

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

13/6/10

**Одобрено кафедрой
«Локомотивы
и локомотивное хозяйство»**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ

**Руководство к выполнению лабораторных работ
для студентов V курса**

специальности

150700 ЛОКОМОТИВЫ

специализации

**150702 УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ
ЛОКОМОТИВОВ (Т)**



Москва – 2004

Рецензент – канд. техн. наук, проф. А. П. БОРОДИН

**ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
НА СТЕНДЕ
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН,
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Во время первого посещения лаборатории студенты должны быть проинструктированы о действующих правилах и нормах по технике безопасности при проведении лабораторных работ на стенде.

Основные правила техники безопасности
при нахождении в лаборатории и выполнении
лабораторных работ:

1. Перед началом сборки цепи необходимо убедиться в том, что автоматический выключатель на стенде или источнике питания, магнитный пускатель источника питания находятся в выключенном состоянии.
2. Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.
3. Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работ была исключена возможность случайного соприкосновения с оголенными токоведущими частями.
4. Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправными зажимами, проводов с поврежденной изоляцией, неисправных резисторов, тумблеров и другого оборудования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Изучение и освоение методики проведения испытаний по экспериментальному определению электромеханических характеристик электрических машин постоянного тока

1. Испытания электрических машин постоянного тока методом взаимной нагрузки

Испытания электрических машин под нагрузкой проводятся для определения КПД непосредственным методом при настройке коммутации и ее проверке, при испытаниях на нагревание и на надежность. В соответствии с ГОСТ 25000-83 при испытаниях используют методы непосредственной и косвенной нагрузки. При методе непосредственной нагрузки машину испытывают в номинальном режиме работы, который не отличается от работы в реальных условиях. Метод непосредственной нагрузки электрических машин может быть реализован тремя способами: без отдачи и с отдачей энергии в сеть, а также путем взаимной нагрузки электрических машин. При использовании метода косвенной нагрузки для машины искусственно создается режим, соответствующий работе в номинальных условиях, что достигается чередованием режимов холостого хода и короткого замыкания. Этот способ нагрузки рекомендуется при проведении испытаний электрических машин на надежность.

При испытаниях методом взаимной нагрузки две однотипные электрические машины соединяют между собой механически и электрически и подключают к внешнему источнику энергии (рис. 1).

5. Сборку цепи необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свертывать провода. Неиспользованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

6. Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

7. Напряжение на цепь подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех присутствующих. При этом ручки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.

8. По окончании работы или при перерывах схему необходимо отключить от сети.

9. Запрещается:

производить пересоединения в цепи, находящейся под напряжением;

прикасаться к оголенным проводам и токоведущим частям электрических аппаратов и машин;

включать цепь после каких-либо изменений в ней до проверки преподавателем;

оставлять без наблюдения цепь, находящуюся под напряжением.

10. Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов, проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

11. По окончании работы следует снять напряжение питания, разобрать цепь, привести в порядок рабочее место.

12. Студенты допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

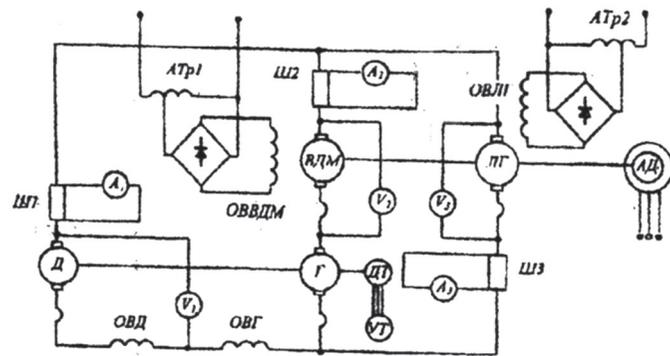


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема силовых цепей типового стенда для испытания тяговых электрических машин методом взаимной нагрузки

Одна из испытуемых электрических машин работает в режиме генератора Г и отдает всю вырабатываемую электроэнергию другой машине, которая работает в режиме двигателя Д и расходует всю механическую энергию на вращение первой машины. Важным достоинством метода взаимной нагрузки является то, что с помощью источника ограниченной мощности (10 + 15% мощности одной машины) можно испытывать две крупные электрические машины одновременно, поскольку КПД их составляет более 90%.

Компенсация потерь осуществляется от двух вспомогательных электрических машин, работающих в генераторном режиме: вольтдобавочной машины ВДМ и линейного генератора ЛГ. ВДМ – низковольтная сильноточная машина постоянного тока с независимым возбуждением, якорная обмотка которой включена последовательно с якорными обмотками испытуемых электрических машин. ЛГ – машина постоянного тока с независимым возбуждением, якорную обмотку которой подключают параллельно якорным обмоткам испытуемых электрических машин.

ВДМ служит для компенсации электрических потерь и части добавочных, а ЛГ – для компенсации магнитных, механических и остальной части добавочных потерь. Напряжение питания обмоток возбуждения ВДМ и ЛГ можно регулировать при помощи автотрансформаторов АТр1 и АТр2 (или любым другим способом). Изменяя напряжение питания обмоток возбуждения ВДМ и ЛГ, можно задавать любой режим испытаний электрической машины Д. Напряжение U_d на зажимах Д регулируется путем изменения напряжения возбуждения ЛГ, а ток I_d – путем изменения напряжения возбуждения ВДМ. Электрические машины ВДМ и ЛГ также механически соединены друг с другом, а якоря их приводятся во вращение от асинхронного двигателя АД.

В электрической схеме силовых цепей стенда ток электрической машины Д определяется двумя составляющими:

составляющей контура, содержащего ВДМ (обмотка якоря Д – обмотка добавочных полюсов Д – обмотка возбуждения двигателя ОВД – обмотка возбуждения генератора ОВГ – обмотка добавочных полюсов Г – обмотка якоря Г – обмотка добавочных полюсов ВДМ – обмотка якоря ВДМ);

составляющей контура, содержащего ЛГ (обмотка якоря Д – обмотка добавочных полюсов Д – обмотка возбуждения двигателя ОВД – обмотка возбуждения генератора ОВГ – обмотка добавочных полюсов ЛГ – обмотка якоря ЛГ).

В электрической схеме стенда в общем случае должны быть предусмотрены приборы для измерения следующих параметров:

- U_d – напряжение на зажимах Д (вольтметр V_1);
- I_d – ток в цепи якоря Д (амперметр A_1 с измерительным шунтом Ш1);
- $U_{вдм}$ – напряжение на зажимах ВДМ (вольтметр V_2);
- $I_{вдм}$ – ток в цепи якоря ВДМ (амперметр A_2 с измерительным шунтом Ш2);
- $U_{лг}$ – напряжение на зажимах ЛГ (вольтметр V_3);
- $I_{лг}$ – ток в цепи якоря ЛГ (амперметр A_3 с измерительным шунтом Ш3);

**2. Лабораторный стенд кафедры
"Тепловозы и тепловозное хозяйство" РГОТУПС
для испытаний электрических машин,
электронной преобразовательной техники
и электрических аппаратов**

Лабораторный стенд по своему назначению универсален и может быть использован при испытаниях электрических машин постоянного тока методом взаимной нагрузки, испытания синхронного генератора методом взаимной нагрузки, испытания синхронного генератора и трехфазного мостового выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку и др. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 2, а основные параметры оборудования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры оборудования стенда

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные	Кол-во	Примечание
1	2	3	4	5
АД	Асинхронный двигатель АОС2-22-4	$P = 2 \text{ кВт}$ $I = 8,5/4,9 \text{ А}$ $n = 1300 \text{ мин}^{-1}$	1	
СГ	П21У4	$P = 0,7 \text{ кВт}$ $U = 140 \text{ В}$ $I_{\phi} = 8,13 \text{ А}$ $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$	1	
ОВСГ	Провод ПЭТВ $\varnothing 0,33$ $W_n = 4800$	$R = 600 \text{ Ом}$	1	
ЛГ	П32У4	$P = 2,2 \text{ кВт}$ $U = 220 \text{ В}$ $I_{\phi} = 12,2 \text{ А}$ $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$	1	
С1-С2	Сервисная обмотка на один полюс Провод ПСД $\varnothing 1,68$; $W_n = 30$		2	
Д, Г	П32У4 Шунтовая обмотка перемотана Провод ПЭТВ $\varnothing 1,6$; $W_n = 195$	$P = 2,2 \text{ кВт}$ $U = 220 \text{ В}$ $I_{\phi} = 12,2 \text{ А}$ $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$	2	

1	2	3	4	5
2АВ	Автомат А3163 Трехполюсный переднего присоединения	$I = 30 \text{ А}$	1	
3АВ	Автомат А3162 Двухполюсный переднего присоединения	$I = 15 \text{ А}$	1	
4АВ	Автомат АК-63-3М Трехполюсный переднего присоединения	$I = 3 \text{ А}$	1	
5АВ	Автомат А3162 Двухполюсный переднего присоединения	$I = 15 \text{ А}$	1	
$R_{от1}$	Реостат РСПС одноконтурный	$R = 5,4 \text{ Ом}$ $I = 6,2 \text{ А}$	1	
$R_{от2}$	Резистор ПЭ-150	$R = 1,65 \text{ Ом}$ $P = 150 \text{ Вт}$	4	Два в параллель
Д1-Д6	Диод КД206А	$U = 400 \text{ В}$ $I = 10 \text{ А}$	6	
Д7-Д12	Диод Д242А	$U = 100 \text{ В}$ $I = 10 \text{ А}$	6	
Д17-Д24	Диод КД204А (Д248Б)	$U = 400 \text{ В}$ $I = 1 \text{ А}$	8	
УТ	Тахометр стационарный Тип ТЭ40		1	
Тр3	Трансформатор Ш40×50 $W_1 = 500 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 0,66$ $W_2 = 520 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 0,66$		1	
Тр4	Трансформатор Ш40×25 $W_1 = 970 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 0,53$ $W_2 = 1020 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 0,47$		1	
Тр5	Трансформатор трехфазный Ш20×30 У/У $W_1 = 670 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 0,8$ $W_2 = 67 \text{ ПЭВ-2}$; $\varnothing 2,37$		1	
2РНО-3РНО	Автотрансформатор ЛАТР-1М (ЛАТР-2М)	$U = 250 \text{ В}$ $I = 2 \text{ А}$	2	
V	Вольтметр М330	$U = 250 \text{ В}$	1	
А1, А2, А3	Амперметр М330	$I = 15 \text{ А}$	3	
П1-П2	Переключатель ППМ2-25/Н2 Двухполюсный переднего присоединения	$U = 220 \text{ В}$ $I = 25 \text{ А}$	5	
ППр-3Пр	Предохранитель Держатель ДПК-1-1	$1,5 \text{ А}$	7	
4Пр	Предохранитель Держатель ДПК-1-1	$0,5 \text{ А}$	2	

При испытаниях электрических машин постоянного тока методом взаимной нагрузки электрическая схема стенда приводится к виду, показанному на рис. 1, путем переключения соответствующих аппаратов. Функции ВДМ в данном случае выполняет вольтдобавочное устройство ВДУ, представляющее собой синхронный генератор с независимым возбуждением обращенного исполнения и трехфазный мостовой выпрямитель (рис. 3).

В электрической схеме стенда предусмотрена возможность: изменения направления вращения испытываемых электрических машин постоянного тока;

перевода электрической машины Д из двигательного в генераторный режим работы;

изменения магнитного потока возбуждения машин Д и Г путем введения резисторов ослабления возбуждения $R_{оп1}$ и $R_{оп2}$ (резистор $R_{оп1}$ регулируемый).

При испытаниях синхронного генератора СГ (см. рис. 2) методом взаимной нагрузки, СГ нагружается на электрическую машину постоянного тока, в качестве которой можно использовать ЛГ. Машин СГ и ЛГ имеют жесткую кинематическую связь. Напряжение на обмотках возбуждения этих машин можно плавно регулировать, задавая тем самым режим нагружения СГ. Все потери компенсируются от приводного двигателя АД, получающего питание от трехфазной сети.

3. Экспериментальное определение электромеханических характеристик электрической машины постоянного тока

Электромеханические характеристики электрической машины представляют собой следующие зависимости:

$$n_d(I_d); \eta_d(I_d) \text{ и } M_d(I_d).$$

где n_d — скорость вращения вала электрической машины (в данном случае Д);

η_d — КПД на валу электрической машины;

M_d — вращающий момент на валу электрической машины;

I_d — ток нагрузки испытываемой электрической машины.

Экспериментальную скоростную характеристику $n_d(I_d)$ определяют непосредственно по показаниям приборов, измеряющих параметры n_d и I_d .

При определении КПД непосредственным методом (в соответствии с ГОСТ 183-74) допускаем, что потери в электрических машинах Д и Г компенсируются полусуммой мощностей ВДМ (ВДУ) и ЛГ.

Тогда

$$\eta_d = \frac{P_d - 0,5 \cdot (P_{вдм} + P_{лг})}{P_d},$$

где $P_d = U_d \cdot I_d \cdot 10^{-3}$, кВт;

$P_{вдм} = U_{вдм} \cdot I_{вдм} \cdot 10^{-3}$, кВт;

$P_{лг} = U_{лг} \cdot I_{лг} \cdot 10^{-3}$, кВт.

Вращающий момент на валу электрической машины можно рассчитать в Н·м по формуле

$$M_d = 9554 \cdot \frac{P_d}{n_d} \cdot \eta_d,$$

Общий вид электромеханических характеристик электрической машины постоянного тока показан на рис. 4.

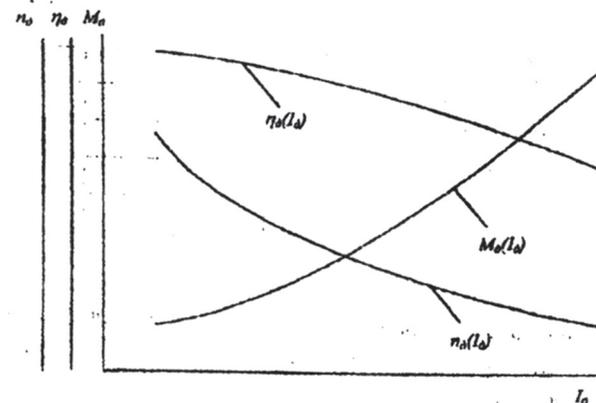


Рис. 4. Общий вид электромеханических характеристик электрической машины постоянного тока с последовательным возбуждением

4. Последовательность выполнения работы

4.1. Произвести включение стенда.

4.2. Изменяя ток нагрузки электрической машины Д произвести при нескольких значениях I_d (7 - 8 значений) измерения параметров p_d , $U_{вдр}$, $I_{вдр}$, $U_{лг}$, $I_{лг}$. Значениями U_d необходимо задаться (по указанию преподавателя). Данные измерений свести в табл. 2.

Таблица 2

I_d, A						
U_d, B						
$p_d, \text{мин}^{-1}$						
$U_{вдр}, B$						
$I_{вдр}, A$						
$U_{лг}, B$						
$I_{лг}, A$						

4.3. По результатам измерений рассчитать значения параметров P_d , $P_{вдр}$, $P_{лг}$, η_d и M_d . Данные свести в табл. 3.

Таблица 3

I_d, A						
$P_d, \text{кВт}$						
$P_{вдр}, \text{кВт}$						
$P_{лг}, \text{кВт}$						
η_d						
$M_d, \text{Н·м}$						

4.4. Используя данные, приведенные в табл. 2 и 3, построить электромеханические характеристики электрической машины Д при полном поле возбуждения.

4.5. Повторить всю последовательность выполняемых операций при ослаблении возбуждения электрической машины Д (степень ослабления указывает преподаватель).

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА НАГРЕВАНИЕ

Цель работы. Изучение и освоение методики проведения нагревных испытаний тяговых электрических машин.

1. Потери в электрических машинах. Изоляционные материалы обмоток тяговых электрических машин и классы нагревостойкости

Процессы преобразования энергии в тяговых электрических машинах сопровождаются потерями, которые рассеиваются в виде тепла в окружающее пространство или передаются в систему охлаждения. Потери разделяют на основные и добавочные, в свою очередь основные потери подразделяются на магнитные, электрические и механические. Потери в электрических машинах являются причиной нагревания активных частей – обмоток и конструктивных деталей.

Срок службы тяговых электрических машин в основном зависит от срока службы изоляционных материалов обмоток. Существует пять основных классов изоляционных материалов по нагревостойкости: А, Е, В, F, Н. ГОСТ 2582-81 регламентирует значения предельно допустимого значения не температуры, а превышения температуры обмотки над температурой охлаждающего воздуха. Превышение температуры обмотки (обозначается буквой греческого алфавита Θ) представляет собой разность между абсолютной температурой обмотки и температурой охлаждающего воздуха. Температуру охлаждающего воздуха принимают равной $+40^\circ\text{C}$.

Для тяговых электрических машин подвижного состава применяют в основном изоляционные материалы классов В, F и Н

Таблица 1

Значения максимально допустимого превышения температуры коллектора, неподвижных и вращающихся обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха

Класс изоляции	Изоляционные материалы	Допустимое превышение температуры, °С, не более		
		коллектор	вращающиеся обмотки	неподвижные обмотки
В	Материалы на основе слюды и асбеста с органическими связующими	95	120	130
F	Материалы на основе слюды и асбеста с синтетическими связующими	95	140	155
Н	Материалы на основе слюды и асбеста, стекловолокна с кремнийорганическими связующими	105	160	180

Увеличение температуры обмоток ускоряет старение изоляционных материалов. Для каждого класса изоляционных материалов существует определенный температурный уровень, превышение которого на 5-10°С приводит к сокращению срока службы тяговой электрической машины в два раза. Зависимость долговечности электрической машины (в годах) описывается соотношением Монтзингера (правило восьми градусов, правило десяти граду

2. Испытание тяговых электрических машин на нагревание

Испытание тяговых электрических машин постоянного тока на нагревание проводят для определения превышения температуры обмоток якоря, главных и добавочных полюсов, коллектора и подшипников над температурой охлаждающего воздуха. Требования, предъявляемые к порядку проведения испытаний на нагревание, сформулированы в ГОСТ 11828-86.

Испытания должны проводиться в продолжительном режиме при неизменных значениях тока нагрузки, напряжения на зажимах электрической машины, подачи и температуры охлаждающего воздуха до практически установившейся температуры всех частей электрической машины. Установившимся считается процесс изменения температуры, при котором температура частей электрической машины изменяется не более, чем на 1°С в час. Испытания на нагревание имеют достаточно большую продолжительность по времени (3 – 4 часа и более).

ГОСТ 25000-81 предусматривает следующие методы измерения температуры: метод термометра, метод сопротивления, заложенных и встраиваемых датчиков температуры. При проведении нагревных испытаний используется метод сопротивления (метод амперметра-вольтметра). К обмоткам главных и добавочных полюсов вольтметры присоединяются при помощи стационарных зажимов, а к обмотке якоря – при помощи специальных щупов, устанавливаемых на коллекторных пластинах (рис. 1).

Вольтметры необходимы для измерения падения напряжения на обмотках якоря $\Delta U_{\text{я}}$, главных $\Delta U_{\text{гл}}$ и добавочных $\Delta U_{\text{дп}}$ полюсов, а амперметр – для измерения тока I в цепи этих обмоток. По показаниям этих приборов определяют значения активного сопротивления обмоток $R_{\text{я}}$, $R_{\text{гл}}$, $R_{\text{дп}}$. В соответствии с ГОСТом измерение падения напряжения $\Delta U_{\text{я}}$ для замкнутой, не имеющей ни начала, ни конца, обмотки якоря допустимо производить на коллекторных пластинах, расположенных между щетками и доступных для присоединения к ним щупов.

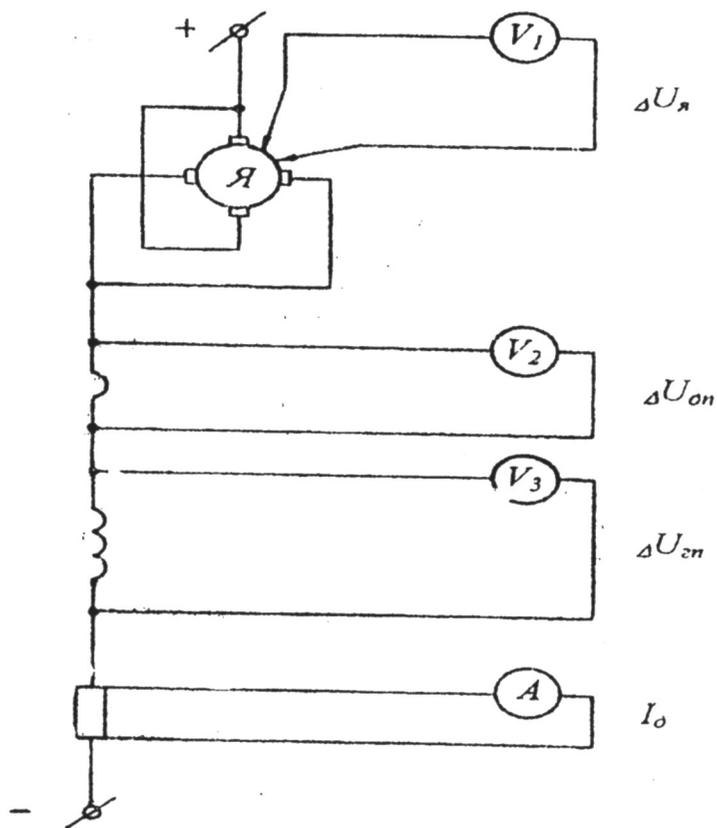


Рис. 1. Схема подключения измерительных приборов при проведении нагревных испытаний

Перед проведением испытаний необходимо измерить сопротивление обмоток в холодном состоянии. При этом якорь электрической машины должен быть неподвижен. Через обмотки пропускают измерительный ток небольшой величины, измеряют величины $\Delta U_{я}$, $\Delta U_{пн}$ и $\Delta U_{зн}$ и рассчитывают значения $R_{я}^x$, $R_{пн}^x$ и $R_{зн}^x$.

В ходе эксперимента по мере нагревания обмоток машины увеличивается и активное сопротивление этих обмоток. Существуют соотношения, устанавливающие зависимость превышения температуры обмоток от величины их сопротивления. По измеренному значению сопротивления обмотки в горячем состоянии можно определить величину Θ .

При измерении сопротивления обмотки якоря в горячем и холодном состояниях используются одни и те же коллекторные пластины. Применяемые при проведении испытаний на нагревание приборы (амперметр, вольтметры и измерительный шунт) должны иметь высокий класс точности – не ниже 0,5 (погрешность измеряемых параметров – $\pm 5\%$).

В соответствии с ГОСТом измеренные в Ом значения сопротивлений обмоток в холодном состоянии необходимо привести к 20°C :

$$R^{20} = R^x [1 + \alpha(20 - t_x)], \quad (1)$$

где α – температурный коэффициент, равный для медных обмоток $1/(235 + t_x)$, $^\circ\text{C}^{-1}$;

t_x – температура, при которой проводились измерения сопротивления обмотки R^x , $^\circ\text{C}$.

В процессе испытаний через каждые 10 - 15 мин производят измерения параметров I , $\Delta U_{я}$, $\Delta U_{пн}$ и $\Delta U_{зн}$. Превышение температуры, $^\circ\text{C}$, обмоток над температурой охлаждающего воздуха определяют в соответствии с выражением

$$\Theta = \frac{R^r - R^x}{R^x} (235 + t_x) + (t_x - t_{вз}), \quad (2)$$

где R^r и R^x – сопротивление обмотки в горячем и холодном состояниях соответственно, Ом;

$t_{вз}$ – температура охлаждающего воздуха, при которой проводились измерения R^r , $^\circ\text{C}$.

По результатам расчетов по формуле (2) строят кривые нагрева для каждой обмотки, представляющие собой зависимости $\Theta(\tau)$, где τ - текущее время, по которым графическим способом могут быть определены значения следующих параметров: установившегося значения превышения температуры обмотки над температурой охлаждающего воздуха Θ_i^∞ и постоянной времени нагрева обмотки T_i . Существуют специальные программы обработки данных эксперимента на ПЭВМ, позволяющие определить значения Θ_i^∞ и T_i для i -й обмотки эмпирическим путем. Кривая нагрева, называемая экспонентой, имеет вид, показанный на рис. 2, и описывается уравнением вида

$$\Theta = \Theta^\infty \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right) + \Theta^0 \cdot e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (3)$$

где Θ^0 и Θ^∞ - начальное и установившееся значения превышения температуры обмотки над температурой охлаждающего воздуха, °С;

τ - текущее время, мин;

T - постоянная времени нагрева (остывания)

обмотки, мин;

$e = 2,7183$ - основание натурального логарифма.

Постоянная времени T является мерой тепловой инерционности обмотки и представляет собой промежуток времени, в течение которого превышение температуры обмотки достигает установившегося значения при отсутствии отвода теплоты. Величину постоянной времени можно определить по кривой нагрева (остывания) графическим способом. Для этого из точки пересечения кривой нагрева (остывания) обмотки с линией начального значения превышения температуры Θ^0 обмотки проводится касательная к этой кривой.

Из точки пересечения касательной с линией установившегося значения превышения температуры Θ^∞ обмотки опускается перпендикуляр на ось времени.

Величину постоянной времени T нагрева (остывания) обмотки определяет длина отрезка между точкой пересечения перпендикуляра с осью времени и началом координат (см. рис. 2).

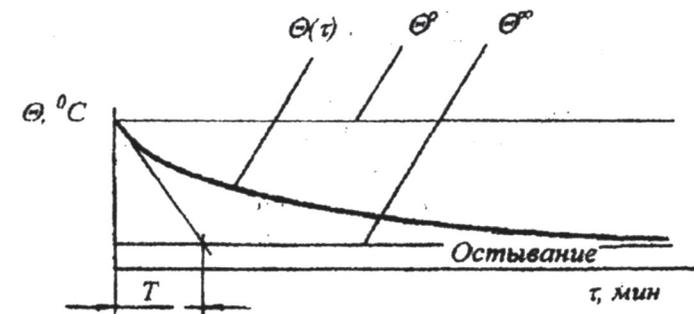
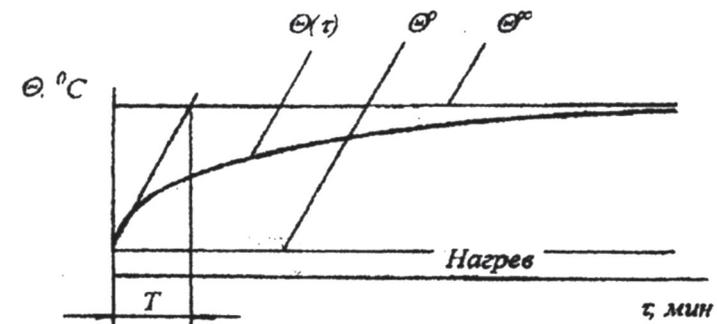


Рис. 2. Вид кривых нагрева и остывания обмотки и основные параметры этих кривых

Уравнение (3) является универсальным и может быть использовано при расчете как кривой нагрева, так и кривой остывания обмотки. Причем, и в том, и другом случае, формула упрощается. В первом случае $\Theta^0 = 0$ и выражение принимает вид

$$\Theta = \Theta^\infty \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right), \quad (4)$$

во втором случае $\Theta^\infty = 0$ и тогда

$$\Theta = \Theta^0 \cdot e^{-\frac{\tau}{T}}. \quad (5)$$

Для экспериментального определения превышения температуры обмотки якоря $\Theta_{\text{я}}^\infty$ электрической машины используют метод экстраполяции кривой остывания обмотки на момент снятия нагрузки (см. рис. 3).

По окончании процесса нагрева, когда его можно принять установившимся (определяется по превышению температуры неподвижных обмоток), электрическую машину быстро останавливают. После остановки якорь поворачивают в такое положение, чтобы коллекторные пластины, на которых измерялось падение напряжения для расчета сопротивления обмотки в холодном состоянии, были доступны для присоединения измерительных щупов. Через якорную обмотку пропускают измерительный ток. Практически первый замер можно произвести через 30 - 45 с после остановки якоря. Последующие замеры $\Delta U_{\text{я}}$ в течение 3 мин проводят через каждые 20 с (не более). После этого в течение 5 - 8 мин замеры можно проводить через 30 с.

Кривую естественного остывания обмотки якоря продолжают за точку, полученную при первом измерении $\Delta U_{\text{я}}$. Значения $\Theta_{\text{я}}^\infty$ рассчитывают по формуле (2).

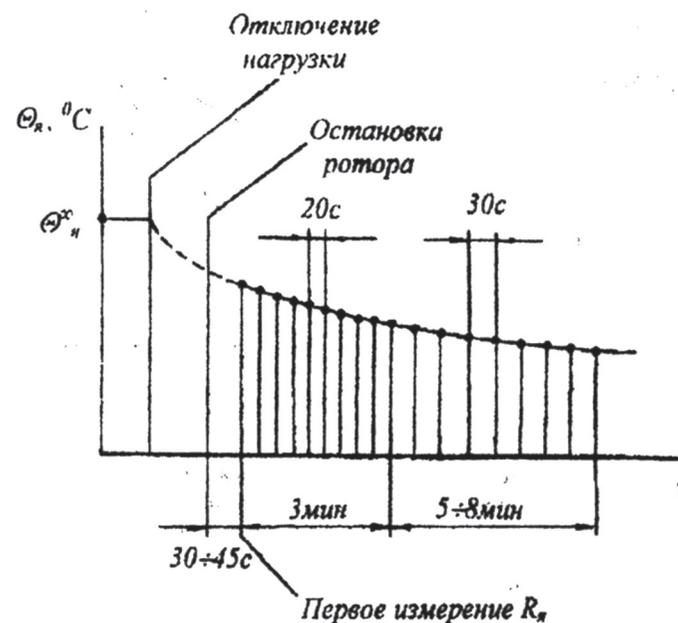


Рис. 3. Определение превышения температуры якорной обмотки на момент снятия нагрузки методом экстраполяции

Кривые нагрева и остывания обмоток электрических машин строят по результатам эксперимента или расчета для всего возможного диапазона изменения тока нагрузки, напряжения на зажимах электрической машины, количества и температуры охлаждающего воздуха. По этим данным строят зависимости постоянных времени и установившихся значений превышения температуры обмоток либо от тока нагрузки, электрической машины, либо от количества охлаждающего воздуха. Полученные зависимости используются при проведении тяговых расчетов.

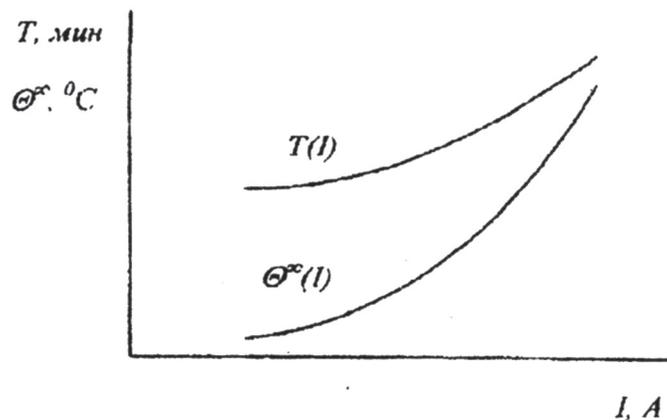


Рис. 4. Общий вид зависимостей постоянных времени и установившихся значений превышения температуры обмотки якоря тягового электродвигателя от тока нагрузки

3. Определение количества охлаждающего воздуха

Режим проведения испытаний на нагревание наряду с другими параметрами (ток нагрузки, напряжение на зажимах электрической машины, температура охлаждающего воздуха) определяет и количество подаваемого охлаждающего воздуха $G_{вз}$. Величину $G_{вз}$ определяют в соответствии с ГОСТ 12259-75, при этом используют приборы для измерения скорости воздушного потока.

Расход воздуха рассчитывают в $\text{м}^3/\text{с}$ по формуле

$$G_{вз} = F \cdot v_{cp}, \quad (6)$$

где F – площадь сечения измерительного участка, м^2 ;
 v_{cp} – средняя скорость воздушного потока, $\text{м}/\text{с}$.

При измерении величины V_{cp} должны быть выполнены следующие условия: измерительный участок должен создавать практически ламинарное движение потока охлаждающего воздуха; длина измерительного участка должна быть в 5-7 раз больше его гидравлического диаметра. Для измерения средней скорости воздуха используют пневмометрическую трубку Прандтля и микроанометр типа ММН, заправленный спиртом, с наклонной шкалой. С помощью трубки Прандтля и микроанометра определяют динамическое давление P_d воздушного потока в сечении в 10 контрольных точках по горизонтали и 10 контрольных точек по вертикали. Величину скорости для каждого измеренного значения P_d рассчитывают по определенной формуле и усредняют.

ГОСТ 12259-75 предусматривает также способ измерения количества охлаждающего воздуха $G_{вз}$ с применением сужающих устройств – измерительных диафрагм и сопел Вентури, установленных в воздуховоде на измерительном участке. Расчет $G_{вз}$ производят по определенным формулам с использованием измеренных значений статического напора воздушного потока до и после сужающего устройства. Величину статического напора измеряют при помощи U-образного дифференциального манометра, заполненного водой.

На практике широко используется метод приближенного определения количества охлаждающего воздуха по напор-расходной тарировочной зависимости, представляемой заводом-изготовителем для каждого типа электрических машин.

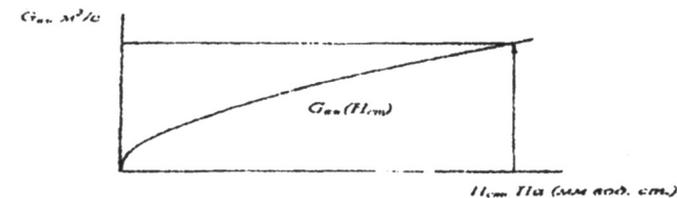


Рис. 5. Общий вид зависимости количества охлаждающего воздуха от статического напора в коллекторной камере

На рис. 6 показана схема для подключения дифференциального манометра при измерении статического напора $H_{ст}$ в контрольной точке тягового электродвигателя

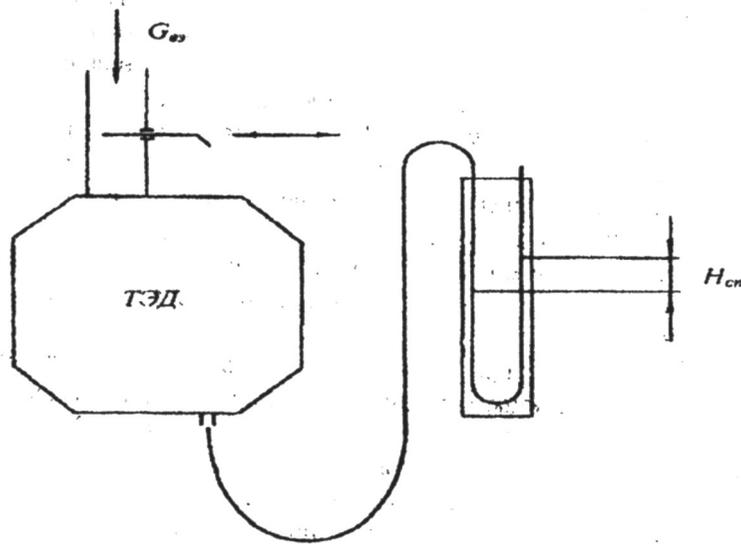


Рис. 6. Подключение дифференциального манометра при измерении статического напора в контрольной точке тягового электродвигателя

Последовательность выполнения работы

1. Известное сопротивление $R_{дп}^{15}$, Ом, обмотки добавочных полюсов ТЭД ЭД118А при 15°C привести к 20°C в соответствии с выражением

$$R_{дп}^{20} = R_{дп}^{15} [1 + \alpha(20 - t_x)],$$

где $R_{дп}^{15} = 0,008049$ Ом;
 $\alpha = 1/(235 + t_x), ^\circ\text{C}^{-1}$;
 $t_x = 15^\circ\text{C}$.

2. Режим проведения испытаний на нагревание ТЭД ЭД118А:

$$U_d = 200 \text{ В};$$

$$I_d = 600 \text{ А};$$

$$G_{вз} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$t_{вз} = 20^\circ\text{C}.$$

3. Для построения кривой нагревания обмотки добавочных полюсов ТЭД через каждые 20 мин проводить измерения $\Delta U_{дп}$ и I_d и расчет величин $R_{дп}^r$, Ом, и $\Theta_{дп}$, $^\circ\text{C}$, в соответствии с выражениями:

$$R_{дп}^r = \frac{\Delta U_{дп}}{I_d},$$

$$\Theta_{дп} = \frac{R^r - R^x}{R^x} (235 + t_x),$$

здесь $t_x = 20^\circ\text{C}$.

Результаты измерений $\Delta U_{дп}$, I_d и расчетов $R_{дп}^r$ и $\Theta_{дп}$ свести в табл. 1.

Таблица 1

τ , мин	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$\Delta U_{дп}$, В										
I_d , А										
$R_{дп}^r \times 10^{-3}$, Ом										
$\Theta_{дп}$, $^\circ\text{C}$										

4. Определить значения параметров $\Theta_{дп}^\infty$ и $T_{дп}$ по результатам обработки данных эксперимента.

Таблица 3

τ , МИН	0	20	40	60	80	100	120	140
$\Theta_{дп}$, °C								
τ , МИН	160	180	200	220	240	260	280	300
$\Theta_{дп}$, °C								

8. Выполнить необходимые построения для определения графическим методом постоянной времени остывания обмотки добавочных полюсов ТЭД. Отметить на кривой остывания параметры $\Theta_{дп}^0$, $\Theta_{дп}^\infty$ и $T_{дп}$.

9. На лабораторном стенде для испытаний электрических машин методом взаимной нагрузки (см. рис. 3 лабораторной работы № 1) провести измерения параметров, необходимых для построения фрагмента кривой нагревания обмотки возбуждения ОВД электрической машины Д в режиме нагружения, указанном преподавателем. Данные измерений свести в табл. 4.

Построить фрагмент кривой нагревания $\Theta(\tau)$ для этой обмотки по результатам расчетов Θ .

Таблица 4

τ , МИН	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
ΔU , В										
I_p , А										
R^r , Ом										
Θ , °C										

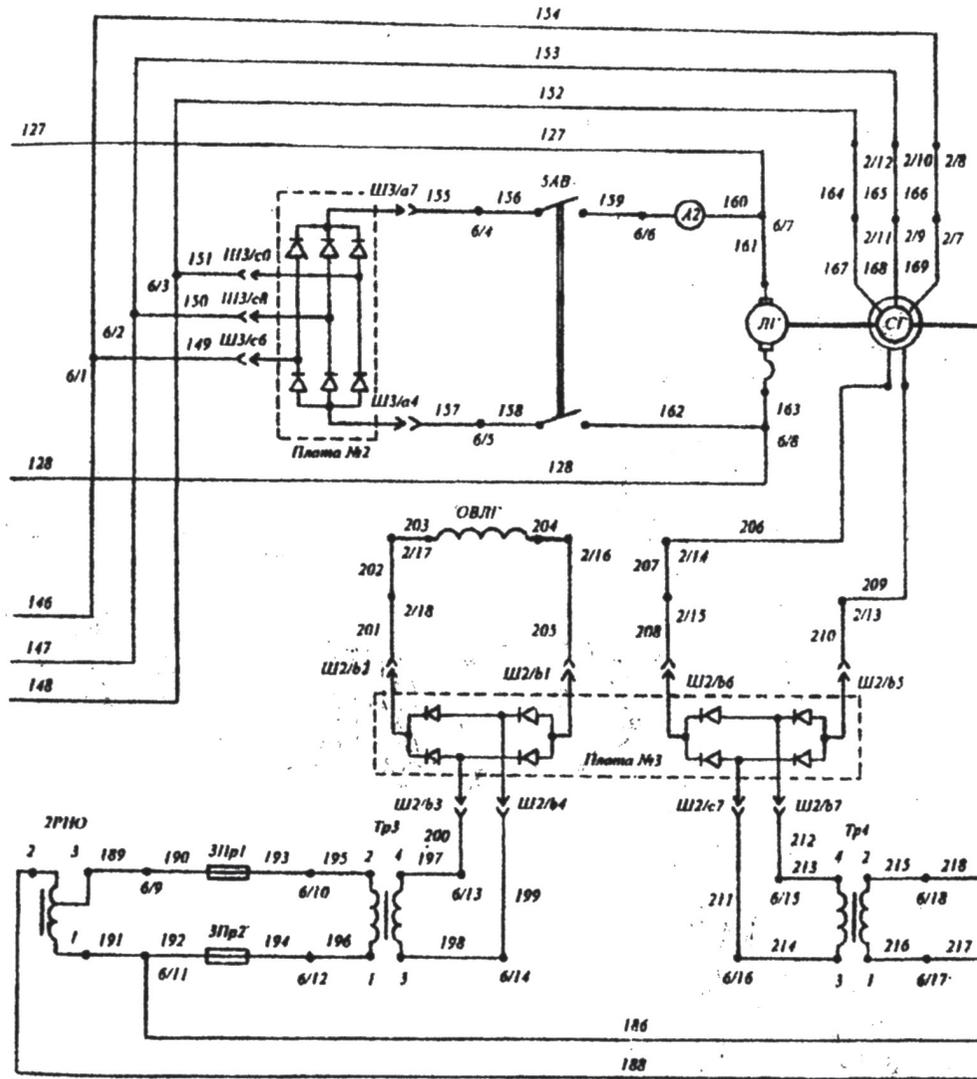


Рис.2. Лист 1. Принципиальная электрическая

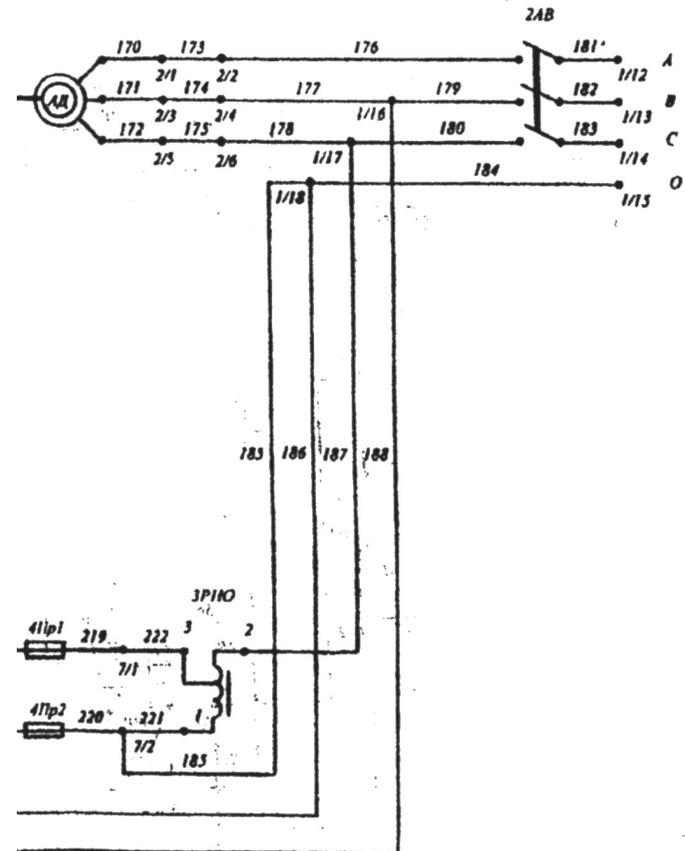


схема лабораторного стенда.

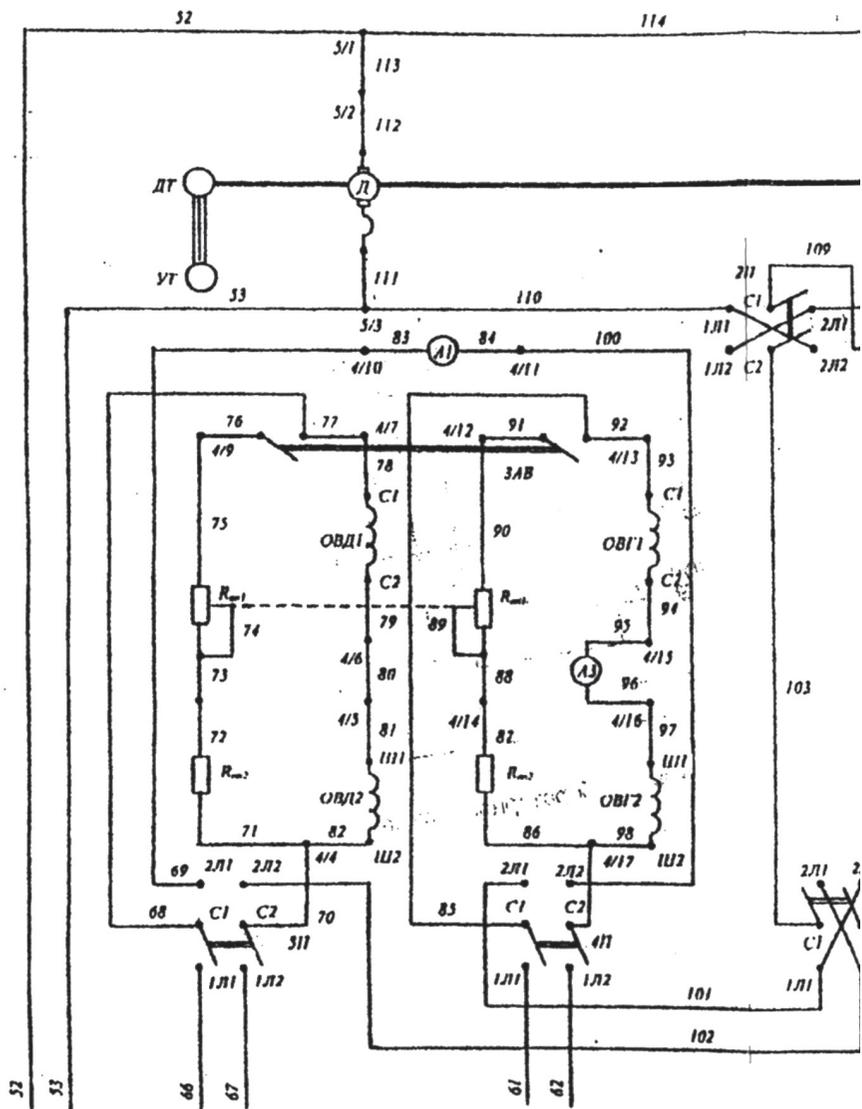


Рис.2. Лист 2. принципиальная электрическая

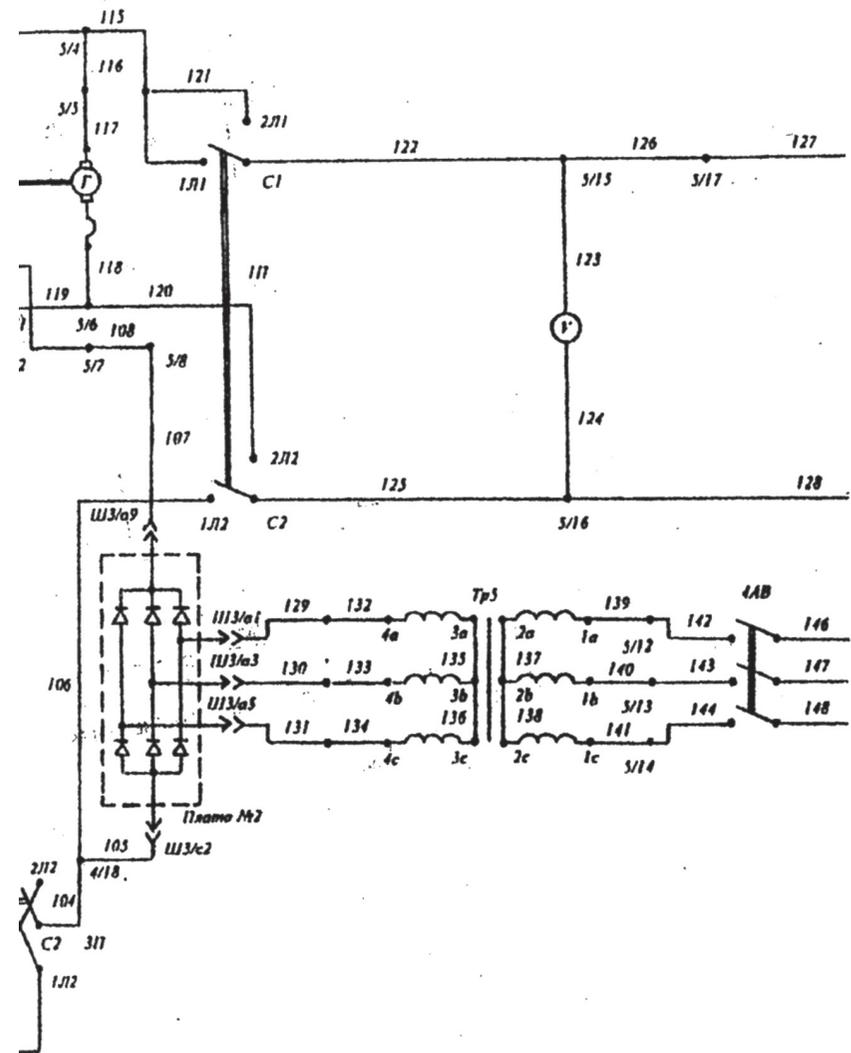


схема лабораторного стенда.

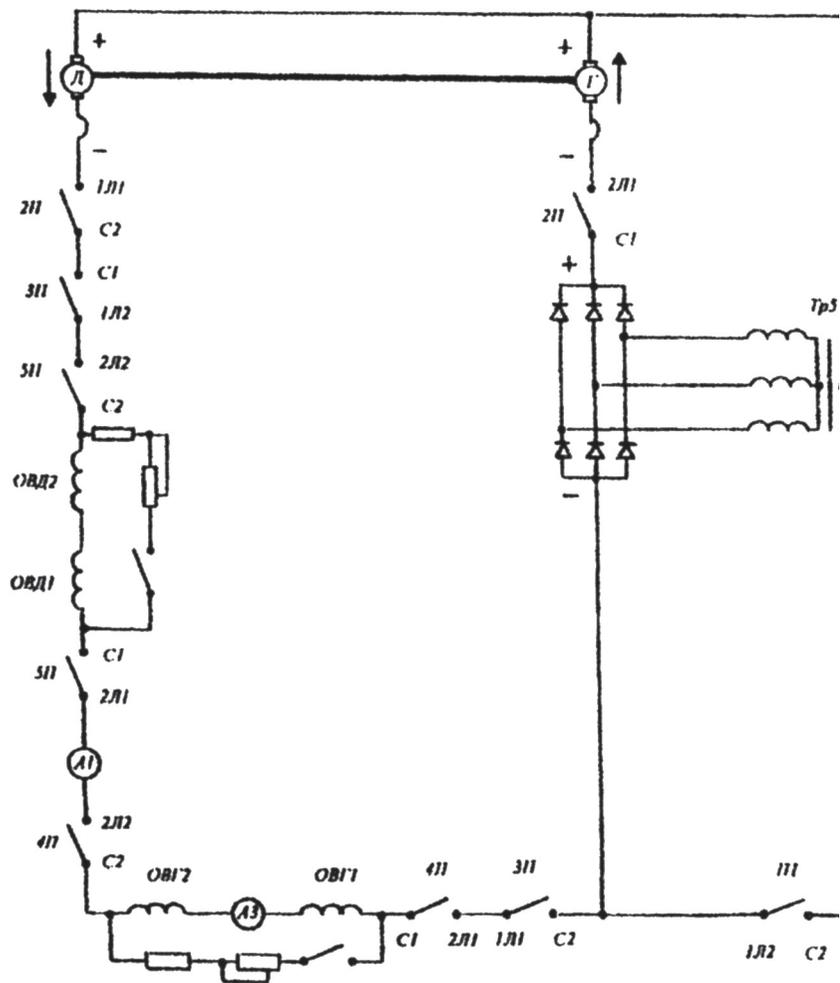
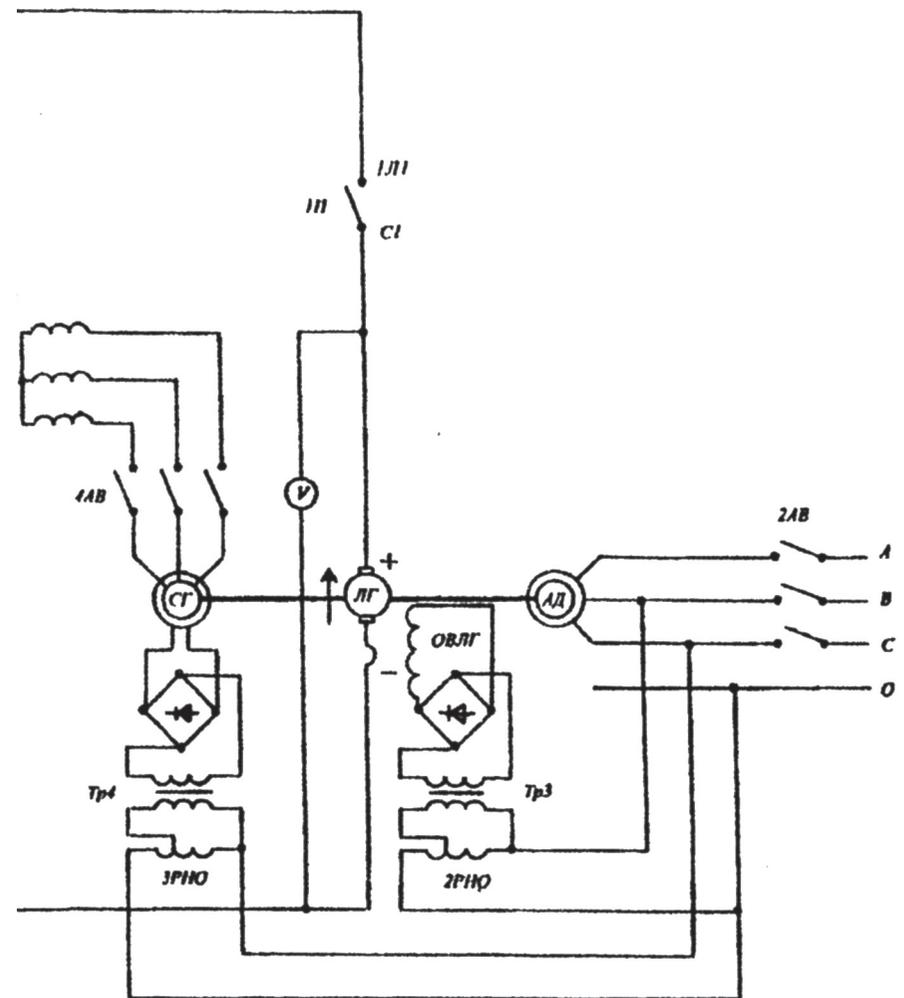


Рис.3. Лист 2. Электрическая схема основных цепей при испытаниях электрических машин



цепей лабораторного стенда постоянного тока

Канд. техн. наук, доц. А. С. КОСМОДАМИАНСКИЙ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ

Руководство к выполнению лабораторных работ

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *Г.В. Малеева*

Тип. зак.	<i>719</i>	Изд. зак. 24	Тираж <i>100</i> экз.
Подписано в печать	02.09.04	Гарнитура Times	
Усл. печ. л.	1,75+2вкл.(0,5 печ.л)	Допечатка тиража	Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2