

Министерство путей сообщения Российской Федерации
Департамент кадров и учебных заведений

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ

**УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ
ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Учебное пособие

Москва
2002

Министерство путей сообщения Российской Федерации
Департамент кадров и учебных заведений

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ

А.П. Зеленченко

УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ
ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Учебное пособие

Москва
2002

В учебно-методическом пособии рассмотрены устройства диагностики тяговых двигателей, которые используются при ремонтах электрического подвижного состава в локомотивных депо и на ремонтных заводах, отражены физические основы методов диагностики, приведены сведения по методам диагностики зарождающихся дефектов якорных подшипников.

Пособие предназначено для студентов вузов, техникумов и колледжей железнодорожного транспорта, а также будет полезно обслуживающему персоналу и работникам, занимающимся ремонтом тяговых двигателей.

Автор — к.т.н. доцент А.П. Зеленченко.

Рецензенты — главный технолог ГУ «Техноцентр» МПС России, к.т.н. Е.В. Козаченко; главный инженер локомотивного депо С.-Петербург — Московский Пассажирский М.В. Малахов.

Ответственный за выпуск

Э.А. Иванова

Редактор

О.Н. Масловская

Корректор

Г.В. Голубева

Предисловие

Модель тягового электродвигателя постоянного тока электрического подвижного состава как объекта диагностирования включает в себя электроизоляционную конструкцию, коллекторно-щеточный аппарат и механическую часть. Поэтому отказы тяговых двигателей имеют различную природу и могут происходить вследствие:

- пробоя изоляции и межвитковых замыканий обмоток якоря;
- пробоя изоляции и межвитковых замыканий обмоток главных и дополнительных полюсов;
- пробоя изоляции компенсационной обмотки;
- повреждений выводов катушек полюсов;
- повреждений выводных кабелей, выплавления припоя из петушков коллектора;
- разрушения якорных бандажей;
- повреждения якорных подшипников;
- повреждения пальцев, кронштейнов и щеткодержателей;
- кругового огня по коллектору.

Необходимо отметить, что для определения неисправностей тяговых двигателей электровозов и электропоездов можно использовать одинаковые подходы.

Определению неисправностей в электрических машинах посвящено значительное количество публикаций в периодической печати, имеются научные монографии и патенты.

Среди них следует отметить работы Глущенко М.Д., Дурандина М.Г., Попова В.Н. и Серебрякова А.С., в которых рассмотрены проблемы эксплуатационной диагностики тяговых электродвигателей, методы прогнозирования состояния изоляции электрических машин и др. Особый интерес вызывает работа Серебрякова А.С. в области разработки устройства контроля изоляции тяговых двигателей по возвратному напряжению.

В работах Исмаилова Ш.К., Мельникова Е.Н., Попова Д.А., Смирнова В.П. рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением надежной работы коллекторно-щеточного аппарата.

В последние годы активно внедряется методология диагностирования зарождающихся дефектов роторных узлов, в т.ч. и подшипников. Использование системы диагностирования, ориентированной на обнаружение зарождающихся дефектов и прогнозирование оптимальных сроков проведения технических обслуживаний, позволяет обеспечить максимально возможный экономический эффект за счет снижения трудозатрат, расхода запасных частей и простоев подвижного состава.

Новые подходы этого направления нашли отражение в работах Гиоева З.Г., Кучерова С.В., Осяева А.Т. и др.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены устройства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава.

1. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ

Для выявления дефектов в изоляции обмоток статора и якоря необходим постоянный контроль тяговых двигателей в процессе их эксплуатации.

Развитие дефектов в изоляции в основном связано с проникновением в нее влаги.

Все методы контроля изоляции можно разделить на разрушающие и неразрушающие. К первым принадлежат испытания повышенным напряжением, вторые проводятся без приложения к изоляции напряжений, способных привести к пробое.

Для выявления возникающих в изоляции дефектов разработаны и применяются следующие методы неразрушающих испытаний изоляции:

- а) измерение тангенса диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$;
- б) измерение частичных разрядов в изоляции;
- в) измерение емкости;
- г) измерение сопротивления изоляции и др.

Угол диэлектрических потерь δ является в первую очередь показателем наличия в изоляции посторонних включений, в частности увлажнения изоляции. Характер изменения $\operatorname{tg} \delta$ при периодических измерениях позволяет судить об ухудшении свойств изоляции. Измерение $\operatorname{tg} \delta$ изоляции осуществляется приборами, в основе которых лежит принцип высоковольтного моста Шеринга.

Недостатком этого метода является низкая помехозащищенность и сложность автоматизации процесса измерения.

Измерение частичных разрядов, являющихся основной причиной электрического старения внутренней изоляции, дает более объективную информацию о состоянии изоляции, но такие измерения очень сложны и имеют малую помехозащищенность. Поэтому они в основном применимы лишь в лабораториях и мало пригодны для условий депо.

Емкость изоляционной конструкции при неизменной температуре и частоте есть величина постоянная. Поэтому изменение емкости свидетельствует о дефектах в изоляции, в том числе и об ее увлажнении. На принципе измерения абсорбционной емкости основаны методы контроля влажности изоляции: «емкость — частота», «емкость — температура» и «емкость — время».

Методы неразрушающего контроля широко используются для выявления дефектов, но в условиях депо и на ремонтных заводах наибольшее распространение из них получило *измерение сопротивления изоляции*, а из методов разрушающего контроля — *испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты*.

Контроль изоляции по ее сопротивлению

При приложении к изоляции постоянного напряжения U в ней возникают процессы поляризации. Различают следующие виды поляризации: *электронную, ионную, дипольную* и *межслоевую*. Их удобнее рассматривать не по физическому признаку, а по постоянной времени T на быструю (порядка миллисекунд) и медленную (порядка секунд и выше) поляризацию.

Для обоих видов поляризации можно ввести схему замещения изоляции (рис. 1.1). Если к этой схеме приложить толчком постоянное напряжение U , то ток в источнике будет иметь следующие составляющие:

– импульс тока заряда емкости C_∞ ;

– абсорбционный ток $i_{\text{абс}} = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{T}}$, изменяющийся с постоянной времени T ;

– ток сквозной проводимости $i_{\text{пр}} = \frac{U}{R}$.

Поляризационные явления и сквозные каналы повышенной проводимости обусловлены в основном увлажнением изоляции.

Так как сопротивление изоляции обычно измеряется стрелочными приборами, то на их показания влияют только процессы медленной поляризации.

Опытом установлено, что в большей части случаев T меньше 1 мин. Это означает, что через промежуток времени около 1 мин после приложения напряжения U сопротивление изоляции достигнет установившегося значения R . Величина R определяет наличие сквозных проводящих путей в изоляции. Резкое падение R свидетельствует о далеко зашедшем развитии дефекта. Обычно суждение об изоляции составляется на основании сравнения с заводскими данными или результатами предыдущих измерений R .

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметрами, состоящими из маломощного генератора постоянного тока напряжением 0,5—2,5 кВ (с ручным приводом) и стрелочного прибора.

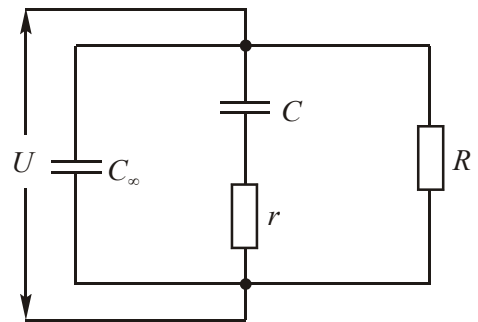


Рис. 1.1. Схема замещения изоляции

Определение влажности изоляции

Анализ влияния климатических условий показал, что в период с ноября по март резко возрастает количество отказов электрических машин (в 3,5 раза по сравнению со средним количеством за год). Довольно часто сопротивление изоляции снижается до предельно допустимых значений 1—1,5 МОм.

Выявление причин снижения величины сопротивления изоляции является актуальной задачей, т.к. неправильное определение причины может привести к ошибочной замене тягового двигателя вместо восстановления его изоляции путем сушки.

О влажности изоляции тяговых двигателей судят по величине коэффициента абсорбции:

$$K_{\text{абс}} = \frac{R_{60}}{R_{15}},$$

где R_{15} и R_{60} — сопротивления изоляции, измеренные через 15 и 60 с соответственно.

При хорошей и сухой изоляции коэффициент абсорбции составляет 1,5—2, а для увлажненной приближается к единице. Наименьшим значением коэффициента абсорбции изоляции тяговых двигателей следует считать 1,1—1,2 (при температуре окружающего воздуха 20 ± 10 °С).

Выпускаются специальные приборы промышленного изготовления, позволяющие с достаточной степенью точности определять сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции. Одним из таких приборов является мегаомметр Ф4100. Он имеет выходное напряжение на разомкнутых зажимах (2500 ± 250 В). Коэффициент абсорбции определяют с помощью реле с выдержкой времени 15 и 60 с и сигнальной лампы, указывающей моменты отсчета. Погрешность прибора не более $\pm 2,5$ %.

Степень объемного увлажнения изоляции можно также оценить с помощью прибора для контроля влажности (ПКВ). Действие прибора основано на методе «емкость — частота». В слоистом диэлектрике, кроме явлений поляризации, происходит медленное накопление зарядов на границах слоев — внутрислоевая поляризация, что увеличивает диэлектрическую проницаемость диэлектрика. Процессы внутрислоевой поляризации заметны при нагревании изоляции и, особенно, при ее увлажнении. С изменением частоты приложенного испытательного напряжения изменяется емкость, что свидетельствует о внутрислоевой поляризации. Сравнение емкостей изоляции на двух частотах испы-

тательного напряжения, одна из которых будет равна нескольким герцам, другая — нескольким десяткам герц, дает возможность судить о степени объемного увлажнения изоляции. Прибором ПКВ измеряют соотношение емкости C изоляции при частоте 2 и 50 Гц (C_2 и C_{50}). Если соотношение емкостей C_2/C_{50} при указанных частотах напряжения более 1,4, то изоляция увлажнена и требует сушки. Измерять емкость обмотки следует при температуре от 15 до 35 °С, но не во всех случаях, когда C_2/C_{50} превышает 1,4, изоляция выходит из строя.

Еще более прост метод измерения абсорбционной емкости, получивший название «емкость — время». В этом методе измеряются мгновенные значения емкостей изоляции через время ~1 мсек и 0,5—1 с после приложения зарядного напряжения или, наоборот, после разряда. В первом измерении определяется геометрическая емкость изоляции C_∞ , во втором измерении определяется емкость C_0 . Отношение

$$\frac{\Delta C}{C_\infty} = \frac{C_0 - C_\infty}{C_\infty}$$

служит характеристикой изоляции.

Установлено, что для нормальной изоляции отношение $\Delta C/C_\infty$ не превышает 0,1, а для увлажненной изоляции отношение $\Delta C/C_\infty > 0,1$.

Метод «емкость — температура» основывается на измерении емкости при увеличении температуры.

Увлажнение особенно опасно для той изоляции, которая имеет хотя бы частичные внутренние повреждения.

Испытание изоляции повышенным напряжением

Этот метод испытаний относится к методам разрушающего контроля.

Испытания повышенным напряжением производятся для проверки наличия необходимого запаса электрической прочности изоляции. Так как понижение электрической прочности вызывается, как правило, местными дефектами в изоляции, то указанный способ испытаний служит и для обнаружения в изоляции местных дефектов. Он гарантирует также, что изоляция оборудования имеет нужный уровень прочности по отношению к перенапряжениям, возникающим в эксплуатации.

Испытательное напряжение должно прикладываться к изоляции в течение времени, достаточного для развития частичных разрядов или даже развития разряда до пробоя. Чрезмерно длительное приложение напряжения нежелательно, т.к. ведет к порче органической изоляции ионизационными процессами.

В депо проверяют электрическую прочность изоляции двигателей между токоведущими частями и корпусом и между обмотками. Проверку проводят на нагретой неподвижной машине повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. При проверке изоляции относительно корпуса испытанию подвергают поочередно каждую цепь, имеющую отдельные выводы начала и конца. При этом один вывод источника испытательного напряжения подключают к любому из выводов испытываемой обмотки, а другой — надежно заземляют, соединив с корпусом машины.

С заземленным выводом на время испытаний данной обмотки электрически соединяют выводы всех остальных обмоток, не участвующих в испытании. В качестве источника напряжения применяют специальные однофазные пробивные трансформаторы. Первичную обмотку трансформатора включают в сеть 220 В. Регулируют испытательное напряжение плавно или ступенями путем его изменения на стороне низкого напряжения трансформатора (величина ступени испытательного напряжения не должна превышать 5 % его окончательного значения).

Испытание начинают с напряжения, величина которого не превышает 1/3 испытательного, время подъема напряжения от половинного значения до полного должно быть не менее 10 с. Полное испытательное напряжение выдерживают в течение 1 мин, после чего плавно снижают до 1/3 испытательного и отключают питание трансформатора.

Величина испытательного напряжения определяется Правилами ремонта электрических машин электроподвижного состава. Данные по испытательным напряжениям приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1

Испытательные напряжения тяговых электродвигателей электровозов

Показатель	Тип тягового электродвигателя									
	ДПЭ-400	НБ-406Б	ТЛ-2Ж1	НБ-407Б	НБ-412К	НБ-418кб	АЛ-4846еТ	2АЛ-4846еТ, 3АЛ-4846еТ, 4АЛ-4846еТ	АЛ-4846дТ	АЛ-4442пР, 1АЛ-4442пР
Испытательное напряжение, В, при капитальном	8800	8800	8800	8800	6800	4800	8800	8800	8800	4100
среднем	7000	7000	7000	7000	5500	3800	7000	7000	7000	3300
текущем ТР-3	6000	6000	6000	6000	4800	3400	6000	6000	6000	2900

Испытательные напряжения тяговых электродвигателей электропоездов

Показатель	Тип тягового двигателя						
	ДК-103Г	ДК-106Б, ДК-106Б2	УРТ-110А, УРТ-110Б	РТ-113А	РТ-51Д, РТ-51М	1ДТ.003.1	1ДТ.003.4
Испытательное напряжение, В, при ремонте:							
капитальном	8800	8800	8800	8800	5000	8800	8800
среднем	7000	7000	7000	7000	4000	7000	7000
текущем ТР-3	6000	6000	6000	6000	3500	6000	6000

Испытательное напряжение контролируют на стороне трансформированного напряжения электростатическим вольтметром. Результаты испытаний относительно корпуса и между обмотками считают удовлетворительными, если во время испытаний не произошло пробоя изоляции или перекрытия ее скользящими разрядами. Если стрелка прибора устанавливается на нуле, то это указывает на пробой изоляции обмотки.

2. КОНТРОЛЬ ИСКРЕНИЯ**Установка щеток на геометрической нейтрали**

Одним из факторов, влияющих на режим работы тяговых двигателей, является точность установки щеток на нейтрали с помощью поворотной траверсы. Смещение щеток с нейтрали приводит к расхождению скоростных характеристик и к повышенному износу щеток и коллекторов, способствует возникновению круговых огней. Так, смещение траверсы на 10 мм вызывает изменение тока двигателя на 21 %; смещение траверсы на 5 мм в режиме, близком к часовому, приводит к увеличению степени искрения на 1 балл.

Установку щеток на нейтрали выполняют несколькими способами. При одном из них на работающей машине в режиме генератора на холостом ходу нейтральное положение щеток определяют по максимальному напряжению на коллекторе. При другом — машина работает в режиме двигателя на холостом ходу. Считается, что если при реверсировании частота вращения не изменяется, то щетки установлены на геометрической нейтрали.

Для контроля установки щеток на нейтраль также можно использовать специальное переносное устройство А-1938, разработанное ВНИИЖТ и ПКБ ЦТ. Принцип работы этого устройства основан на наличии трансформаторной связи между обмотками главных полюсов и якоря.

Устройство для установки щеток на нейтрали включает в себя измеритель напряжения (ИН) и источник питания (рис. 2.1 *а, б*).

Для повышения чувствительности в ИН установлен повышающий трансформатор Т1 с коэффициентом трансформации 25, что позволило компенсировать падение напряжения на диоде VD1. Для придания в схеме линейной характеристики ИН включены диоды VD2 и VD3. Измерительным механизмом служит микроамперметр на 100 делений с добавочными резисторами R1, R2 и R5.

Переключателем В1 и путем изменения сопротивления резистора R3 можно менять пределы измерений. При выключенном положении переключателя В1 предел измерений составляет 0...100 мВ и соответствует цене деления 1 мВ/деление, а при включенном положении предел измерения расширяется до 0,5 В, что соответствует цене деления 5 мВ/деление.

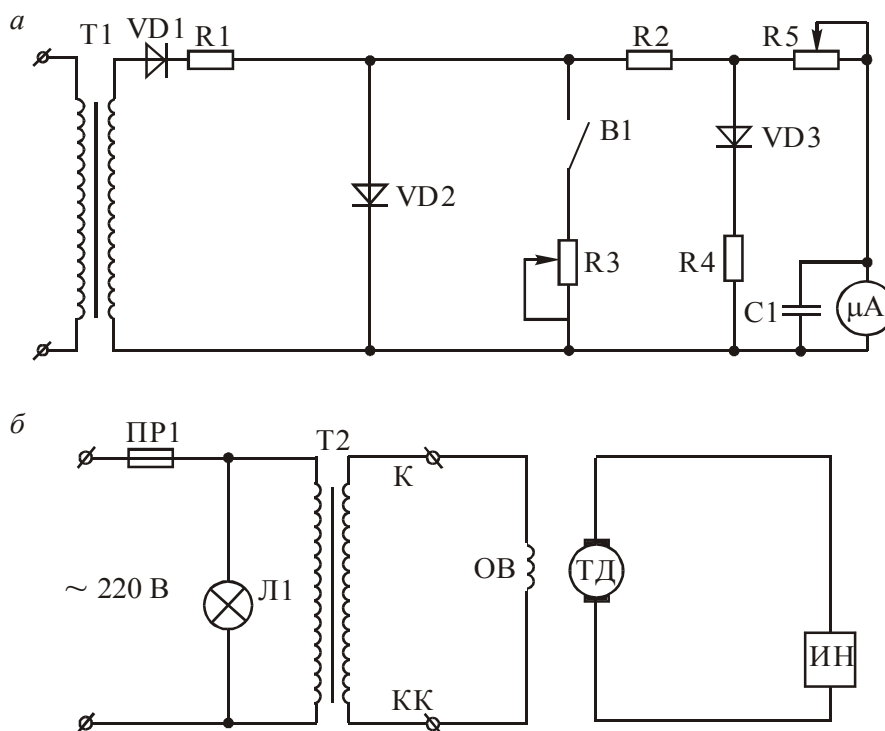


Рис. 2.1. Устройство для установки щеток на нейтраль:
а — схема измерения напряжения; *б* — схема подключения устройства к проверяемому тяговому двигателю.

На рис. 2.2 показана зависимость наведенной эдс от смещения щеток относительно нейтрали при токе в обмотках главных полюсов 5 А для двигателя НБ-418К. Аналогичная форма кривой наведенной эдс характерна и для двигателей других типов. Минимальное значение наведенной эдс свидетельствует о том, что щетки установлены на геометрической нейтрали.

Лучше всего иметь специальные клиновидные щетки, суженные к поверхности касания с коллектором до 5 мм. Однако, можно применять и новые стандартные, но не притертые щетки. Как правило, статическое нажатие таких щеток контролируется с помощью динамометра. Также можно применять указатель силы нажатия щеток УСН-2. Указатель изготавливается в переносном варианте и применяется для контроля силы нажатия одиночных щеток в собранном двигателе.

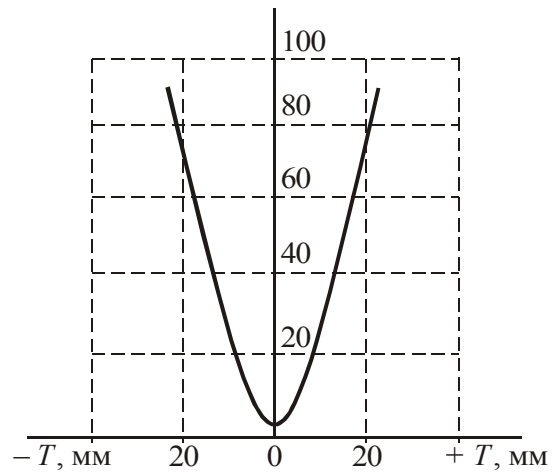


Рис. 2.2. Зависимость эдс обмотки якоря от смещения щеток T

Оценка искрения

Оценка искрения может осуществляться разными способами, например, визуальным или по переменной составляющей напряжения.

Визуальный способ. Искрение оценивается на глаз в соответствии со шкалой степени искрения, рекомендуемой ГОСТ 183-74 (рис. 2.3).

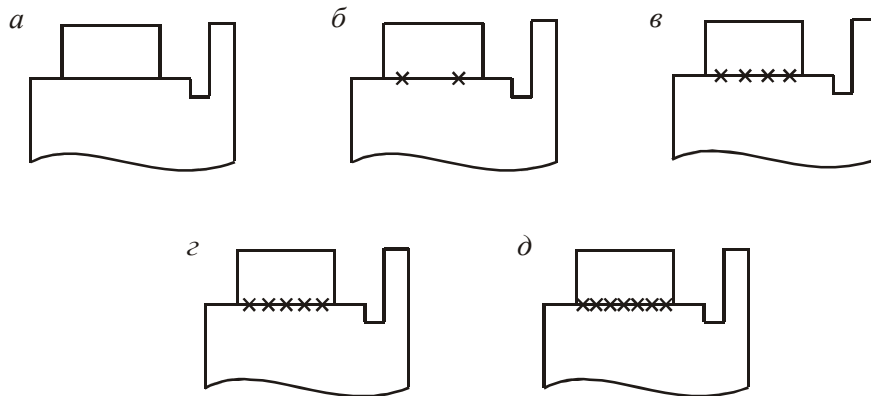


Рис. 2.3. Шкала искрения:

a — степень 1; $б$ — степень $1\frac{1}{4}$; $в$ — степень $1\frac{1}{2}$;
 $г$ — степень 2; $д$ — степень 3

По переменной составляющей напряжения. В этом случае коммутация оценивается специальными приборами.

ВНИИЖТ и ПКБ ЦТ разработали устройство А-1939 для оценки искрения, которое основано на измерении переменной составляющей напряжения на выводах тягового двигателя. Это напряжение практически пропорционально степени искрения под щетками.

Устройство состоит из низковольтной части — индикатора степени искрения (ИСИ) (рис. 2.4) и высоковольтной части, в которую входит предохранитель ПР1, разделительный конденсатор С, повышающий трансформатор и контакторы (рис. 2.5).

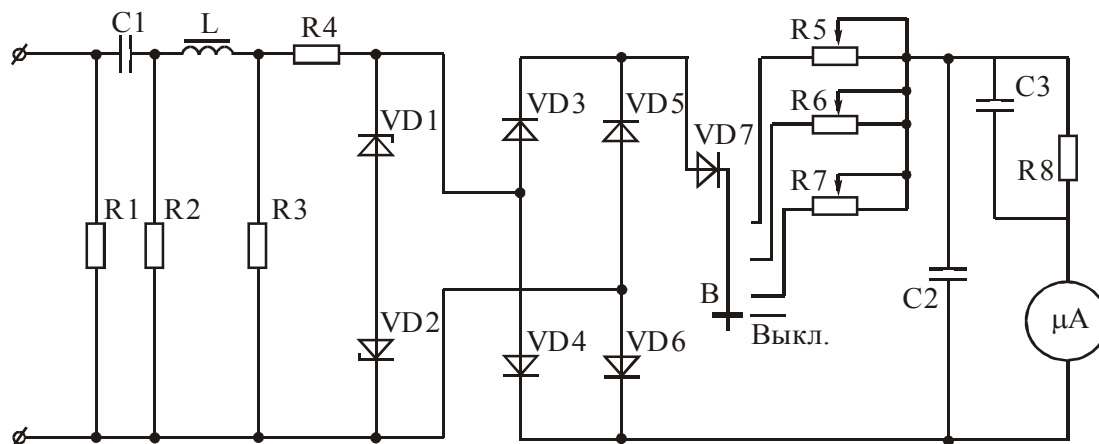


Рис. 2.4. Схема индикатора степени искрения

На вход фильтра (R1, C1, R2, L) подается переменная составляющая напряжения тягового двигателя. Далее сигнал выпрямляется высокочастотными диодами VD3—VD6, проходит через диод VD7 и через замкнутый контакт переключателя режимов В поступает на стрелочный индикатор.

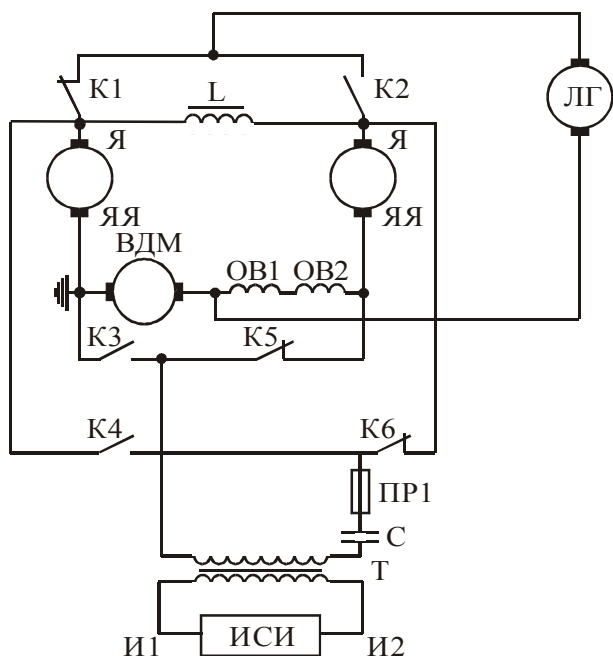


Рис. 2.5. Схема подключения ИСИ к эксплуатируемым двигателям

Для подавления сигналов от зубцовых пульсаций и пульсаций других частот, не связанных с процессом коммутации, в схеме индикатора применен полосовой фильтр с полосой пропускания от 15...75 кГц. Ограничитель сверху VD1, VD2 защищает выпрямитель от коммутационных перенапряжений. Диодный ограничитель VD7 создает определенный порог ограничения, чтобы при отсутствии искрения на коллекторе индикатор давал минимальные показания.

В соответствии с ГОСТ 2582-81 проверка искрения тяговых двигателей после их ремонта проводится в трех режимах (табл. 2.1).

Режимы испытаний тяговых двигателей

Положение переключателя <i>B</i>	Условия испытаний			
	Напряжение	Ток якоря	Частота вращения	Ток возбуждения
1	Номинальное	Двойной часовой	–	Часовой
2	Наибольшее	–	Наибольшая	Наименьший
3	Наибольшее	Наибольший пусковой	–	Наименьший

Градуировку ИСИ производят конкретно для каждого типа двигателя в определенном режиме.

Искрение считается допустимым, если не превышает 1½.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ ЯКОРЯ

Нарушение межвитковой изоляции происходит как при производстве обмоток, так и при эксплуатации электрических машин. Пробой межвитковой изоляции в условиях эксплуатации может быть вызван атмосферными или коммутационными перенапряжениями при переходных процессах и другими причинами. Установлено, что в зимний период в 4 раза возрастает число аварийных режимов, сопровождающихся срабатыванием быстродействующего выключателя. В связи с этим возрастает число воздействующих на изоляцию перенапряжений. Многократные попытки локомотивных бригад восстановить быстродействующий выключатель также приводят к увеличению числа этих перенапряжений.

Межвитковое замыкание в обмотке якоря нарушает нормальную работу электрической машины. Под действием наведенной эдс в короткозамкнутой секции возникает большой ток, вызывающий недопустимый нагрев корпусной изоляции, что приводит к постепенному ее разрушению и возможному пробоем на корпус.

Межвитковые замыкания можно контролировать по значению падения напряжения в витках обмотки. Для этого на обмотку якоря дают питание от батареи постоянного тока напряжением 12 В, установив контакты батареи на коллекторные пластины по шагу обмотки. Затем милливольтметром, присоединяемым поочередно к каждой паре соседних коллекторных пластин, измеряют падение напряжения в витках обмотки между пластинами.

При исправном якоре отклонение стрелки прибора от средних показаний обычно составляет не более 20 %. Заниженное падение напряжения может быть вызвано наличием в обмотке межвиткового замыкания. Отклонения показаний прибора более чем на 20 % (от среднего значения) перепроверяют.

Этот метод контроля эффективен только в случае металлических замыканий, что является его существенным недостатком. Кроме того, он требует большой затраты времени.

Наиболее широкое распространение для выявления межвитковых замыканий обмоток якорей нашли **импульсные методы** (с применением импульсного испытательного напряжения). Преимущество импульсных методов в том, что с помощью источника небольшой мощности можно обеспечить достаточно высокое напряжение между витками обмотки якоря.

Среди импульсных методов можно выделить метод «бегущей волны», индуктированного напряжения и др.

По методу «бегущей волны» работает установка ИУ-57. На выходе этой установки испытательное импульсное напряжение может достигать 500 В, что позволяет выявлять межвитковые замыкания обмотки, слабые места витковой изоляции, обрывы витков и другие скрытые дефекты.

Проверка на импульсной установке ИУ-57 осуществляется следующим образом. На коллекторе устанавливают электрод А (рис. 3.1), соединенный с импульсным генератором.

Строго симметрично относительно электрода А устанавливают электроды Б и В. Число коллекторных пластин между центральным А и боковыми электродами Б и В всегда одинаково и определяется конструкцией обмотки.

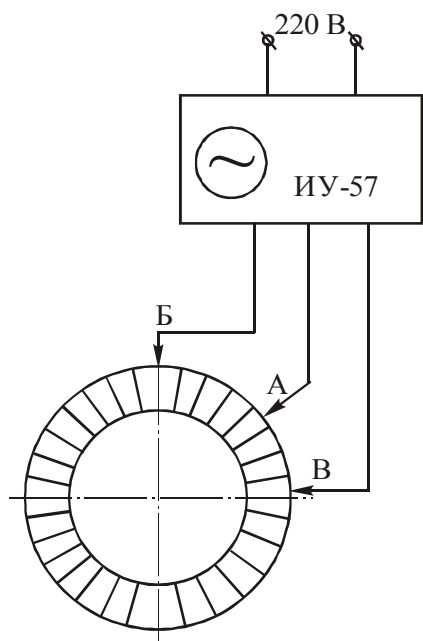


Рис. 3.1. Схема испытания якоря на импульсной установке ИУ-57

Для якорей с волновыми обмотками число коллекторных пластин между центральным и боковым электродами составляет 10—15, а для якорей с петлевыми обмотками 4—7 пластин. Импульс напряжения, поданный на электрод А, вызывает распространение в обе стороны от него двух волн высокого напряжения. Если сопротивления обеих ветвей обмотки одинаковы, то эти волны достигнут боковых электродов одновременно и на экране осциллографа будет видна симметричная синусоида (рис. 3.2, а). Если сопротивления ветвей обмотки неодинаковы, то на экране осциллографа появится всплеск сигнала (рис. 3.2, б, в). Это означает, что на ка-

ком-то участке обмотки, расположенном между центральным и одним из боковых электродов, имеется межвитковое замыкание или обрыв витков.

Уточняют место повреждения специальным щупом с изолированной ручкой. Им замыкают поочередно соседние коллекторные пластины. При замыкании пластин, между которыми имеется виток с поврежденной витковой изоляцией, изображение на экране почти не изменяется. При замыкании щупом коллекторных пластин, между которыми нет витков обмотки с поврежденной изоляцией, изображение на экране будет резко меняться.

Определить пластины, между которыми находится виток обмотки с поврежденной изоляцией, можно при медленном вращении якоря. Когда центральный электрод А попадает между пластинами с межвитковым замыканием, то на экране осциллографа фиксируется всплеск волны вверх и вниз от горизонтали. Известна также импульсная установка для проверки якорей тяговых двигателей, выполненная по проекту А-1840 ПКБ ЦТ (рис. 3.3), которая работает следующим образом.

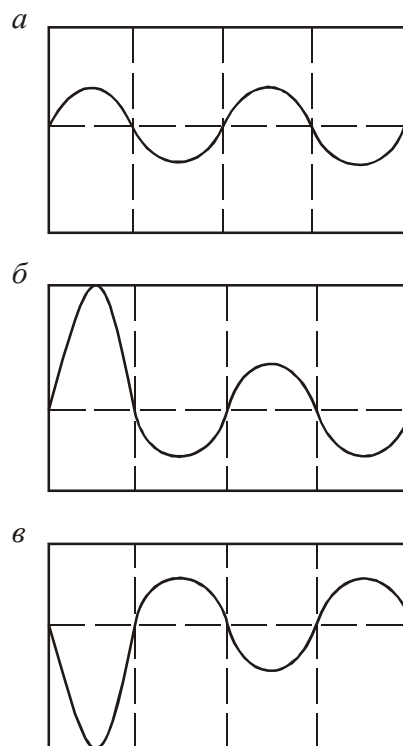


Рис. 3.2. Виды осциллограмм: а — отсутствует межвитковое замыкание; б, в — имеется межвитковое замыкание

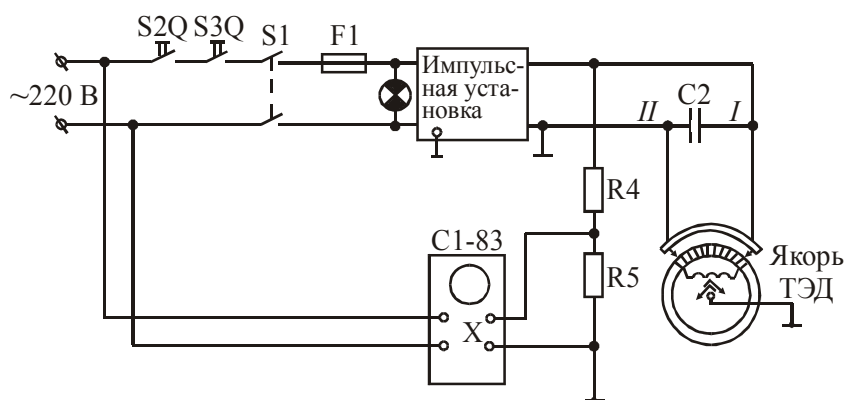


Рис. 3.3. Схема импульсной установки

Питающее напряжение через автотрансформатор Т1 подается на повышающий трансформатор Т2. Напряжение на его выходе можно плавно изменять от 0 до 4 кВ. В положительный полупериод питающего напряжения конденсатор С1 заряжается выпрямленным напряжением через диодную группу VD1 и ограничивающий резистор R2. После повышения напряжения до величины, равной напряжению отпирания цепочки динисторов VD2—VD5, конденсатор С1 разряжается через динисторы, диодную цепь VD6, резистор R3 на колебательный контур, образованный конденсатором С2 и индуктивностью части обмотки проверяемого якоря (рис. 3.4).

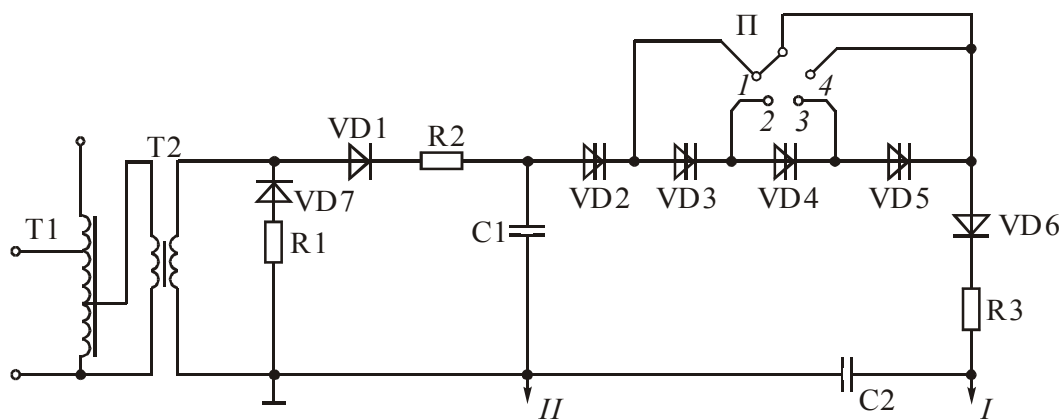


Рис. 3.4. Схема подключения установки к испытуемому якорю

Напряжение разряда конденсатора С1 изменяется от 1 до 4 кВ и зависит от положений переключателя П и рукоятки автотрансформатора Т2.

В положении 1 переключателя П последовательно включено 6 динисторов и напряжение отпирания составляет 1000 В. В положении 2 последовательно соединено 13 динисторов и напряжение отпирания достигает 2000 В. В положениях 3 и 4 включено соответственно 19 и 26 динисторов, напряжение отпирания составляет 3000 и 4000 В.

Импульс напряжения разряда, приложенного к конденсатору С2 и индуктивной части обмотки якоря, приводит к возникновению затухающего колебательного процесса. Его амплитуда и длительность различны для исправной обмотки и обмотки, имеющей межвитковое замыкание, обрыв или замыкание на корпус. В этих случаях амплитуда и длительность колебательного процесса резко уменьшаются, а в случае обрыва цепи обмотки якоря колебательный процесс отсутствует.

Колебательный процесс цепи «конденсатор С2 — индуктивность обмотки якоря» можно наблюдать на экране осциллографа. Сигнал на «Вход Х» осциллографа поступает с делителя R4-R5 (см. рис. 3.3) в соотношении 1:25.

Испытуемый якорь устанавливают на токарный станок, на котором впоследствии его обтачивают. Коллекторные пластины якоря подключают к импульсной установке через контактные щетки, расположенные в изолированном держателе-дуге (между щетками дуги должно быть 7 коллекторных пластин).

Импульсная установка А-1840 располагается на металлическом стеллаже рядом с токарным станком и соединяется с контактной щеткой дуги высоковольтным проводом. Импульсную установку и осциллограф надежно заземляют.

Перед проверкой якорей необходимо провести калибровку импульсной установки. При этом добиваются отчетливого изображения колебательного процесса цепи испытуемого якоря, имеющего исправную обмотку, а также якоря с межвитковым замыканием или замыканием на корпус.

Для калибровки исправный якорь устанавливают на токарный станок, затем ставят защитные щиты и экран, размещают контактные щетки дуги на коллекторных пластинах якоря, включают и настраивают осциллограф.

При замкнутых блокировках S2Q и S3Q, включенном положении выключателя S1 напряжение подается на импульсную установку. Поворотом рукоятки трансформатора Т1 плавно повышают напряжение установки до уровня, при котором на экране возникает изображение периодически повторяющегося затухающего колебательного процесса. Его следует заосциллографировать, в дальнейшем это изображение будет служить образцом при проведении испытаний якорей (рис. 3.5, а).

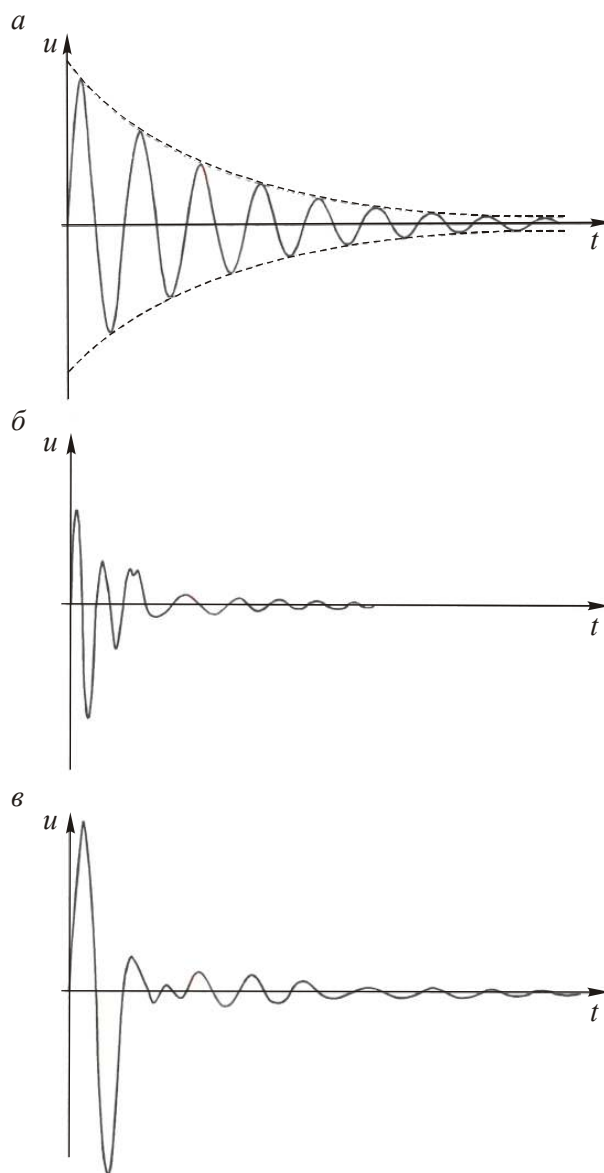


Рис. 3.5. Осциллограммы колебательных процессов: а — эталонное изображение; б — осциллограмма при межвитковом замыкании; в — осциллограмма при замыкании на корпус

Чтобы получить образец осциллограммы в случае межвиткового замыкания (рис. 3.5, б), необходимо замкнуть между собой две любые смежные пластины из находящихся между контактными щетками дуги. При этом, чем ближе замкнутые пластины расположены к щетке, соединенной с проводом I импульсной установки, тем более ярко будут выражены изменения осциллограммы: заметно уменьшаются амплитуда сигнала и длительность колебательного процесса.

Так же можно получить образец осциллограммы при замыкании на корпус одной из пластин (рис. 3.5, в).

При подготовке определяют оптимальные значения напряжения, при которых сигналы на экране осциллографа явно свидетельствуют о наличии дефекта. После проведения калибровки и получения образцов осциллограмм установку вводят в эксплуатацию.

Проверку якорей на отсутствие замыканий и обрывов проводят следующим образом. После закрепления якоря на токарном станке, установки защитных приспособлений и включения устройства измеряют напряжение и контролируют колебательный процесс на экране при вращении якоря.

Если в ходе проверки полученная осциллограмма свидетельствует о межвитковом замыкании, то определяют поврежденную секцию обмотки, учитывая следующие особенности.

При вращении якоря по часовой стрелке (см. рис. 3.3) признак замыкания на осциллограмме исчез или почти не заметен — это означает, что замыкание произошло в секции, коллекторные пластины которой расположены левее контактной щетки с проводом II .

При вращении якоря против часовой стрелки признак замыкания на осциллограмме усилился — это означает, что замыкание произошло в секции, коллекторные пластины которой приблизились к контактной щетке, соединенной с проводом I .

Таким образом, вращая якорь в ту или иную сторону относительно дуги с контактными щетками, можно определить секцию обмотки якоря, имеющую межвитковое замыкание или замыкание на корпус.

По методу индуктированного напряжения работает бесконтактное импульсное устройство (рис. 3.6), созданное под руководством В.В. Шумейко. Устройство содержит генератор импульсного напряжения (ГИН), индуктор I , выполненный в виде витка размером, равным шагу по пазам u_p , и индуктивный датчик $D1$.

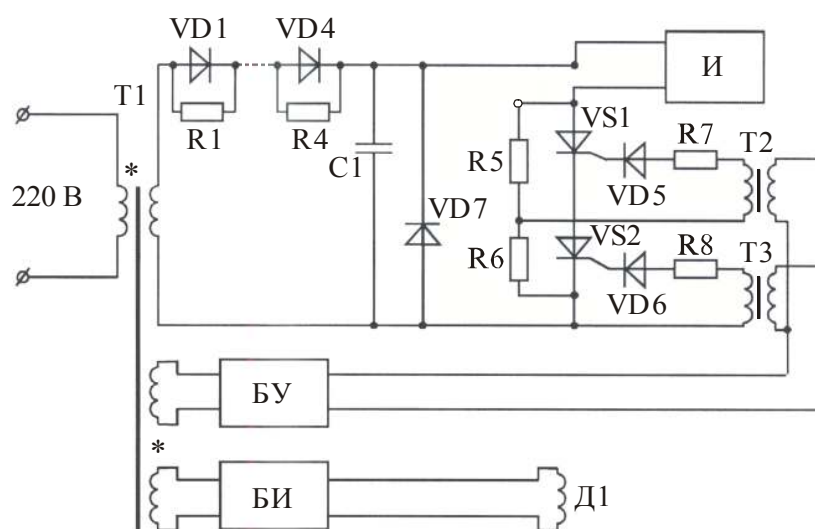


Рис. 3.6. Схема устройства для определения наличия межвитковых замыканий в обмотке якоря

Основными элементами ГИН являются повышающий трансформатор Т1, диоды VD1—VD4, конденсатор С1 и импульсные тиристоры VS1—VS2.

Устройство работает следующим образом. В положительный полупериод от питающей сети через диоды VD1—VD4 заряжается конденсатор С1 до напряжения 1500 В. В отрицательный полупериод в блоке управления БУ формируются отпирающие импульсы, которые поступают на управляющие электроды тиристоров VS1—VS2. После открытия тиристоров VS1—VS2 конденсатор С1 разряжается через индуктор. Таким образом, генератор выдает импульсы с частотой 50 Гц, при этом межвитковое напряжение составляет 350—400 В.

Для выявления межвиткового замыкания в обмотке якорь устанавливают на специальную подставку над импульсным устройством ИУ (рис. 3.7) с зазором 5—10 мм и поворачивают на пол-оборота. Если при этом сигнальная лампа, находящаяся в блоке индикации, не загорается, то в обмотке якоря нет межвиткового замыкания. При наличии межвиткового замыкания сигнал в датчике Д1 (см. рис. 3.6) увеличивается в 3—5 раз, что приводит к загоранию сигнальной лампы.

В условиях депо, где обмотки якорей не ремонтируют, для выявления дефектных якорей достаточно определить только наличие межвиткового замыкания. На заводах в процессе ремонта и изготовления новых обмоток якорей требуется пооперационный контроль состояния изоляции обмотки. В таких условиях необходимо выявить межвитковое замыкание и определить его место. Для этой цели в блок индикации БИ введен стрелочный индикатор-микроамперметр. При загорании сигнальной лампы проворачивание якоря прекращают в момент максимального показания индикатора, место межвиткового замыкания фиксируют по указателю стрелки.

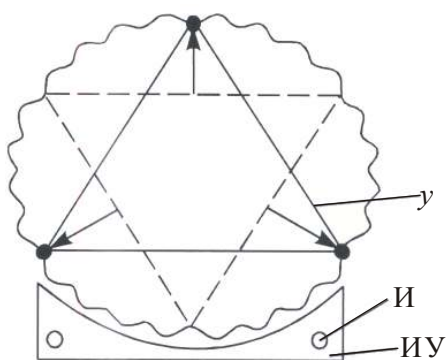


Рис. 3.7. Схема установки индуктора

В шестиполюсных машинах (НБ-418К и др.) межвитковое замыкание будет находиться в одном из трех мест, расположенных равномерно на расстоянии шага уравнивателей u по коллектору, показанных на рис. 3.7 стрелками. Пользуясь отверткой с изолированной ручкой, по отсутствию искры между двумя коллекторными пластинами, отмеченными стрелками, определяют точное место межвиткового замыкания.

Для выявления межвитковых коротких замыканий в якорях может быть также использован индикатор межвитковых замыканий ИМВЗ-3. Проверка выполняется при воздействии на изоляцию номинальных рабочих или испытательных значений межвиткового напряжения.

Технические характеристики индикатора ИМВЗ-3

Диапазон испытательных напряжений, В	до 500
Питание, В	от сети 220
Вес, кг	2,5
Габариты, мм	220×100×300

Дефекты обмоток якоря приводят также к появлению пульсирующих моментов, действующих на якорь с частотами, кратными частоте его вращения. Это позволяет использовать в качестве диагностического параметра величину вибрации тягового двигателя, которая может быть оценена с помощью современных средств виброакустической диагностики, имеющихся в локомотивных депо. Для этого могут быть использованы диагностические комплексы ВЕКТОР-2, ВЕКТОР-2000, ПРОГНОЗ-1 и прибор ИРП-12.

4. ВЫЯВЛЕНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ПОЛЮСНЫХ КАТУШКАХ

Известные методы выявления межвитковых замыканий в полюсных катушках тяговых двигателей не нашли применения в депо из-за малой их эффективности. Недостатком этих методов является то, что для обнаружения дефектов в катушках требуется обязательная разборка магнитной системы остовов двигателей, которая связана с большой затратой времени и усложняет проверку.

Для снижения трудоемкости проверки и увеличения производительности труда ВНИИЖТом и ПКБ ЦТ создано малогабаритное импульсное устройство,

позволяющее эффективно выявлять межвитковое замыкание в полюсных катушках без разборки магнитной системы остова. Оно состоит из генератора импульсного напряжения (ГИН) и индикатора.

ГИН содержит ограничивающий конденсатор $C1$ (рис. 4.1, *a*), импульсный трансформатор $T1$, выпрямитель на диодах $VD1—VD4$, тиристор $VS1$, переключатель напряжения, состоящий из резистора $R4$ и выключателя $B2$, и формирователь управляющих импульсов на элементах $R3, VD5, C2, VD7$.

При включении ГИН через резисторы $R4$ и $R5$ заряжается конденсатор $C2$ до напряжения переключения динистора $VD5$. После переключения динистора $VD5$ конденсатор $C2$ начнет разряжаться через резистор $R3$ и управляющий электрод тиристора $VS1$. Тиристор открывается, обеспечивая через трансформатор $T1$ быстрый заряд конденсатора $C1$. Во второй полупериод происходит разряд конденсатора $C1$ также через трансформатор $T1$. В результате на выходе ГИН получается разнополярное импульсное напряжение с частотой следования 50 Гц и длительностью 200 мкс.

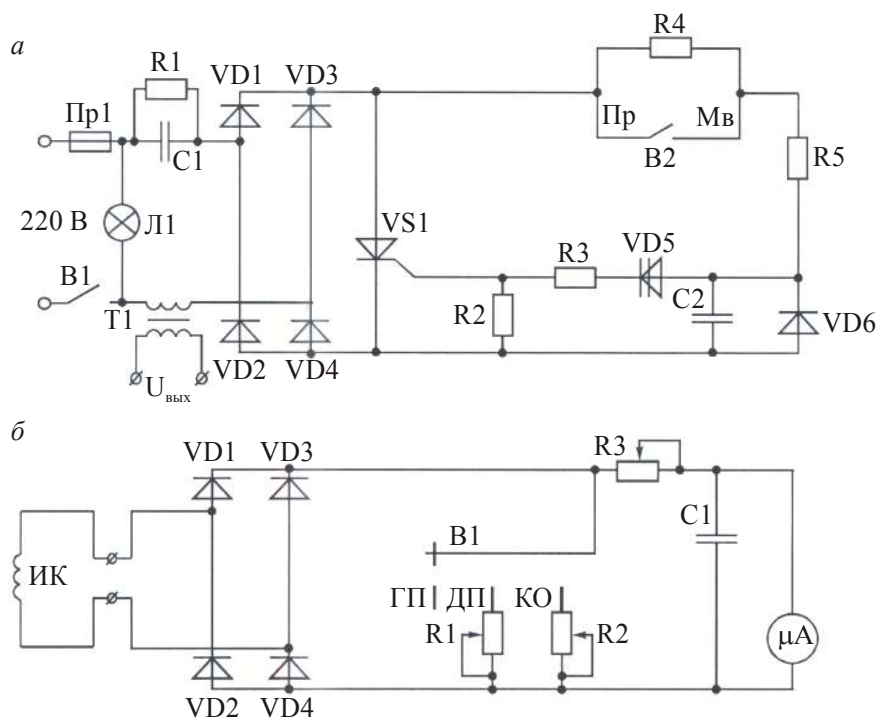


Рис. 4.1. Схемы устройства для определения межвитковых замыканий в полюсных катушках:

a — генератор импульсного напряжения; *б* — индикатор

Индикатор межвитковых замыканий (рис. 4.1, *б*) включает в себя измерительную катушку ИК, выпрямитель на диодах $VD1—VD4$, переключатель режимов $B1$ с резисторами $R1$ и $R2$, резистор $R3$ для регулировки чувствительности, конденсатор $C1$ и микроамперметр. ИК представляет собой плоскую прямоугольную катушку с внутренними размерами 160×65 мм, намотанную проводом ПЭВ диаметром 0,2 мм, и содержит 500 витков.

Наличие межвитковых замыканий в полюсных катушках определяют по значению эдс, наведенной в измерительной катушке ИК.

Для выявления межвитковых замыканий в катушках главных полюсов переключатель В2 ставят в положение МВ (межвитковое замыкание), а ГИН подсоединяют к выводам К и КК (рис. 4.2, а). Пользуясь индикатором, переключатель режимов В1 устанавливают в положение ГП (главные полюсы), измеряют эдс, для чего измерительную катушку прикладывают к середине каждого полюса.

При отсутствии межвитковых замыканий показания индикатора на всех полюсах будут отличаться незначительно. Показание, заниженное по сравнению со средним значением на 50 % и более на каком-нибудь из полюсов, будет указывать на наличие межвиткового замыкания в катушке данного полюса.

Метод выявления межвитковых замыканий в катушках дополнительных полюсов и компенсационной обмотке отличается от метода выявления межвитковых замыканий в катушках главных полюсов и требует особого пояснения. Дело в том, что компенсационная обмотка не имеет отдельных выводов, а соединена последовательно и поочередно с катушкой дополнительных полюсов внутри остова (рис. 4.2, б). Поэтому при подключении напряжения на вывод ЯЯ и свободный вывод дополнительных полюсов одновременно с дополнительными полюсами подключают и компенсационную обмотку.

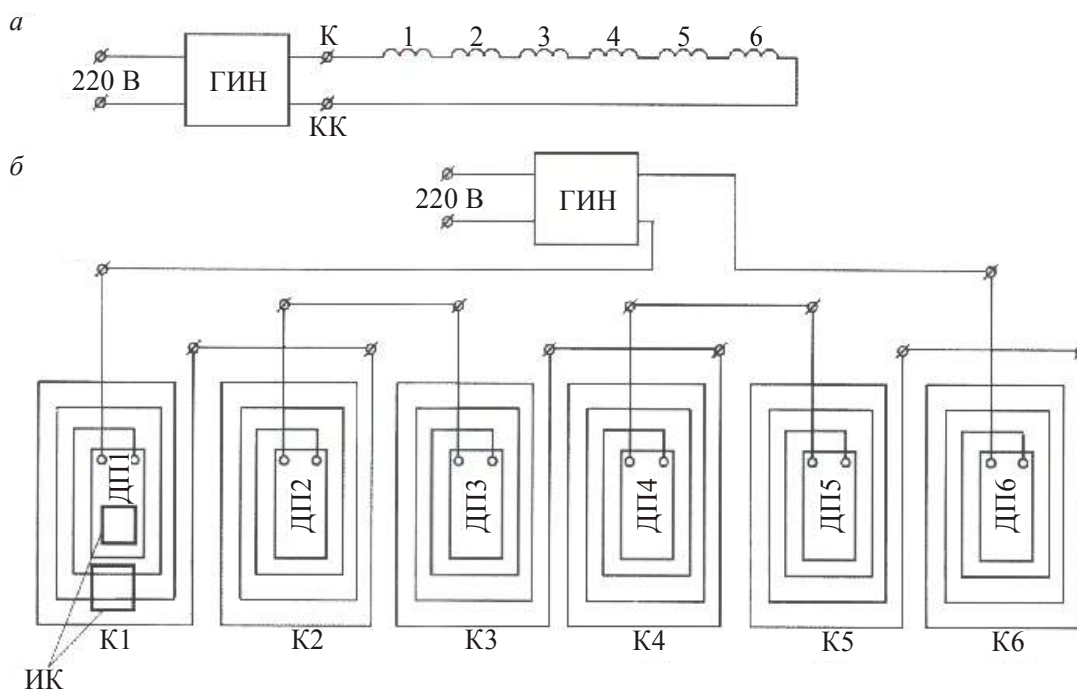


Рис. 4.2. Схемы включения ГИН для обнаружения межвитковых замыканий в катушках: *а* — главных полюсов; *б* — дополнительных полюсов и компенсационной обмотки

Межвитковые замыкания удобнее выявлять сначала в катушках дополнительных полюсов, затем в компенсационной обмотке.

После подключения ГИН к выводу ЯЯ и к другому концу катушки дополнительных полюсов, подсоединенному к щеткодержателю, переключатель режимов В1 индикатора ставят в положение ДП (дополнительные полюсы), а измерительную катушку прикладывают к каждому полюсному сердечнику вдоль его оси, например к ДП1 (см. рис. 4.2, б).

При отсутствии межвитковых замыканий показания индикатора на всех полюсах будут практически одинаковы. Занижение показаний более чем на 30 % на каком-нибудь из полюсов будет указывать на наличие межвиткового замыкания в катушке данного полюса или в катушке компенсационной обмотки, охватывающей этот полюс.

Для определения конкретного места межвиткового замыкания переключатель режимов В1 индикатора ставят в положение КО (компенсационная обмотка), а измерительную катушку располагают вдоль витков лобовой части компенсационной обмотки, например К1. Отсутствие показаний в этой части катушки К1 указывает на наличие межвиткового замыкания в ней, а при наличии показаний межвитковое замыкание следует искать в катушке ДП1.

5. НАХОЖДЕНИЕ МЕСТА ПРОБОЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК НА КОРПУС

Одним из наиболее распространенных видов повреждения тяговых двигателей в условиях эксплуатации является пробой изоляции полюсных катушек на корпус. Наиболее известным способом нахождения мест пробоя корпусной изоляции обмоток электрических машин является *прожигание поврежденной изоляции путем пропускания постоянного тока или переменного тока промышленной частоты*.

В некоторых депо для прожигания используют сварочные трансформаторы или другие источники питания. Однако при металлических замыканиях на корпус, когда нет внешних проявлений (дыма, искры), обнаружить место пробоя изоляции этим способом невозможно. В таких случаях применяют способ, при котором *поочередно отделяют полюсные катушки от остова*, для чего ослабляют болты, крепящие полюсы, каждый раз определяя место пробоя мегаомметром. Указанные способы требуют больших затрат времени и значительного потребления энергии.

В настоящее время во многих депо место пробоя корпусной изоляции полюсных катушек находят методом *исключения*. Для этого нарушают изоляцию и рассоединяют межкатушечные соединения до нахождения того полюса, в катушке которого имеется пробой.

Очень эффективным способом определения места пробоя оказался *способ подачи в полюсные катушки импульсного напряжения*. Для этой цели используют то же устройство, что и при выявлении межвитковых замыканий, для чего в полюсных катушках главных полюсов один конец выхода ГИН подсоединяют к проводам К или КК, а другой конец к корпусу (рис. 5.1, а).

Пользуясь индикатором, переключатель режимов ставят в положение ГП, а измерительной катушкой касаются середины каждого полюса. Место пробоя определяют по появлению или исчезновению показаний индикатора.

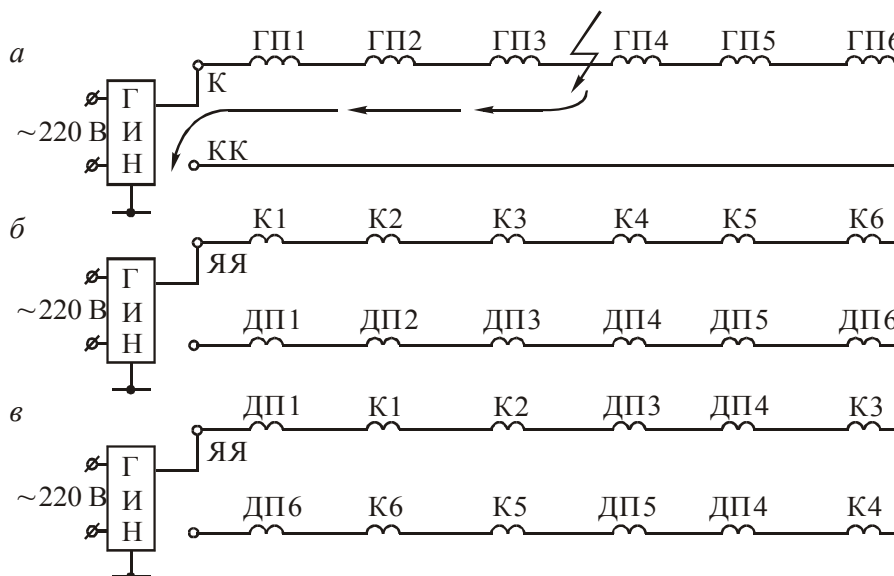


Рис. 5.1. Схемы определения мест пробоя

Чтобы избежать ошибок в измерении, следует начинать с полюсной катушки ГП1 или ГП6. Если пробой изоляции произошел в месте, показанном на рис. 5.1, а, то цепь тока замкнется по пути, указанному стрелками. В этом случае индикатор отметит показания на катушках ГП1, ГП2 и ГП3, а на катушках ГП4, ГП5 и ГП6 показаний не будет.

Для нахождения места пробоя в катушках дополнительных полюсов и компенсационной обмотки один конец ГИН подсоединяют к выводу ЯЯ, а другой к корпусу. Переключатель режимов В1 (см. рис. 4.2, б) индикатора устанавливают в положения ДП и КО соответственно.

При нахождении места пробоя следует руководствоваться схемами межкатушечных соединений (рис. 5.1, б и в). Чтобы избежать ошибок, проверку надо начинать с катушек К1 или ДП6 у двигателей НБ-412К и ДП1, ДП6 у двигателей НБ-418К и ТЛ-2К. Измерительную катушку прикладывают к середине дополнительного полюса и лобовым частям катушки компенсационной обмотки, как при нахождении межвитковых замыканий.

В тех случаях, когда при пробое на корпус нет металлического соединения, изоляцию требуется прожигать. Для этого в генераторе предусмотрен повышающий трансформатор Т1 (см. рис. 4.2, а). Сердечник трансформатора выполнен из пермаллоя, внутренний его диаметр $d_{\text{вн}} = 100$ мм, наружный $d_{\text{н}} = 170$ мм. Первичная обмотка ($W1 = 100$) намотана проводом ПЭВ диаметром 1,1 мм, вторичная ($W2 = 550$) — проводом ПБД диаметром 0,55 мм. Обмотки должны быть изолированы относительно друг друга на рабочее напряжение 3 кВ.

Для диагностирования основных узлов электрической машины как в разобранном виде, так и в сборе может быть рекомендован комплект проверки электрических машин постоянного тока КПЭМ. С помощью комплекта можно производить:

- выявление межвитковых замыканий в обмотках якорей, главных и добавочных полюсов;
- нахождение места пробоя изоляции полюсных катушек на корпус;
- настройку щеток на геометрическую нейтраль.

В ряде локомотивных депо начато использование автоматизированных систем контроля, диагностики и настройки электрических цепей электровозов.

К таким устройствам относится система контроля и диагностики «ДОКТОР-030».

Аппаратные средства системы «ДОКТОР-030» позволяют автоматически измерять сопротивление изоляции, коэффициент абсорбции и определять неисправности тягового двигателя. Время экспресс-контроля оборудования составляет 10—15 минут.

6. КОНТРОЛЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Специалисты Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта и электровозоремонтного завода разработали стенд для контроля паяных соединений обмоток якорей тяговых двигателей (рис. 6.1). Стенд можно применять при контроле контактных соединений обмотки якоря с коллектором тягового двигателя пульсирующего тока НБ-418К6.

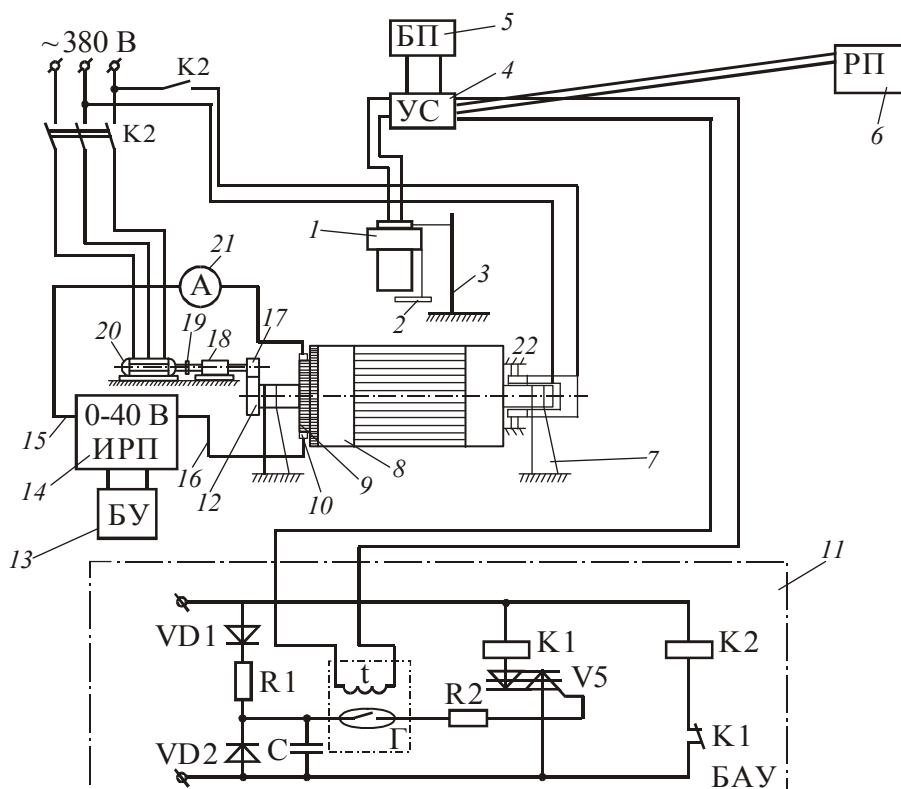


Рис. 6.1. Функциональная схема стенда

Стенд содержит измеритель уровня инфракрасного излучения (ИК) в виде приемника ИК-лучей 1 с модулятором 2. Приемник 1 соединен через усилитель 4, подключенный к блоку питания 5, с регистрирующим прибором 6 и блоком автоматического управления (БАУ) 11. Контролируемый якорь 8 связан валом 19 через редуктор 18 с приводным двигателем 20. Редуктор 18 через зубчатую передачу 17 соединен с валом 12 якоря, установленного на кантователе 7.

На коллекторе расположены щетки 10, соединенные проводниками 15 и 16 через амперметр 21 с источником питания 14. Тот в свою очередь связан с блоком управления 13. Приемник ИК-лучей установлен на расстоянии 20—50 мм от петушков коллектора 9 при помощи штатива 3.

Источник питания 14 представляет собой диодно-тиристорный регулятор. Модулятор 2 — это диск или трубка с отверстиями, изготовленные из материала, не пропускающего ИК-лучи.

Контролируемый перед КР-1 якорь 8, установленный на кантователе 7, с помощью приводного двигателя 20 через редуктор 18 и зубчатую передачу 17 приводится во вращение с небольшой частотой. К коллектору 9 якоря через шесть щеток 10 от источника 14 подводится постоянное напряжение. Тепловой поток от нагретых током петушков коллектора 9 передается к приемнику 1 че-

рез вращающийся механический модулятор 2 (на рис. 6.1 привод вращения модулятора не показан).

Напряжение на выходе приемника практически пропорционально температуре поверхности петушков. Сигнал, поступающий от приемника ИК-лучей, усиливается и регистрируется прибором 6, показывающим уровень принимаемых и усиленных ИК-лучей в местах паяных соединений петушков. Приемник 1 вместе с механическим модулятором 2, усилителем 4 и регистрирующим прибором 6 позволяет проводить бесконтактный сканирующий контроль поверхности петушков коллектора 9.

Проверку состояния паяных соединений на стенде можно начинать уже после 7—10 минут прогрева обмотки якоря. При отклонении стрелки микроамперметра от среднего уровня тока сигнала на 10 мкА и более обнаруживали петушки с поврежденными в эксплуатации паяными соединениями. Функциональная схема электронного блока управления БУ с источником питания показана на рис. 6.2. Обозначения элементов в ней приведены в табл. 6.1.

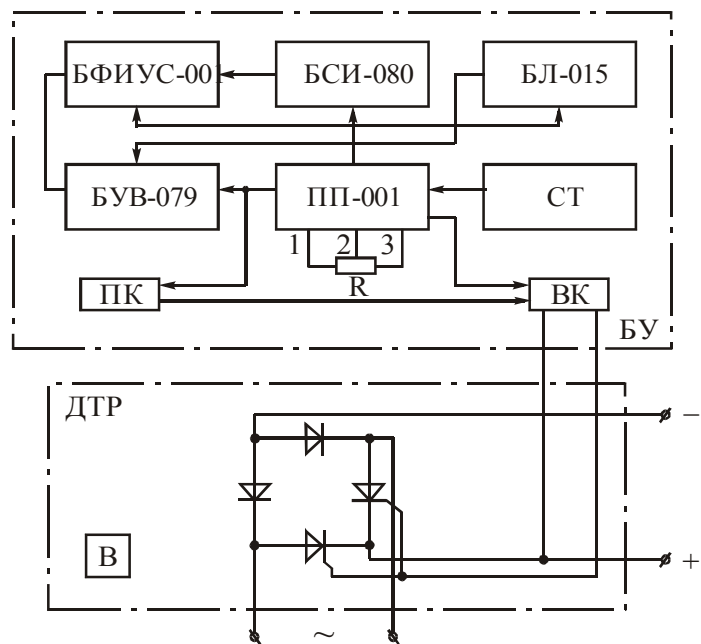


Рис. 6.2. Функциональная схема электронного блока управления диодно-тиристорным регулятором

Таблица 6.1

Обозначения элементов электронного блока управления

Наименование	Обозначение
Блок управления	БУ
Блок фазового управления	БФИУС-001
Блок синхронизации импульсов	БСИ-080
Блок логики	БЛ-015
Блок управления выходных сигналов	БУВ-079
Панель питания	ПП-001
Предварительный каскад	ПК
Выходной каскад	ВК
Феррорезонансный стабилизатор С-075	СТ
Диодно-тиристорный регулятор	ДТР
Вентилятор для охлаждения силовых диодов и тиристоров	В

Действие блока управления БУ 13 диодно-тиристорным регулятором ДТР соответствует принципу работы аналогичных блоков серийных электровозов. Блок фазового управления формирует импульсы, фаза которых изменяется в зависимости от напряжения управления, регулируемого резистором R.

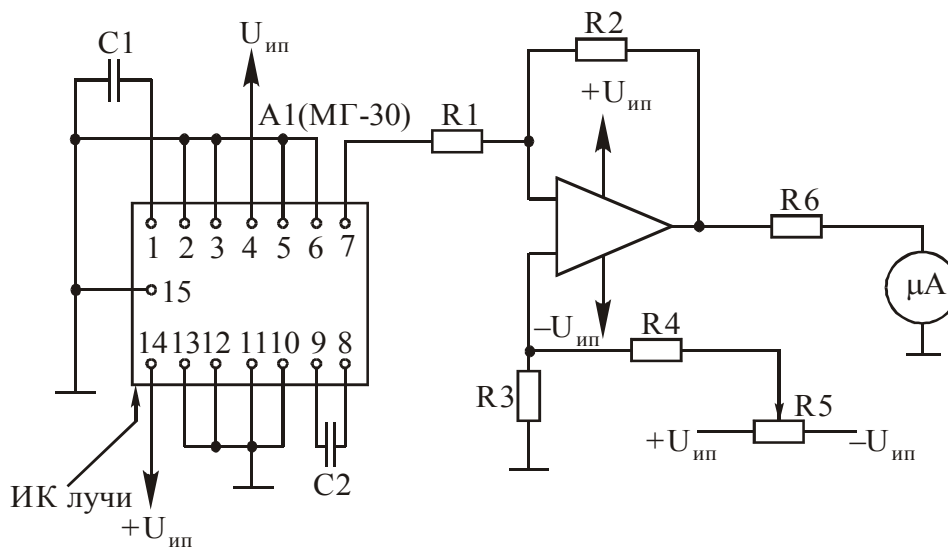


Рис. 6.3. Схема приемника инфракрасных лучей

Принципиальная схема приемника ИК-излучения с усилителем А1 и микроамперметром μA представлена на рис. 6.3. В качестве приемника применен пироэлектрический приемник оптического излучения МГ-30. Он предназначен для регистрации и измерения энергии модулированного излучения в диапазоне длин волн 2—20 мкм. Основные технические данные приемника МГ-30 (по ОДО397.046 ТУ) приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

**Основные технические данные пироэлектрического приемника
оптического излучения типа МГ-30**

Наименование	Величина
Вольтовая чувствительность, В/Вт	более 1000
Напряжение источника питания, В	+12, -12
Температура абсолютно черного тела, °С	300±2
Частота модуляции, Гц	2501±25
Температура окружающей среды, °С	20±5
Сопротивление нагрузки, кОм	10

Блок автоматического управления (см. рис. 6.1) служит для отключения питания двигателя 20 привода кантователя (контактор К1) и подачи питания на электромагнитный тормоз 22 вала контролируемого якоря (контактор К2). С этой целью усилитель с дополнительным инверсным выходом при прохождении поврежденного паяного соединения под приемником ИК-лучей 1 выдает на геркон Г блока (БАУ) 11 нуль-сигнал. Тогда контролируемый якорь с помощью данного блока останавливается (контактор К1 отключен, К2 для торможения включен), приемник ИК-лучей на штативе 3 отводится в сторону. В данном случае можно вручную пропаивать поврежденное место прямо на кантователе 7.

Для проверки качества пайки петушков коллектора тяговых двигателей электровоза ВЛ-80 при ремонте ТР-3 может быть использовано устройство для проверки качества пайки УКП-1. Устройство позволяет измерять сопротивление цепи между двумя соседними пластинами коллектора. В устройстве предусмотрен режим установки порогового значения сопротивления, превышение которого сигнализирует о некачественной пайке якорной обмотки к пластинам коллектора и режим целостности проверяемой цепи. Диапазон измерения сопротивления — $0 \div 10$ МОм.

7. ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК

Активное сопротивление обмоток двигателя проверяют прибором Р3009 по схеме двойного моста или методом вольтметра-амперметра, используя вольтметры М1106 и амперметры М1104 класса точности 0,2.

Увеличение активного сопротивления обмоток остова может быть вызвано выплавлением кабелей в патронах или наконечниках, обрывами жил кабелей, нарушениями контакта в межкатушечных соединениях, а также дефектами в полюсных катушках. Уточнить место повреждения можно, пропуская через проверяемую цепь ток, равный двойному часовому, в течение 5—10 мин. Поврежденное место будет иметь повышенный нагрев.

8. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЯКОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА СОБРАННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Якорные подшипники служат для поддержания вала якоря.

Количество порч и неисправностей на 1 млн км пробега колеблется от 0,44 до 3,68 для якорных подшипников электровозов.

Большое количество порч и неисправностей якорных подшипников обусловлено тяжелыми условиями их работы. Тяжелые условия работы якорных подшипников определяются сравнительно высокими динамическими нагрузками, большим числом оборотов якоря, перекосами, возникающими вследствие отклонений, допускаемых при монтаже и изготовлении деталей, сопрягаемых с подшипниками, и в результате упругого прогиба вала якоря, а также нагревом деталей, обусловленным внутренним трением в самом подшипнике, притоком тепла от обмоток двигателя и другими факторами.

Важным условием, обуславливающим надежную работу подшипника, является посадка внутреннего кольца на вал с гарантированным натягом. Невыполнение этого условия приводит к тому, что при максимальном натяге внутренних колец на валах радиальный зазор может отсутствовать и возможно появление преднатяга в подшипнике. В этих случаях он греется, изнашивается, происходит разрушение сепаратора и заклинивание подшипника. Также следует учитывать, что на величину потерь трения и на тепловой режим подшипника весьма сильно влияет степень заполнения корпуса при постоянном объеме смазки. Избыток смазки так же, как и ее недостаток, всегда вызывает нагрев подшипников.

В якорных подшипниках некоторые дефекты появляются как следствие изнашивания и развития усталостных микротрещин. Износ возникает из-за проскальзывания тел качения по кольцу, что значительно возрастает при загрязнении, ухудшении качества смазки, ржавлении. Вследствие циклических нагрузок возникает явление усталости металла как на рабочих поверхностях внутреннего и наружного колец, так и на сепараторе подшипника. Периодические деформации приводят к образованию микротрещин и отслаиванию металла.

Для определения состояния подшипников в локомотивных депо используются методы виброакустической диагностики.

Вибрация, возбуждаемая подшипниками качения, обусловлена в первую очередь дефектами изготовления и монтажа, а также дефектами, возникающими в процессе эксплуатации.

Физическим носителем информации о состоянии элементов подшипника в виброакустической диагностике служат упругие волны, которые возбуждаются в подшипнике соударением этих элементов.

Наряду с методами виброакустической диагностики используется способ акустической эмиссии в ультразвуковой полосе частот.

На этом принципе работает индикатор ресурса подшипников ИРП-12, который предназначен для проверки на работающем оборудовании технического состояния подшипников качения:

- степени износа подшипников в режимах экспресс контроля;
- наличие смазки в подшипниковых узлах;
- правильность сборки подшипниковых узлов при изготовлении и ремонте.

Прибор состоит из пьезоэлектрического датчика, присоединительного кабеля со штекером, измерительного блока, корпус которого изготовлен из алюминиевого сплава. На корпусе измерительного блока имеется гнездо, кнопка «включено — выключено», кнопка ПИК для фиксации наибольших показаний на дисплее, отсек источников питания с крышкой. Масса прибора (без источника питания) не более 0,4 кг. Устройство и принцип работы прибора иллюстрируется функциональной схемой (рис. 8.1).

Схема обеспечивает обработку ультразвуковых сигналов от дефектов всех частей подшипника и оценку их совокупного значения в виде обобщенного критерия степени износа подшипника в балльной форме. Критерии степени износа подшипников в цифровой форме выводятся на дисплей. Оценка состояния износа определяется путем сравнения фактического показания дисплея при проверке технического состояния подшипника с данными, полученными экспериментально по различным дефектам якорных подшипников.

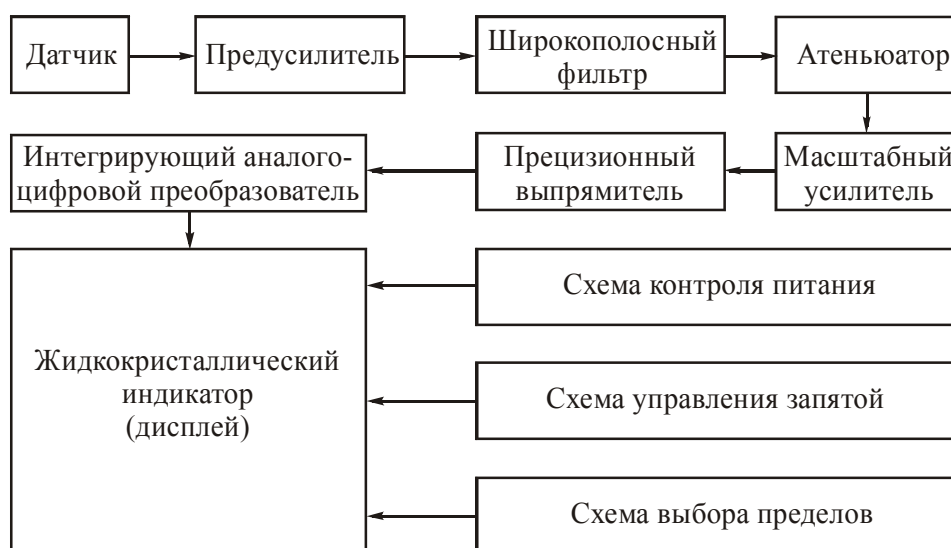


Рис. 8.1. Функциональная схема прибора ИРП-12

Зависимость между техническим состоянием (степенью износа якорного подшипника) и показанием дисплея D прибора ИРП-12 от времени работы при номинальной нагрузке подшипника представлена на рис. 8.2.

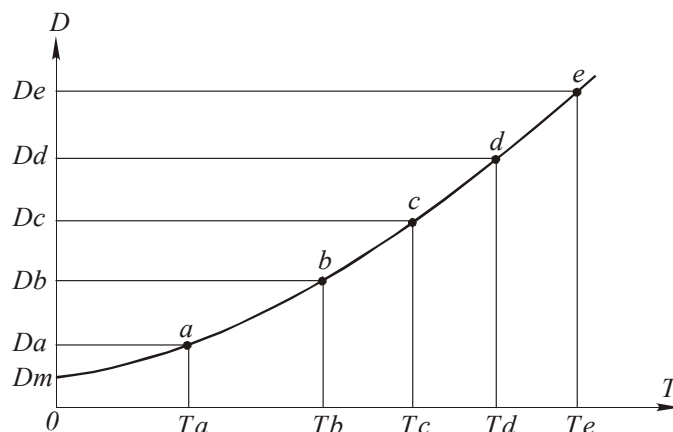


Рис. 8.2. Зависимость между состоянием подшипника и показаниями дисплея прибора ИРП-12

Кривая $Dm-a-b-c-d-e$ в координатах D (показания дисплея) и T (суммарное время работы в часах с момента установки подшипника при рабочей нагрузке оборудования) показывает степень износа подшипника от времени. Точки кривой соответствуют следующим состояниям подшипника (если дефекты смазки и монтажа отсутствуют):

- Dm — исходное состояние;
- точка a — накопленные усталостные микротрещины в поверхностном и приповерхностном слоях тел и дорожек качения приводят к микровыкрашиваниям;
- участок $a-b$ — развитие поверхностных трещин, мелких выкрашиваний, зарождение пятен выкрашивания на телах и дорожках качения;
- участок $b-c$ — развитие трещин на телах и дорожках качения, приводящих в дальнейшем к выкрашиванию металла с образованием раковин, начало интенсивного износа сепаратора, рост пятен выкрашивания;
- участок $c-d$ — образование мелких раковин, развитие трещин до сквозных на кольцах подшипника;
- точка e — работа подшипника с крупными раковинами, трещинами, генерация значительной вибрации до заклинивания с большим тепловыделением;
- точка d — вероятное разрушение сепаратора.

Область кривой $Dm-a$ определяет зону устойчивой работы подшипника, $a-c$ — область возможной эксплуатации, а переход показаний прибора в зону $c-e$ сигнализирует о недопустимости дальнейшей эксплуатации. Для каждого конкретного

подшипникового узла кривая $D(T)$ снимается экспериментально. На ней устанавливаются границы областей износа.

Прибор работает следующим образом. Пьезодатчик включенного прибора прикладывается к наружной поверхности подшипникового узла в месте нахождения подшипника. Акустико-эмиссионный сигнал от работающего подшипника в полосе частот 20—300 кГц, несущий информацию об изношенных дефектах подшипника, после обработки в балльной цифровой форме выводится на дисплей.

С использованием компьютерных технологий работают диагностические комплексы ВЕКТОР-2000, ВЕКТОР-2 (ПРИЗ) и ПРОГНОЗ-1.

Программно-методические комплексы виброакустической диагностики (ПМК-ВД), ВЕКТОР-2000, ВЕКТОР-2 (ПРИЗ) предназначены для:

- контроля технического состояния подшипников качения после их монтажа на локомотиве и в процессе эксплуатации;
- раннего обнаружения дефектов подшипниковых узлов с определением вида и величины всех 12 возможных дефектов подшипника;
- контроля за развитием дефектов вплоть до предаварийного состояния или замены подшипника с максимально возможными интервалами между измерениями;
- экспресс-прогноза технического состояния подшипников качения по однократным или периодическим измерениям вибрации для назначения сроков технического обслуживания или ремонта;
- накопления и хранения информации о состоянии подшипников качения в процессе эксплуатации.

Программно-методическое обеспечение виброакустического комплекса позволяет производить:

- автоматическую обработку результатов измерений вибрации виброанализатором с определением значений диагностических параметров и выводом их на экран монитора;
- автоматическую идентификацию всех обнаруженных из 12 основных дефектов подшипников качения с указанием их глубины;
- автоматическое определение рекомендованных пороговых значений для каждого вида дефекта с возможностью их коррекции по результатам анализа накопленной пользователем информации;
- автоматическое определение гарантированного срока эксплуатации подшипника до 20 % от его среднего ресурса (при отсутствии опасных дефектов);

- выдачу рекомендаций по устранению дефектов или замене подшипника при обнаружении опасных дефектов;
- диагностирование неограниченного количества подшипников, формирование и корректировку баз данных;
- ввод в базу данных информации о подшипниках с ее автоматической корректировкой;
- автоматический поиск ошибок и проверка совместимости результатов периодических измерений вибрации;
- детальное диагностирование подшипника в автоматическом режиме с выводом промежуточных результатов на экран монитора;
- подробный анализ спектров огибающей в неавтоматическом режиме;
- внесение в базу данных дополнительной информации;
- вывод на экран монитора или печатающее устройство необходимой документации;
- коррекцию данных подшипников с их последующим автоматическим или ручным передиагностированием по имеющимся в базе данных спектрам огибающей вибрации.

Структура программно-методического комплекса виброакустической диагностики представлена на рис. 8.3.

Для организации виброакустического комплекса необходимы следующие аппаратные средства: спектроанализаторы — сборщики данных типа PL-36, 2526 «Брюль и Кьер», ВЕКТОР-2000 (комплекс на базе компьютера Portable, персональный компьютер IBM PC/AT не менее 486), акселерометр.

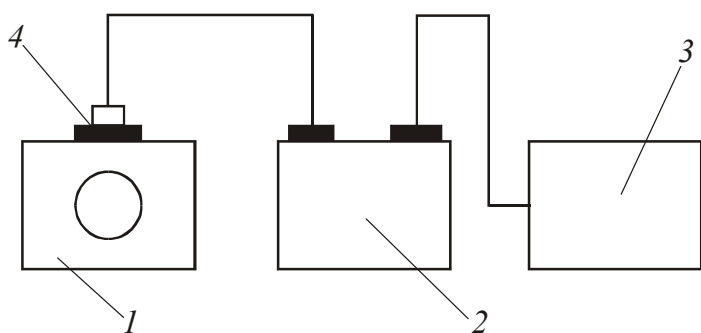


Рис. 8.3. Программно-методический комплекс виброакустической диагностики:

- 1 — испытуемый объект; 2 — спектроанализатор;
3 — персональный компьютер с программным обеспечением; 4 — акселерометр

В отделе ЭВМ Центра внедрения новой техники и технологий «Транспорт» МПС России (г. Омск) совместно с ЗАО «ВАСТ» (г. Санкт-Петербург) в 1997 г. был разработан комплекс оперативной вибродиагностики роторных механизмов ПРОГНОЗ-1. Комплекс предназначен для определения технического состояния и остаточного ресурса подшипников каче-

ния и зубчатых передач путем измерения, обработки, регистрации и анализа сигналов вибрации и частоты вращения механических узлов после проведения одного цикла измерений. В состав комплекса вибродиагностики входит IBM PC совместимый компьютер типа Portable (для переносного варианта) или компьютер с монитором на электронно-лучевой трубке для стационарного варианта, имеющий процессор 486 DX или выше, плата L1250f, адаптер L1250f, датчик вибрации, датчик оборотов, электронный ключ, разъемы и соединительные кабели.

Плата L1250f обеспечивает:

- установку дискретных значений коэффициента усиления тракта: 1, 2, 5;
- преобразование сигнала в цифровую форму;
- цифровую обработку входных сигналов (быстрое преобразование Фурье (БПФ), фильтрацию, выделение огибающей);
- обмен информацией с компьютером.

Адаптер обеспечивает:

- подключение датчика вибрации к расположенному на плате усилителю заряда;
- подключение датчика оборотов;
- подключение питания и коммутаций восьми датчиков вибрации со встроенными усилителями;
- дискретную установку значений коэффициента усиления: 1, 10, 100;
- фильтрацию входного сигнала для устранения эффекта наложения спектральных составляющих сигнала при его преобразовании в цифровую форму.

Датчики вибрации (пьезоэлектрические акселерометры) со встроенными усилителями типа АП57у и датчик оборотов с согласующими устройствами служат для измерения и синхронизации входных сигналов.

Комплекс решает следующие задачи:

- коммутацию измерительных каналов;
- регистрацию выборок виброизмерительной информации;
- преобразование аналогового сигнала в цифровую форму.

В локомотивных депо применяются и другие аппаратные средства, выполняющие аналогичные функции.

Список литературы

1. Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава ЦТ-ЦТВР/4782. М.: Транспорт, 1992.
2. Красковская С.Н. и др. Текущий ремонт и техническое обслуживание электровазов постоянного тока / С.Н. Красковская, Э.Э. Ридель, Р.Г. Черепашенец. М.: Транспорт, 1989.
3. Глущенко М.Д. Проблемы эксплуатационной диагностики тяговых электродвигателей подвижного состава и пути их решения: Дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. М., 1999.
4. Дурандин М.Г. Информативность процессов ионизации в диагностических обследованиях изоляции тяговых двигателей локомотивов: Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Екатеринбург, 1994.
5. Попов В.Н. Совершенствование методов прогнозирования состояния изоляции электрических машин подвижного состава: Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. СПб, 1993.
6. Серебряков А.С. Методы и средства для диагностики изоляции электрических машин и аппаратов ее защиты: Дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. М., 2000.
7. Гиоев З.Г. Основы виброакустической диагностики тяговых приводов локомотивов: Дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону, 1998.

Содержание

Предисловие.....	3
1.Контроль изоляции.....	4
Контроль изоляции по ее сопротивлению.....	5
Определение влажности изоляции.....	6
Испытание изоляции повышенным напряжением.....	7
2. Контроль искрения.....	9
Установка щеток на геометрической нейтрали.....	9
Оценка искрения.....	11
3. Определение межвитковых замыканий в обмотке якоря.....	13
4. Выявление межвитковых замыканий в полюсных катушках....	20
5. Нахождение места пробоя изоляции полюсных катушек на корпус.....	23
6. Контроль паяных соединений.....	25
7. Измерение активного сопротивления обмоток.....	29
8. Контроль состояния якорных подшипников на собранном двигателе.....	30
Список литературы.....	36

Усл. п. л. 2,5 Тираж 2000 экз. Формат 60 × 84 ¹/₁₆
Учебно-методический кабинет МПС России
107078 г. Москва, Басманный пер., д.6.

Отпечатано в типографии РГОТУПСа Тип. зак. №
107078 г. Москва, Басманный пер., д.6.