

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

13/15/14

Одобрено кафедрой  
«Локомотивы и локомотивное  
хозяйство»

# ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями  
для студентов V курса  
специальности

150700 ЛОКОМОТИВЫ (Т)



Москва – 2003

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе изучения дисциплины «Электронная и преобразовательная техника» студент согласно учебному плану выполняет контрольную работу.

Контрольная работа должна быть оформлена на листах формата 297x210 мм, сброшюрована в тетрадь с обязательным оставлением полей для замечаний рецензента. Страницы должны быть пронумерованы, необходимые схемы вычерчены в карандаше, вклеены в тетрадь и тоже пронумерованы. Работа должна быть подписана студентом.

После получения прорецензированной работы необходимо тщательно исправить в ней отмеченные ошибки и недочеты. В том случае, когда рецензент потребует переделать отдельные разделы работы, необходимо в кратчайший срок выполнить требуемое, и контрольную работу вместе с рецензией передать для повторной проверки.

## ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Контрольная работа состоит из двух разделов:

1. Расчет основных параметров тепловозной тяговой выпрямительной установки.
2. Автономные преобразователи.

Исходные данные для выполнения первого раздела контрольной работы выбираются из табл. 1 и 2, для выполнения второго раздела – из табл. 3 в соответствии с двумя последними цифрами учебного шифра студента.

**В первом разделе**, используя исходные данные (максимальные значения напряжения и тока на выходе тяговой выпрямительной установки, тип и класс вентиля и др.), необходимо рассчитать количество параллельных ветвей в одном плече трехфазного выпрямителя, число последовательно включенных вентилях в одной ветви и общее количество вентилях тяговой выпрямительной установки; определить КПД тяговой выпрямительной установки; вычертить схему соеди-

Рецензент — канд. техн. наук проф. А.П. БОРОДИН

нения двух трехфазных мостов тяговой выпрямительной установки и схему соединения вентилях в одном ее плече.

Во **втором разделе** необходимо выполнить описание работы автономного преобразователя, вычертить его электрическую схему, при необходимости привести графики и диаграммы, поясняющие его работу.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

$U_{d \max}$  – максимальная величина выпрямленного напряжения, среднее значение, В.

$I_{d \max}$  – максимальная величина выпрямленного тока, среднее значение, кА.

$P_{\text{охл}}$  – затраты мощности на охлаждение вентилях тяговой выпрямительной установки, кВт.

Тип вентилях тяговой выпрямительной установки.

Класс вентилях тяговой выпрямительной установки.

Тип преобразователя.

Таблица 1

#### Исходные данные для выполнения первого раздела контрольной работы

Исходные данные	Номер варианта задания (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{d \max}$	700	720	750	800	820	850	870	900	920	950
$I_{d \max}$	6,0	6,5	8,5	3,5	7,0	7,5	5,8	5,0	4,5	6,2
$P_{\text{охл}}$	10,9	12,1	16,6	7,25	15,0	16,6	13,0	11,7	10,7	15,3

Таблица 2

### Тип и класс вентилях тяговой выпрямительной установки

Характеристика вентиля	Номер варианта задания (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип вентиля ВЛ	200	320	320	200	320	320	200	200	200	320
Класс вентиля	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10

Таблица 3

### Автономные преобразователи

Предпоследняя цифра учебного шифра	Тип автономного преобразователя и сведения из литературных источников
1	2
1	Импульсный преобразователь постоянного напряжения при широтно-импульсном регулировании [2, Гл.8, с. 366 – 389; 4, Гл.9, с. 296 – 299]
2	Импульсный преобразователь постоянного напряжения при частотно-импульсном регулировании [2, Гл.8, с. 366 – 389; 4, Гл.9, с. 296 – 299]
3	Однофазный мостовой инвертор напряжения на однооперационных тиристорах [2, Гл.9, с. 392 – 395; 4, Гл.9, с. 299 – 303]
4	Однофазный мостовой инвертор напряжения на запираемых тиристорах [2, Гл.9, с. 397 – 402; 4, Гл.9, с. 303 – 305]
5	Трехфазный мостовой инвертор напряжения на запираемых тиристорах [2, Гл.9, с. 403 – 407; 4, Гл.9, с. 303 – 306]

Окончание табл. 3

Предпоследняя цифра учебного шифра	Тип автономного преобразователя и сведения из литературных источников
1	2
6	Однофазный параллельный мостовой инвертор тока [2, Гл.9, с. 418 – 420; 4, Гл.9, с. 303 – 311]
7	Инвертор с индуктивно-тиристорным регулятором [4, Гл.9, с. 306 – 311]
8	Трехфазно-однофазный преобразователь частоты без звена постоянного тока (непосредственный преобразователь частоты) [2, Гл.10, с. 437 – 448; 8, Гл.2, с. 148 – 149]
9	Полупроводниковый выпрямитель (силовая схема) [3, Гл.5, с. 137 – 145]
0	Преобразователь частоты и фаз [2, Гл.10, с. 437 – 448]

## РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЗНОЙ ТЯГОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Массогабаритные показатели тяговых выпрямительных установок зависят от режимов работы силовой схемы электрической передачи тепловоза, типа и параметров силовых полупроводниковых вентилялей. Так, максимальные выпрямленные значения  $U_{d \max}$  и  $I_{d \max}$  определяются режимами работы тяговых электродвигателей.

1. Тип и класс вентилялей тяговой выпрямительной установки выбирают по табл. 2 в соответствии с последней цифрой шифра студента. Вентили в этой таблице представляют собой кремниевые диоды с лавинной характеристикой и воздушным охлаждением.

Коэффициент неравномерности распределения напряжений на последовательно включенных вентилях с лавинной характеристикой

$$k_n = 1. \quad (1)$$

При расчете тяговой выпрямительной установки целесообразно применять вентили с наиболее высокими показателями по току и обратному напряжению с тем, чтобы общее число вентилялей было по возможности меньше.

Количество последовательно соединенных вентилялей в ветви плеча тяговой выпрямительной установки

$$n_{\text{noc}} = \frac{k_n k_n U_{\text{обр max}}}{k_g U_n}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{обр max}}$  – амплитуда линейного напряжения тягового синхронного генератора;

$U_n$  – номинальное обратное напряжение вентиля;

$k_n$  – коэффициент неравномерности распределения напряжения по последовательно включенным вентилям;

$k_n$  – коэффициент перенапряжений;

$k_g$  – коэффициент кратковременно допустимого обратного напряжения на вентиле.

Коэффициент возможных перенапряжений  $k_n$  определяется по результатам экспериментальных исследований. При работе электрической передачи в области отсечки по напряжению к вентилям тяговой выпрямительной установки приложено повышенное напряжение. Величина его определяется величиной статической неравномерности автоматической системы регулирования напряжения тягового генератора и обычно не превышает 10%. Поэтому коэффициент перенапряжений принимают равным

$$k_n = 1,1. \quad (3)$$

Применению схемы включения вентилялей тяговой выпрямительной установки без последовательного соединения вентилялей и без предохранителей в условиях тяги препятству-

ет то обстоятельство, что при пробое одного вентиля возникает внутреннее короткое замыкание в силовой цепи электрической передачи тепловоза. При этом тяговая выпрямительная установка выходит из строя. Для ее восстановления необходимо найти пробитый вентиль, что при таком соединении вентилях сделать сложно. При расчете количества последовательно соединенных вентилях в ветви плеча тяговой выпрямительной установки  $n_{noc}$  необходимо добавлять один последовательно включенный вентиль, если после округления  $n_{noc} = 1$ .

Что касается выбора типа вентиля, то предпочтение отдается лавинным вентилям, которые допускают работу без шунтирующих резисторов и RC-цепочек.

Коэффициент кратковременно допустимого обратного напряжения на вентиле для лавинных вентилях принимают равным

$$k_g = 1. \quad (4)$$

Амплитуда линейного напряжения тягового синхронного генератора рассчитывается в соответствии с формулой

$$U_{обр\ max} = 1,05 U_{d\ max} \quad (5)$$

Номинальное обратное напряжение вентиля  $U_{\text{н}}$  выбирают из табл. 4

Таблица 4

Номинальное обратное напряжение вентилях

Класс вентиля	6	7	8	9	10
$U_{\text{н}}, \text{В}$	600	700	800	900	1000

Результат расчета  $U_{\text{н}}$  округляют до целого числа в большую сторону. Следует добавить дополнительно один вентиль, если после округления  $n_{noc} = 1$ .

2. Токовые нагрузки в силовой схеме электрической передачи тепловоза приводят к необходимости параллельного включения вентилях в каждом плече тяговой выпрямительной установки. Расчет количества параллельных ветвей в одном плече тяговой выпрямительной установки проводят по заданному значению максимального тока  $I_{d\ max}$ . Так как трехфазные мосты включены параллельно, то на каждый мост приходится ток  $I_{d\ max}/2$ .

Средний ток в плече моста равен

$$I_{cp} = 0,33 \frac{I_{d\ max}}{2}. \quad (6)$$

Согласно ГОСТ при температуре окружающего воздуха свыше 40°C для кремниевых вентилях величина прямого тока должна быть снижена и для температуры 50°C она составляет  $0,9 I_{nom}$ . Из-за расхождения вольт-амперных характеристик вентилях нагрузка между параллельными ветвями распределяется неравномерно, что вызывает необходимость дополнительного снижения допустимого тока через вентиль.

Длительное допустимое среднее значение тока через вентиль

$$I_g = I_{г.н.} k_1 k_2 k_3, \quad (7)$$

где  $I_{г.н.}$  – номинальный ток вентиля, указанный в паспорте, для диодов типа ВЛ200  $I_{г.н.} = 200\text{А}$ , для диодов типа ВЛ320  $I_{г.н.} = 320\text{А}$ ;

$k_1 = 0,8$  – коэффициент, учитывающий неравномерность деления тока по параллельно соединенным ветвям;

$k_2 = 0,9$  – коэффициент, учитывающий температуру охлаждающего воздуха;

$k_3 = 1,0$  – коэффициент, учитывающий скорость охлаждающего воздуха;

Количество параллельных ветвей в плече тяговой выпрямительной установки

$$n_{нар} = \frac{I_{ср}}{I_{\phi}}. \quad (8)$$

3. Общее количество вентиляей тяговой выпрямительной установки рассчитывают по формуле

$$N = 2 \cdot 6 n_{нос} n_{нар}, \quad (9)$$

где 2 – количество параллельно включенных трехфазных выпрямительных мостов;

6 – количество плеч одного трехфазного выпрямительного моста.

4. Одним из основных показателей электрической передачи тепловоза является ее коэффициент полезного действия, который зависит от КПД тягового синхронного генератора, тяговой выпрямительной установки и тяговых электродвигателей.

Коэффициент полезного действия тяговой выпрямительной установки

$$\eta = \frac{P_d}{P_d + \Sigma_{\Delta} P + P_{охл}}, \quad (10)$$

где  $P_d = U_{d \max} I_{d \max}$  – мощность на выходе тяговой выпрямительной установки;

$\Sigma_{\Delta} P = \Delta P N$  – потери мощности в  $N$  вентилях,  $\Delta P$  – потери мощности в одном вентиле;

$P_{охл}$  – затраты мощности на охлаждение вентиляей тяговой выпрямительной установки.

Потери мощности в одном вентиле рассчитывают в соответствии с выражением

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (11)$$

Потери мощности при прохождении прямого тока на грузки

$$\Delta P_1 = U_0 I_a, \quad (12)$$

где  $U_0$  – пороговое напряжение вентиля,  $U_0 = 1,09$  В;

$I_a$  – среднее значение анодного тока, проходящего через вентиль.

Среднее значение анодного тока, проходящего через вентиль рассчитывают в соответствии с выражением

$$I_a = 0,9 \cdot 0,8 \cdot I_{в.н.} \quad (13)$$

Дополнительные потери мощности при коммутации вентиляей в течение непроводящей части периода

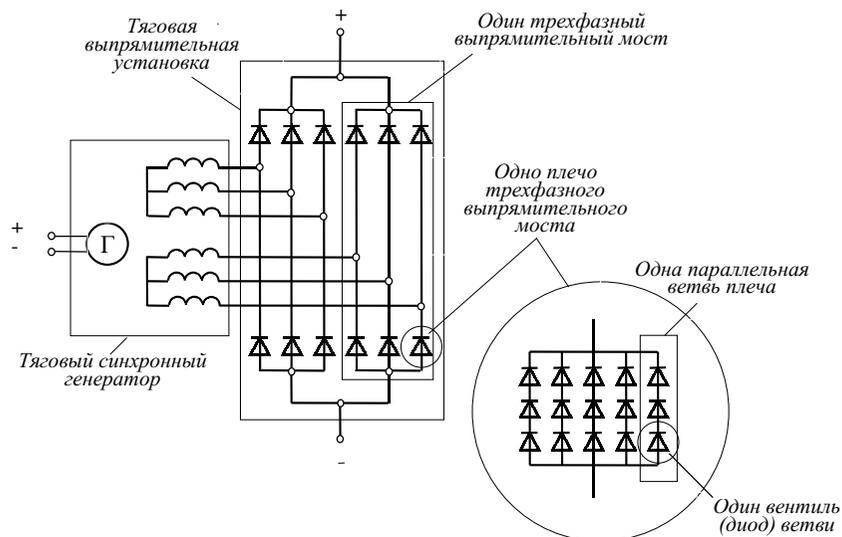
$$\Delta P_2 = R_d k_{\phi}^2 I_a^2, \quad (14)$$

где  $R_d$  – усредненное динамическое сопротивление прямой ветви вольт-амперной характеристики диода; для диодов типа ВЛ200 принимается  $R_d = 7 \cdot 10^{-4}$  Ом, для диодов типа ВЛ320 –  $R_d = 42,6 \cdot 10^{-5}$  Ом;

$k_{\phi} = 1,11$  – коэффициент формы тока.

КПД тяговых выпрямительных установок достаточно высок и составляет 98,5 – 99%.

**Схема соединения двух трехфазных мостов тяговой выпрямительной установки и соединения вентилях в одном плече моста**



Данная схема соединения вентилях в плече соответствует следующим значениям параметров:  $n_{\text{пос}} = 3$ ;  $n_{\text{пар}} = 5$ . Общее количество вентилях тяговой выпрямительной установки равно:  $N = 2 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 5 = 180$  шт.

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

**Основная литература**

1. Луков Н.М., Стрекопытов В.В., Рудая К.И. Передачи мощности тепловозов. Учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. Н.М. Лукова. – М.: Транспорт, 1987. – 279 с.
2. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
3. Электрические передачи локомотивов. Под. ред. В.В. Стрекопытова. – М.: Маршрут, 2003. – 310с.
4. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника. Учеб. для вузов/ Под. ред В.А. Лабунцова. – М.: Транспорт, 1988. – 254 с.
5. Колесник И.К., Кузнецов Т.Ф., Липовка В.И. и др. Электропередачи тепловозов на переменном-постоянном токе – М.: Транспорт, 1978. – 149 с.

**Дополнительная литература**

6. Гаккель Е.Я., Рудая К.И., Стрекопытов В.В. и др.; Электрические машины и электрооборудование тепловозов. / Под ред. Е.Я. Гаккель. – М.: Транспорт, 1981. – 256 с.
7. Бервинов В.И. Электроника, микроэлектроника, автоматика на железнодорожном транспорте. Учеб. для техникумов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
8. Зорохович А.Е., Крылов С.С. Основы электроники для локомотивных бригад: Учеб. пособ. для техн. школ машинистов локомотивов и их помощников, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1992. – 213 с.
9. Электрооборудование тепловозов: Справочник./ В.Е. Верхогляд, Б.И. Вилькевич, В.С. Марченко и др./ Под. ред. В.С. Марченко. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.

10. Степанов А.Д., Андерс В.И., Пречисский В.А., Гусевский Ю.Н. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / – М.: Транспорт, 1982. – 254 с.

11. Засорин С.Н, Мицкевич В.А., Кучма К.Г. Электронная и преобразовательная техника. Учеб. для вузов ж.-д. трансп./ Под. ред. С.Н. Засорина. – М.: Транспорт, 1981. – 319 с.

Д-р техн. наук КОСМОДАМИАНСКИЙ А.С.

## ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

### Задание на контрольную работу

Редактор *В.И. Чучева*  
Компьютерная верстка *Е.В. Ляшкевич*

---

Тип. зак.	Изд.зак. 94	Тираж 500
Подписано в печать 13.11.2003.	Гарнитура Times	Офсет
Усл. печ. л. 0,75		Формат 60 x 90 1/16

---

Издательский центр РГОТУПС,  
125808, Москва, ГСП-47, Часовая ул., 22/2

Типография ООО НТЦ “Кван”, 109391, Москва, Рязанский проспект, 2