

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей  
(по направлениям)»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 629.33  
ББК 39.33-08  
М55

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»  
«16» октября 2023 г., протокол № 3

Составители: ст. преподаватель А. В. Юшкевич;  
ст. преподаватель Е. А. Моисеев

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине  
«Механизация процессов технической эксплуатации» предназначены для сту-  
дентов специальности 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей  
(по направлениям)» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

## МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Определение статических характеристик линейных и нелинейных элементов механических систем .....	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование устройств для управления асинхронными трехфазными электродвигателями.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Исследование измерителей нагрузки на стендах для диагностирования ДВС, КП и электродвигателей .....	10
4 Лабораторная работа № 4. Исследование измерителей частоты вращения валов ДВС, КП и электродвигателей.....	14
5 Лабораторная работа № 5. Исследование стенда для диагностирования автомобиля по колесной мощности.....	18
6 Лабораторная работа № 6. Исследование преобразователей ступенчатых нагрузок на валу ДВС .....	24
7 Лабораторная работа № 7. Исследование преобразователей частоты вращения колеса автомобиля .....	30
Список литературы .....	34

## Введение

В соответствии с государственными образовательными стандартами по специальности 1-37 01 06 01 «Техническая эксплуатация автомобилей» (автотранспорт общего и личного пользования) при подготовке дипломированного специалиста предусматривается изучение дисциплины «Механизация процессов технической эксплуатации автотранспортных средств», которая наряду с другими профилирующими дисциплинами формирует всесторонне подготовленного инженера.

В основе изучения механизации процессов технической эксплуатации лежит понимание общих принципов. Поэтому при изучении каждой темы, агрегата, системы, узла или механизма следует добиваться усвоения общих принципов, присущих их функциональному назначению и конструкции. При таком методе изучения вырабатывается способность свободно разбираться во всем многообразии конструктивных форм и особенностей различных автомобилей.

Весьма важным для свободного ориентирования во множестве сходных по назначению и различных по устройству механизмов, деталей и других механических систем является усвоение их классификации по определенным признакам.

Изучение агрегатов, механизмов или систем электрооборудования начинается с выявления их назначения, классификационных признаков, затем – устройства и принципа действия; с ознакомления требований, которые предъявляются ко всем агрегатам, механизмам и системам, в каких условиях они работают, из каких материалов изготавливаются.

# 1 Лабораторная работа № 1. Определение статических характеристик линейных и нелинейных элементов механических систем

**Цель работы:** изучить характеристики нелинейных элементов систем автоматического управления.

**Краткие теоретические сведения.** Механические системы называются нелинейными, если наряду с линейными элементами система содержит элемент (звено) с существенно нелинейной статической характеристикой. Поэтому структурная схема нелинейной системы представляется следующим образом (рисунок 1.1).

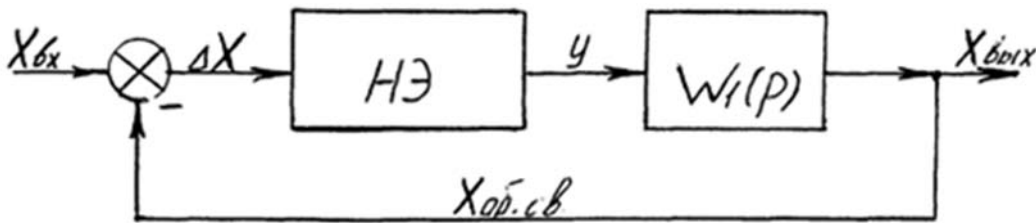


Рисунок 1.1 – Структурная схема нелинейной системы

Нелинейность характеристик элементов объясняется наличием у них зазоров, сухого трения, насыщения и др.

Рассмотрим некоторые типы нелинейности.

1 Нечувствительность, аналитическая запись этой функции (рисунок 1.2)

$$\begin{aligned} X_{вых} &= 0 \text{ при } |X_{вх}| < a; \\ X_{вых} &= k(X_{вх} - a) \text{ при } X_{вх} \geq a; \\ X_{вых} &= k(X_{вх} + a) \text{ при } X_{вх} \leq -a. \end{aligned} \quad (1.1)$$

2 Ограничение (насыщение), аналитическая запись этой функции (см. рисунок 1.2)

$$\begin{aligned} X_{вых} &= kX_{вх} \text{ при } |X_{вх}| \leq B/k; \\ X_{вых} &= B \text{ при } X_{вх} > B/k; \\ X_{вых} &= -B \text{ при } X_{вх} < -B/k. \end{aligned} \quad (1.2)$$

3 Релейная идеальная нелинейность, имеющая аналитическую запись (см. рисунок 1.2)

$$\begin{aligned} X_{вых} &= B \text{ при } X_{вх} > 0; \\ X_{вых} &= -B \text{ при } X_{вх} < 0. \end{aligned} \quad (1.3)$$

4 Релейная нелинейность с нечувствительностью, аналитическая запись которой (см. рисунок 1.2)

$$\begin{aligned} X_{вых} &= B \text{ при } X_{вх} > a; \\ X_{вых} &= -B \text{ при } X_{вх} < -a; \\ X_{вых} &= 0 \text{ при } |X_{вх}| < a. \end{aligned} \quad (1.4)$$

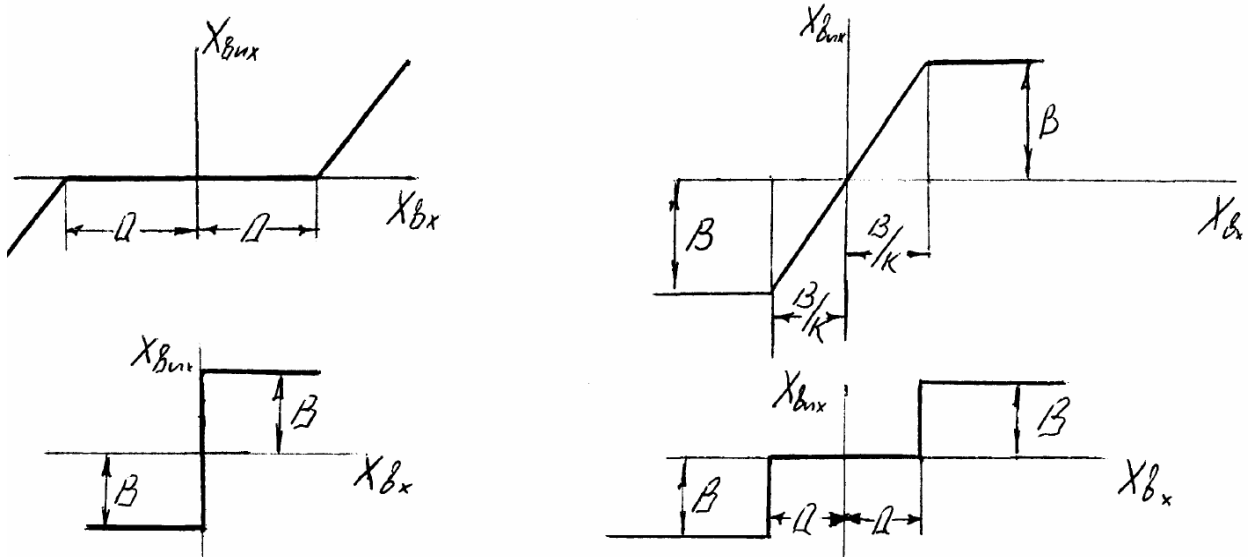


Рисунок 1.2 – Статические характеристики нелинейных систем

Наличие нелинейности в механических системах приводит к описанию их динамических свойств с помощью нелинейных дифференциальных уравнений.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** аккумулятор, выпрямитель, осциллограф С1-54, С1-70, измерительный прибор для измерения напряжения постоянного тока, измерительный прибор для измерения тока до 40 А, реле тяговое, реле стартера.

### **Порядок проведения работы**

Изучить статические характеристики нелинейных элементов: реле стартера, тягового реле, других реле. Дать определение статической характеристики линейного элемента, статической характеристики нелинейного элемента механических систем оборудования и систем автоматического управления на автомобиле.

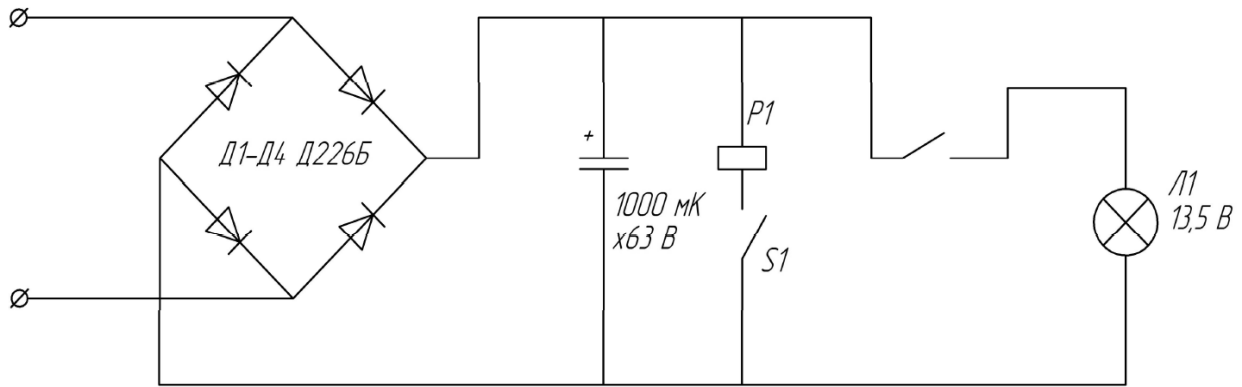


Рисунок 1.3 – Схема для определения статической характеристики

1 Собрать схему (рисунок 1.3) для определения статических характеристик исследуемых нелинейных элементов, реле стартера.

2 Провести эксперимент, заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты статической характеристики

Номер п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{вх}, В$								
$U_{вых}, В$								

3 Используя полученные данные, построить статическую характеристику реле стартера.

### **Содержание отчета**

1 Записать цель работы и построить в отчете примеры статических характеристик линейных и нелинейных элементов.

2 Построить статическую характеристику датчика частоты вращения как линейного элемента и реле включения стартера как нелинейного элемента.

3 Вычислить по статической характеристике реле коэффициент возврата реле, равный отношению  $\frac{U_{отп}}{U_{сраб}}$ .

4 Дать анализ полученной статической характеристики реле стартера.

### **Контрольные вопросы**

1 Дать определение нелинейной системе автоматике.

2 Привести пример нелинейного элемента.

3 Пояснить полученную статическую характеристику реле.

## 2 Лабораторная работа № 2. Исследование устройств для управления асинхронными трехфазными электродвигателями

**Цель работы:** изучить системы управления асинхронными трехфазными электродвигателями механических систем.

**Краткие теоретические сведения.** Простейшая механическая система состоит из электродвигателя и рабочего механизма, соединенного с валом электродвигателя либо непосредственно, либо посредством редуктора. Электрическая схема системы управления асинхронным трехфазным электродвигателем переменного тока представлена на рисунке 2.1. Она содержит, кроме электродвигателя  $M$ , воздушный автоматический выключатель  $OF$ , предназначенный для отключения электродвигателя от сети при возникновении короткого замыкания, трехфазный линейный контактор  $KM$ , называемый магнитным пускателем, две кнопки –  $SB1$  («Пуск») и  $SB2$  («Стоп») с замыкающими и размыкающими контактами, тепловое реле  $KK$ , два плавких предохранителя  $FU$ , также предназначенные для отключения от электрической сети трехфазного переменного тока при возникновении короткого замыкания. При этом размыкаются силовые контакты  $KM$  в цепи питания электрическим током трехфазной обмотки статора и электродвигатель отключается от сети и сохраняется работоспособным.

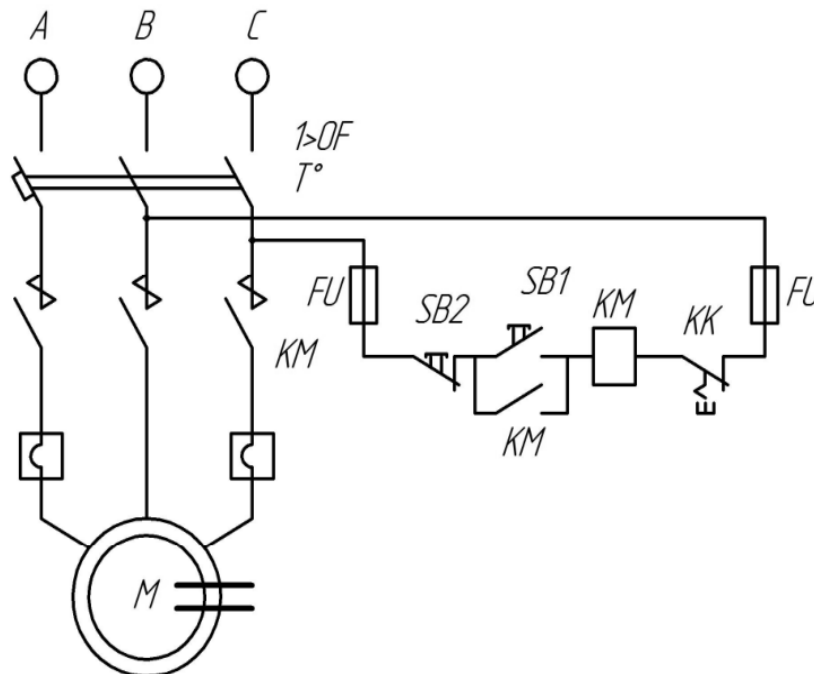


Рисунок 2.1 – Схема системы управления

Короткое замыкание – это явление, при появлении которого по тем или иным причинам электрические токи, протекающие по обмоткам электродвига-



теля, возрастают в десятки и более раз и могут привести, если мгновенно не отключить электродвигатель с помощью плавких предохранителей и автоматического воздушного выключателя от сети к выходу его из строя.

Нагревательные элементы теплового реле *КК* установлены в цепи питания электрическим током обмоток статора электродвигателя в две фазы, а размыкающие контакты *КК* теплового реле установлены в цепи управления электродвигателем последовательно с обмоткой контактора *КМ*. Контактор *КМ* и тепловое реле *КК* конструктивно объединены в одном аппарате, который получил название «магнитный пускатель», при этом силовые контакты *КМ* снабжены дугогасительными камерами.

Пуск электродвигателя в ход осуществляется следующим образом. Включается автоматический выключатель и производится нажатие на пусковую кнопку *SB1*. По цепи управления, подключенной к линейному напряжению сети и включающей в себя последовательно соединенные следующие ее элементы и аппараты: фаза трехфазного напряжения *В*, первый плавкий предохранитель, кнопка стоп, кнопка пуск, контактор *КМ*, контакты теплового реле, второй плавкий предохранитель, фаза трехфазного напряжения *С*, начинает протекать ток, контактор *КМ* срабатывает, замыкаются его силовые контакты, начинают протекать по фазным обмоткам статора электродвигателя переменные фазные токи, создается переменное магнитное поле, которое создает в короткозамкнутых фазах ротора токи, при взаимодействии с которыми на валу ротора создается крутящий момент. Двигатель под воздействием этого момента начинает вращаться и приводит в действие рабочий механизм.

При отпускании кнопки «Пуск» вспомогательными блокирующими контактами *КМ* блокируется кнопка «Пуск», ток начинает протекать по вспомогательным контактам и электродвигатель продолжает работать.

При нажатии кнопки «Стоп» ток управления прекращается из-за разрыва цепи управления электродвигателем, контактор *КМ* обесточивается, силовые контакты *КМ* размыкаются, электродвигатель прекращает вращаться.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** асинхронный трехфазный электродвигатель, кнопки «Пуск» и «Стоп», стенд испытательный типа КИ 968.

### ***Порядок проведения работы***

Изучить характеристики трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, установленного на стенде, и записать эти данные в отчет. Изучить характеристики и принцип работы элементов электрической схемы. Произвести по руководством преподавателя пуск и останов электродвигателя.

### ***Содержание отчета***

- 1 Записать цель работы и изобразить в отчете технические характеристики исследуемого асинхронного двигателя.
- 2 Построить механическую характеристику исследуемого асинхронного двигателя, изобразить на ней характерные точки.
- 3 Дать анализ механической характеристике исследуемого асинхронного двигателя.
- 4 Определить рабочие характеристики исследуемого асинхронного двигателя.
- 5 Изобразить электрическую схему системы управления асинхронным трехфазным электродвигателем переменного тока.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Перечислить элементы системы управления электродвигателем.
- 2 Какая разница между электромеханической и механической характеристиками?
- 3 Объяснить устройство, принцип работы асинхронного двигателя и составить схему его замещения.
- 4 Почему изменяется скольжение асинхронного двигателя с изменением нагрузки?
- 5 Перечислить способы торможения асинхронного двигателя и указать достоинства и недостатки каждого из них исходя из механических характеристик.

## **3 Лабораторная работа № 3. Исследование измерителей нагрузки на стендах для диагностирования ДВС, КП и электродвигателей**

**Цель работы:** исследовать и изучить методики создания датчиков крутящего момента, устанавливаемых на валах двигателей автомобилей.

**Краткие теоретические сведения.** На первой стадии проектирования стенда для диагностирования дизельных двигателей были проведены исследования работы дизельного двигателя в исправном состоянии, а также при наличии неисправностей. В результате этого было установлено, что статическая характеристика дизельного двигателя, представляющая собой зависимость часового расхода топлива от крутящего момента на его валу, для заданного скоростного режима работы двигателя претерпевает изменения у неисправного дизельного двигателя по сравнению с исправным и отрегулированным. Примерный вид полученной зависимости представлен на рисунке 3.1, причем кривая 1 соответствует исправному дизельному двигателю. При наличии неисправностей в дизельном двигателе каждому из возможных значений момента на его валу соответствует более высокий часовой расход топлива. На рисунке 3.1 приведена кривая 2, которая соответствует неисправному дизельному двигателю.

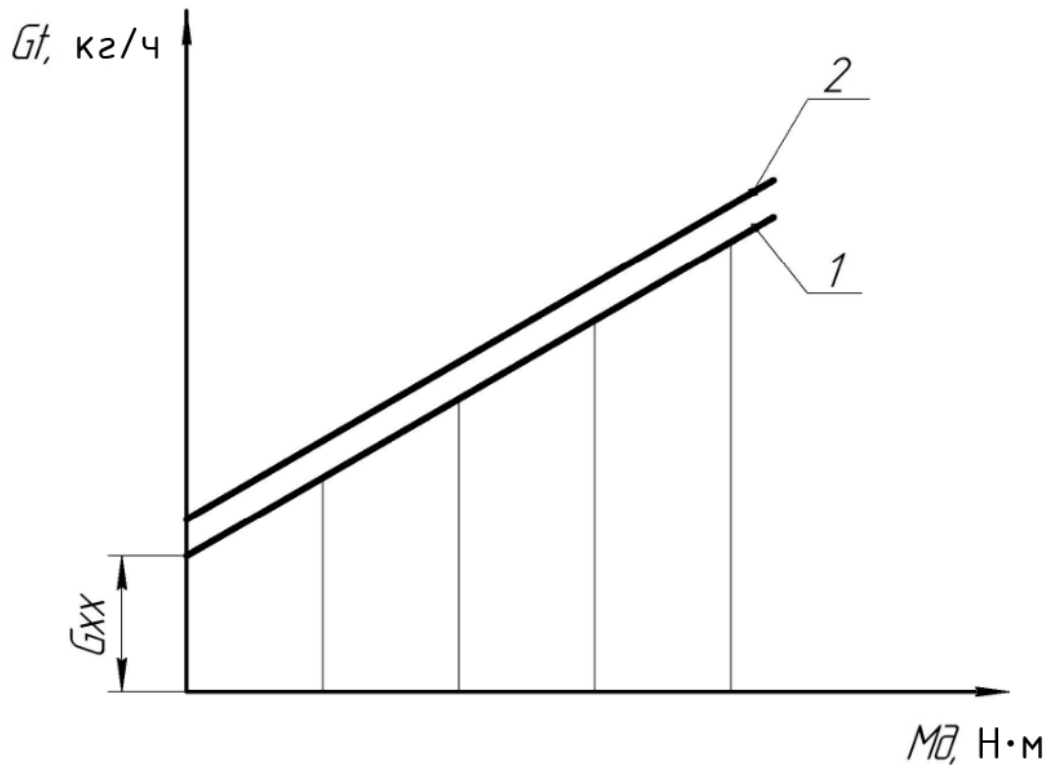


Рисунок 3.1 – Статическая характеристика дизельного двигателя

Изложенное выше дало основание предложить новый метод диагностирования дизельных двигателей на стенде, заключающийся в том, что диагностируемый дизельный двигатель устанавливают на стенд, содержащий электрический тормоз, карданный вал, соединяющий вал двигателя с валом тормоза, снабженный контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления, задают скоростной и нагрузочный режимы работы диагностируемого двигателя, измеряют часовой расход топлива и, сравнивая полученное значение расхода топлива с нормативным значением, соответствующим исправному двигателю, принимают решение о техническом состоянии данного диагностируемого дизельного двигателя. Разработанный метод диагностирования есть совокупность операций, действий, позволяющих дать объективное заключение о состоянии дизельного двигателя.

Для реализации предложенного метода диагностирования дизельного двигателя был разработан стенд, общая схема которого изображена на рисунке 3.2. Стенд включает в себя следующие агрегаты, узлы и отдельные элементы: дизельный двигатель 1, соединенный карданным валом с электрическим тормозом 2, систему 3 управления питанием, систему 4 нагружения, измерительную систему 5 расхода топлива, датчик 6 момента, установленный на карданном валу. Система 4 нагружения включает в себя автотрансформатор 7 с движком 8, трансформатор 9, выпрямитель 10 и сглаживающий конденсатор 11. Выход этой системы подключен к обмотке 12 возбуждения тормоза. Датчик 6 момента имеет металлические диски 13 и 14 с прорезями, установленные по концам вала. Вблизи прорезей каждого из дисков установлены

преобразователи 15 и 16. При вращении вала на электрических выводах преобразователей 15 и 16 формируются импульсы, которые подаются соответственно на дифференцирующие цепи 17 и 18, снабженные диодами 19 и 20 на своих выходах. Сигналы с выходов дифференцирующих цепей поступают на базы 21 и 22 транзисторов 23 и 24, триггера 25. Сформированные триггером 25 сигналы посредством согласующего усилителя 26 и фильтра 27 низких частот поступают на измерительный прибор 28, которым и измеряется момент на валу двигателя. Расход топлива измеряется обычным весовым методом.

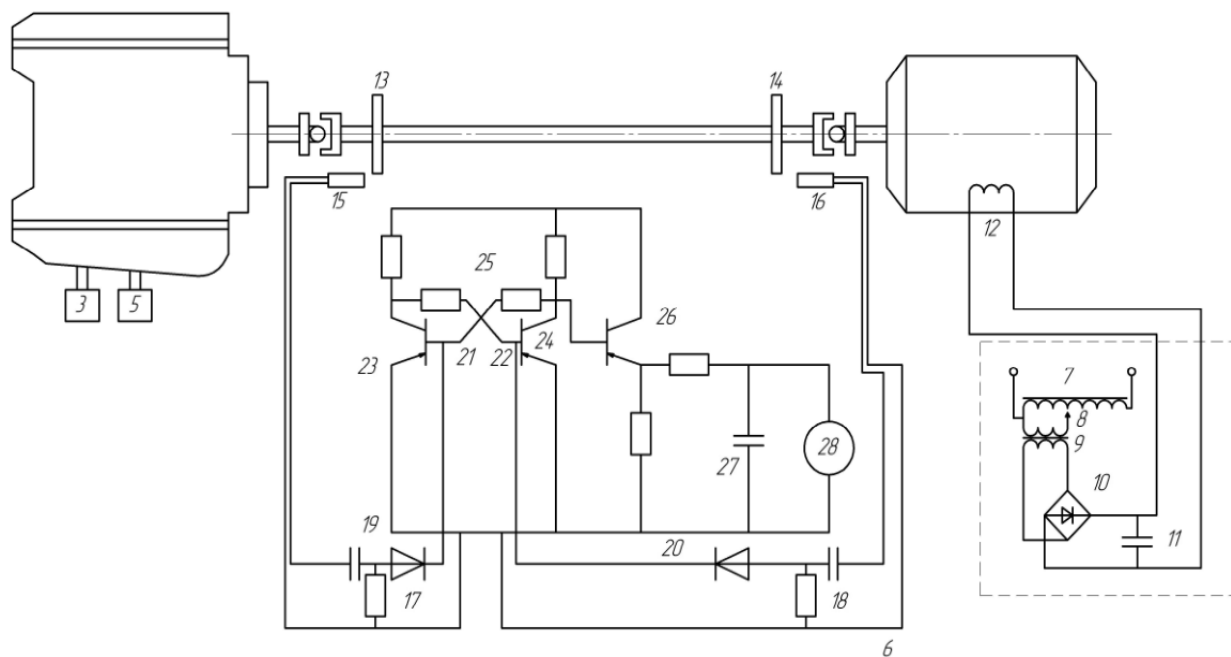


Рисунок 3.2 – Схема стенда для диагностирования дизельного двигателя

Диагностирование дизеля на стенде происходит следующим образом. Запускается дизельный двигатель, его вал свободно вращается. С помощью движка 8 автотрансформатора 7, включенного в сеть переменного тока, устанавливается на выходе системы 4 нагружения напряжение, соответствующее моменту, равному 20 % от номинального момента двигателя. Установка этого момента на валу двигателя производится по прибору 28. Расход топлива измеряется за 2 мин работы дизельного двигателя. Затем на выходе системы нагружения устанавливается напряжение, соответствующее моменту, равному 40 % от номинального момента двигателя. Затем опять измеряется расход топлива за 2 мин его работы. Далее устанавливаются с помощью системы нагружения моменты на валу двигателя, равные 60 %, 80 % от номинального момента, момент, равный номинальному, и определяются соответствующие этим значениям момента расходы топлива.

По полученным данным строится зависимость часового расхода топлива от момента на валу двигателя в установившемся режиме. Эта зависимость и есть статическая характеристика дизеля по расходу топлива (см. рисунок 3.1). Если полученное значение расхода топлива на заданных скоростном и нагру-

зочном режимах превышает нормативное значение, значит, диагностируемый двигатель неисправен. Необходимо проведение профилактических работ. Все проверки проводятся при полной подаче топлива, при этом рычаг управления подачей топлива перемещается до упора.

В этом случае дизельный двигатель нагружается в соответствии с внешней регуляторной характеристикой, которая изображена на рисунке 3.3 и обозначена цифрой 1. Кроме этой характеристики на этом же рисунке приведена внешняя скоростная характеристика, она обозначена цифрой 2. Номинальный момент дизельного двигателя и его номинальная частота вращения обозначены соответственно  $M_{д.н}$  и  $\omega_{д.н}$ . Частота вращения вала двигателя, соответствующая его холостому ходу, обозначена  $\omega_{х.х}$ . При полной подаче топлива и холостом ходе дизельный двигатель развивает наибольшую частоту вращения вала.

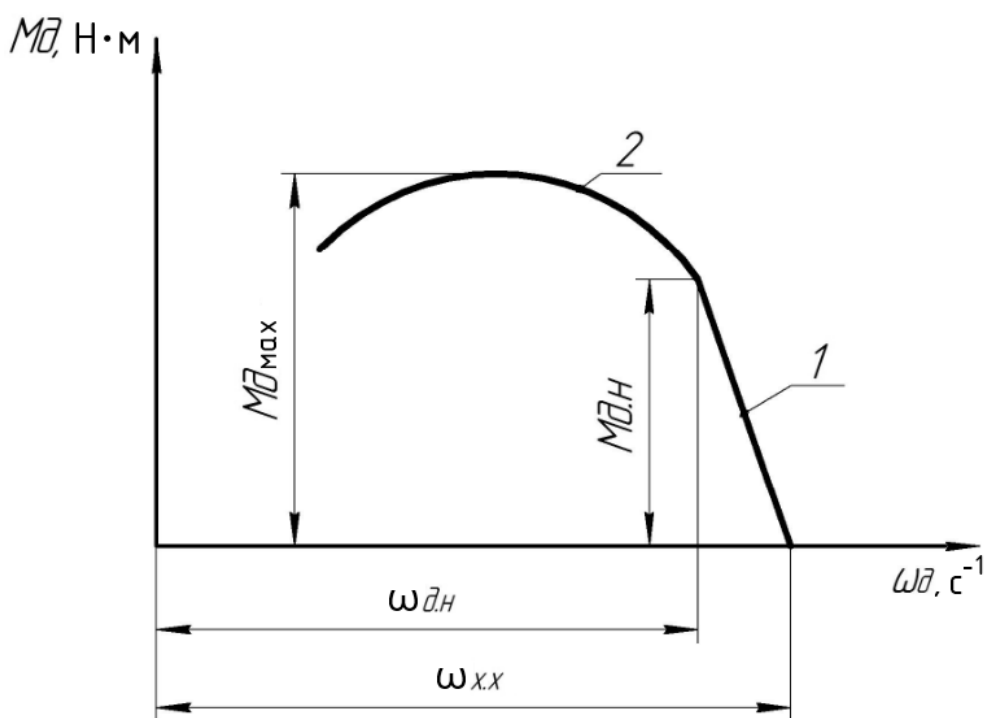


Рисунок 3.3 – Регуляторная и внешняя скоростные характеристики

С увеличением момента сопротивления на валу дизельного двигателя центробежный регулятор частоты вращения увеличивает подачу топлива в цилиндры путем перемещения рейки топливного насоса в сторону увеличения подачи топлива. Происходит это следующим образом. При увеличении момента сопротивления на валу дизельного двигателя в соответствии с уравнением динамического равновесия двигателя появляется недостаток крутящего момента двигателя, что приводит к замедленному вращению его коленчатого вала. Частота вращения двигателя может снизиться, например, на величину, равную  $2 \text{ мин}^{-1}$ . Поэтому центробежная сила грузов регулятора снижается. При заданном положении педали управления подачей топлива возникает разность усилия, создаваемого пружиной педали управления подачей топлива и центробежной силы. Вследствие этого перемещается рычаг, связанный с рейкой топливного насоса

двигателя. Рейка перемещается в сторону увеличения подачи топлива в цилиндры двигателя. Момент, развиваемый двигателем, возрастает. Возникает новое статическое равновесие момента, развиваемого двигателем, и момента сопротивления приведенного к валу двигателя, но при более низкой частоте вращения вал; двигателя.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** стенд для исследования датчика крутящего момента, цифровой осциллограф АКИП 4115 2А, автотрансформатор, регулируемый источник постоянного тока

### ***Порядок проведения работы***

Изучить конструкцию и принцип действия датчика крутящего момента. Включить стенд для экспериментального исследования датчика крутящего момента, получить осциллограммы напряжения на выходе триггера датчика крутящего момента и осциллограмму напряжения на выходе датчика.

### ***Содержание отчета***

1 Записать цель работы и изобразить в отчете схему с датчиком крутящего момента.

2 Построить осциллограммы напряжений, полученных в результате эксперимента.

3 Вычислить величину момента на валу.

4 Сравнить величину момента на валу с величиной выходного сигнала, полученного по второму каналу цифрового осциллографа.

### ***Контрольные вопросы***

1 Перечислить элементы системы управления электродвигателем.

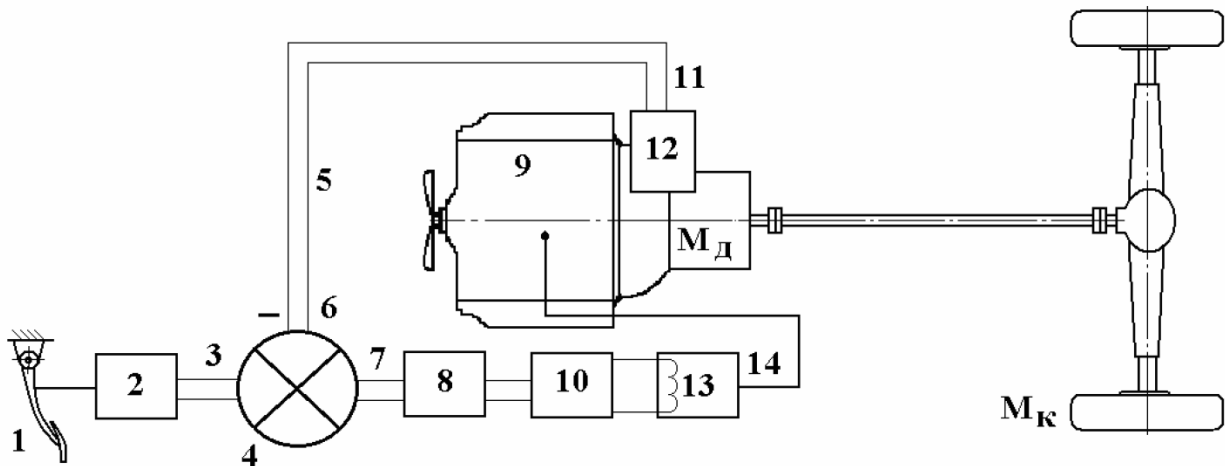
2 Объяснить принцип действия датчика крутящего момента.

## **4 Лабораторная работа № 4. Исследование измерителей частоты вращения валов ДВС, КП и электродвигателей**

**Цель работы:** исследовать датчик частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.

**Краткие теоретические сведения.** Существующие системы автоматического управления скоростью движения автомобиля [1] включают в себя, в основном, датчик перемещения 2 (рисунок 4.1) педали управления подачей топ-

лива 1, сумматор 4, первым входом 3 соединенный с выходом датчика перемещения педали управления подачей топлива, датчик частоты вращения 12 двигателя внутреннего сгорания 9, выход 11 которого соединен обратной отрицательной жесткой связью 5 со вторым входом 6 сумматора, а выход 7 сумматора соединен с последовательно соединенными усилителем 8, электронным блоком управления 10, электромагнитной форсункой 14, ввернутой в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания, с обмоткой 13, соединенной с выходом электронного блока управления.



1 – педаль управления подачей топлива; 2 – датчик перемещения педали; 3 – вход сумматора; 4 – сумматор; 5 – обратная отрицательная жесткая связь; 6 – второй вход сумматора; 7 – выход сумматора; 8 – усилитель; 9 – двигатель внутреннего сгорания; 10 – электронный блок управления; 11 – выход датчика частоты вращения; 12 – датчик частоты вращения; 13 – обмотка форсунки; 14 – электромагнитная форсунка

Рисунок 4.1 – Схема существующей системы управления скоростью движения автомобиля

Применяемые системы автоматического управления скоростью движения автомобиля отличаются тем, что обеспечивают достаточный уровень таких эксплуатационных свойств, как проходимость и производительность только при постоянном нагрузочном режиме эксплуатации автомобиля, в то время как момент сопротивления движению автомобиля  $M_k$  является динамическим, а уровень проходимости и производительности при переменных режимах эксплуатации автомобиля, как наиболее нагруженных, снижается из-за недостаточного быстродействия существующей системы автоматического управления скоростью движения автомобиля.

При постоянном скоростном режиме работы автомобиля на выходе датчика 2 перемещения педали управления подачей топлива формируется напряжение  $U_1$ , пропорциональное перемещению педали управления подачей топлива и поступающее на первый вход сумматора 4, а на выходе датчика частоты вращения 12 двигателя внутреннего сгорания формируется напряжение, пропорциональное частоте вращения двигателя внутреннего сгорания,

поступающее на второй вход сумматора  $U_2$ . При постоянном скоростном режиме работы автомобиля указанные напряжения равны между собой, а сумматор непрерывно производит операцию вычитания напряжения, поступающее на его второй вход, из напряжения, поступающего на его первый вход, то на выходе сумматора появляется управляющее напряжение, равное разности указанных напряжений, и обозначается  $\Delta U$ . Поэтому при постоянном скоростном режиме работы автомобиля управляющее напряжение на выходе сумматора равно нулю и входное напряжение, поступающее на усилитель, равно нулю. Электронным блоком управления формируются прямоугольные импульсы постоянной длительности, и количество топлива подается в цилиндры двигателя одно и то же без изменений.

При увеличении момента  $M_k$  сопротивления движению автомобиля увеличивается и момент  $M_\partial$  сопротивления на валу двигателя внутреннего сгорания по отношению к имеющемуся на валу двигателя вращающему моменту, вследствие чего происходит снижение частоты вращения двигателя внутреннего сгорания. Известно, что снижение частоты вращения  $n_{\partialи}$  двигателя происходит по апериодической кривой первого порядка, т. е. с задержкой во времени, равной  $\Delta t_1$  (рисунок 4.2).

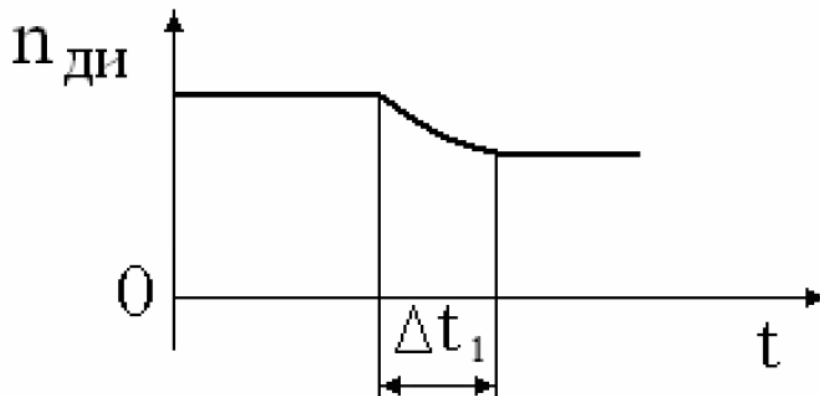


Рисунок 4.2 – Изменение частоты вращения двигателя внутреннего сгорания во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

В процессе снижения частоты вращения двигателя внутреннего сгорания происходит увеличение количества подаваемого топлива  $h_{\partialи}$  в цилиндры двигателя внутреннего сгорания, но это из-за медленного снижения частоты вращения двигателя происходит за время, также равное  $\Delta t_1$  (рисунок 4.3), т. е. медленно. В процессе снижения частоты вращения двигателя происходит уменьшение напряжения  $U_2$  на выходе датчика частоты вращения, поступающего на второй вход сумматора по цепи отрицательной жесткой обратной связи. Появляется управляющее напряжение на выходе сумматора, равное разности поступающих напряжений на входы сумматора, которое поступает посредством усилителя на вход электронного блока управления.



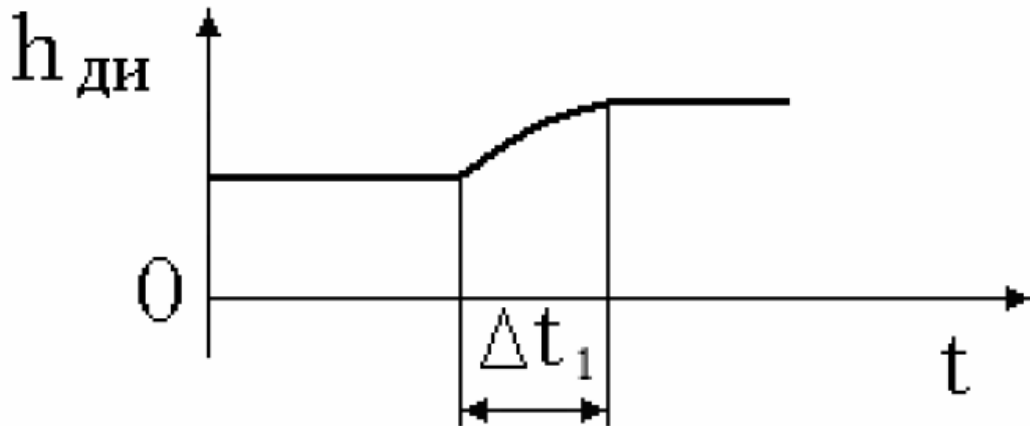


Рисунок 4.3 – Зависимость увеличения количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

На выходе блока управления появляются прямоугольные импульсы с увеличенной длительностью. Топливо подается больше (см. рисунок 4.3), поэтому вращающий момент на валу двигателя внутреннего сгорания возрастает. Но так как при увеличении момента сопротивления движению автомобиля частота вращения двигателя снижается медленно, то и увеличение вращающего момента двигателя происходит с задержкой во времени. Быстродействие системы управления является недостаточным. Автомобиль очень медленно преодолевает сопротивление движению, при этом снижаются его производительность и проходимость. Может возникнуть необходимость в переключении передачи на более низшую по отношению к исходной, что дополнительно снижает быстродействие.

Возникает необходимость в совершенствовании известной системы автоматического регулирования путем повышения быстродействия системы управления автомобилем.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** стенд для исследования датчика крутящего момента, цифровой осциллограф АКИП 4115 2А, автотрансформатор, регулируемый источник постоянного тока, стенд КИ-968 с установленным зубчатым колесом, частоту вращения которого необходимо преобразовать в последовательность импульсов напряжения.

### **Порядок проведения работы**

Изучить конструкцию и принцип действия датчика частоты вращения. Включить стенд для экспериментального исследования датчика частоты вращения, получить осциллограммы напряжения на выходе катушки индуктивности с магнитным сердечником.

### ***Содержание отчета***

1 Записать цель работы и изобразить в отчете схему с датчиком частоты вращения и подачи топлива.

2 Построить осциллограммы напряжений, полученных в результате эксперимента.

### ***Контрольные вопросы***

1 Перечислить элементы системы управления подачей топлива в цилиндры двигателей внутреннего сгорания.

2 Объяснить принцип действия датчика частоты вращения.

## **5 Лабораторная работа № 5. Исследование стенда для диагностирования автомобиля по колесной мощности**

**Цель работы:** исследовать и изучить стенд для диагностирования автомобиля по его колесной мощности.

**Краткие теоретические сведения.** На первой стадии проектирования стенда для диагностирования автомобиля по его колесной мощности были проведены исследования работы известного стенда. В результате этого было установлено, что известный стенд имеет недостатки, один из которых заключается в том, что на нем не обеспечивается возможность непосредственного измерения такого диагностического параметра, как колесная мощность.

Изложенное выше дало основание предложить новый метод диагностирования дизельных двигателей на стенде, заключающийся в том, что диагностируемый автомобиль устанавливают на стенд, содержащий опорные и ведущие беговые барабаны, нагрузочное устройство, выполненное в виде электрической машины переменного тока общего исполнения, ротор которой соединен упругим валом с ведущим барабаном, монтажную плиту, тахогенератор, измеритель нагрузки, выполненный в виде датчика крутящего момента, датчик угловой скорости, карданный вал, соединяющий вал двигателя с валом тормоза, снабженный контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления. Нагружают ведущие колеса автомобиля, перемещая педаль управления подачей топлива в двигатель автомобиля, при этом электрическая машина начинает работать в режиме генератора. Измеряют по прибору колесную мощность автомобиля и сравнивают ее с нормативной. Принимают решение о техническом состоянии автомобиля. Разработанный метод диагностирования есть совокупность операций, действий, позволяющих дать объективное заключение о состоянии дизельного двигателя.

В результате решения поставленной задачи разработан стенд для диагностирования колесной мощности автомобиля (рисунок 5.1).

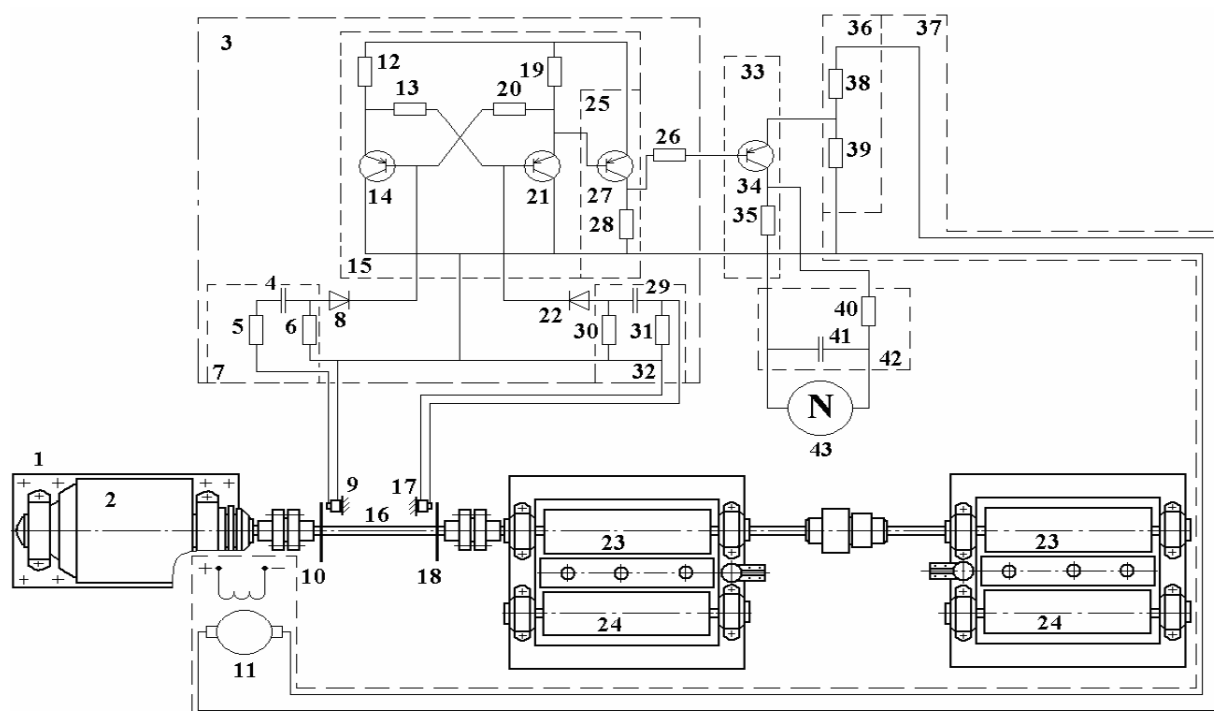


Рисунок 5.1 – Общий вид стенда

На основе выполненных патентно-информационных исследований, выбора аналога, оптимальных параметров устройства и разработки технического задания было предложено новое техническое решение, которое состоит в следующем. Стенд содержит (см. рисунок 5.1) опорные 24 и ведущие 23 беговые барабаны, нагрузочное устройство, выполненное в виде электрической машины 2 переменного тока общего исполнения, ротор которой соединен упругим валом 16 с ведущим барабаном 23, монтажную плиту 1, тахогенератор 11, измеритель нагрузки выполненный в виде датчика 3 крутящего момента, включающего в себя установленные по концам упругого вала металлические диски 10, 18 с радиальными прорезями и выступами, преобразователи 9, 17 импульсные, установленные с обеспечением возможности прохождения выступов и прорезей каждого из дисков 10, 18 возле соответствующего преобразователя 9, 17, соединенные с выходами преобразователей 9, 17 дифференцирующие цепи 7, 32 с отсекающими диодами 8, 22, триггер 15, выполненный на первом 14 и втором 21 транзисторах и четырех резисторах 12, 13, 19, 20, при этом базы транзисторов 14, 21 соединены с выходами дифференцирующих цепей 7, 32 с отсекающими диодами 8, 22.

В схеме стенда имеются первый эмиттерный повторитель 25, выполненный на транзисторе 27 и резисторе 28, второй эмиттерный повторитель 33, выполненный на транзисторе 34 и резисторе 35. Вход первого эмиттерного повторителя 25 соединен с выходом триггера 15, а выходом первый эмиттерный повторитель 25 соединен посредством резистора 26 со входом второго эмиттерного повторителя 33.

Датчик 36 угловой скорости ротора электрической машины выполнен на тахогенераторе 11 и делителе 36 напряжения, имеющего первый 38 и второй 39 резисторы. Делитель имеет коэффициент деления, отражающий соотношение частоты вращения вала и величины его угловой скорости, и равен частному от деления 3,14 на 30. При этом делитель соединен с выходом тахогенератора 11, а выход делителя выполнен на резисторе 39 с меньшим сопротивлением и является источником постоянного тока для питания второго эмиттерного повторителя 33.

В качестве сглаживающего элемента в схеме стенда имеется фильтр 42 низших частот, выполненный на резисторе 40 и конденсаторе 41 и соединенный с выходом второго эмиттерного повторителя 33. Измерительным прибором 43 постоянного тока, соединенным с выходом фильтра 42 низших частот и имеющим отметку на своей шкале нормативного значения колесной мощности, диагностируемого на стенде тяговых качеств автомобиля, измеряется колесная мощность и производится сравнение измеренной величины с нормативным ее значением.

Первая дифференцирующая цепь 7 выполнена на резисторах 5, 6 и конденсаторе 4, вторая дифференцирующая цепь 32 выполнена на резисторах 30, 31 и конденсаторе 29.

### ***Описание работы стенда***

Автомобиль устанавливают на стенд, запускают двигатель внутреннего сгорания, включают прямую передачу, запускают электрическую машину 2 стенда в режиме электродвигателя, при этом устанавливается частота вращения ротора машины 2 меньше синхронной частоты вращения электромагнитного поля статора машины 2 (рисунок 5.2, точка А). Переводят электрическую машину 2 в режим генератора посредством перемещения педали управления подачей топлива до полной подачи топлива, при этом частота вращения ротора машины 2 увеличивается до значения, соответствующего точке В (см. рисунок 5.2), и на выходе датчика 37 угловой скорости появляется напряжение. Ток в роторе машины 2 изменяется по направлению и вследствие взаимодействия электромагнитного поля статора и тока в роторе машины 2 на валу ротора появляется тормозной момент, который измеряется датчиком 3 момента, установленным на упругом валу 16 стенда. Установленная угловая скорость ротора электрической машины 2 (см. рисунок 5.2, точка В) измеряется датчиком угловой скорости. Крутящий момент на валу 16 измеряется следующим образом. В исходном состоянии транзистор 14 триггера 15 закрыт, а транзистор 21 открыт. Поэтому напряжение на коллекторе транзистора 21 равно нулю, а на коллекторе транзистора 14 принимает максимальное значение. При вращении вала 16 и нагружении его моментом диск 10 проходит выступом возле преобразователя 9 и на выходе преобразователя 9 появляется первый импульс. Он дифференцируется цепью 7, на выходе которой образуются два разнополярных импульса. Выходной сигнал этой цепи выпрямляется диодом 8, образуя положительный импульс, который подается на базу транзистора 14.

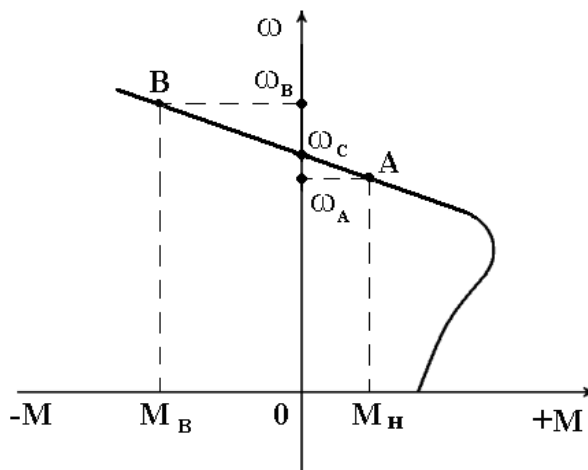


Рисунок 5.2 – Механическая характеристика электрической машины переменного тока

Транзистор *14* открывается, а транзистор *21* закрывается, поэтому на коллекторе транзистора *21* появляется положительное напряжение. При нагружении моментом вал *16* закручивается на угол пропорционально приложенному моменту (рисунок 5.3). Поэтому диск *18* закручивается относительно диска *10* и на выходе преобразователя *17* формируется импульс, имеющий фазовое смещение относительно первого импульса, сформированного преобразователем *9*. Этот импульс дифференцируется цепью *32*, выходной сигнал цепи *32* выпрямляется диодом *22*, образуя положительный импульс, который подается на базу транзистора *21*. Транзистор *21* открывается, а транзистор *14* закрывается. На коллекторе транзистора *21* опять устанавливается напряжение, равное нулю. В результате происходит формирование на коллекторе второго транзистора *21* прямоугольного импульса, длительность которого пропорциональна величине крутящего момента в данный момент времени. Далее формирование прямоугольных импульсов на выходе второго транзистора *21* происходит аналогично описанному выше. Полученные прямоугольные импульсы (рисунок 5.4) подаются на вход первого эмиттерного повторителя *25*. С выхода последнего сигнал о величине крутящего момента подается на вход второго эмиттерного повторителя *33* на время, равное длительности каждого из подаваемых прямоугольных импульсов от эмиттерного повторителя *25*.

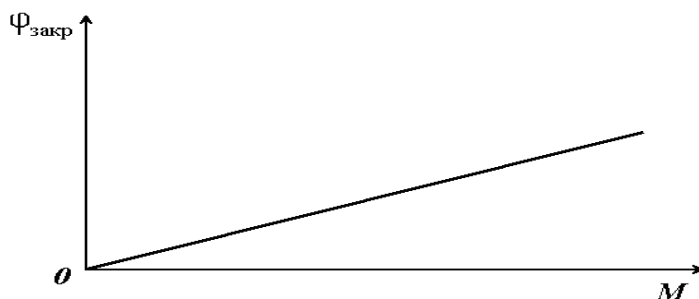


Рисунок 5.3 – Статическая характеристика упругого вала

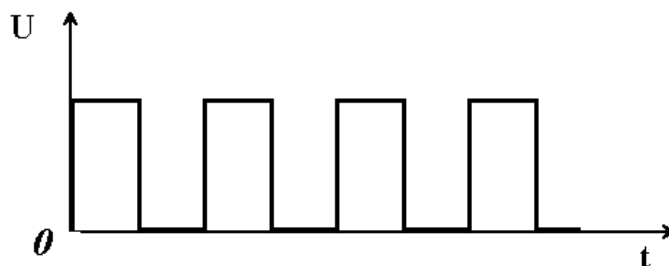


Рисунок 5.4 – Напряжение на выходе первого эмиттерного повторителя

Величина угловой скорости вращения ротора машины при нажатии педали подачи топлива автомобиля до упора измеряется следующим образом. Выходное напряжение тахогенератора *11* подается на вход делителя *36*, при этом на выходе резистора *39* формируется напряжение (рисунок 5.5), пропорциональное угловой скорости вращения ротора машины, т. к. делитель выполнен с коэффициентом, равным частному от деления 3,14 на 30. Это напряжение подается на коллектор транзистора *34* второго эмиттерного повторителя *33*. Таким образом, на второй эмиттерной повторитель *33* непрерывно подается напряжение на коллектор, пропорциональное угловой скорости вращения ротора машины, и при появлении на его входе прямоугольных импульсов напряжения от датчика момента, длительность которых пропорциональна моменту, развиваемому электрической машиной в генераторном режиме ее работы, на выходе второго эмиттерного повторителя *33* формируются прямоугольные импульсы напряжения (рисунок 5.6), площадь которых пропорциональна колесной мощности автомобиля.

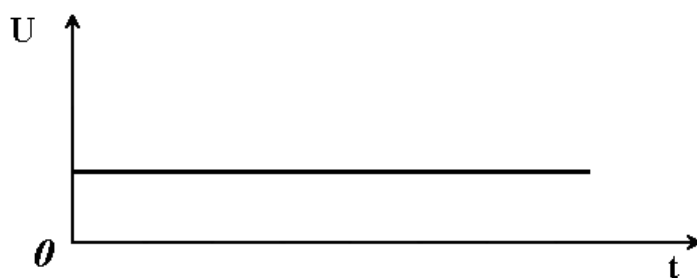


Рисунок 5.5 – Напряжение на коллекторе второго эмиттерного повторителя

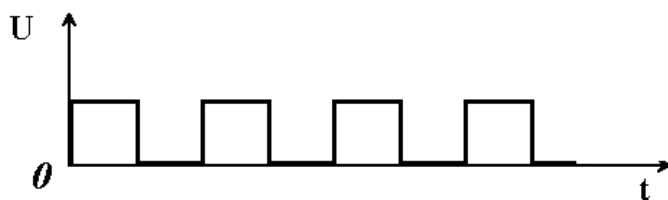


Рисунок 5.6 – Напряжение на выходном резисторе

Полученные на выходе второго эмиттерного повторителя 33 прямоугольные импульсы сглаживаются фильтром 42 низших частот, который выполнен на резисторе 40 и конденсаторе 41 и соединен с выходом второго эмиттерного повторителя 33. После сглаживания полученная механическая мощность (рисунок 5.7) на колесе диагностируемого автомобиля измеряется прибором 43 постоянного тока. Измеренная колесная мощность сравнивается с ее нормативной величиной. Если она меньше нормативной, принимается решение о наличии в автомобиле неисправностей.

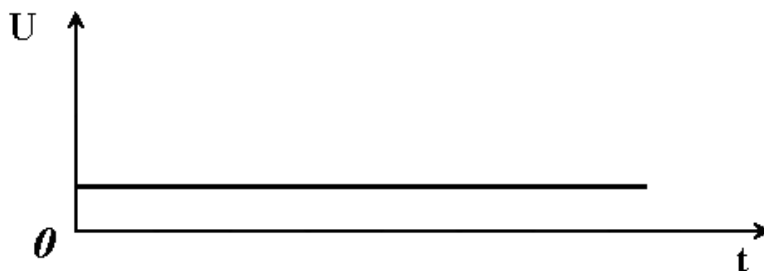


Рисунок 5.7 – Напряжение на фильтре низших частот

Применение предлагаемого стенда позволяет повысить топливную экономичность и производительность автомобиля путем использования для диагностирования такого диагностического параметра, как измеряемая на стенде колесная мощность, и таким образом при последующем устранении неисправностей обеспечить их полное устранение, а также снизить расходы на создание стенда и его эксплуатацию.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с группой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** стенд для исследования датчика крутящего момента, цифровой осциллограф АКИП 4115 2А, автотрансформатор, регулируемый источник постоянного тока.

### ***Порядок проведения работы***

Изучить конструкцию и принцип действия стенда, датчика крутящего момента. Включить стенд для экспериментального исследования датчика крутящего момента, получить осциллограммы напряжения на выходе триггера датчика крутящего момента и осциллограмму напряжения на выходе датчика.

### ***Содержание отчета***

1 Записать цель работы и изобразить в отчете схему с датчиком крутящего момента.

2 Построить осциллограммы напряжений, полученных в результате эксперимента.

3 Вычислить величину момента на валу.

4 Сравнить величину момента на валу с величиной выходного сигнала, полученного по второму каналу цифрового осциллографа.

### ***Контрольные вопросы***

1 Перечислить элементы измерительной системы колесной мощности автомобиля.

2 Объяснить принцип действия элементов измерительной системы колесной мощности автомобиля.

## **6 Лабораторная работа № 6. Исследование преобразователей ступенчатых нагрузок на валу ДВС**

**Цель работы:** исследовать и изучить работу преобразователей ступенчатых нагрузок на валу ДВС.

**Краткие теоретические сведения.** Экспериментальные исследования работы дизельных двигателей в исправном и неисправном состояниях показали, что при наличии неисправностей такая динамическая характеристика двигателя, как переходная характеристика по его частоте вращения, претерпевает изменения у неисправного дизельного двигателя по сравнению с исправным. На основании установленного был предложен метод диагностирования дизельных двигателей на стенде по переходной характеристике частоты вращения его вала, представляющей собой изменение во времени частоты вращения вала при ступенчатом изменении момента на валу двигателя.

Так как ступенчатое воспроизведение момента на валу дизельного двигателя затруднительно, был разработан метод определения переходной характеристики дизельного двигателя, заключающийся в определении переходной характеристики последовательного соединения двигателя и электрического тормоза при известной заранее переходной характеристике электрического тормоза.

Для реализации этого метода спроектирован стенд для диагностирования дизельного двигателя, общая схема которого приведена на рисунке 6.1. Стенд содержит дизельный двигатель 1, электрический тормоз 2 с обмотками 3 и 4 возбуждения. Для измерения частоты вращения вала двигателя имеется датчик частоты вращения 5, для измерения момента на его валу – датчик 6, для измерения перемещения рейки топливного насоса двигателя – датчик 7.

Для воспроизведения момента на валу двигателя используется следующее оборудование: автотрансформатор 8, трансформатор 9, выпрямитель 10, конденсатор 11, обкладки которого параллельно подключены к обмоткам 3 возбуждения и к регистрирующему прибору 12. Для регистрации переходной характеристики двигателя выбрано записывающее устройство 13 с тремя входами 14, 15, 16. Входом 14 данное устройство подключено к датчику 6 момента, входом 15 – к датчику 5 частоты вращения, входом 16 – к датчику перемещения рейки. Выходом 17 записывающее устройство 13 подключено к обмотке 4 возбуждения тормоза и параллельно к регулируемому источнику постоянного тока.



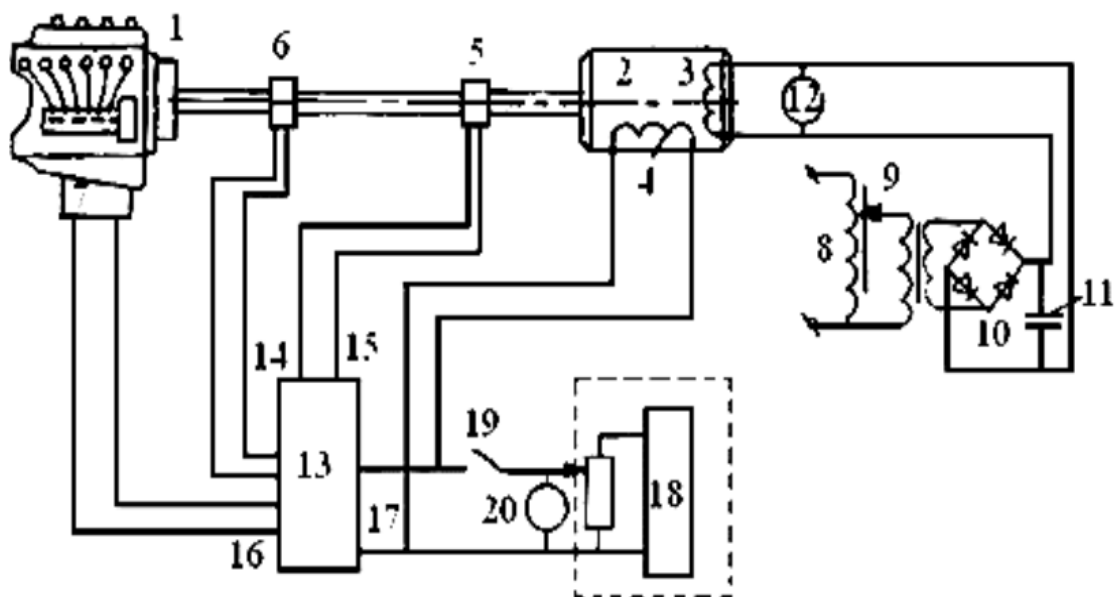


Рисунок 6.1 – Стенд для диагностирования ДВС с использованием ступенчатого воспроизведения момента на валу двигателя

На выходе источника *18* постоянного тока с регулятором установлены коммутатор *19* и дополнительный измерительный прибор *20*, с помощью которого измеряется уровень подаваемого в обмотку *4* напряжения.

После запуска двигателя внутреннего сгорания на обмотку *3* возбуждения тормоза подается напряжение постоянного тока, уровень которого соответствует 50 % номинального момента диагностируемого двигателя. Это достигается применением измерительного прибора *12*. Например, если номинальный момент диагностируемого двигателя составляет 600 Н·м, то необходимо, передвигая движок автотрансформатора, установить по прибору *12* такое напряжение на обмотке *3* тормоза, чтобы момент на валу дизельного двигателя составил 300 Н·м. Выполнить эту операцию на данном стенде можно, если предварительно снять или иметь снятую заранее статическую характеристику тормоза, представляющую собой зависимость момента, воспроизводимого на валу тормоза, от напряжения, подаваемого в обмотку возбуждения в установившемся режиме его работы. При этом для построения статической характеристики он нагружается моментом, составляющим 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 от номинального момента. Тормозной момент на валу тормоза регистрируется одновременно с величиной напряжения, соответствующего этим моментам. Статистическая характеристика тормоза характеризуется коэффициентом усиления, под которым понимается величина приращения момента на валу тормоза при изменении напряжения на его обмотке возбуждения на 1 В. На данном стенде для воспроизведения нагрузок выбран порошковый тормоз, коэффициент усиления которого равен 40 Н·м/В. Для заданного значения момента, воспроизводимого на валу тормоза, равного 300 Н·м, определяется величина напряжения, кото-

рое нужно подать в обмотку 3 возбуждения. Эта величина напряжения вычисляется по формуле

$$U = M_T / k_T , \quad (6.1)$$

где  $M_T$  – момент на валу тормоза стенда, который необходимо воспроизвести для нагружения диагностируемого дизельного двигателя;

$k_T$  – коэффициент воспроизведения электрического тормоза.

Далее при отключенном положении коммутатора 19 на выходе регулируемого источника постоянного тока устанавливается напряжение, равное 15 % от напряжения, соответствующего номинальной нагрузке на двигатель. Включается коммутатор, на обмотку 4 возбуждения тормоза и одновременно на вход 17 регистрирующего записывающего устройства 13 ступенчатым образом подается напряжение.

В ДВС возникают переходные процессы, изменяются частота вращения вала двигателя, момент на его валу, а также приходит в движение рейка топливного насоса. На рисунке 6.2, а–в приведены осциллограммы сигналов, записанных с помощью устройства 13. Они поступают на это устройство с обмотки возбуждения, выходов датчика частоты вращения, датчика момента.

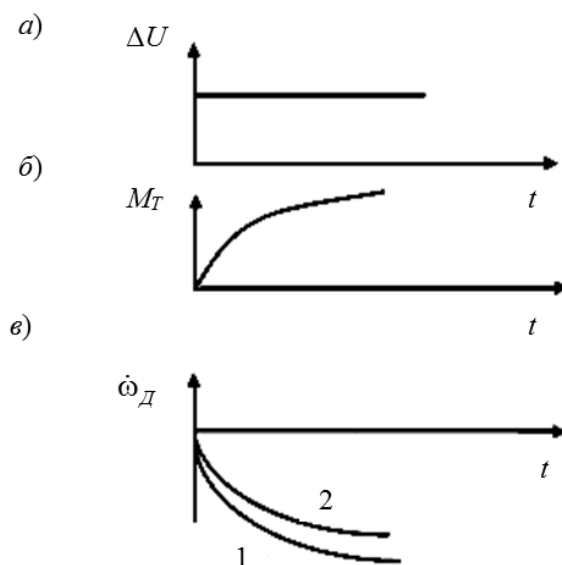


Рисунок 6.2 – Осциллограммы сигналов

Напряжение, подаваемое в обмотку 4 тормоза, приведено на рисунке 6.2, а. Момент на валу тормоза изменяется по экспоненциальной кривой (см. рисунок 6.2, б), частота вращения двигателя – в соответствии с кривыми 1 и 2 рисунка 6.2, в, причем частота вращения вала двигателя изменяется в соответствии с кривой 1, если двигатель не имеет неисправности, и в соответствии с кривой 2, если неисправности в двигателе имеются.

При наличии неисправностей увеличивается постоянная времени двигателя, что видно из анализа кривых рисунка 6.2, в. Эти сигналы подаются

на соответствующие входы регистрирующего устройства, в качестве которого принимается светолучевой осциллограф типа К 12-22.

Разработанный преобразователь частоты вращения представлен на рисунке 6.3.

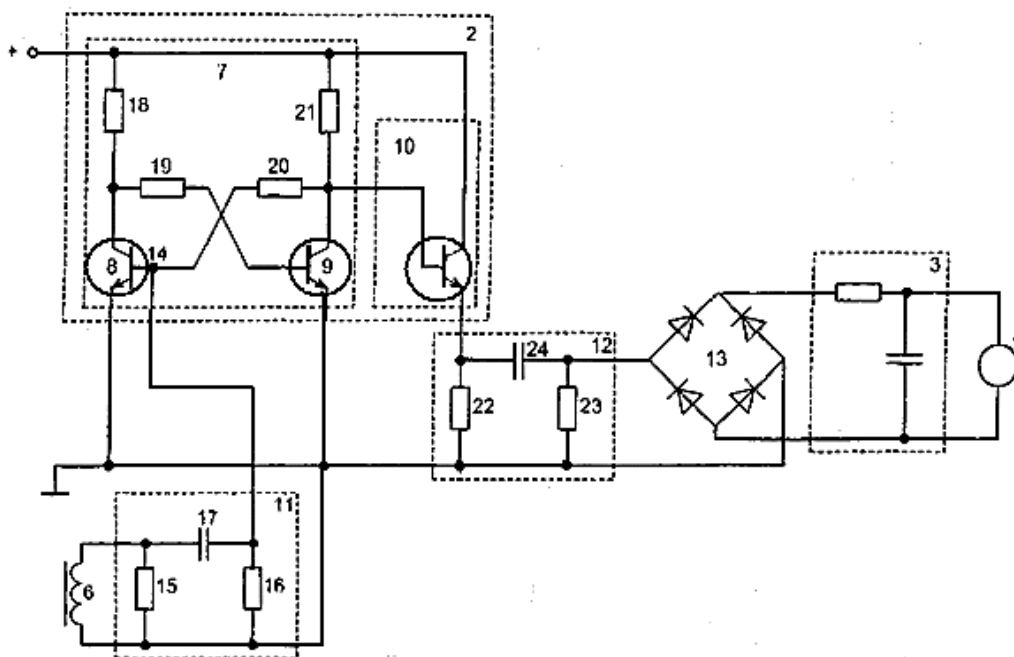


Рисунок 6.3 – Схема преобразователя частоты вращения

Преобразователь частоты вращения содержит датчик 1 частоты вращения вала, формирователь 2 импульсов, фильтр 3 нижних частот, измерительный прибор 4, диск 5 с прорезями и выступами, установленный на валу, катушку индуктивности 6 с магнитным сердечником, жестко закрепленную вблизи прорезей и выступов диска. Формирователь 2 импульсов изготовлен в виде последовательно соединенных триггера 7 с одним входом, выполненного на двух 8 и 9 биполярных транзисторах с коллекторно-базовыми связями, и эмиттерного повторителя 10. Устройство имеет дифференцирующую цепь 11, входом подключенную к катушке индуктивности 6, последовательно соединенные вторую дифференцирующую цепь 12 и выпрямитель 13, при этом выпрямитель 13 соединен с фильтром 3 нижних частот, база 14 первого биполярного транзистора 8 триггера 7 подключена к дифференцирующей цепи 11, а выход эмиттерного повторителя 10 – ко входу второй дифференцирующей цепи 12. Первая дифференцирующая цепь 11 содержит резисторы 15, 16, конденсатор 17. Триггер 7 имеет резисторы 18, 19, 20, 21. Вторая дифференцирующая цепь 12 содержит резисторы 22, 23, конденсатор 24.

При вращении вала с металлическим диском 5 с прорезями и выступами на выходах катушки 6 индуктивности формируются разнополярные импульсы, которые дифференцируются с помощью первой дифференцирующей цепи 11. На рисунке 6.4, а представлена осциллограмма остроконечных импульсов, пригодных для запуска триггера 7.

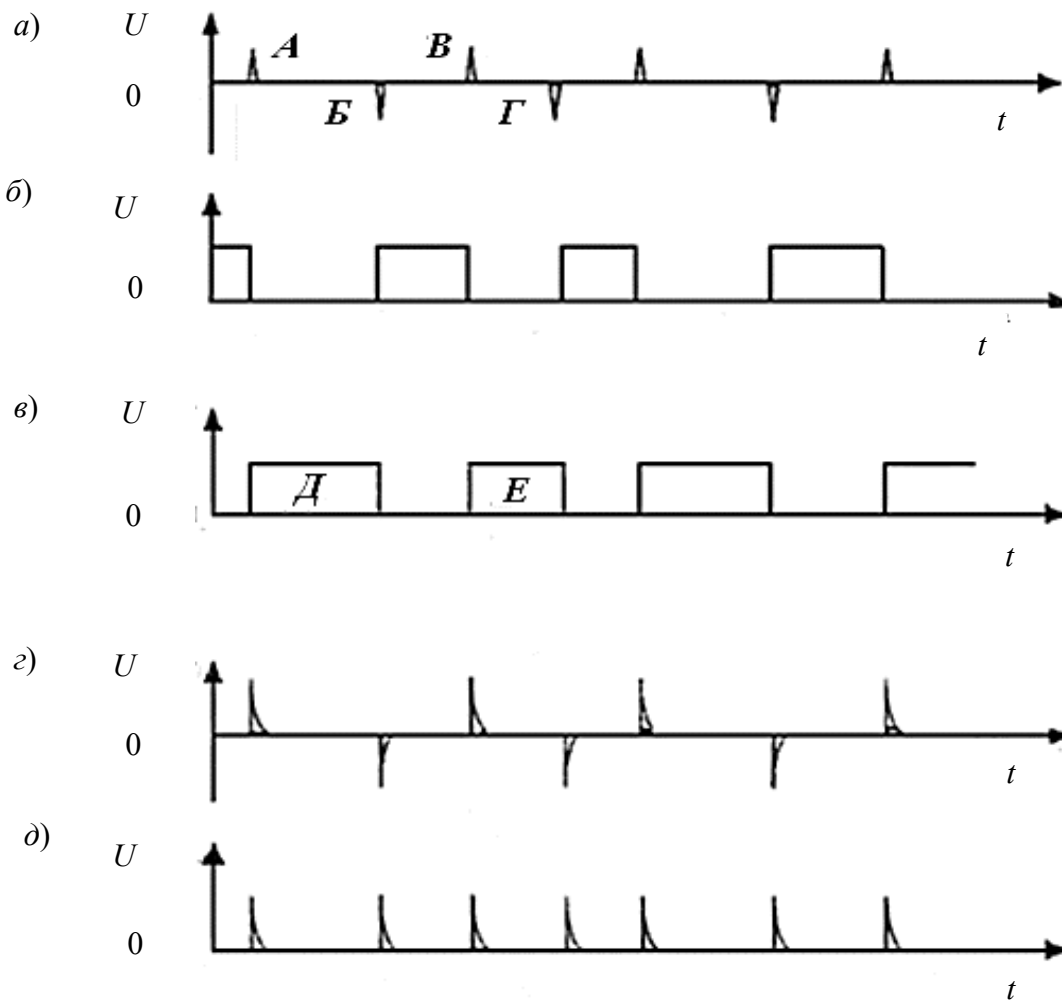


Рисунок 6.4 – Осциллограммы сигналов в электрических цепях преобразователя частоты вращения

В исходном положении триггера считается, что первый транзистор  $\delta$  закрыт, а второй  $10$  открыт. При поступлении на базу  $14$  транзистора  $\delta$  положительного остроконечного импульса  $A$  в момент времени  $t_1$  (см. рисунок 6.4, *a*) транзистор  $\delta$  открывается, а транзистор  $9$  закрывается (рисунок 6.4, *б*, *в*). При последующем поступлении в момент времени  $t_2$  отрицательного остроконечного импульса  $B$  (см. рисунок 6.4, *a*) на базу  $14$  транзистора  $\delta$  этот транзистор закрывается, а транзистор  $9$  открывается. В результате этого на выходе триггера  $7$  формируется прямоугольный импульс  $D$  (см. рисунок 6.4, *в*).

При поступлении от первой дифференцирующей цепи  $11$  остроконечных импульсов  $B$  и  $\Gamma$  (см. рисунок 6.4, *a*) на базу  $14$  транзистора  $\delta$  происходит формирование прямоугольного импульса  $E$  (см. рисунок 6.4, *в*). Далее импульсы образуются с помощью триггера  $7$  аналогично описанному выше. При изменении частоты вращения вала формируются прямоугольные импульсы,

которые отличаются своей длительностью, но имеют одинаковую высоту, а следовательно, и различную площадь, но нет возможности их интегрирования. Для получения одинаковой площади они дифференцируются второй дифференцирующей цепью, при этом формируется разнополярная последовательность экспоненциальных импульсов. С помощью операции выпрямления они преобразуются в последовательность экспоненциальных импульсов положительной полярности, после чего сглаживаются фильтром 3 и измеряются прибором 4.

**Организация работы.** Работа рассчитана на 4 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** стенд для исследования работы преобразователя ступенчатых нагрузок, цифровой осциллограф АК ИП 4115 2А, аккумуляторная батарея, регулируемый по частоте вращения стенд.

### ***Порядок проведения работы***

Изучить конструкцию и принцип действия стенда, преобразователя ступенчатых нагрузок. Включить стенд для экспериментального исследования преобразователя ступенчатых нагрузок, получить осциллограммы напряжения на выходе преобразователя и осциллограмму напряжения на выходе преобразователя.

### ***Содержание отчета***

1 Записать цель работы и изобразить в отчете схему с преобразователя ступенчатых нагрузок.

2 Описать принцип действия преобразователя ступенчатых нагрузок.

3 Построить осциллограммы напряжений, полученных в результате эксперимента.

### ***Контрольные вопросы***

1 Перечислить элементы преобразователя ступенчатых нагрузок.

2 Объяснить принцип действия элементов преобразователя ступенчатых нагрузок.

## 7 Лабораторная работа № 7. Исследование преобразователей частоты вращения колеса автомобиля

**Цель работы:** исследовать и изучить работу преобразователей ступенчатых нагрузок на валу ДВС.

**Краткие теоретические сведения.** На рисунке 7.1 приведена схема преобразователя частоты вращения.

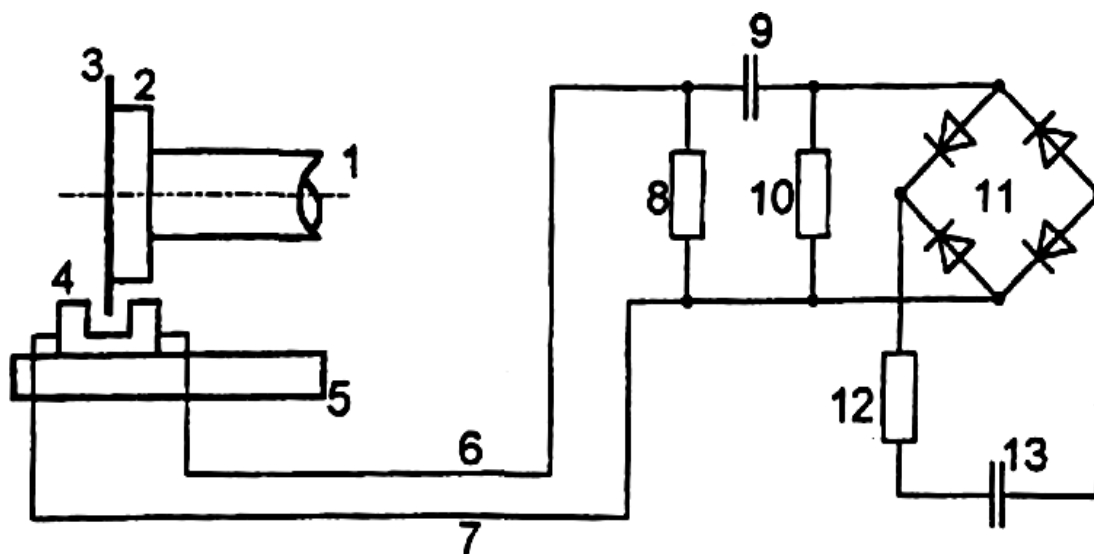


Рисунок 7.1 – Схема преобразования частоты вращения колеса

На ней обозначены: 1 – ось колеса; 2 – шкив; 3 – металлический диск; 4 – датчик КДЗ-25; 5 – кронштейн; 6, 7 – электрические провода; 8, 10, 12 – резисторы; 9, 13 – конденсаторы.

На рисунке 7.2 приведена принципиальная схема датчика КЗД-25. Датчик состоит из генератора, выполненного на транзисторе УТ1, триггера, выполненного на транзисторах УТ2, УТ3, УТ4, и усилителя, собранного на транзисторе УТ5. Генератор имеет три катушки индуктивности. При введении в зазор между катушками индуктивности, включенных в цепь базы и коллектора, металлической пластины, коэффициент обратной связи уменьшается, происходит срыв колебаний сигнала на выходе генератора. Закрытый до этого момента времени транзистор УТ5 открывается, на резисторе, включенном в цепь его коллектора, происходит ступенчатое изменение напряжения (рисунок 7.3, а, б).

При выходе из зазора металлической пластины коэффициент обратной связи генератора возрастает, колебания появляются вновь, транзистор УТ5 закрывается. На резисторе, включенном в цепь его коллектора, опять происходит изменение уровня напряжения (см. рисунок 7.3, а, б). При периодическом вхождении диска в зазор (см. рисунок 7.1) между катушками индуктивности

на резисторе  $\delta$  (см. рисунок 7.1) формируются периодические импульсные процессы, состоящие из прямоугольных импульсов одинаковой высоты.

Таким образом, при вращении колеса (см. рисунок 7.1) с частотой, равной  $50 \text{ мин}^{-1}$ , импульсный процесс имеет вид (см. рисунок 7.3, а). Для частоты вращения колеса, равной  $100 \text{ мин}^{-1}$ , импульсный процесс представлен на рисунке 7.3, а. Анализ импульсных процессов, изображенных на рисунке 7.3, а, б, позволяет сделать вывод, что все прямоугольные импульсы имеют одинаковую высоту, равную напряжению питания датчика КВД-25. С увеличением частоты вращения вала от  $50$  до  $100 \text{ мин}^{-1}$  длительность импульсов уменьшается в 2 раза, частота следования импульсов возрастает в 2 раза.

Так как одним из основных требований к датчику частоты вращения является требование линейности его статической характеристики, т. е. линейности его зависимости напряжения на выходе датчика от частоты вращения вала двигателя при установившемся режиме работы, то в качестве параметра принимается частота следования импульсов.

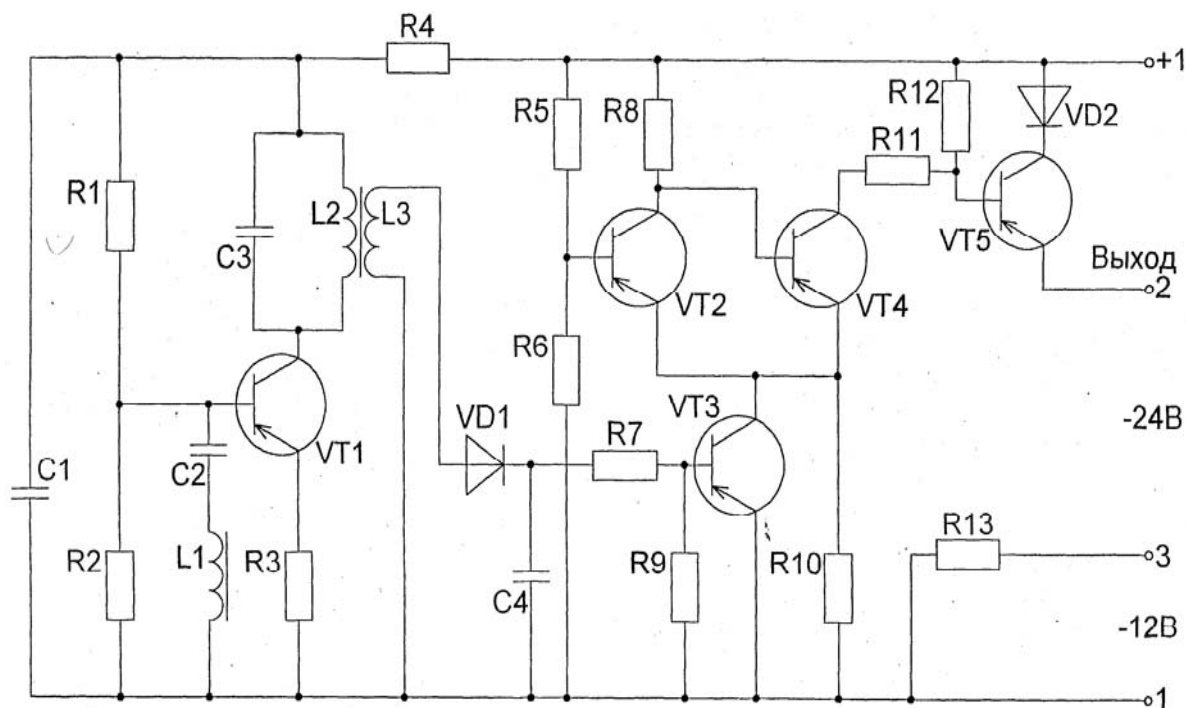


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема датчика КВД-25

Импульсы с резистора  $\delta$  поступают на дифференцирующую цепь, состоящую из конденсатора 9 и резистора 10. На резисторе 10 возникают экспоненциальные импульсы, изображенные на рисунке 7.3, в, г. После выпрямления импульсы становятся однополярными (рисунок 7.3, д, е). После интегрирования с помощью резистора 12 и конденсатора 13 на резисторе  $R$  нагрузки возникает непрерывный аналоговый сигнал (рисунок 7.3, ж, з).

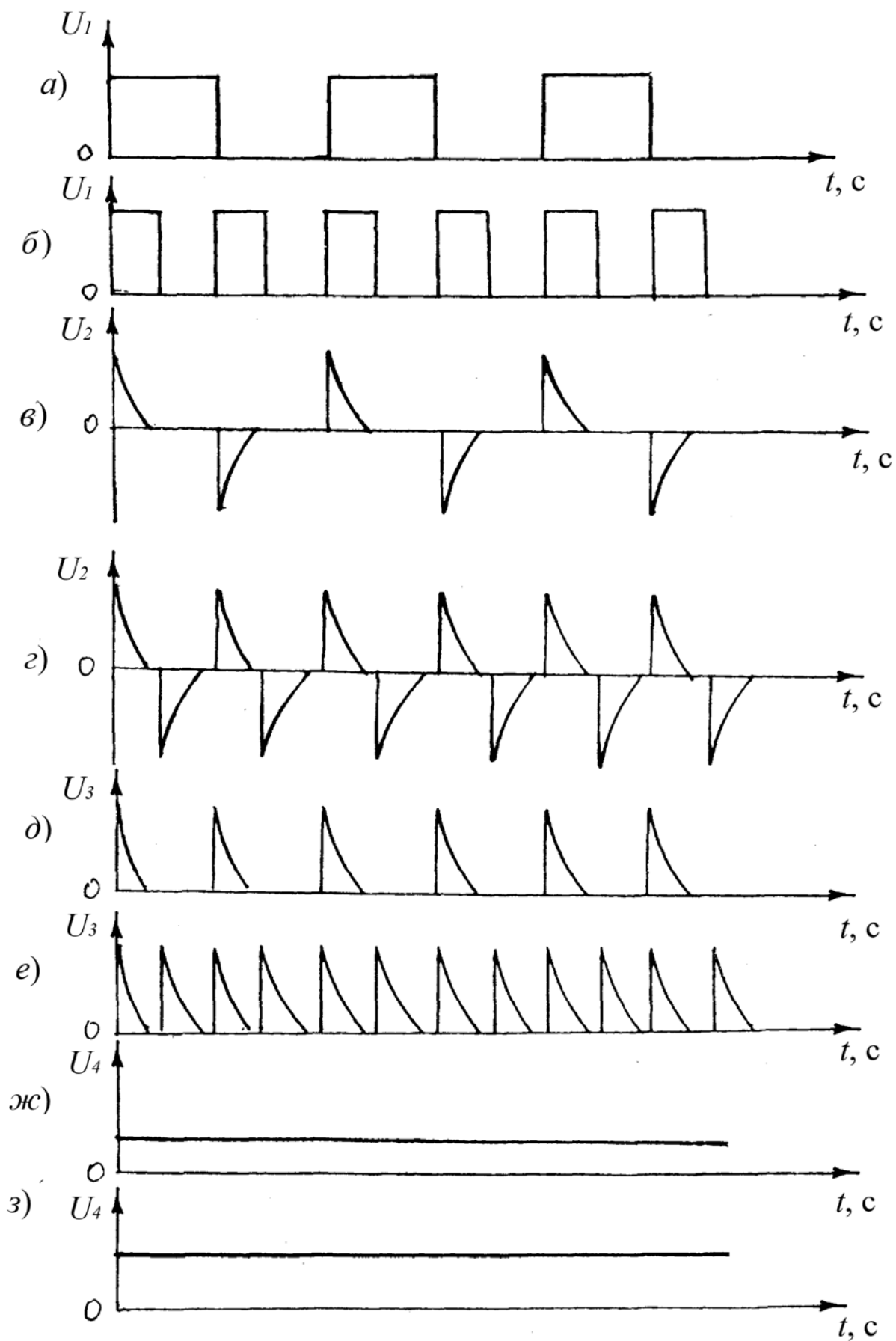


Рисунок 7.3 – Графики сигналов в цепях преобразователя



**Организация работы.** Работа рассчитана на 2 часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

**Оборудование и материалы:** стенд для исследования работы преобразователя частоты вращения, цифровой осциллограф АКИП 4115 2А, аккумуляторная батарея, регулируемый по частоте вращения стенд.

### ***Порядок проведения работы***

Изучить конструкцию и принцип действия стенда, преобразователя частоты вращения. Включить стенд для экспериментального исследования преобразователя частоты вращения, получить осциллограммы напряжения на выходе преобразователя и осциллограмму напряжения на выходе преобразователя.

### ***Содержание отчета***

1 Записать цель работы и изобразить в отчете схему с преобразователя частоты вращения.

2 Описать принцип действия преобразователя частоты вращения.

3 Построить осциллограммы напряжений, полученных в результате эксперимента.

### ***Контрольные вопросы***

1 Перечислить элементы преобразователя частоты вращения.

2 Объяснить принцип действия элементов преобразователя частоты вращения.

## Список литературы

1 Техническая эксплуатация, диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания : учебник / А. В. Александров [и др.]. – Москва : РИОР ; ИНФРА-М, 2023. – 448 с.

2 **Жилин, Р. А.** Техническая механика : учебное пособие / Р. А. Жилин, В. А. Жулай, Ю. Б. Рукин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 196 с.

3 Техническая механика. Курсовое проектирование : учебное пособие / Д. Н. Бахарев [и др.]. – 2-е изд., стер. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 236 с.

4 **Иванов, В. П.** Оборудование автопредприятий : учебник / В. П. Иванов, А. В. Крыленко. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 302 с.

5 Оборудование технического обслуживания автотранспортных средств : учебное пособие / В. С. Ивашко [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2016. – 368 с.

6 **Герашенко, В. В.** Методы и средства диагностирования и повышения эксплуатационных свойств автомобилей и их агрегатов : монография / В. В. Герашенко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 170 с.

7 Восстановление и упрочнение деталей. Справочник / В. А. Горохов [и др.] ; под ред. Ф. И. Пантелеенко. – Москва : Наука и технологии, 2013. – 368 с.

8 Основы проектирования ремонтно-технологического оборудования и оснастки / С. К. Карпович [и др.]. – Москва : БГАТУ, 2009. – 92 с.

9 **Пучин, Е. А.** Практикум по ремонту машин / Е. А. Пучин, В. С. Новиков, Н. А. Очковский; под ред. Е. А. Пучина. – Москва : КолосС, 2009. – 327 с.

10 **Савич, А. С.** Восстановительные технологии при ремонте автомобилей / А. С. Савич, В. С. Ивашко, В. П. Иванов. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2013. – 528 с.

11 **Савич, Е. Л.** Ремонт кузовов легковых автомобилей / Е. Л. Савич, В. С. Ивашко, А.С. Савич. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2012. – 320 с.