20устройств%20и%20систем%20телекоммуникаций.2010.pdf	Лк	ЭР	1
Дополнительная литература				
3	Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -	Лк, кр, ПЗ, ЛР	30	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/практическим работам

Лабораторная работа №1

Изучение принципа работы и определение параметров однофазной однополупериодной схемы выпрямления

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы однофазной однополупериодной схемы выпрямления.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Лабораторная работа №2

Изучение принципа работы и определение параметров однофазной двухполупериодной схемы выпрямления с выводом от средней точки трансформатора

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы однофазной двухполупериодной схемы выпрямления.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Лабораторная работа №3

Изучение принципа работы и определение параметров трехфазной мостовой схемы выпрямления разомкнутого типа

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы трехфазной мостовой схемы выпрямления разомкнутого типа.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Лабораторная работа №4

Изучение принципа работы и определение параметров трехфазной мостовой схемы выпрямления замкнутого типа

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы трехфазной мостовой схемы выпрямления замкнутого типа.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Лабораторная работа №5

Изучение принципа работы выпрямителей с умножением напряжения

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы выпрямителя с умножением напряжения.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Лабораторная работа №6

Изучение принципа работы выпрямителя с умножением напряжения в четыре раза.

Цель работы:

Изучить принцип работы различных схем выпрямителей. Экспериментально определить основные параметры выпрямителей

Задание:

1. Изучить принцип работы выпрямителя с умножением напряжения в четыре раза.
2. Определить параметры выпрямителя.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретические основы
2. Подготовить установку в работе
3. Произвести осциллографирование
4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя
5. Рассчитать коэффициенты выпрямителя

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретические данные по теме лабораторной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы данной схемы выпрямления.
2. Преимущества данной схемы выпрямления.
3. Объяснение полученной формы напряжения после прохождения выпрямителя.

Практическое занятие №1

Расчет силового трансформатора инвертора

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров силового трансформатора.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры трансформатора.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Рассчитать максимальный ток первичной обмотки, действующее значение тока первичной обмотки, коэффициент трансформации, действующее значение тока вторичной обмотки, число витков обмотки, приращение индукции за время импульса, коэффициент трансформации обмотки управления, число витков остальных обмоток, диаметр проводов обмоток, потери. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта

4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое трансформатор?
2. Для чего используются трансформаторы?
3. Классификация трансформаторы?

Практическое занятие №2

Расчет параметрического стабилизатора

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров стабилизатора.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры стабилизатора.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Выбрать тип стабилизатора и значение сопротивления ограничительного резистора по справочной литературе. Рассчитать входной ток и напряжение, коэффициент стабилизации, нестабильность выходного напряжения, коэффициент полезного действия стабилизатора, сопротивление терморезистора. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое стабилизатор?
2. Классификация стабилизаторов.
3. Принцип действия стабилизаторов.

Практическое занятие №3

Расчет линейного стабилизатора на базе ИМС

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров стабилизатора на базе ИМС.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры стабилизатора на базе ИМС.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Выбрать тип интегрального стабилизатора, тип транзисторов и определения режима их работы. Рассчитать номиналы ограничительных резисторов. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб.

- пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
 3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Классификация стабилизаторов на базе ИМС.
2. Принцип действия стабилизаторов на базе ИМС.
3. Принципиальная схема стабилизаторов.

Практическое занятие №4

Расчет входного фильтра импульсного стабилизатора

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров импульсного стабилизатора.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры импульсного стабилизатора.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Рассчитать емкость выходного фильтра, тип и число конденсаторов в фильтре, амплитуду тока через один конденсатор, индуктивность дросселя фильтра и тип дросселя. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип действия импульсного стабилизатора.
2. Временные диаграммы изменения токов и напряжений для элементов входного фильтра
3. Достоинства и недостатки импульсных стабилизаторов.

Практическое занятие №5

Расчет устройства управления инвертора

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров устройства управления инвертора.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры устройства управления инвертора.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Определить тип транзисторов предварительного усилителя, пределы изменения базовых токов транзисторов инвертора, максимальный и минимальный ток через ограничительные резисторы, режим работы усилительных транзисторов. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип действия устройства управления инвертором.
2. Принципиальная схема устройства управления инвертора.
3. Достоинства и недостатки устройства управления инвертора.

Практическое занятие №6

Расчет преобразователя напряжения

Цель работы:

Приобрести навыки расчета параметров преобразователя напряжения.

Задание:

1. Рассчитать основные параметры преобразователя напряжения.
2. Проверить полученные данные после расчета параметров на компьютере.

Порядок выполнения:

Изучить теоретические данные. Определить тип выпрямительного диодного моста, тип ключевых транзисторов и режима их работы, номиналы базовых резисторов и резисторов смещения, тип и номинал емкость фильтра. Проверить правильность расчетов при помощи расчетов на компьютере.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций [Текст] : учебное пособие / В. М. Бушуев [и др.]. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2011

Дополнительная литература

1. Гейтенко, Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учеб. пособие для вузов / Е.Н.Гейтенко. - М. : Солон-Пресс, 2008. - 448 с. -
2. Источники вторичного электропитания : учебное пособие / Под ред. Ю. И. Конева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 277 с. : ил. - Б. ц.
3. Сергеев, Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания : справочное издание / Б. С. Сергеев. - М. : Радио и связь, 1992. - 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип действия устройства преобразователя напряжения.
2. Принципиальная схема устройства преобразователя напряжения.
3. Достоинства и недостатки преобразователя напряжения

9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы

Работа посвящена расчёту основных характеристик выпрямителей, предназначенных для электропривода постоянного тока. Нагрузкой выпрямителя является цепь якоря электродвигателя постоянного тока. Задание включает в себя следующие разделы:

1. Расчет схемы полупроводникового выпрямителя без емкостного фильтра.
2. Расчет схемы неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром.
3. Расчет схемы неуправляемого выпрямителя с индуктивным фильтром.

4. Расчет схемы управляемого выпрямителя.
 5. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя.
 6. Определение мощности потерь вентильных обмоток и коэффициентов использования.
Выбор трансформатора.
- Расчет производится каждым студентом индивидуально, по вариантам.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

- получения информации при подготовке к занятиям,
- создания презентационного сопровождения лекций;
- интерактивного общения;
- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level ;
- Антивирусное программное обеспечение KasperskySecurity

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
1	3	4	5
ЛР	Лаборатория «Телекоммуникации, теории электрической связи»	Лабораторный комплекс "Электропитание устройств и систем связи"	1-6
ПЗ	Лаборатория «Телекоммуникации, теории электрической связи»	Персональные компьютеры	1-4
кр	Лаборатория «Телекоммуникации, теории электрической связи»	Персональные компьютеры	-
СР	ЧЗЗ	-	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС	
ОПК-3	Способностью владеть основными методами, способами средствами получения, хранения, переработки информации.	и	1. Трансформаторы и дроссели	1.1. Принцип действия трансформатора. Основные параметры трансформатора.	Экзаменационный билет
			2. Источники вторичного электропитания	2.1. Неуправляемые выпрямители. Однополупериодная схема. Двухполупериодная схема с нулевым выводом.	Экзаменационный билет
				2.4. Сглаживающие фильтры.	Экзаменационный билет
				2.7. Преобразователи напряжения. Виды преобразователей. Структурные схемы	Экзаменационный билет
			3. Системы электропитания предприятий связи	3.1. Источники внешнего электроснабжения. Первичные источники электрической энергии.	Экзаменационный билет
				3.4. Дистанционное питание электроаппаратуры. Классификация систем ДП. Принципы организации цепей ДП.	Экзаменационный билет
ПК-10	Способность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормами и стандартами		1. Трансформаторы и дроссели	1.2. Специальные типы трансформаторов. Дроссели.	Экзаменационный билет
			2. Источники вторичного электропитания	2.2. Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом. Трехфазная мостовая схема (схема Ларионова).	Экзаменационный билет
				2.5. Регулирование в источниках вторичного электропитания. Применение тиристоров для регулирования напряжения. Однофазные выпрямители.	Экзаменационный билет
				2.8. Структурные схемы и общие вопросы проектирования источников вторичного электропитания.	Экзаменационный билет
			3. Системы электропитания	3.3. Системы электропитания. Буферная система электропитания.	Экзаменационный билет

		предприятий связи		
ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	1. Трансформаторы и дроссели	1.2. Специальные типы трансформаторов. Дроссели.	Экзаменационный билет
		2. Источники вторичного электропитания	2.3. Работа выпрямителя на емкостную нагрузку. Работа выпрямителя на индуктивную нагрузку.	Экзаменационный билет
			2.6. Стабилизаторы напряжения и тока. Принцип стабилизации. Виды стабилизаторов. Параметрический стабилизатор постоянного напряжения.	Экзаменационный билет
		3. Системы электропитания предприятий связи	3.2. Классификация электроустановок.	Экзаменационный билет

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела (
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-3	Способность владеть основными методами, способами средствами получения, хранения, переработки информации.	1. Однофазные трансформаторы	1. Трансформаторы и дроссели
			4. Схема замещения трансформатора	
			7. Внешняя характеристика трансформатора	
			10. Трехфазные трансформаторы	
			13. Специальные трансформаторы: трансформаторы тока и трансформаторы напряжения	2. Источники вторичного электропитания
			1. Структурные схемы и общие вопросы проектирования источников вторичного электропитания	
			4. Однотактные преобразователи с независимым возбуждением	
			7. Двухтактный инвертор с самовозбуждением	
			10. Инверторы напряжения. Принцип инвертирования напряжения	3. Системы электропитания предприятий связи
			13. Параметрический стабилизатор напряжения	
1. Структурная схема системы электропитания предприятия связи	4. Режимы работы системы электропитания			
4. Режимы работы системы электропитания				
2	ПК-10	Способность к разработке проектной рабочей технической	2. Конструкция и принцип действия трансформаторов	1. Трансформаторы и дроссели
			5. Опыт холостого хода	
			8. Энергетические показатели трансформатора	
			11. Группа соединений трансформаторов	

		документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормами и стандартами	<p>2. Структурные схемы устройств электропитания радиотехнических систем</p> <p>5. Мостовая схема инвертора с независимым возбуждением</p> <p>8. Преобразователи напряжения. Виды преобразователей. Структурные схемы</p> <p>11. Двухтактные транзисторные инверторы напряжения</p>	<p>2. Источники вторичного электропитания</p>
			2. Требования к системе электропитания	3. Системы электропитания предприятий связи
3	ПК-13	Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты	3. Конструктивные особенности трансформаторов	1. Трансформаторы и дроссели
			6. Опыт короткого замыкания	
			9. Электромагнитная мощность	
			12. Параллельная работа трансформаторов	2. Источники вторичного электропитания
			3. Работа инвертора на выпрямитель со сглаживающим фильтром .	
			6. Двухтактный инвертор с независимым возбуждением	
			9. Аккумуляторы. Электрические характеристики. Современные типы аккумуляторов	
			12. Компенсационные стабилизаторы напряжения: принципиальная схема, способы повышения качества стабилизации, функциональная схема	
3. Структурная схема электроустановки	3. Системы электропитания предприятий связи			

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Принципы построения систем электропитания телекоммуникационной аппаратуры и их структур; – Функционирования их узлов. <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Принципы оформления проектной и рабочей технической документации; <p>(ПК-13):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Принципы проведения типовых технических расчетов и проектов; <p>Уметь (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Применять на практике методы анализа основных устройств электропитания: трансформаторов, выпрямителей, статических преобразователей, стабилизаторов напряжения; 	<p>отлично</p>	<p>Студент должен во время ответа показать знания: систем электропитания, основных процессов происходящих в трансформаторах, функционирования узлов электроснабжения, основных терминов используемые в научно-технической литературе по электроснабжению. Студент должен иметь навыки владения: использования универсальных программных продуктов на ПК, понимания материала и способности высказывания мыслей на научно-техническом языке. Студент во время ответа должен продемонстрировать умения: использования навыков анализа основных устройств электропитания, трансформаторов, выпрямителей.</p>

<p>– Уметь проводить компьютерное моделирование узлов системы электропитания (ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять на практике технические нормативы и требования к оформлению проектно-конструкторской работ. <p>(ПК-13):</p> <ul style="list-style-type: none"> - производить на практике расчеты типовых технических проектов <p>Владеть (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Навыками практической работы с лабораторными макетами узлов системы электропитания; – Навыками разработки и обоснования соответствующих техническому заданию и современному уровню развития источников и систем электропитания <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками разработки и обоснования соответствующих техническому заданию и современному уровню развития источников и систем электропитания. <p>(ПК-13):</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками составления технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты 	хорошо	<p>Ответ содержит неточности. Дополнительные вопросы требуется, но студент с ними справляется отлично.</p>
	удовлетворительно	<p>Ответил только на один вопрос, либо слабо ответил на оба вопроса. На дополнительные вопросы отвечает неуверенно.</p>
	неудовлетворительно	<p>На оба вопроса студент отвечает неубедительно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.</p>

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина электропитание устройств и систем телекоммуникаций направлена на ознакомление с электропитанием систем телекоммуникации, и её практическим применением в современных системах телекоммуникаций; на получение теоретических знаний и практических навыков различных схем выпрямителей и инверторов для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины информатика предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические занятия,
- контрольную работу,
- самостоятельную работу студента,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Трансформаторы и дроссели» студенты должны изучить: устройство и типы трансформаторов, основные понятия и определения дисциплины и способы их применения.

В ходе освоения раздела 2 «Источники вторичного электропитания» студенты должны изучить: разновидности выпрямителей, инверторов, делителей и усилителей,

различные способы их коммутации, принципы действия и рассмотреть случаи их применения на практике.

В ходе освоения раздела 3 «Системы электропитания предприятий связи» студенты должны изучить: классификацию источников внешнего электроснабжения, первичные источники электроснабжения, классификацию электроустановок, буферные системы электропитания, установки дистанционного электропитания.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об различных способах коммутации выпрямителе в сетях однофазного и трехфазного напряжения.

В процессе проведения практических работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков расчета различных параметров и коэффициентов различных электроустановок.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: принцип работы трансформаторов, аккумуляторов, схем выпрямления и схем электропитания.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Электропитание устройств и систем телекоммуникаций

1. Цель и задачи дисциплины

Изучение общих принципов построения систем электропитания их основных параметров и требований, предъявляемых к ним инфокоммуникационной аппаратурой, а также изучение принципа действия и способов реализации устройств, входящих в состав систем бесперебойного электропитания и перспектив их развития.

Ознакомление обучающихся с особенностями построения структурных и принципиальных схем источников вторичного электропитания устройств и систем телекоммуникаций, изучение методик расчета таких источников электропитания; ознакомление студентов с принципами построения импульсных источников электропитания и схемотехнического проектирования таких устройств.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 17 часов, ЛР – 17 часов, ПЗ – 17 часов, СРС – 21 часов.
Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Трансформаторы и дроссели
2. Источники вторичного электропитания
3. Системы электропитания предприятий связи

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

ОПК-3 - Способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации.

ПК-10 – Способность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормами и стандартами

ПК-13 - Способность осуществлять подготовку типовых технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1.	ОПК-3	1. Трансформаторы и дроссели	Принцип действия трансформатора. Основные параметры трансформатора.	<i>Отчеты по практическим занятиям</i>
		2. Источники вторичного электропитания	Особенности компьютерной обработки информации	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
			Работа выпрямителя на емкостную нагрузку. Работа выпрямителя на индуктивную нагрузку.	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
			Стабилизаторы напряжения и тока. Принцип стабилизации. Виды стабилизаторов. Параметрический стабилизатор постоянного напряжения.	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
2.	ПК-10	1. Трансформаторы и дроссели	Специальные типы трансформаторов. Дроссели.	<i>Отчеты по практическим занятиям</i>
		2. Источники вторичного электропитания	Неуправляемые выпрямители. Однополупериодная схема. Двухполупериодная схема с нулевым выводом.	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
			Сглаживающие фильтры.	<i>Контрольная работа</i>
			Преобразователи напряжения. Виды преобразователей. Структурные схемы	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
3.	ПК-13	1. Трансформаторы и дроссели	Специальные типы трансформаторов. Дроссели.	<i>Отчеты по практическим занятиям</i>
		2. Источники вторичного электропитания	Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом. Трехфазная мостовая схема (схема Ларионова).	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>
			Регулирование в источниках вторичного электропитания. Применение тиристоров для	<i>Отчеты по лабораторным работам,</i>

		регулируемого напряжения. Однофазные выпрямители.	<i>практическим занятиям, контрольная работа</i>
		Структурные схемы и общие вопросы проектирования источников вторичного электропитания.	<i>Отчеты по лабораторным работам, контрольная работа</i>

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Принципы построения систем электропитания телекоммуникационной аппаратуры и их структур; – Функционирования их узлов. <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Принципы оформления проектной и рабочей технической документации; <p>(ПК-13):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Принципы проведения типовых технических расчетов и проектов; <p>Уметь (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Применять на практике методы анализа основных устройств электропитания: трансформаторов, выпрямителей, статических преобразователей, стабилизаторов напряжения; – Уметь проводить компьютерное моделирование узлов системы электропитания <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять на практике технические нормативы и требования к оформлению 	отлично	Во время защиты контрольной работы студент показал знание все основных определений и продемонстрировал уверенное умение использовать методы расчета основных показателей качества электропитания, владение достаточным уровнем понимания материала, и способностью самостоятельно высказать мысль на научно-техническом языке.
	хорошо	Во время защиты контрольной работы студент показал не полное понимание материала и навыков владения практическими приемами.
	удовлетворительно	Во время защиты контрольной работы студент показал слабое понимание материала и навыков владения практическими приемами.
	неудовлетворительно	Во время защиты контрольной работы студент не продемонстрировал теоретических знаний по теме работы, либо не показал ни каких практических навыков..

<p>проектно-конструкторский работ. (ПК-13): - производить на практике расчеты типовых технических проектов Владеть (ОПК-3): – Навыками практической работы с лабораторными макетами узлов системы электропитания; – Навыками разработки и обоснования соответствующих техническому заданию и современному уровню развития источников и систем электропитания</p>	<p>зачтено</p>	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент ответил на поставленные преподавателем вопросы.</p>
<p>(ПК-10): - навыками разработки и обоснования соответствующих техническому заданию и современному уровню развития источников и систем электропитания. (ПК-13): навыками составления технических проектов на различные инфокоммуникационные объекты</p>	<p>не зачтено</p>	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент не смог дать ответы на поставленные преподавателем вопросы. Либо отчет имеет ряд замечаний.</p>

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи от «6» марта 2015 г. №174

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «13» июля 2015г. № 475

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. № 125

для набора 2018 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130

Программу составил (и):

Ульянов А.Д. старший преподаватель кафедры УТС
Ф.И.О., должность, ученое звание, (степень)

_____ (подпись)

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

УТС

(сокращенное наименование)

Заведующий кафедрой УТС
(разработчик)

_____ (подпись)

Игнатьев И.В.
(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой

_____ (подпись)

Игнатьев И.В.
(Ф.И.О.)

Директор библиотеки

_____ (подпись)

Сотник Т.Ф.

Рабочая программа одобрена методической комиссией ЭиА факультета

(сокращенное наименование)

от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

Председатель методической комиссии факультета

_____ (подпись)

Ульянов А.Д.
(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____

Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____