

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский университет транспорта (МИИТ)»

Институт транспортной техники и систем управления

Кафедра «Электропоезда и локомотивы»

О.Е. Пудовиков, А.А. Чучин

Исследование работы устройств систем автоматического управления

Часть 1

Учебно-методическое пособие

Москва – 2018

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский университет транспорта (МИИТ)»

Институт транспортной техники и систем управления

Кафедра «Электропоезда и локомотивы»

О.Е. Пудовиков, А.А. Чучин

Исследование работы устройств систем автоматического управления

Часть 1

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог»

Москва – 2018

УДК 629.4

П88

Пудовиков О.Е., Чучин А.А. Исследование работы устройств систем автоматического управления. Часть 1: Учебно-методическое пособие по подготовке к лабораторным работам по дисциплине «Теория систем автоматического управления». – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 21 с.

В учебно-методическом пособии даны рекомендации к подготовке и выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория систем автоматического управления». В процессе выполнения лабораторных работ студенты получают знания по работе устройств систем автоматического управления электроподвижным составом.

Для студентов специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог».

Рецензент: Гречишников В.А., д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта» РУТ (МИИТ)

© РУТ (МИИТ), 2018

Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПОЕЗДА.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	10
Литература	20

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

1. Цель работы

Получение навыков испытания и регулирования параметров устройств системы автоматического пуска электропоездов.

2. Краткие теоретические сведения

На электроподвижном составе со ступенчатым регулированием функцию исполнительного устройства системы автоматического пуска выполняет силовой контроллер, при помощи которого осуществляется переключение позиций силовой схемы. В настоящее время на электропоездах, поездах метрополитена и пассажирских электровозах при ступенчатом регулировании используют автоматизацию по принципу стабилизации пускового тока при одностороннем вращении силового контроллера. Рассмотрим работу системы автоматического пуска электропоезда.

В каждом моторном вагоне электропоезда установлен односторонний силовой контроллер с пневматическим электроприводом, с помощью которого происходят переключения отводов пускового реостата. Вывод секций пускового при пуске осуществляется по принципу стабилизации пускового тока тяговых двигателей моторного вагона. Управление силовыми контроллерами отдельных моторных вагонов электропоезда осуществляется независимо. Это позволяет развести во времени переключение отводов пусковых реостатов моторных вагонов и сделать разгон электропоезда более плавным.

Для управления силовым контроллером электропоезда используется реле ускорения и торможения типа Р-40. Упрощенная схема системы автоматического управления (САУ) электропоезда представлена на рис. 1.1.

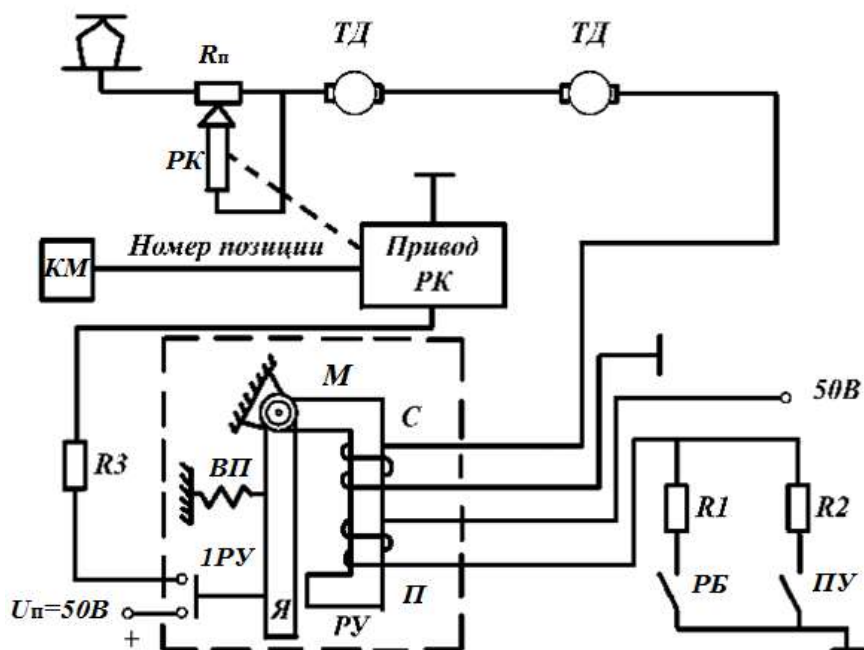


Рисунок 1.1. Упрощенная схема САУ электропоезда

На электропоезде она работает в режиме ускорения, обеспечивая разгон электропоезда. Реле имеет магнитопровод M (рис. 1.2) с большим воздушным зазором, мало изменяющимся при включении реле и якорь $Я$, установленный на призматическом упоре $У$. На якоре установлен блок-контакт IPY . На сердечнике магнитопровода размещены две согласно действующие катушки: силовая C , включенная последовательно в цепь тяговых двигателей, и подъемная $П$, включенная в цепь регулирования. Изоляция между катушками рассчитана на полное напряжение сети. Вдоль якоря размещена отключающая пружина $ВП$, прикрепленная одним концом к кронштейну призматического упора, а другим к якору.

При отсутствии магнитного потока, а также, когда магнитный поток силовой C и подъемный $П$ катушек не в состоянии удержать якорь $Я$ в притянутом состоянии (силовой ток тяговых двигателей мал), последний под действием пружины $ВП$ отпадает и замыкает свой блок-контакт IPY . При этом подается напряжение на электропневматический клапан силового контроллера PK моторного вагона и происходит автоматический набор позиции, а, следовательно, уменьшение величины сопротивления пускового реостата R_n и рост силового тока тяговых двигателей ТД.

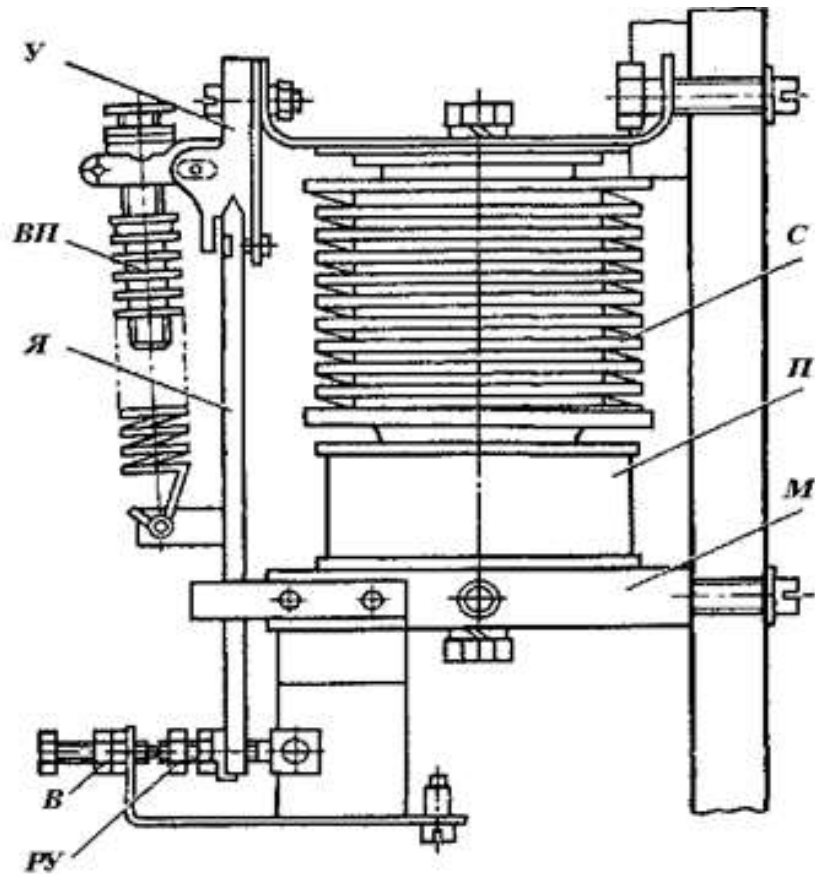


Рисунок 1.2. Реле ускорения типа Р-40

При достижении тока тяговых двигателей порогового значения $I_{\text{прит}}$ (рис. 1.3), действие магнитного потока силовой и подъемной катушек станет сильнее, чем пружины, и якорь реле притянется, размыкая блок-контакт. Питание электропневматического клапана прекращается и силовой контроллер останавливается на фиксированной позиции.

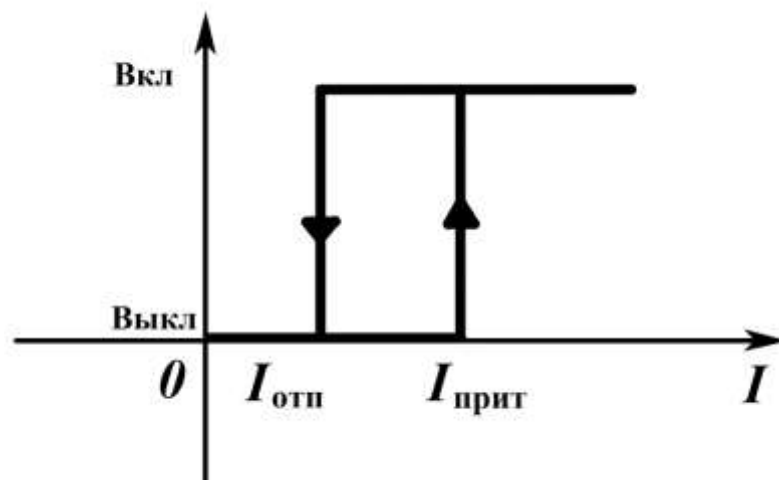


Рисунок 1.3. Релейная характеристика реле ускорения

После окончания перехода на очередную позицию ток силовой катушки, по мере увеличения скорости моторного вагона, уменьшается, и когда он упадет до значения $I_{отп}$, якорь реле ускорения отпадает и замыкает контакты цепи питания электропневматического клапана силового контроллера, происходит набор очередной позиции. В процессе пуска обеспечивается пусковая диаграмма.

Ток отпущения $I_{отп}$ и притяжения $I_{прит}$ якоря реле $|I_{прит} - I_{отп}| = \Delta I$ определяется коэффициентом $K_{нл}$ неравномерности пуска по току регулируют изменением величины магнитного зазора между якорем и магнитопроводом упорным винтом B (грубая регулировка) или натяжением отключающей пружины $ВП$ (точная регулировка). Кроме того, машинист может изменять ток $I_{отп}$, меняя ток подъемной катушки с помощью кнопочного выключателя $ПУ$ – пониженное ускорение электропоезда (рис. 1.1). Изменение уставки реле также происходит при боксовании, когда реле боксования $РБ$ замыкает свой контакт в цепи подъемной катушки.

Функциональная схема системы автоматического пуска электропоезда с принятыми обозначениями представлена на рис. 1.4, а характеристика элемента $ПУ2$ - на рис. 1.3. Дополнительно введены обозначения: $F_{ВП}$ и $F_{Э}$ – соответственно сила возвратной пружины и электромагнитная сила; $F_{МС}$ и $F_{МП}$ – магнитодвижущая сила силовой и подъемной катушек.

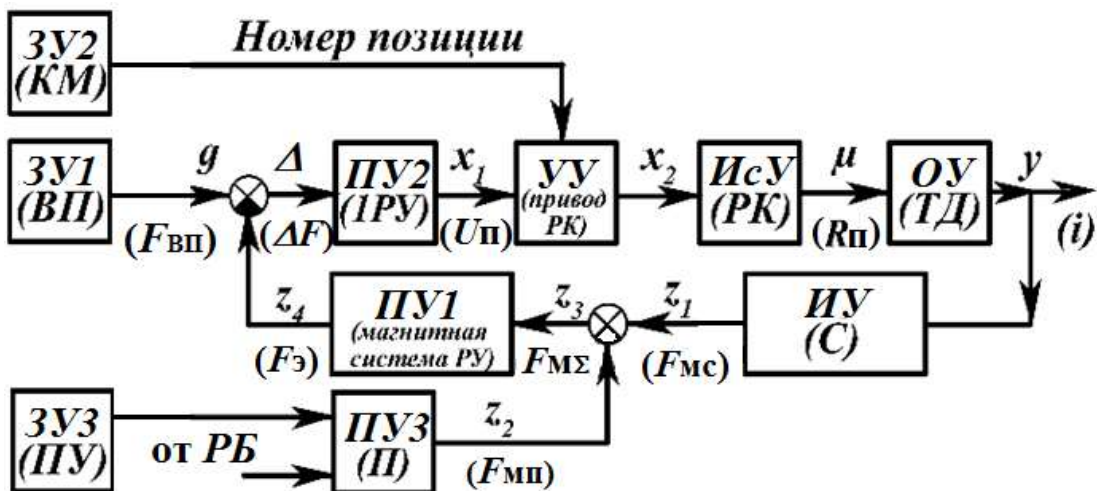


Рисунок 1.4. Функциональная схема САУ пуска электропоезда

На электропоезде реле Р-40 используют также в качестве реле моторного тока *РМТ*. *РМТ* служит для защиты тяговых двигателей от перехода в двигательный режим при рекуперативном торможении (когда скорость движения электропоезда мала).

При рекуперативном торможении ток двигателей имеет противоположное тяговому режиму направление и магнитный поток силовой катушки направлен встречно магнитному потоку подъемной катушки и якорь реле находится в отпущенном состоянии. Как только направление тока в силовой катушке изменится, магнитные потоки обеих катушек складываются и якорь реле притягивается, в результате чего происходит замещение рекуперативного торможения реостатным с независимым возбуждением.,

3. Описание лабораторного стенда

При выполнении лабораторной работы испытание и регулирование реле Р-40 производится на специальном стенде (рис.5). Установленное на стенде реле электропоезда (силовая катушка *С*) запитывается силовым током от мощного низковольтного генератора *Г*. Подъемная катушка *П* реле и обмотка возбуждения *ОВГ* генератора подключаются к сети постоянного напряжения 50В последовательно с переменными резисторами $R_{рп}$, $R_{рс}$ которыми осуществляется регулирование силового тока и тока подъемной катушки. Для снятия характеристик реле на стенде установлен амперметр *А* для измерения силового тока и миллиамперметр *А* для измерения тока подъемной катушки.

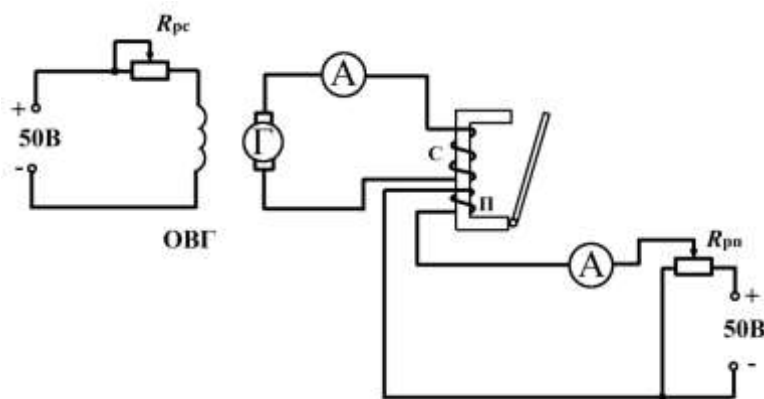


Рисунок 1.5. Принципиальная схема испытательного стенда

4. Рабочее задание

4.1. Изучить конструкцию реле ускорения.

4.2. Собрать схему питания только для силовой катушки от генератора G и измерить токи $I_{\text{отп}}$ и $I_{\text{прит}}$. Построить релейную характеристику реле ускорения.

4.3. Собрать схему питания подъемной катушки и измерить $I_{\text{отп}}$ и $I_{\text{прит}}$ при согласном и встречном включении катушек. Построить характеристику реле $U(I)$. Определить направление включения катушек.

4.4. Изучить способы регулирования токов $I_{\text{отп}}$ и $I_{\text{прит}}$ реле. Настроить реле ускорения на заданные значения тока отпущения $I_{\text{отп}}$ тока притяжения $I_{\text{прит}}$ якоря реле.

4.5. При выключенной подъемной катушке определить чувствительность реле к изменению настройки. Для этого по отдельности повернуть на 1-2 оборота винты регулировки натяжения отпускающей пружины и винта зазора. Вычислить коэффициенты чувствительности для токов отпущения и притяжения:

$$K_{\text{отп}} = \frac{dI_{\text{отп}}}{d\varphi} \approx \frac{dI_{\text{отп}}}{\Delta\varphi},$$
$$K_{\text{прит}} = \frac{dI_{\text{прит}}}{d\varphi} \approx \frac{dI_{\text{прит}}}{\Delta\varphi},$$

где $\Delta\varphi$ – угол поворота винтов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1. Цель работы

Изучение устройства и принципа действия электромагнитного и электронного датчиков тока; исследование работы и снятие экспериментальных характеристик датчиков тока.

2. Краткие теоретические сведения

Датчики тока (ДТ) в системах автоматического управления электроподвижного состава (э.п.с.) являются измерительными устройствами и генерируют на выходе электрический сигнал (напряжение), пропорциональный фактическому значению регулируемой величины – току тяговых двигателей.

Датчики тока, устанавливаемые в силовых цепях э.п.с., помимо измерения регулируемой величины, должны обеспечивать гальваническое разделение входных (силовых) и выходных (системы управления) цепей, отличающихся по напряжению.

2.1 Электромагнитный датчик тока

Датчики тока выполняют на основе трансформаторов постоянного тока (ТПТ), которые обычно используют принцип магнитного усилителя. Такие датчики тока называют электромагнитными. Магнитный усилитель – это электромагнитный аппарат, в котором для плавного регулирования переменного тока используют изменение индуктивного сопротивления катушки с сердечником при подмагничивании ее постоянным током.

На электровозах ВЛ80^T, ВЛ80^C, ВЛ80^P в датчике ДТ-020 использован ТПТ (рис. 2.1), выполненный на одном магнитном сердечнике.

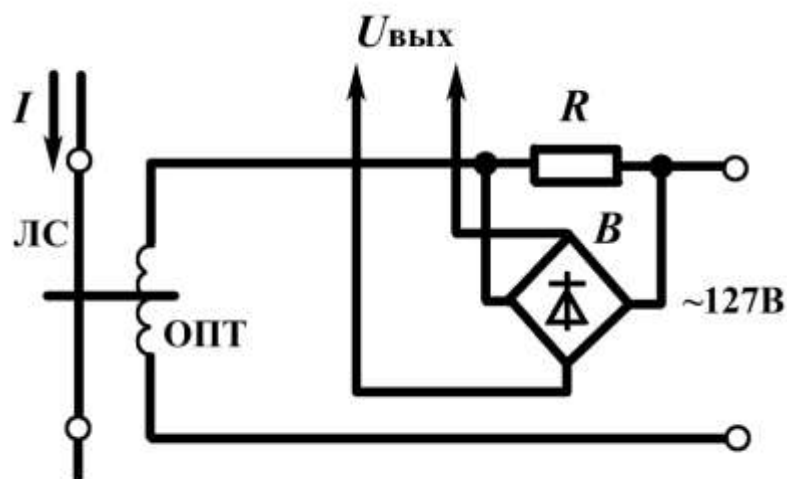


Рисунок 2.1. Принципиальная схема датчика тока ДТ-020

Функции обмотки управления (подмагничивания) выполняет латунный стержень *ЛС*, включенный в цепь тока *I* якоря или возбуждения тягового двигателя. Обмотка переменного тока *ОПТ* (рабочая обмотка) через нагрузочный резистор *R* подключена к источнику переменного напряжения 127 В (отдельная секция трансформатора собственных нужд электровоза). Сигнал переменного напряжения $U_{п}=IR$ поступает на вход выпрямителя, на выходе которого получаем пульсирующее напряжение среднего значения

$$U_{\text{вых}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} IR \quad (2.1)$$

При изменении тока тяговых двигателей (в обмотке управления) будет изменяться индуктивность рабочей обмотки ОПТ

$$L_p = w_p \frac{d\Phi}{dIw} \quad (2.2)$$

и создаваемое ею индуктивное сопротивление, а, следовательно, и ток в цепи нагрузки и выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ (рис. 2.2).

Датчики тока, выполненные по такой схеме, обладают существенным недостатком – при прохождении переменного тока по рабочей обмотке *ОПТ* в его подмагничивающей (управления) обмотке также, как и в трансформаторе, будет индуцироваться переменная ЭДС, которая будет искажать работу датчика.

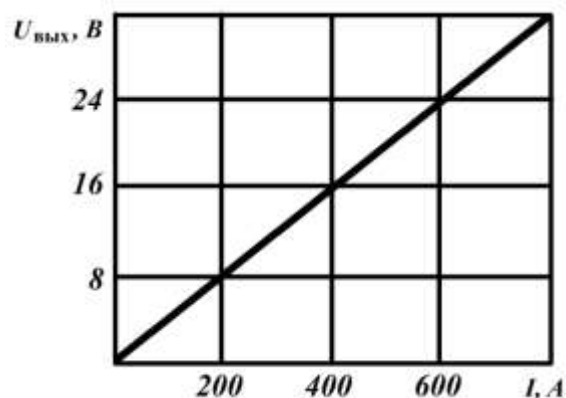


Рисунок 2.2. Выходная характеристика датчика тока

Для устранения этого эффекта в силовых цепях электровоза ВЛ85 и электропоезда ЭР2^Г, ЭР2^Р установлены датчики тока на основе трансформаторов постоянного тока на двух сердечниках (рис. 2.3), характеристика намагничивания которых представлена на рис. 2.4. Первичные обмотки сердечников включены согласно в цепь измеряемого постоянного тока I_1 , а вторичные соединены встречно и подключены к источнику переменного напряжения 127В.

Ток вторичной обмотки

$$I_2 = I_1 \frac{w_1}{w_2} \quad (2.3)$$

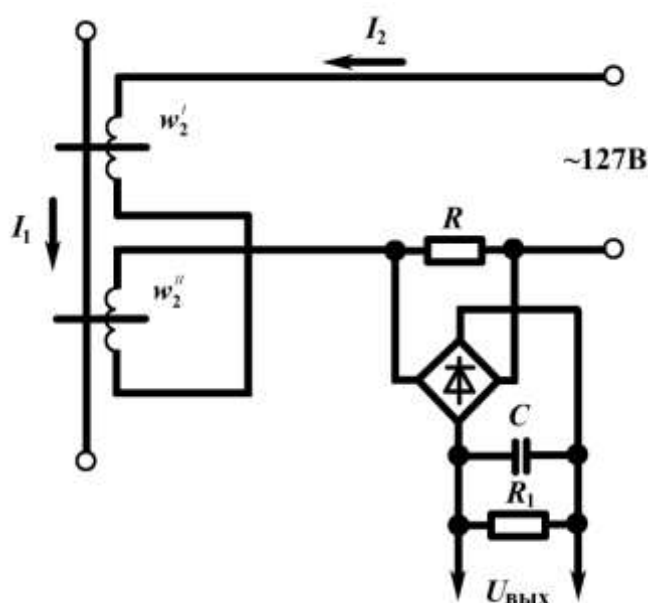


Рисунок 2.3. Принципиальная схема датчика тока ДТ-39

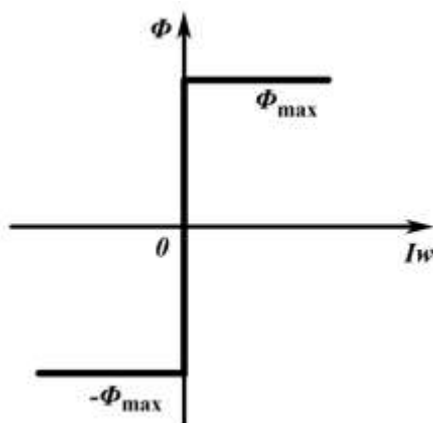


Рисунок 2.4. Характеристика намагничивания датчика тока

Напряжение на резисторе R имеет форму, близкую к прямоугольной, выпрямляется, а для сглаживания его пульсаций между полуволнами включают конденсатор C (рис. 2.3).

Работает он следующим образом (рис. 2.5). Когда на вход датчика тока не подан сигнал, его сердечники не насыщены и рабочие обмотки имеют большое индуктивное сопротивление, поэтому ток нагрузки будет практически равен нулю. При подаче в обмотки управления силового тока сердечники дросселей подмагничиваются и индуктивное сопротивление рабочих обмоток уменьшается, ток нагрузки при этом растет. Падение напряжения на рабочих обмотках будет незначительным, и большая часть напряжения поступит к нагрузке R . При этом напряжение на выходе датчика тока будет пропорционально входному току (обмотки управления).

На электровозе ВЛ85 датчики тока ДТ-39 устанавливают для измерения тока якоря и в обмотке возбуждения тяговых двигателей в тяговом и тормозном режимах и введения в его систему автоматического регулирования сигнала, пропорционального фактическому значению регулируемой величины. На электропоездах ЭР2^Р, ЭР2^Т датчики тока используют в системе автоматического управления электрическим торможением в качестве датчиков тока якоря и тока возбуждения.

Общий вид датчика ДТ-39 представлен на рис. 2.6, на котором введены обозначения:

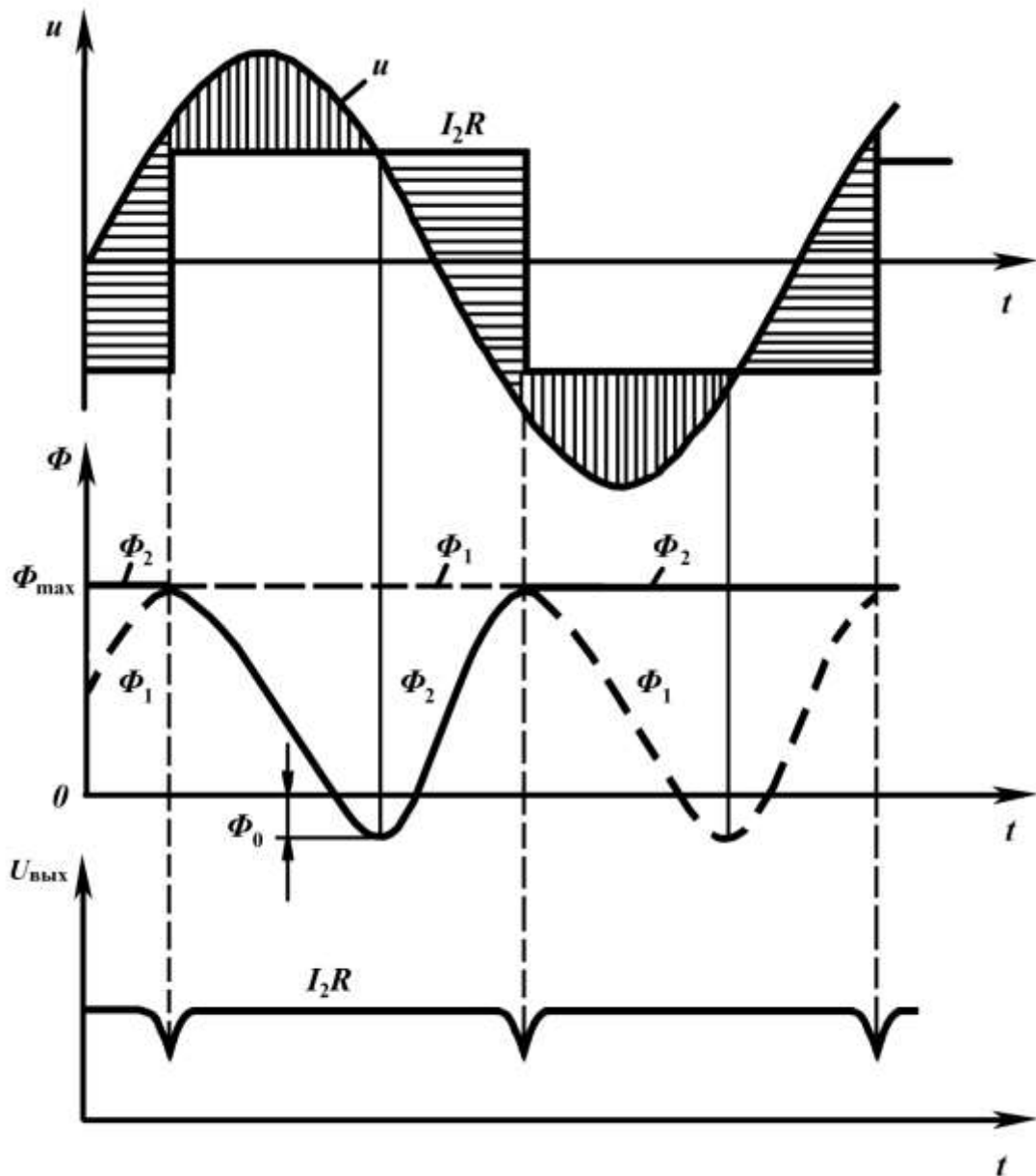


Рисунок 2.5. Электромагнитные процессы в датчике тока ДТ-39

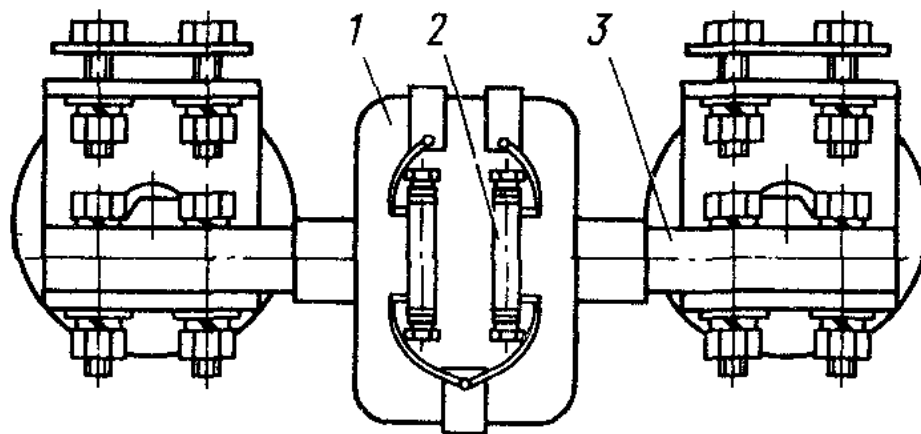


Рисунок 2.6. Датчик тока ДТ-39

1 – рабочие обмотки (или обмотки переменного напряжения);
 2 – резисторы (2,7 кОм), шунтирующие рабочие обмотки w'_2 , w''_2 для защиты от коммутационных перенапряжений;

3– обмотка управления подпитывающая (медная шина).

Датчик ДТ-39 имеет следующие технические данные:

- напряжение питания – 127 В;
- коэффициент трансформации – $k_{тр}=1240$;
- сопротивление нагрузки максимальное – $R=44\text{Ом}$;
- максимальный первичный ток (подмагничивания) – $I_1=1100\text{А}$.

Принципиальная схема лабораторного стенда для снятия характеристик датчика тока ДТ-39 приведена на рис. 2.7.

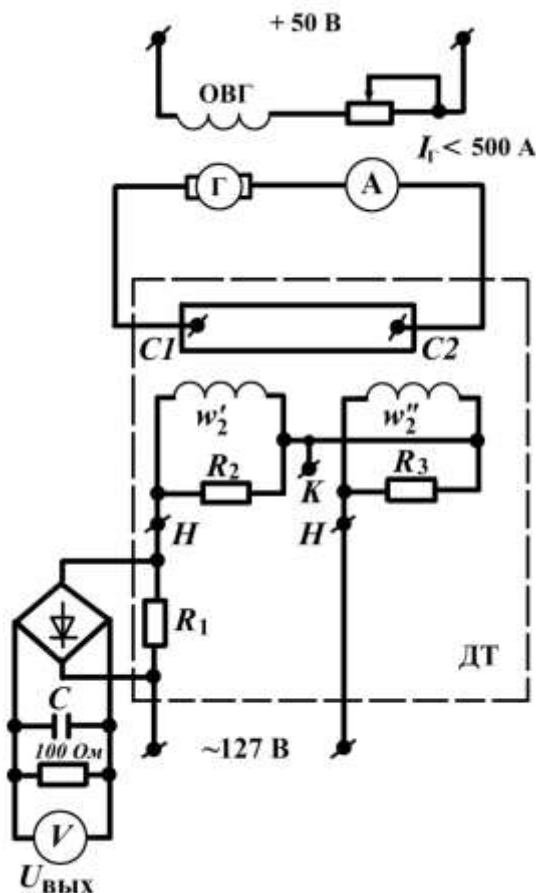


Рисунок 2.7. Принципиальная схема испытательного стенда

2.1 Электронный датчик тока

Электронный датчик тока выполнен на базе элемента Холла и обеспечивает преобразование индукции магнитного поля в воздушном зазоре тороидального сердечника, наведенной измеряемым (силовым) током, в электрический сигнал (напряжение), его измерение и усиление, а также гальваническую развязку силовой части электропривода от его системы управления. В отличие от электромагнитного датчика такие ДТ обеспечивают его работу, как в цепях постоянного, так и переменного тока в широком диапазоне частот, простоту изготовления и наладки, обладают небольшими габаритами и весом.

Электронный датчик тока (рис. 2.8) состоит из преобразователя Холла (ЭХ), источника стабилизированного тока I_c подключенного к выводам 1-3 и специального усилителя, необходимого из-за малого напряжения на выходных зажимах (2-4) элемента Холла. Усилитель выполняют на операционных усилителях с коэффициентом усиления на уровне $k = 1000 \div 3000$.

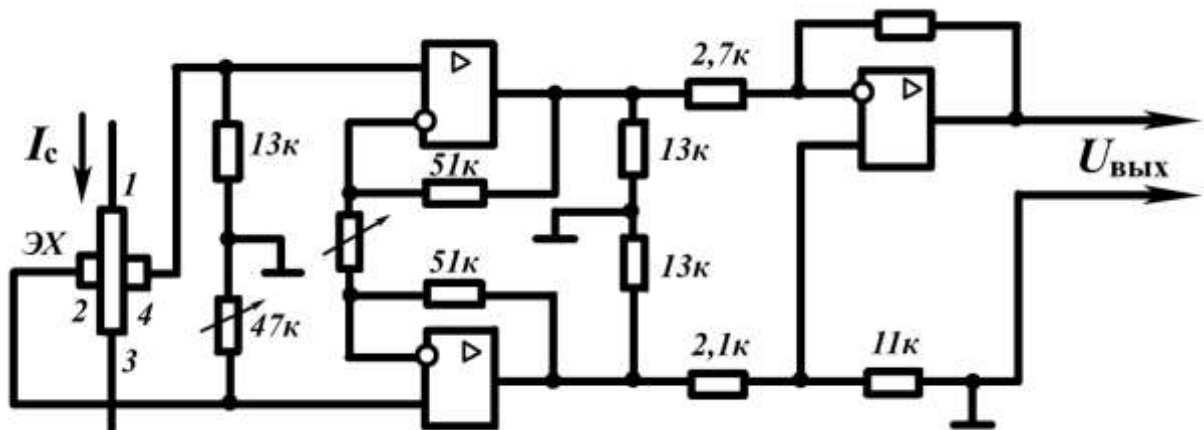


Рисунок 2.8. Принципиальная схема электронного датчика тока

Действующее на элемент в перпендикулярном направлении магнитное поле при протекании измеряемого силового тока I имеет индукцию:

$$B = \mu_0 H, \quad (2.4)$$

где $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Вс/Ам – абсолютная магнитная проницаемость среды (воздуха);

H – напряженность магнитного поля, которая определяется:

$$H\delta_B = Iw, \quad (2.5)$$

где δ_B – ширина воздушного зазора, м;

I – измеряемый ток, А;

w – число витков силовой обмотки $w = 1$.

Таким образом, индукция будет равна:

$$B = \frac{\mu_0 I w}{\delta_B}, \text{ Тл} \quad (2.6)$$

Напряжение Холла на выводах 2-4, наведенное магнитной индукцией определяют по уравнению:

$$u_2 = \gamma B, \quad (2.7)$$

где γ – магнитная чувствительность, представляющая собой отношение ЭДС Холла u_{20} к значению номинальной индукции при номинальном токе I_n .

Величина выходного напряжения электронного датчика тока будет равна:

$$u_{\text{вых}} = k_{\text{дт}} u_2, \quad (2.8)$$

где $k_{\text{дт}}$ – коэффициент усиления датчика тока.

Максимальное значение измеряемого тока определяют из выражения:

$$I_{\text{max}} = \frac{B_{\text{max}} \delta_B}{\mu_0 w}, \quad (2.9)$$

где B_{max} – индукция магнитного поля, при которой наступает насыщение сердечника.

Особенностью ДТ на базе элемента Холла является необходимость значительного увеличения ЭДС Холла. Поэтому для получения напряжения на выходе датчика на достаточном уровне (5÷15В) необходимо использовать специальный усилитель, собранный по определенной схеме (рис. 2.8) для исключения погрешности измерения.

Принципиальная электрическая схема для испытания электронного датчика приведена на рис. 2.9.

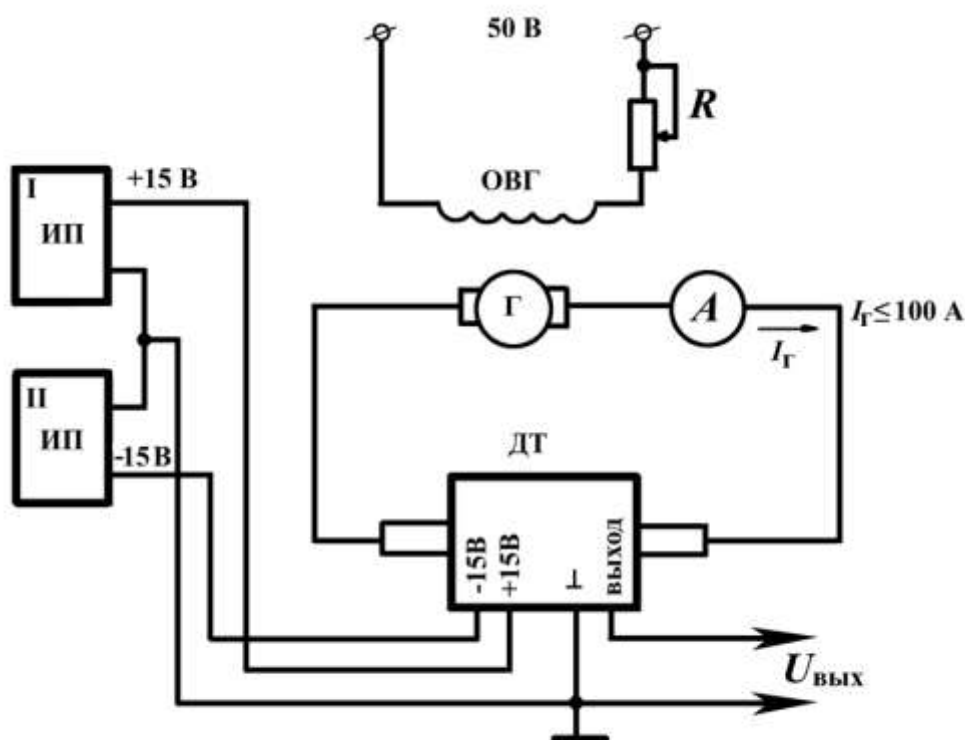


Рисунок 2.9. Принципиальная схема испытательного стенда

3. Описание лабораторного стенда

При выполнении лабораторной работы снятие характеристик датчиков тока производят на специальных стендах.

Принципиальная схема лабораторного стенда для исследования электромагнитного датчика тока приведена на рис. 2.7, а электронного – на рис. 2.9. Первичная обмотка датчиков запитывается силовым током от мощного низковольтного генератора G . Рабочая обмотка электромагнитного датчика тока получает питание от источника переменного напряжения 127 В. На электронный датчик тока падают питание от двух источников постоянного напряжения +15В, -15В.

Для снятия характеристик датчиков тока на стендах установлены амперметры и вольтметры, а для получения кривых токов и напряжения на элементах датчиков – осциллограф.

4. Рабочее задание

4.1. Изучить конструкцию электромагнитного датчика постоянного тока ДТ-39.

4.2. Для известных технических данных ДТ-39 рассчитать и построить нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}}(I)$.

4.3. Собрать схему стенда (рис. 2.7) и снять экспериментальную нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}}(I)$ датчика тока ($I \leq 500\text{A}$). Сравнить с расчетной.

4.4. Снять осциллограммы силового тока, выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и напряжения на обмотках w'_2 и w''_2 при $I = I_{\text{min}}$ и $I = I_{\text{max}}$ ($\approx 500\text{A}$). Сравнить с теоретическими кривыми. Установить точность работы датчика.

4.5. Изучить конструкцию электронного датчика тока.

4.6. Для заданных параметров датчика тока: $k_{\text{дт}} = 2500$; $I_c = 100\text{mA}$, $\delta_{\text{в}} = 5\text{мм}$, $w_p = 1$ и $\gamma = 80 \cdot 10^{-3} \text{ В/Тл}$ рассчитать и построить нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}}(I)$.

4.7. Собрать схему стенда (рис. 2.9) и снять экспериментальную нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}}(I)$.

4.8. Снять осциллограммы силового тока I и выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Сделать вывод о точности работы электронного датчика тока.

4.9. Определить коэффициенты усиления передаточных функций измерительных устройств – ДТ-39 и электронного датчика тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированные системы управления электроподвижным составом. Часть 1. Теория автоматического управления. Учебник в 3 ч. — Л.А. Баранов, А.Н. Савоськин, О.Е. Пудовиков и др. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. — 400 с.

2. Автоматизация электроподвижного состава. (Учебник для вузов ж.-д. трансп.). А.Н. Савоськин, Л.А. Баранов, А.В. Плакс, В.П. Феоктистов. Под ред. А.Н. Савоськина. М.: Транспорт, 1990. 311 с.

Учебно-методическое издание

Пудовиков Олег Евгеньевич

Чучин Антон Александрович

Исследование работы устройств систем автоматического управления

Часть 1

Учебно-методическое пособие

Изд. № 148-18
