

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ И РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ И МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-37 80 01 «Транспорт»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 629.14
ББК 39.33
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
«25» октября 2021 г., протокол № 3

Составители: ст. преподаватель С. В. Лихтар;
ст. преподаватель Е. А. Моисеев;
ст. преподаватель М. Л. Петренко;
ст. преподаватель С. Ф. Шашенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Смоляр

Методические рекомендации предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы проектирования средств и разработки методов для определения технического состояния систем и механизмов транспортных средств» студентами специальности 1-37 80 01 «Транспорт» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ И РАЗРАБОТКИ
МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СИСТЕМ И МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Ответственный за выпуск	О. В. Билык
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 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, 2021

Содержание

Введение	4
1 Определение статических характеристик линейных и нелинейных элементов механических систем.....	5
2 Исследование устройств для управления асинхронными трехфазными электродвигателями	8
3 Исследование измерителей нагрузки на стендах для диагностирования ДВС, КП и электродвигателей.....	10
4 Исследование измерителей частоты вращения валов ДВС, КП и электродвигателей.....	16
5 Исследование стенда для диагностирования автомобиля по колесной мощности.....	19
6 Проектирование стенда тяговых качеств	26
7 Исследование бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по замедлению	31
8 Исследование бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по времени торможения.....	34
Список литературы	42

Введение

Дисциплина «Основы проектирования средств и разработки методов для определения технического состояния систем и механизмов транспортных средств» является одной из основополагающих при подготовке специалистов высшей квалификации по специальности 1-37 80 01 «Транспорт».

В основе изучения основ проектирования средств и разработки методов для определения технического состояния систем и механизмов 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 и оборудования механизации технического диагностирования технических характеристик в процессе эксплуатации.

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 Определение статических характеристик линейных и нелинейных элементов механических систем

Цель работы: изучение характеристик нелинейных элементов систем автоматического управления.

1.1 Общее положение

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).

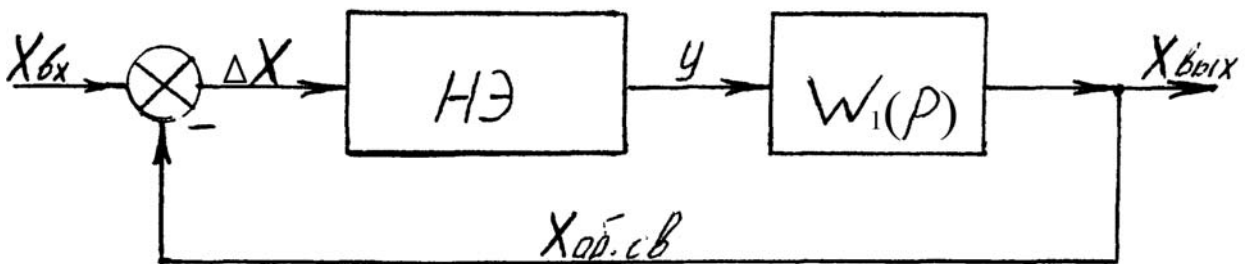


Рисунок 1.1 – Структурная схема нелинейной системы

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

Рассмотрим некоторые типы нелинейности.

1 Нечувствительность. Аналитически эта функция записывается так (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)

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

3 Релейная идеальная нелинейность. Аналитическая запись (см. рисунок 1.2)

$$X_{вых} = B \quad \text{при } X_{вх} > 0;$$

$$X_{вых} = -B \quad \text{при } X_{вх} < 0.$$

4 Релейная нелинейность с нечувствительностью. Аналитическая запись (см. рисунок 1.2)

$$X_{вых} = B \quad \text{при } X_{вх} > a;$$

$$X_{вых} = -B \quad \text{при } X_{вх} < -a;$$

$$X_{вых} = 0 \quad \text{при } |X_{вх}| < a.$$

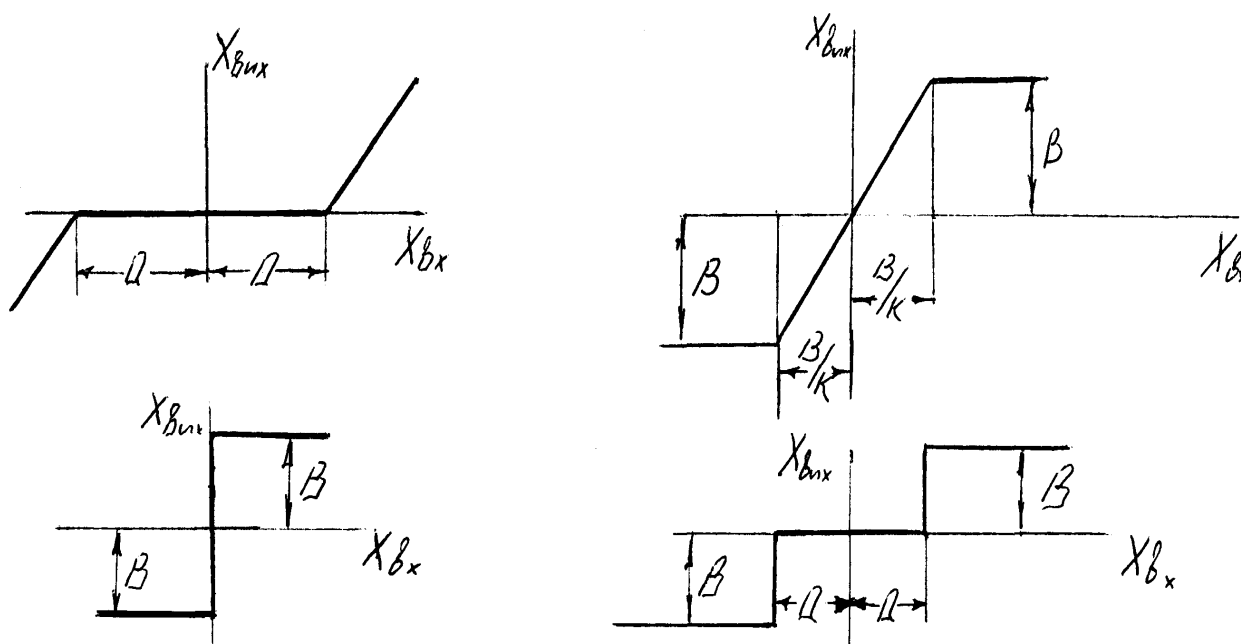


Рисунок 1.2 – Статические характеристики нелинейных систем

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

1.2 Организация работы

Работа рассчитана на два часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

1.3 Оборудование

Аккумулятор, выпрямитель, осциллографы С1-54, С1-70, измерительный прибор для измерения напряжения постоянного тока, измерительный прибор для измерения тока до 40 А, реле тяговое, реле стартера.

1.4 Содержание работы

1 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.

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

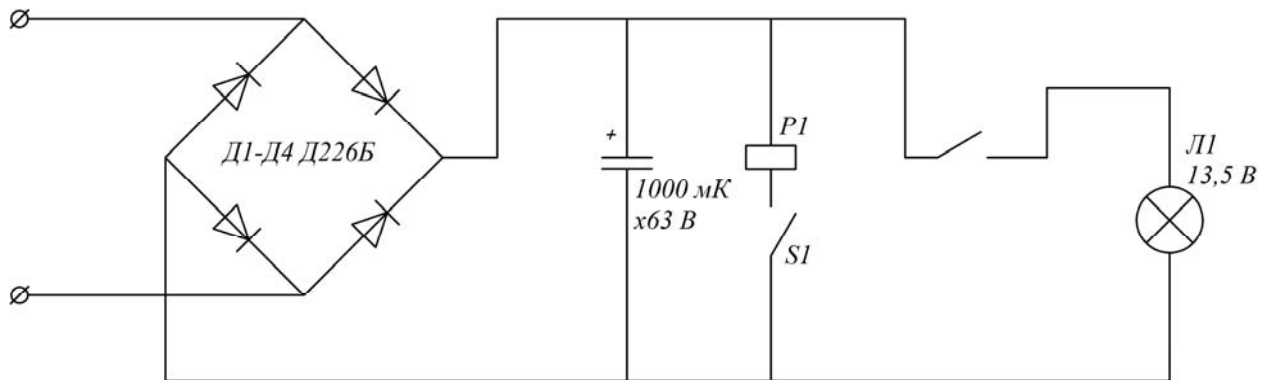


Рисунок 1.3 – Схема для определения статической характеристики нелинейных элементов

3 Провести эксперимент, заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты эксперимента

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

4 Используя полученные данные, построить статическую характеристику реле стартера.

1.5 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 стартера.

Контрольные вопросы

- 1 Дать определение нелинейной системе автоматики.
- 2 Привести пример нелинейного элемента.
- 3 Пояснить полученную статическую характеристику реле.

2 Исследование устройств для управления асинхронными трехфазными электродвигателями

Цель работы: изучение систем управления асинхронными трехфазными электродвигателями механических систем.

2.1 Общее положение

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.

Короткое замыкание – это явление, при возникновении которого по тем или иным причинам электрические токи, протекающие по обмоткам электродвигателя, 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 KK установлены в цепи питания электрическим током обмоток статора электродвигателя в две фазы, а размыкающие контакты – в цепи управления электродвигателем последовательно с обмоткой контактора KM . Контактор KM и тепловое реле KK конструктивно объединены в одном аппарате, который получил название «магнитный пускатель», при этом силовые контакты KM 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 B , первый плавкий предохранитель, кнопка «стоп», кнопка «пуск», контактор KM , контакты теплового реле, второй плавкий предохранитель, фаза трехфазного напряжения C , начинает протекать ток. Контактор KM срабатывает, замыкаются его силовые контакты, начинают протекать по фазным обмоткам статора электродвигателя переменные фазные токи, появляется переменное магнитное поле, которое создает в короткозамкнутых фазах ротора токи, при взаимодействии с которыми на валу ротора возникает крутящий момент. Двигатель под воздействием этого момента начинает вращаться и приводит в действие рабочий механизм.

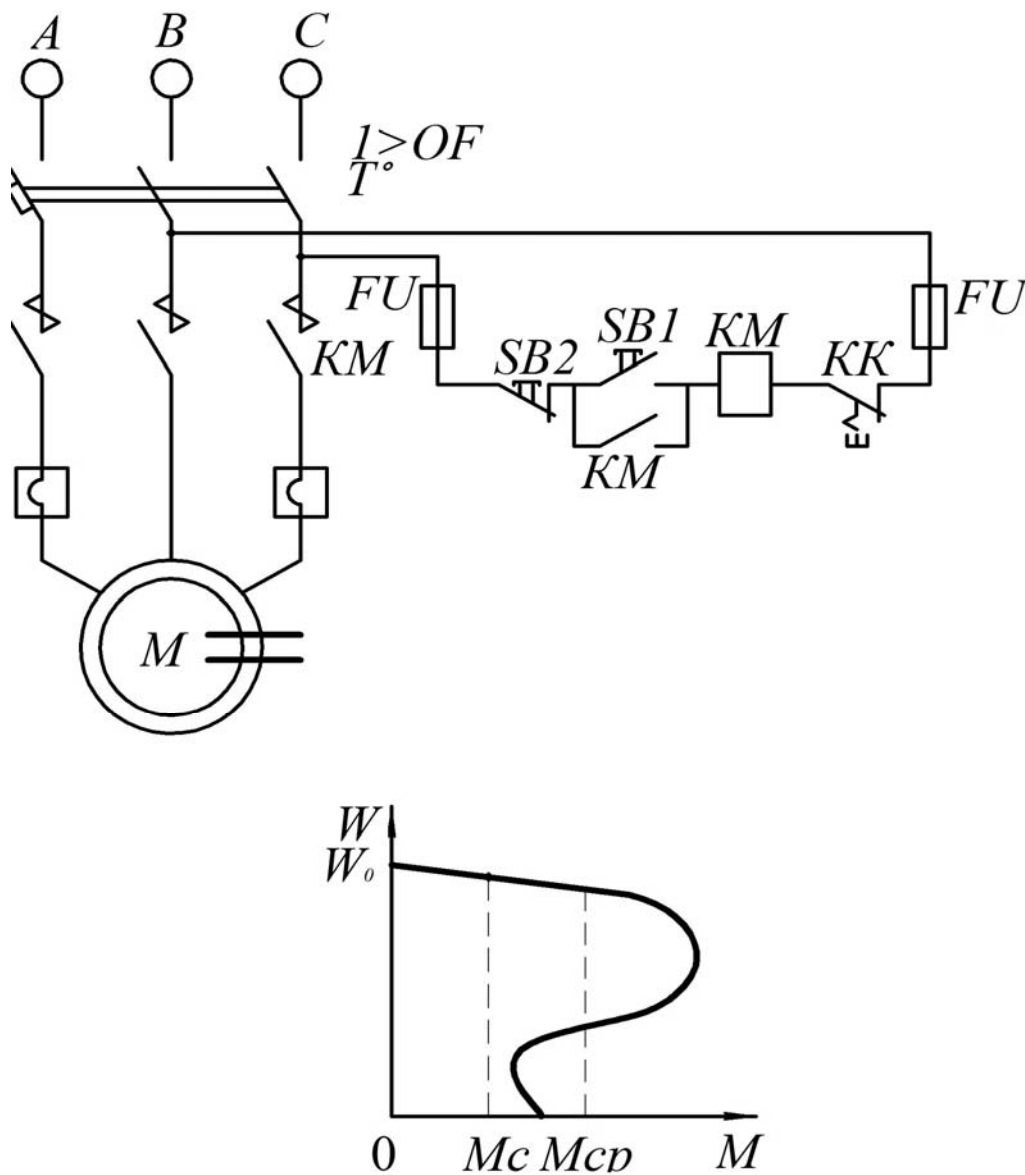


Рисунок 2.1 – Схема пуска короткозамкнутого асинхронного двигателя

При отпускании кнопки «пуск» вспомогательными блокирующими контактами KM блокируется данная кнопка, 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.

2.2 Организация работы

Работа рассчитана на два часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

2.3 Оборудование

Асинхронный трехфазный электродвигатель переменного тока, кнопки «пуск» и «стоп», стенд испытательный типа КИ-968.

2.4 Содержание работы

1 Изучить характеристики трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, установленного на стенде, и записать эти данные в отчет.

2 Произвести под руководством преподавателя пуск и останов электродвигателя.

2.5 Содержание отчета

Записать цель работы и начертить схему электродвигателя в отчет.

Контрольные вопросы

1 Перечислить элементы системы управления электродвигателем.

2 Изучить принцип действия системы управления электродвигателем.

3 Исследование измерителей нагрузки на стендах для диагностирования ДВС, КП и электродвигателей

Цель работы: исследование и изучение методики создания датчиков крутящего момента, устанавливаемых на валах двигателей автомобилей.

3.1 Общее положение

На первой стадии проектирования стенда для диагностирования дизельных двигателей были проведены исследования работы дизельного двигателя в исправном состоянии, а также при наличии неисправностей и разрегулировок. 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 режи-

ма 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.

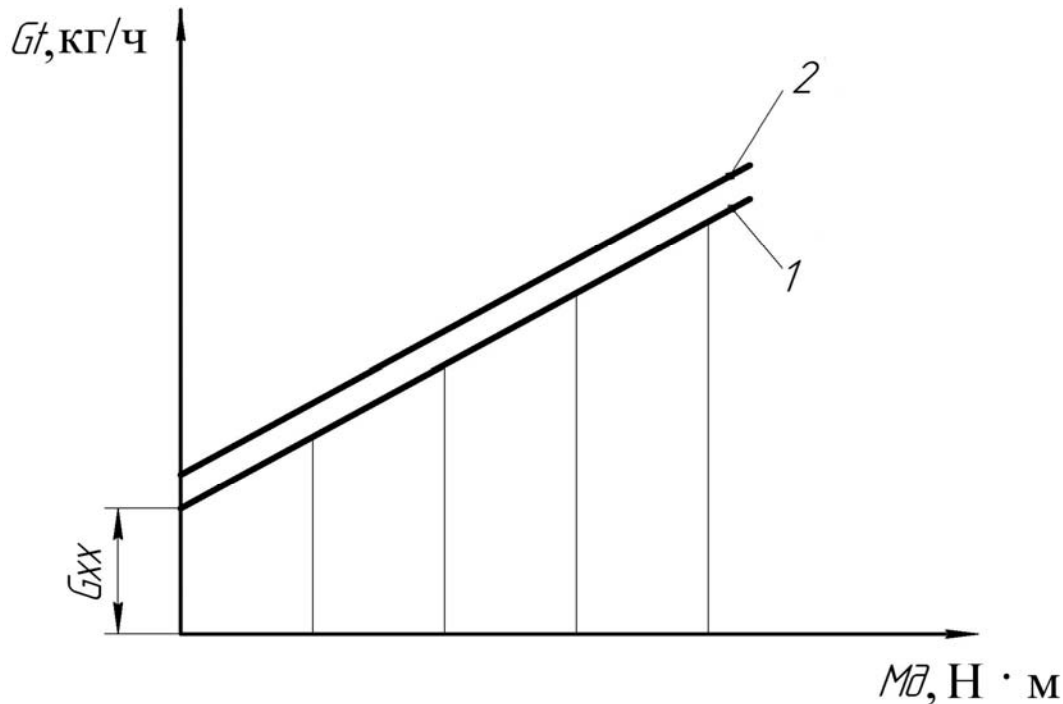


Рисунок 3.1 – Статическая характеристика дизельного двигателя

Вышеизложенное 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 импульсные. 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.

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 двадцати процентам от номинального момента двигателя. Установка этого момента на валу двигателя производится по прибору 28. Расход топлива измеряется за две минуты работы дизельного двигателя. Затем на выходе системы нагружения устанавливается напряжение, соответствующее моменту, равному сорока процентам от номинального момента двигателя, и опять измеряется расход топлива за две минуты его работы. Далее устанавливаются с помощью системы нагружения моменты на валу двигателя, равные шестидесяти, восьмидесяти процентам 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 нагрузочном режимах превышает нормативное значение, значит, диагностируемый двигатель неисправен и разрегулирован. 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 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 $W_{д.н}$. Частота вращения вала двигателя, соответствующая его холостому ходу, обозначена $W_{хх}$.

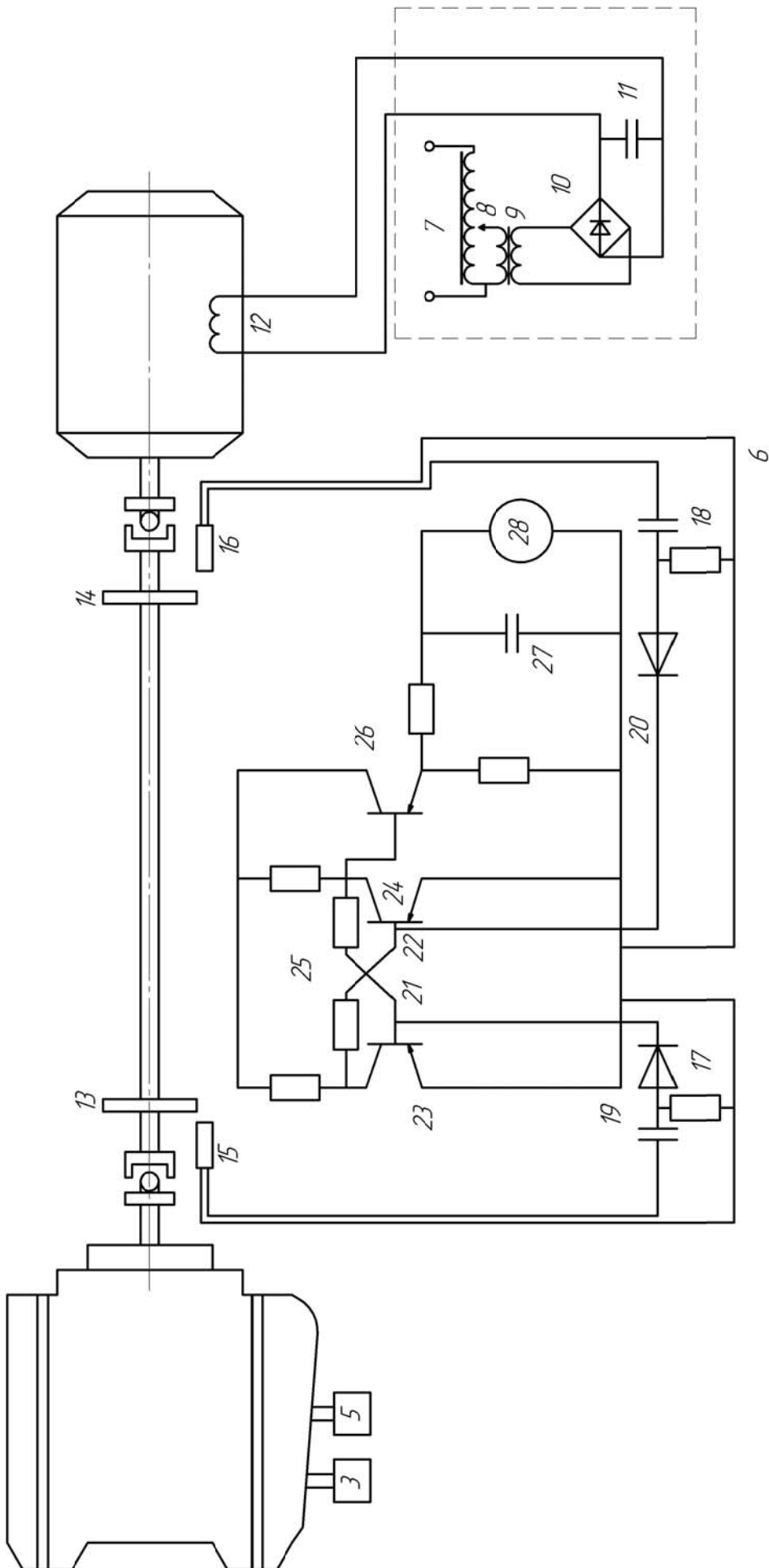


Рисунок 3.2 – Схема стенда для диагностирования дизельного двигателя

При полной подаче топлива и холостом ходе дизельный двигатель развивает наибольшую частоту вращения вала.

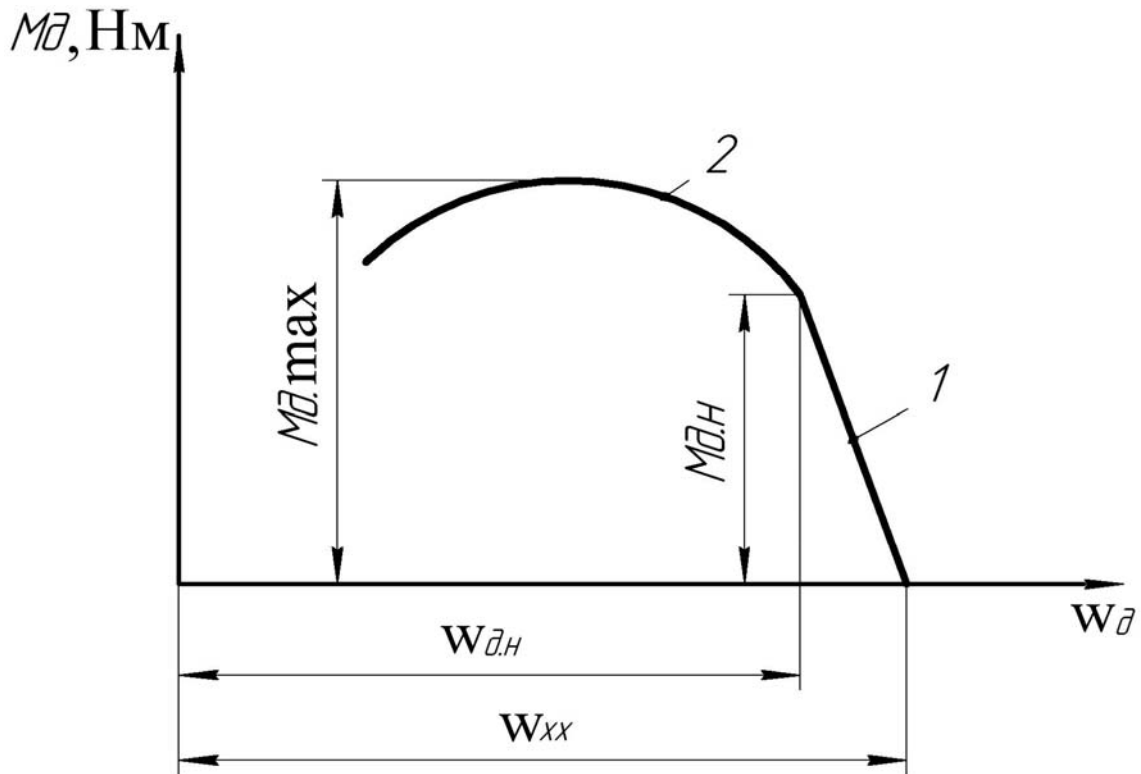


Рисунок 3.3 – Регуляторная и внешняя скоростные характеристики дизельного двигателя

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 двум оборотам за минуту. 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 вала двигателя.

3.2 Организация работы

Работа рассчитана на два часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

3.3 Оборудование

Стенд для исследования датчика крутящего момента, цифровой осциллограф АКИП-4115 2А, автотрансформатор, регулируемый источник постоянного тока.

3.4 Содержание работы

- 1 Изучить конструкцию и принцип действия датчика крутящего момента.
- 2 Включить стенд для экспериментального исследования датчика крутящего момента.
- 3 Получить осциллограммы напряжения на выходе триггера датчика крутящего момента и осциллограмму напряжения на выходе датчика.

3.5 Содержание отчета

- 1 Записать цель работы и начертить схему с датчиком крутящего момента.
- 2 Начертить осциллограммы напряжений, полученных в результате проведения эксперимента.
- 3 Вычислить величину момента на валу, равного отношению длительности импульса к периоду на осциллограмме, и сравнить ее с величиной выходного сигнала, полученного по второму каналу цифрового осциллографа.

Контрольные вопросы

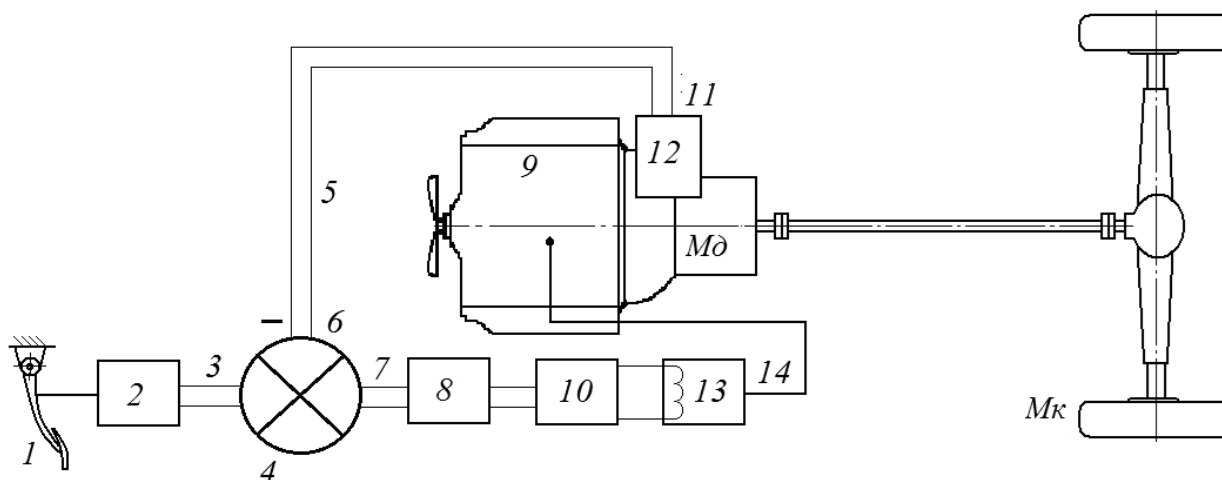
- 1 Перечислить элементы системы управления электродвигателем.
- 2 Изучить принцип действия датчика крутящего момента.

4 Исследование измерителей частоты вращения валов ДВС, КП и электродвигателей

Цель работы: исследование датчика частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.

4.1 Общее положение

Существующие системы автоматического управления скоростью движения автомобиля [1] включают в себя, в основном, датчик перемещения 2 (рисунок 4.1) педали управления подачей топлива 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 [2]. Функциональная схема существующей системы управления скоростью движения автомобиля, состоящая из основных элементов, приведена на рисунке 4.1.



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 так как сумматор непрерывно производит операцию вычитания напряжения, поступающего на его второй вход, из напряжения, поступающего на его первый вход, то на выходе сумматора появляется управляющее напряжение, равное разности указанных напряжений, и обозначается ΔU . 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_d 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_{du} двигателя происходит по апериодической кривой первого порядка, т. е. с задержкой во времени, равной Δt_1 (рисунок 4.2).

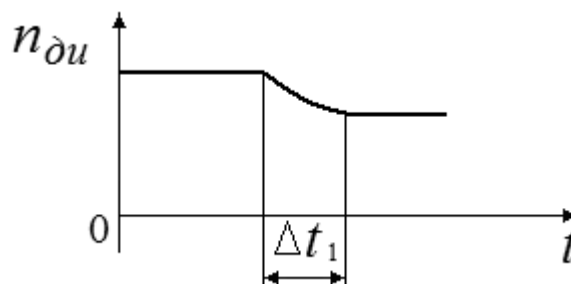


Рисунок 4.2 — Изменение частоты вращения двигателя внутреннего сгорания во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

В процессе снижения частоты вращения двигателя внутреннего сгорания происходит увеличение количества подаваемого топлива h_{du} в цилиндры

двигателя внутреннего сгорания, но это из-за медленного снижения частоты вращения двигателя происходит за время, также равное Δt_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.

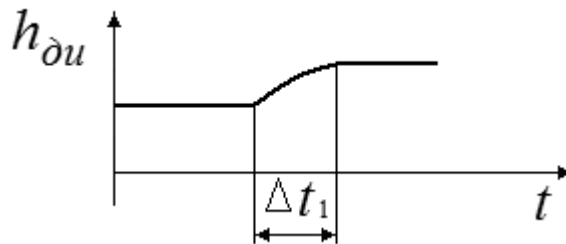


Рисунок 4.3 — Зависимость увеличения количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

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.

4.2 Организация работы

Работа рассчитана на два часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

4.3 Оборудование

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.

4.4 Содержание работы

- 1 Изучить конструкцию и принцип действия датчика частоты вращения.
- 2 Включить стенд для экспериментального исследования датчика частоты вращения.
- 3 Получить осциллограммы напряжения на выходе катушки индуктивности с магнитным сердечником.

4.5 Содержание отчета

- 1 Записать цель работы и начертить схему системы управления скоростью движения с датчиком частоты вращения и графики изменений частоты вращения и подачи топлива.
- 2 Начертить осциллограммы напряжений, полученных в результате проведения эксперимента.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислить элементы системы управления подачей топлива в цилиндры двигателей внутреннего сгорания.
- 2 Изучить принцип действия датчика частоты вращения.

5 Исследование стенда для диагностирования автомобиля по колесной мощности

Цель работы: исследование и изучение стенда для диагностирования автомобиля по его колесной мощности.

5.1 Общее положение

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.

Вышеизложенное 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). 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, монтажную плиту 1, тахогенератор 11, измеритель нагрузки, преобразователи 9, 17 импульсные, установленные с обеспечением возможности прохождения выступов и прорезей каждого из дисков 10, 18, триггер 15, выполненный на первом 14 и втором 21 транзисторах и четырех резисторах 12, 13, 19, 20. Нагрузочное устройство выполнено в виде электрической машины 2 переменного тока общего исполнения, ротор которой соединен упругим валом 16 с ведущим барабаном 23. Измеритель нагрузки выполнен в виде датчика 3 крутящего момента, включающего в себя установленные по концам упругого вала металлические диски 10, 18 с радиальными прорезями и выступами. Базы транзисторов 14, 21 соединены с выходами дифференцирующих цепей 7, 32 с отсекающими диодами 8, 22. Преобразователи 9, 17 импульсные, установленные с обеспечением возможности прохождения выступов и прорезей каждого из дисков 10, 18 возле соответствующего преобразователя 9, 17 соединены с выходами преобразователей 9, 17 дифференцирующие цепи 7, 32 с отсекающими диодами 8, 22.

В схеме стенда имеется 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, имеющем первый 38 и второй 39 резисторы.

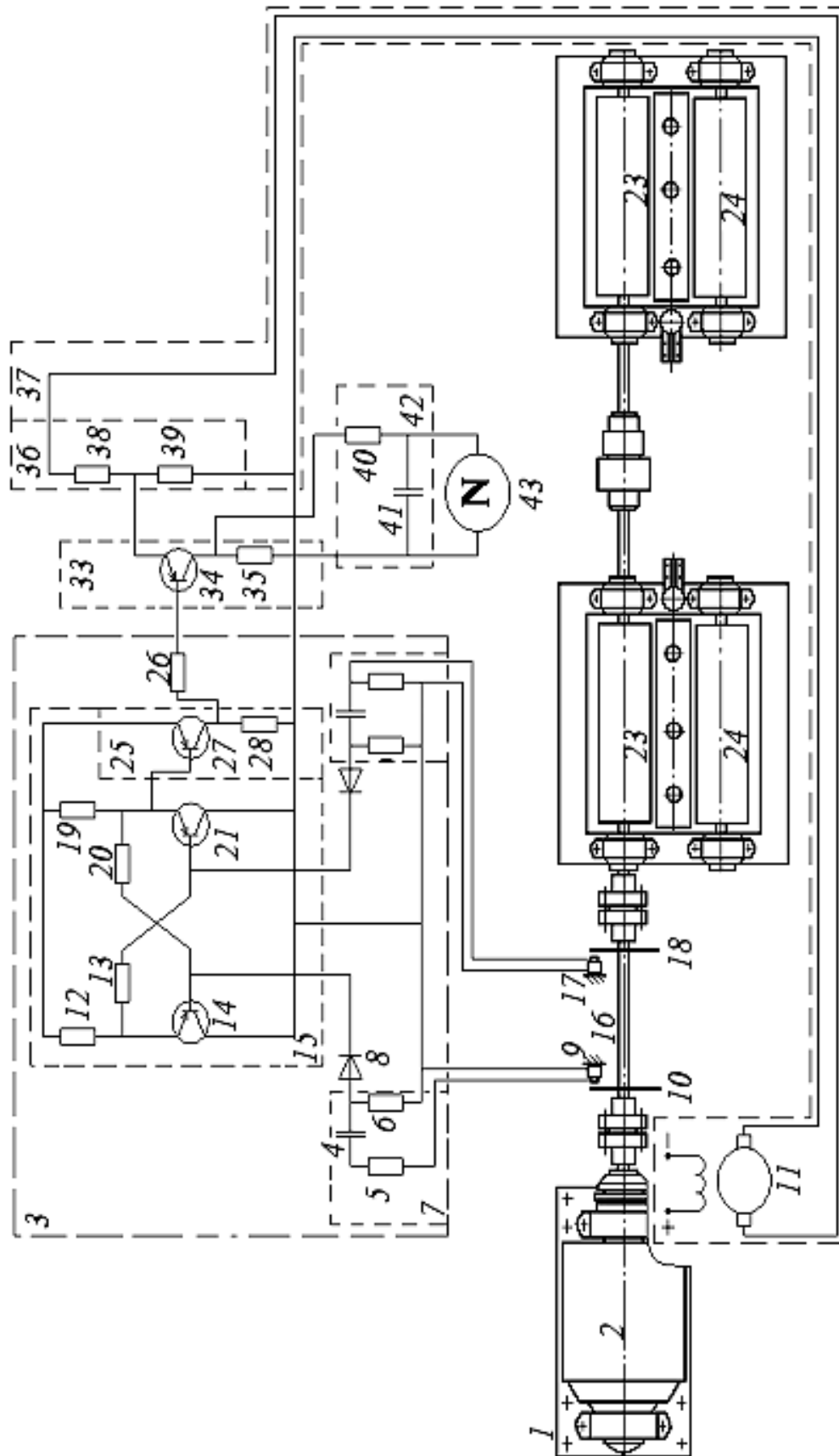


Рисунок 5.1 – Общий вид стенда

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 – на резисторах 30, 31 и конденсаторе 29.

Стенд работает следующим образом.

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. 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).

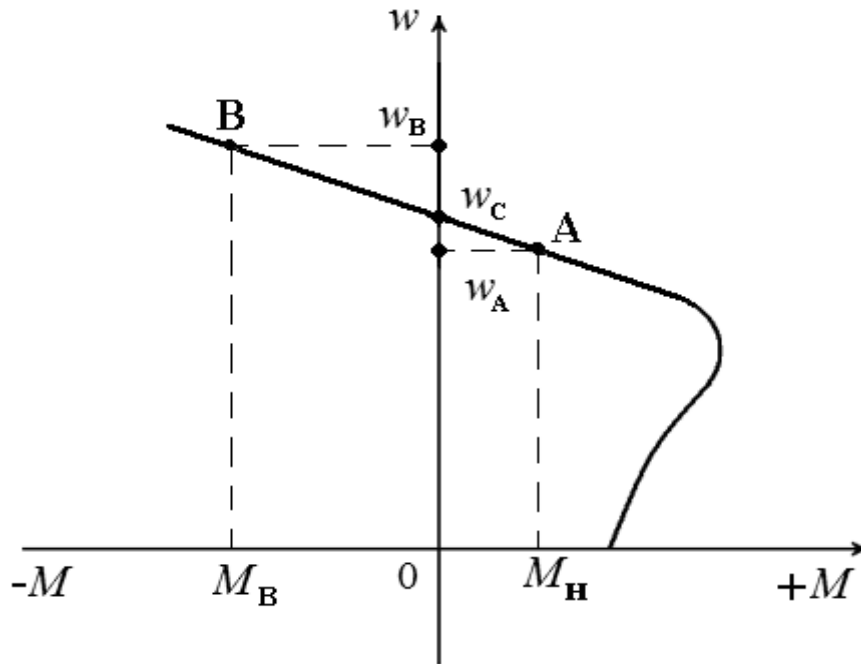


Рисунок 5.2 – Механическая характеристика электрической машины переменного тока

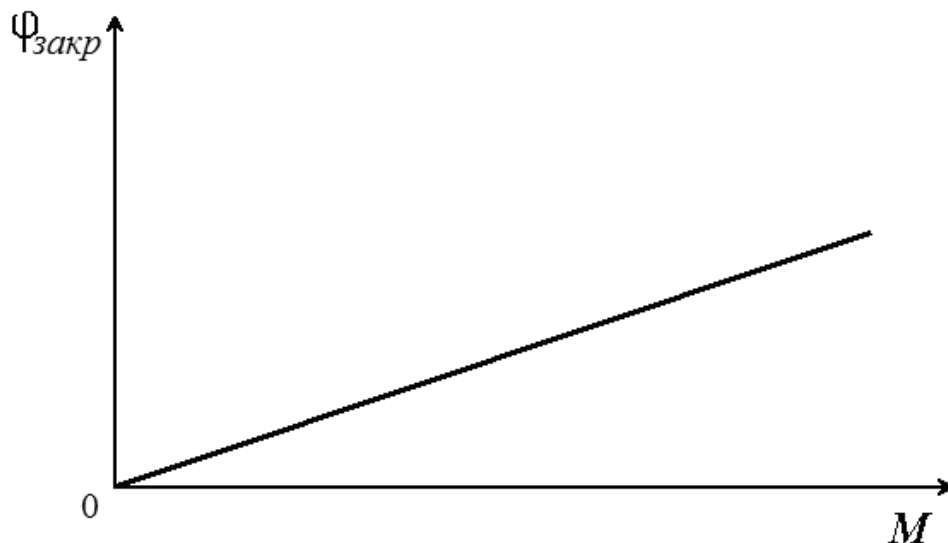


Рисунок 5.3 – Статическая характеристика упругого вала

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 ранее. 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.

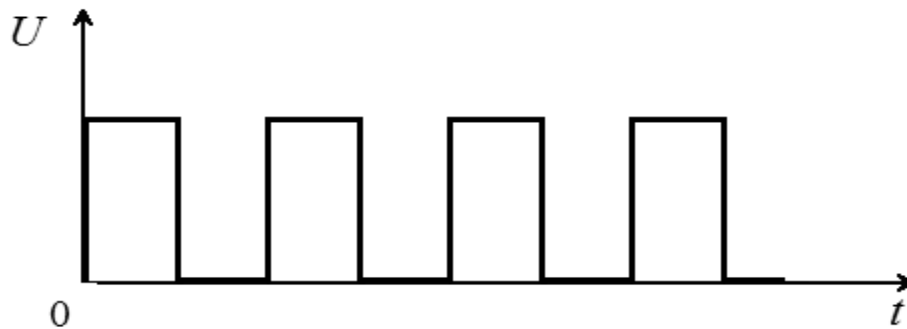


Рисунок 5.4 – Напряжение на выходе первого эмиттерного повторителя

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.

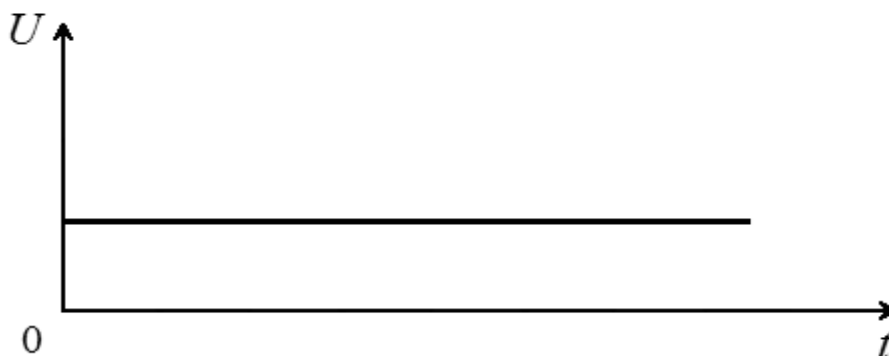


Рисунок 5.5 – Напряжение на коллекторе второго эмиттерного повторителя

Таким образом, на второй эмиттерный 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 рабо-

ты, на выходе второго эмиттерного повторителя 33 формируются прямоугольные импульсы напряжения (рисунок 5.6), площадь которых пропорциональна колесной мощности автомобиля.

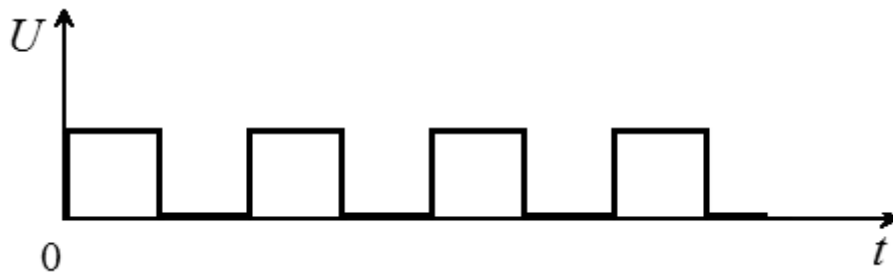


Рисунок 5.6 – Напряжение на выходном резисторе

Полученные на выходе второго эмиттерного повторителя 33 прямоугольные импульсы сглаживаются фильтром 42 низших частот, выполненным на резисторе 40 и конденсаторе 41 и соединенным 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, и если она меньше нормативной, принимается решение о наличии в автомобиле неисправностей.

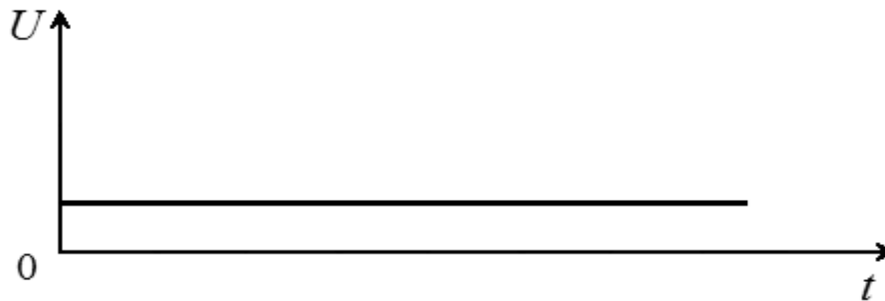


Рисунок 5.7 – Напряжение на фильтре низших частот

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.

5.2 Организация работы

Работа рассчитана на четыре часа. Проводится с подгруппой студентов под руководством преподавателя.

5.3 Оборудование

Стенд для исследования датчика крутящего момента, цифровой осциллограф АКИП 4115 2А, автотрансформатор, регулируемый источник постоянного тока.

5.4 Содержание работы

- 1 Изучить конструкцию и принцип действия стенда, датчика крутящего момента.
- 2 Включить стенд для экспериментального исследования датчика крутящего момента.
- 3 Получить осциллограммы напряжения на выходе триггера датчика крутящего момента и осциллограмму напряжения на выходе датчика.

5.5 Содержание отчета

- 1 Записать цель работы и начертить схему с датчиком крутящего момента.
- 2 Начертить осциллограммы напряжений, полученных в результате проведения эксперимента.
- 3 Вычислить величину момента на валу, равного отношению длительности импульса к периоду на осциллограмме, и сравнить ее с величиной выходного сигнала, полученного по второму каналу цифрового осциллографа.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислить элементы измерительной системы колесной мощности автомобиля.
- 2 Изучить принцип действия датчика крутящего момента.

6 Проектирование стенда тяговых качеств

Цель работы: исследование и изучение стенда тяговых качеств.

6.1 Функциональный расчет стенда тяговых качеств

Для перевода электрической машины из режима двигателя в режим тормоза необходимо от двигателя внутреннего сгорания автомобиля, установленного на беговые барабаны, посредством трансмиссии и самих беговых барабанов сообщить ротору электрической машины частоту вращения, превышающую синхронную частоту вращения магнитного поля статора. Синхронная частота вращения поля вычисляется по формуле

$$n_c = \frac{60f}{p}, \quad (6.1)$$

где f – частота переменного тока в сети, $f = 50$ Гц;
 p – число пар полюсов машины.

Если сообщить ротору машины частоту вращения, превышающую по величине синхронную частоту вращения поля, то он будет обгонять вращающееся магнитное поле статора машины и проводники ротора будут пересекать линии магнитного поля статора в направлении, обратном направлению пересечения его при работе машины в режиме двигателя. В результате этого сила взаимодействия вращающегося электромагнитного поля статора и токов ротора изменит свое направление и станет противодействовать вращению ротора.

Поэтому момент и мощность, развиваемые машиной в таком режиме ее работы, когда частота вращения ее ротора выше, чем синхронная частота вращения поля статора, становятся отрицательными. Машина превращается в тормоз и отдает энергию в сеть переменного тока.

Данный стенд, в котором нагружение осуществляется тормозным устройством, кинематически связанным с роликами, называется *силовым стендом*.

Мощность электромашины стенда определяется из условия обеспечения максимальной тяговой силы и максимальной скорости движения автомобиля. Мощность, которую может реализовать автомобиль, рассчитывается по формуле

$$N = P_{\kappa \max} \cdot v_{\max}, \quad (6.2)$$

где $P_{\kappa \max}$ – максимальная тяговая сила;

$v_{\max}$ – максимальная скорость движения автомобиля, определяемая по характеристике конкретного автомобиля, например, для автомобиля МАЗ-5335 $v_{\max} = 85$ км/ч = 23,6 м/с.

Максимальную тяговую силу определяем из условия равновесия колеса автомобиля, установленного на стенде. G – вертикальная нагрузка на колесо; P_{κ} – тяговое усилие на колесе; H_1 и H_2 – реакции на роликах стенда.

Условие равновесия колеса на стенде определяется следующим образом:

$$\sum X = P_{\kappa} \cos \alpha - H_1 \sin \alpha + H_2 \sin \alpha; \quad (6.3)$$

$$\sum Y = P_{\kappa} \sin \alpha + H_1 \cos \alpha + H_2 \cos \alpha - G, \quad (6.4)$$

где α – угол, характеризующий расположение роликов.

Для расчёта реакции на рабочем ролике стенда из уравнения (3) определяем

$$H_1 \sin \alpha - P_{\kappa} \cos \alpha = H_2 \sin \alpha;$$

$$H_2 = \frac{H_1 \sin \alpha - P_K \cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (6.5)$$

Подставляем полученное выражение для реакции H_2 в уравнение (4):

$$P_K \sin \alpha + H_1 \cos \alpha + \frac{H_1 \sin \alpha - P_K \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha - G = 0. \quad (6.6)$$

Преобразуем уравнение (6):

$$P_K \sin^2 \alpha + H_1 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + H_1 \cos \alpha \cdot \sin \alpha - P_K \cos^2 \alpha - G \sin \alpha = 0. \quad (6.7)$$

Из последнего уравнения определяем реакцию H_1 :

$$H_1 = \frac{P_K \cos^2 \alpha - P_K \sin^2 \alpha + G \sin \alpha}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}; \quad (6.8)$$

$$H_1 = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} + \frac{P_K}{\operatorname{tg} 2\alpha}. \quad (6.9)$$

Значение реакции H_1 подставляем в уравнение (5):

$$P_K \cos \alpha - \left(\frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} + \frac{P_K}{\operatorname{tg} 2\alpha} \right) \cdot \sin \alpha + H_2 \sin \alpha = 0. \quad (6.10)$$

Разделим последнее уравнение на $\sin \alpha$:

$$H_2 + \frac{P_K}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{P_K}{\operatorname{tg} 2\alpha} = 0. \quad (6.11)$$

В результате вычислений получаем выражение для реакции на колесо со стороны свободного ролика

$$H_2 = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{P_K}{\sin 2\alpha}. \quad (6.12)$$

Анализ формул для нормальных реакций на колесо позволяет сделать вывод, что при переднем рабочем ролике последний нагружается значительно больше, чем задний. Это является достаточным для всех узлов, конструкция которых удовлетворяет условию $\alpha < 45^\circ$.

Максимальная тяговая сила $P_{\kappa \max}$, которую можно реализовать на стенде по условию сцепления, определяется нормальной реакцией H_1 и коэффициентом сцепления φ :

$$P_{\kappa \max} = H_1 \cdot \varphi. \quad (6.13)$$

Нормальные реакции на колесо можно рассчитать, подставляя в выражения (9) и (12) значение $P_{\kappa \max}$, в рабочем режиме стенда. Тогда

$$H_1 = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} + \frac{H_1 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} 2\alpha}, \quad (6.14)$$

откуда в результате вычислений находят нормальную реакцию H_1 при работе стенда:

$$H_1 - \frac{H_1 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} 2\alpha} = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha};$$

$$H_1 \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{\operatorname{tg} 2\alpha}\right) = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha};$$

$$H_1 = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} / \left(1 - \frac{\varphi}{\operatorname{tg} 2\alpha}\right);$$

$$H_1 = \frac{G \cdot \operatorname{tg} 2\alpha}{2 \cdot \cos \alpha (\operatorname{tg} 2\alpha - \varphi)} = \frac{G \cdot \sin 2\alpha}{2 \cdot \cos 2\alpha \cdot \cos \alpha \cdot (\operatorname{tg} 2\alpha - \varphi)}.$$

Окончательно для нормальной реакции H_1 записывается следующее:

$$H_1 = \frac{G \cdot \sin \alpha}{\cos 2\alpha (\operatorname{tg} 2\alpha - \varphi)} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{\cos 2\alpha \cdot \left(\frac{\sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} - \varphi\right)} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha}. \quad (6.15)$$

При работе стенда нормальная реакция H_2 вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned}
H_2 &= \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{H_1 \cdot \varphi}{\sin 2\alpha} = \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{G \cdot \sin \alpha \cdot \varphi}{(\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha) \cdot \sin 2\alpha} = \\
&= \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{G \cdot \sin \alpha \cdot \varphi}{(\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha) \cdot 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \\
&= \frac{G \cdot \sin 2\alpha \cdot \sin \alpha - G \cdot \sin \alpha \cdot \varphi \cdot \cos 2\alpha - G \cdot \sin \alpha \cdot \varphi}{(\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha) \cdot 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \\
&= \frac{G(\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha - \varphi)}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha)}. \tag{6.16}
\end{aligned}$$

Выполнив преобразования в числителе, окончательно для H_2 получают выражение

$$H_2 = \frac{G(\sin \alpha - \varphi \cdot \cos \alpha)}{\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha}. \tag{6.17}$$

Максимальная тяговая сила, возникающая при работе стенда,

$$P_{\kappa \max} = \frac{G \cdot \varphi \cdot \sin \alpha}{\sin 2\alpha - \varphi \cdot \cos 2\alpha}. \tag{6.18}$$

На лабораторном занятии по данной теме следует выполнить следующее:

- 1) описать эксплуатационные показатели, которые улучшаются при применении стендов тяговых качеств;
- 2) описать диагностические параметры, которые можно измерить на стендах тяговых качеств;
- 3) описать тормозной режим работы двигатель-тормоза стенда;
- 4) вычислить реакции на колесо машины со стороны роликов по условию равновесия колеса на стенде;
- 5) вычислить реакции и тяговую силу при работе стенда по условию сцепления.

7 Исследование бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по замедлению

Цель работы: исследование и изучение бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по замедлению.

7.1 Общее положение

Устройство относится к транспортному машиностроению, а именно к бортовым устройствам для диагностирования тормозной системы автомобиля, и может быть использовано для повышения безопасности вождения и снижения расходов на ремонт автомобилей путем определения фактического технического состояния тормозной системы автомобилей непосредственно в процессе их эксплуатации и последующего устранения разрегулировок и неисправностей, если они обнаруживаются.

В результате проведения научно-исследовательских работ выявлено, что диагностирование тормозной системы автомобилей на известных инерционных стендах отличается большими погрешностями, т. к. недостаточно точно определяется на стенде такой диагностический параметр, как замедление. Объясняется это тем, что условия диагностирования тормозной системы на стенде отличаются малой степенью приближения к реальным эксплуатационным условиям работы автомобиля. Это отличие происходит потому, что ведущие колеса автомобиля, установленного на стенд для диагностирования тормозной системы, вращаются по поверхности роликов, а эта поверхность отличается от поверхности дороги. Кроме того, на создание и эксплуатацию стенда для диагностирования тормозной системы требуются большие затраты, в то время как на создание и оборудование автомобиля устройством для бортового диагностирования тормозной системы затраты уменьшаются в десятки раз.

Известен также переносной прибор – деселерометр, с помощью которого измеряется замедление, которое измеряют на ровном горизонтальном участке дороги, при этом автомобиль разгоняют до скорости 10 км/ч, что соответствует идеальным условиям работы автомобиля, а не его естественным условиям работы, отличающимися работой по дорогам с неровностями, а они непрерывно изменяются. Поэтому точность определения замедления отличается большими погрешностями.

Устройство содержит (патент РБ 18937, 2015. 02) датчик 19 частоты вращения (рисунок 7.1) затормаживаемого колеса автомобиля, содержащий металлический диск 4 с прорезями и выступами, импульсный целевой преобразователь 3, первую дифференцирующую цепь 8, включающую в себя резисторы 5 и 7 и конденсатор 6, выпрямитель 14 на четырех импульсных диодах 10–13, интегрирующую цепь, выполненную на резисторе 16 и конденсаторе 17, выходной резистор датчика 18, регулируемый источник 26 постоянного тока с реостатом 23 и движком 25, последовательно соединенные компаратор 29 с инвертирующим 27 и неинвертирующим 28 входами, повторитель 30 напряжения,

диод 31, электрическую лампу 15, установленную на щитке 9 приборов в кабине 24 автомобиля, вторую дифференцирующую цепь 22, выполненную на резисторе 21 и конденсаторе 20. Металлический диск 4 установлен на валу 2 затормаживаемого колеса 1 автомобиля. Преобразователь 3 установлен вблизи диска 4 с обеспечением возможности вхождения выступов диска в щель преобразователя 3. Дифференцирующая цепь 22 входом соединена с выходом датчика 19 частоты вращения затормаживаемого колеса 1 автомобиля, а выходом соединена с инвертирующим 27 входом компаратора 29. Величина напряжения, подаваемого на неинвертирующий 28 вход компаратора, установлена равной нормативной величине замедления автомобиля, а постоянная времени второй дифференцирующей цепи 22 выбрана такой величины, чтобы был обеспечен на выходе второй дифференцирующей цепи уровень напряжения при исправной тормозной системе больше нормативного уровня, подаваемого на неинвертирующий 28 вход компаратора, при этом импульсный диод 31 включен в обратном направлении.

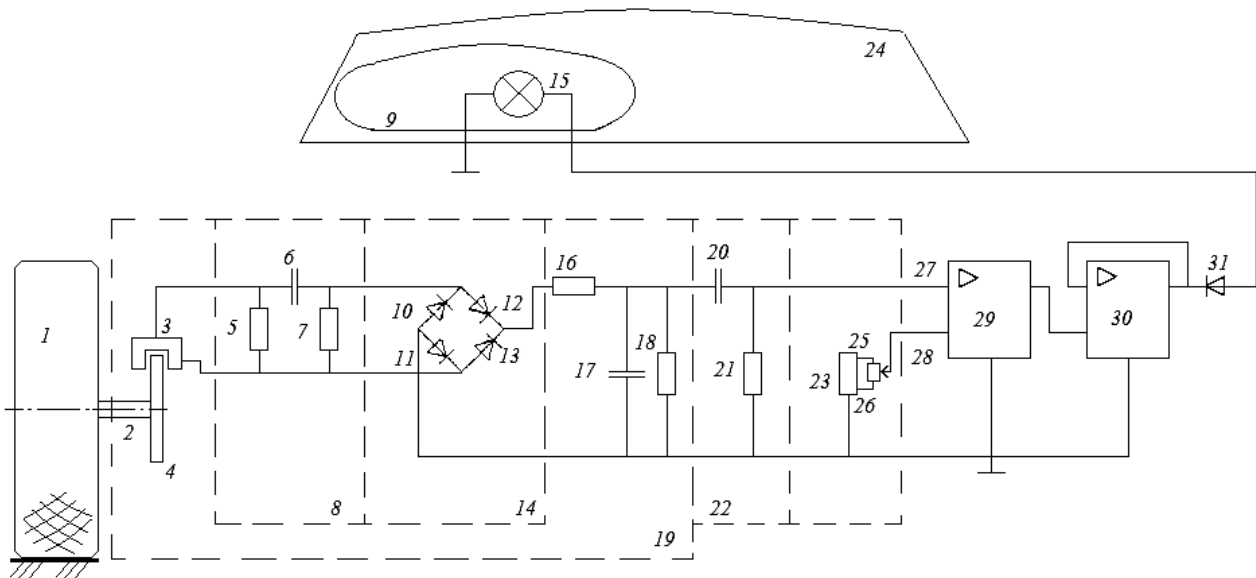


Рисунок 7.1 — Схема устройства для диагностирования автомобиля по времени торможения

При торможении снижается частота вращения колеса 1, которая измеряется датчиком следующим образом. При вращении колеса выступы диска 4 проходят через щели преобразователя 3 и на резисторе 5 возникают прямоугольные импульсы напряжения, которые дифференцируются первой дифференцирующей цепью 8. На резисторе 7 возникают разнополярные экспоненциальные импульсы напряжения одинаковой формы и площади, при этом количество импульсов будет больше за одинаковый промежуток времени и меньше, если частота вращения колеса снижается. С помощью выпрямителя 14, выполненного на четырех импульсных диодах, импульсы выпрямляются, а с помощью интегрирующей цепи импульсы сглаживаются. На выходном резисторе 18 формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения колеса.

Полученное напряжение на выходе датчика 19 непрерывно снижается при торможении автомобиля по экспоненциальному закону и подается на вход второй дифференцирующей цепи 22, на выходе которой появляется напряжение, пропорциональное производной от изменения частоты вращения колеса 1. Если тормозная система не имеет неисправностей, частота вращения падает быстрее, т. е. с меньшей постоянной времени. Поэтому наибольшее значение производной от падения частоты вращения колеса больше, чем в системе, имеющей неисправности. С помощью регулируемого источника 26 постоянного тока перемещением движка 25 реостата 23 устанавливается нормативное значение максимума производной от падения частоты вращения колеса при торможении автомобиля, которое меньше максимального значения производной от частоты вращения затормаживаемого колеса для тормозной системы, не имеющей неисправностей, на некоторую заданную величину.

Диагностирование тормозной системы производится следующим образом. Если тормозная система автомобиля не имеет неисправностей, максимальное значение напряжения, подаваемое на инвертирующий вход 27 компаратора 29, больше, чем нормативное значение напряжения, подаваемое на неинвертирующий вход 28 компаратора от источника 26 постоянного тока. На выходе компаратора в соответствии с его передаточной характеристикой, изображенной на рисунке 7.2, формируется отрицательное напряжение, которое посредством повторителя 30, диода 31 прикладывается к электрической лампе 15, лампа загорается. Принимается решение, что тормозная система находится в хорошем техническом состоянии.

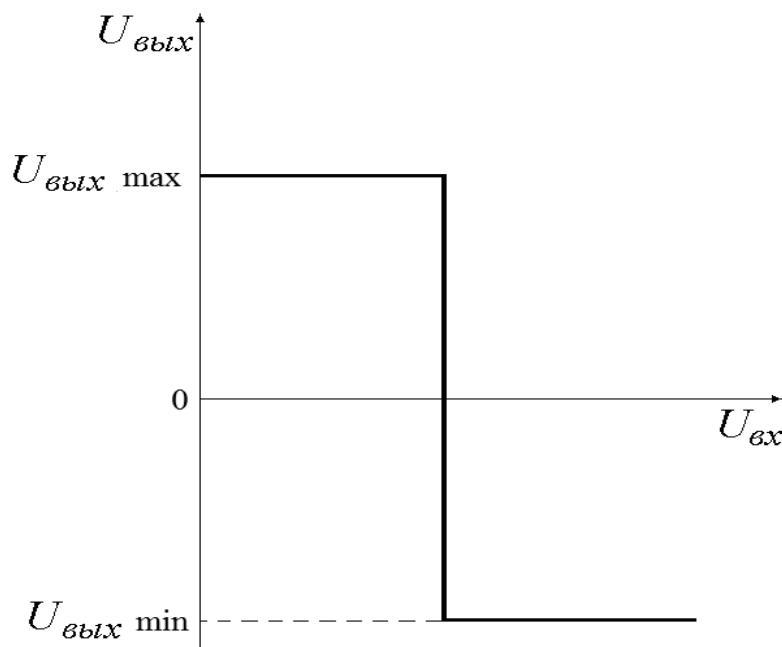


Рисунок 7.2 – Передаточная характеристика компаратора

Если диагностируемая тормозная система имеет неисправности, максимальное значение напряжения, подаваемое на инвертирующий вход 27 компаратора, меньше, чем напряжение, подаваемое на неинвертирующий вход 28

компаратора от источника 26 постоянного тока. На выходе компаратора в соответствии с его передаточной характеристикой формируется положительное напряжение, которое посредством повторителя прикладывается к диоду 31. Диод заперт, лампа не загорается. Принимается решение, что тормозная система имеет неисправности. Необходимо прекратить эксплуатацию автомобиля и приступить к проведению работ по устранению возникшей неисправности.

Таким образом, использование информации о возникшей неисправности позволяет повысить безопасность вождения путем предотвращения эксплуатации автомобиля с неисправной тормозной системой, а также снизить расходы на ремонт автомобилей путем определения фактического технического состояния тормозной системы автомобилей непосредственно в процессе их эксплуатации.

На лабораторном занятии по данной теме необходимо выполнить следующее:

- 1) описать эксплуатационные показатели, которые улучшаются при применении бортового устройства;
- 2) описать диагностические параметры, которые можно измерить бортовым устройством.

8 Исследование бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по времени торможения

Цель работы: исследование и изучение бортового устройства для диагностирования тормозной системы автомобиля по времени торможения.

8.1 Общее положение

Тормозные свойства транспортных средств оказывают наибольшее влияние на безопасность движения. Кроме того, чем лучше тормозные свойства, тем выше их средняя скорость движения и производительность. Основными показателями тормозных свойств являются: замедление при торможении, время торможения и тормозной путь. Их нормативные значения для подвижного состава без нагрузки на сухой асфальтной дороге регламентируются «Правилами дорожного движения» и стандартами. Их измерение осуществляется в режиме экстренного торможения, когда тормозные силы на колесах достигают своего максимального (по условию сцепления) значения.

Уравнение движения автомобиля с колесной формулой 4×2 или 4×4 при экстренном торможении записывается в виде

$$P_u - R_{x_1} - R_{x_2} = 0, \quad (8.1)$$

где P_u – сила инерции, действующая на автомобиль, Н;

R_{x1}, R_{x2} – тормозные силы соответственно на передних и задних колесах автомобиля, Н.

Поскольку при экстренном торможении тормозные силы прямо пропорциональны произведениям нормальных реакций на колесах (R_{z1}, R_{z2}) на коэффициент сцепления колес с дорогой φ_{cy} , то уравнение движения можно переписать как

$$\frac{G_a}{g} j_z - R_{z1} \varphi_{cy} - R_{z2} \varphi_{cy} = \frac{G_a}{g} j_z - (R_{z1} + R_{z2}) \varphi_{cy} = 0, \quad (8.2)$$

где G_a – вес автомобиля, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

j_z – замедление при торможении, м/с².

Так как $R_{z1} + R_{z2} = G_a$, то можно записать

$$\frac{G_a}{g} j_z - G_a \varphi_{cy} = 0, \quad (8.3)$$

отсюда

$$j_z = \varphi_{cy} g. \quad (8.4)$$

Для определения времени торможения можно использовать формулу (8.4), представив в ней замедление как производную скорости движения v по времени t :

$$j_z = - \frac{dv}{dt} = \varphi_{cy} g, \quad (8.5)$$

отсюда

$$dt = - \frac{dv}{\varphi_{cy} g}. \quad (8.6)$$

Проинтегрировав выражение (8.6), получают формулу для определения полного времени торможения

$$t_{\text{тор}} = \frac{v_n - v_k}{\varphi_{cy} g}, \quad (8.7)$$

где v_n, v_k – начальная и конечная скорость автомобиля при торможении соответственно, м/с.

Тормозной путь, проходимый автомобилем за время полного торможения (когда замедление принимает максимальное значение), можно определить,

используя выражение (8.6), учитывая, что $v = dS/dt$, откуда $dt = dS/v$. Таким образом,

$$\frac{dS}{v} = - \frac{dv}{\varphi_{cy} g} \text{ и } dS = - \frac{v dv}{\varphi_{cy} g}. \quad (8.8)$$

Проинтегрировав это уравнение, получают формулу для определения полного тормозного пути

$$S_{\text{тор}} = \frac{v_n^2 - v_k^2}{2\varphi_{cy} g}. \quad (8.9)$$

Перечисленные параметры эффективности торможения используются и при проведении диагностирования автомобилей.

Известно устройство для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля, выполненное в виде цифрового преобразователя и содержащее датчик перемещения тормозной педали с импульсным щелевым преобразователем, первую дифференцирующую цепь, восьмиразрядный суммирующий электронный счетчик с восемью выходами, входом установки нуля и счетным входом, восемь светоизлучающих диодов, каждый из которых соединен с одним из восьми выходов счетчика, резисторы, автоколебательный симметричный мультивибратор.

Однако в нем с недостаточной точностью измеряется такой диагностический параметр тормозной системы автомобиля, как время торможения, определяемый как промежуток времени между моментом нажатия на педаль и моментом окончания процесса торможения, из-за этого безопасность вождения снижается.

Объясняется это тем, что данный промежуток времени должен измеряться между моментом нажатия на педаль и моментом времени окончания процесса торможения. В известном же устройстве момент окончания процесса торможения определяется субъективно водителем, когда он отпускает педаль. Поэтому результат измерения времени торможения отличается погрешностью.

Вследствие этого известное устройство отличается недостаточной точностью определения диагностического параметра, неисправности в тормозной системе обнаруживаются не полностью, безопасность вождения снижается, возникает необходимость его совершенствования.

Для модернизации устройства использовано известное свойство автомобиля, заключающееся в том, что в начале торможения автомобиля возникает сила инерции, под действием которой его кузов перемещается вверх относительно исходного состояния, а при окончании процесса торможения сила инерции становится равной нулю и кузов автомобиля перемещается вниз в исходное положение.

Используя это свойство автомобиля для модернизации известного устройства, в нем установлен датчик перемещения кузова автомобиля со вторым им-

пульсным преобразователем для регистрации момента возвращения кузова в исходное положение в виде электрического импульса напряжения.

Этот датчик установлен на кронштейне на заднем мосту автомобиля и выполнен в виде катушки индуктивности с магнитным сердечником и стержнем, первым своим концом установленным возле катушки индуктивности, а вторым закрепленным на кузове автомобиля с обеспечением возможности перемещения его при перемещении кузова автомобиля в процессе торможения автомобиля из нижнего положения в верхнее от катушки индуктивности с магнитным сердечником, а при окончании процесса торможения обеспечением возможности перемещения стержня из верхнего положения в нижнее до катушки индуктивности. Для записи и хранения цифрового кода, отображающего время торможения, в устройстве установлен восьмиразрядный параллельный регистр, каждый разряд которого состоит из логического элемента И с двумя входами и выходом, первым входом соединенного с одним из выходов электронного суммирующего счетчика, а вторым соединенного посредством шины записи с выходом второй дифференцирующей цепи датчика перемещения кузова, и асинхронного RS-триггера, содержащего два входа: вход установки нуля и счетный вход.

Устройство содержит (рисунок 8.1) датчик 5 перемещения тормозной педали 4 с первым импульсным преобразователем 2, восьмиразрядный электронный суммирующий счетчик 29, первую дифференцирующую цепь 19, восемь светоизлучающих диодов 52–59, мультивибратор 16, датчик 35 перемещения кузова 20 со вторым импульсным преобразователем 23, дифференцирующую цепь 34, восьмиразрядный параллельный регистр 48. Преобразователь 2 выполнен щелевым на кронштейне 3 возле тормозной педали 4 с обеспечением возможности перемещения педали 4 в щели преобразователя. Счетчик 29 имеет восемь выходов 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, входом 32 установки нуля и счетным входом 30. Дифференцирующая цепь 19 выполнена на двух резисторах 12, 17, конденсаторе 11 и отсекающем диоде 18, входом соединенную с выходом первого импульсного преобразователя 2. Мультивибратор 16 выполнен автоколебательным симметричным на двух 9, 13 логических элементах, двух конденсаторах 7, 8, двух резисторах 10, 15 и двух диодах 6, 14, входом соединенный посредством резистора 1 с выходом первого импульсного преобразователя 2, а выходом посредством резистора 31 со счетным входом 30 электронного суммирующего счетчика 29. Преобразователь 23 установлен на кронштейне 28 на заднем мосту 27 автомобиля и выполнен в виде катушки 22 индуктивности с магнитным сердечником и стержнем 21. Он первым своим концом установлен возле катушки 22 индуктивности, а вторым концом закреплен на кузове 20 автомобиля с обеспечением возможности перемещения стержня 21 при перемещении кузова 20 автомобиля в процессе торможения из нижнего положения в верхнее от катушки 22 индуктивности с магнитным сердечником, а при окончании процесса торможения обеспечением возможности перемещения стержня 21 из верхнего положения в нижнее до катушки 22 индуктивности с магнитным сердечником.

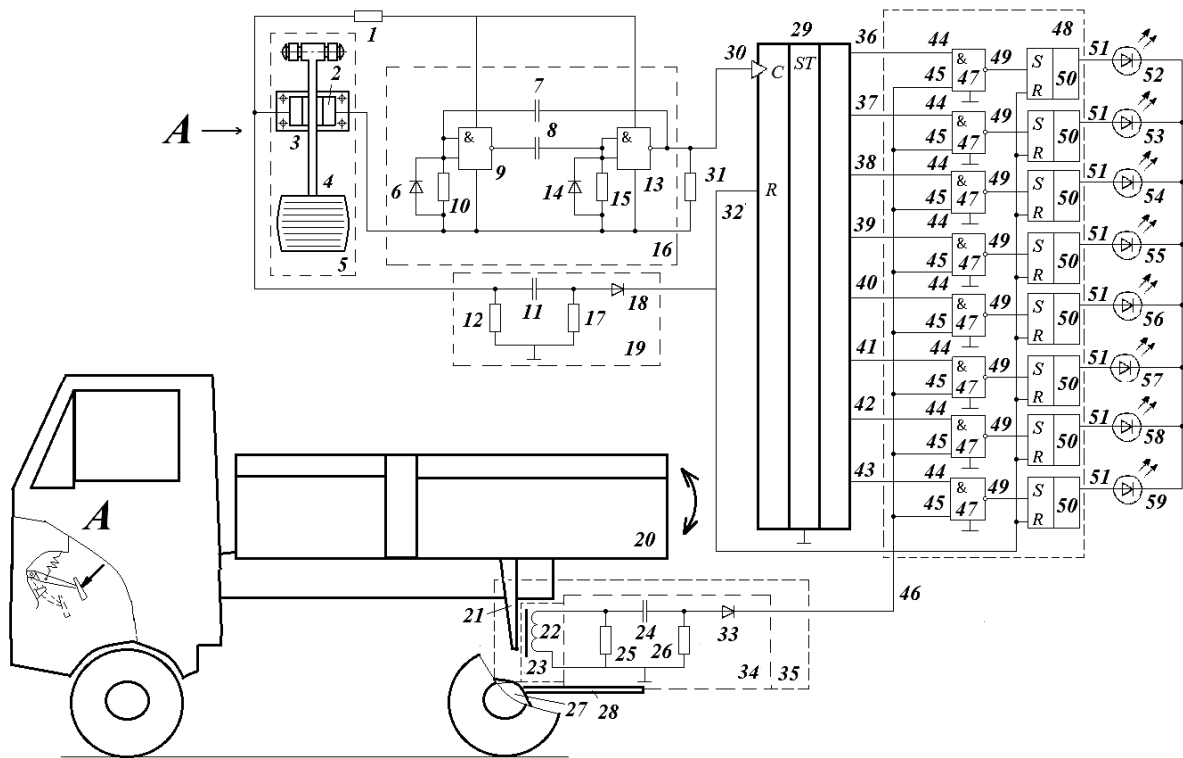


Рисунок 8.1 – Схема устройства для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля

Вторая дифференцирующая цепь 34 выполнена на двух резисторах 25, 26, конденсаторе 24 и отсекающем диоде 33 и соединена с выходом второго импульсного преобразователя 23. Каждый разряд регистра 48 состоит из логического элемента И 47 с двумя входами 44, 45 и выходом 49, первым входом 44 соединенного с одним из выходов электронного суммирующего счетчика 29, а вторым входом 45 соединенного посредством шины 46 записи с выходом второй дифференцирующей цепи 34, датчика 35 перемещения кузова 20 и асинхронного RS-триггера 50. RS-триггера 50, содержащего два входа: R, являющийся входом установки нуля, и S, являющийся счетным входом, и выход 51. При этом вход S каждого триггера 50 регистра 48 соединен с выходом 49 логического элемента И 47. Вход R установки нуля каждого триггера 50 регистра 48 и вход 32 установки нуля электронного суммирующего счетчика 29 соединены параллельно с выходом первой дифференцирующей цепи 19, а каждый из восьми светоизлучающих диодов 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 соединен с одним из восьми выходов 51 регистра 48.

Устройство работает следующим образом. При нажатии на тормозную педаль 4 на выходе преобразователя 2 импульсного щелевого датчика 5 перемещения педали 4 формируется напряжение (рисунок 8.2) постоянного уровня, прикладываемое посредством резистора 1 к автоколебательному мультивибратору 16. На выходе автоколебательного мультивибратора 16 появляются прямоугольные импульсы напряжения (рисунок 8.3).

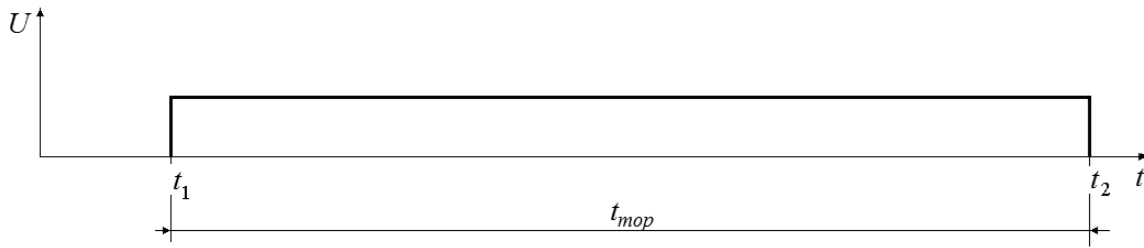


Рисунок 8.2 – Напряжение на выходе преобразователя импульсного щелевого датчика перемещения педали

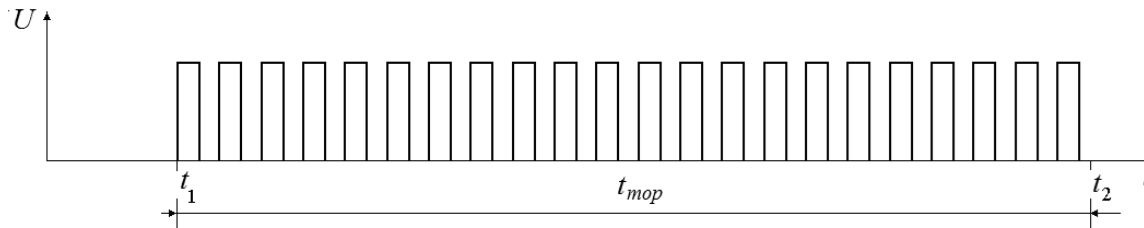


Рисунок 8.3 – Прямоугольные импульсы напряжения на выходе автоколебательного мультивибратора

Происходит это следующим образом. Пусть логический элемент 9 закрыт, тогда второй логический элемент 13 открыт. Это означает, что на выходе логического элемента 9 имеется высокий уровень напряжения (логическая единица) и конденсатор 8 заряжается через резистор 15. Когда напряжение на резисторе 15 достигнет порогового значения, логический элемент 13 начнет закрываться. Увеличение напряжения на выходе логического элемента 13 через конденсатор 7 будет передано на вход логического элемента 9 и вызовет его отпирание. Из-за этого произойдет снижение напряжения на выходе логического элемента 9, которое через конденсатор 8 будет передано на вход логического элемента 13 и приведет к дальнейшему уменьшению протекающего через него тока.

Благодаря наличию положительной обратной связи с выхода одного логического элемента на вход другого логический элемент 9 окажется открытым, а логический элемент 13 закрытым. В результате этого начнется зарядка конденсатора 7 через резистор 10. Протекающие процессы разрядки и зарядки соответствующих конденсаторов вызовут закрытие логического элемента 9 и открытие логического элемента 13. Таким образом, на выходе логического элемента 13 формируется прямоугольный импульс напряжения.

Далее таким же образом формируется второй и последующие импульсы. На выходе логического элемента 13 появляется последовательность прямоугольных импульсов. Период этих импульсов определяется произведением $1,4RC$, где R – сопротивление каждого из резисторов автоколебательного симметричного мультивибратора; C – емкость каждого из конденсаторов автоколебательного симметричного мультивибратора. Величина этого произведения определяет точность цифрового преобразования времени торможения и может быть равна, например, 0,1 с, что означает, за время торможения, равное,

например, 5 с, на счетчик 29 поступит 50 импульсов и на выходе счетчика в этом случае будет код, равный 00110010.

Одновременно при нажатии на педаль 4 водителем на входе первой дифференцирующей цепи 19 с отсекающим диодом 18 появляется напряжение от первого импульсного щелевого преобразователя 2. Оно дифференцируется и на выходе цепи 19 появляется положительный импульс напряжения (рисунок 8.4), который параллельно подается на вход 32 установки нуля электронного суммирующего счетчика и входы R установки нуля триггеров 50 параллельного регистра 48. Электронный суммирующий счетчик обнуляется и может осуществлять преобразование импульсов, которые поступят на счетный вход 30 счетчика, в цифровой код. Также обнуляются все триггеры 50 регистра 48, после чего во все триггеры регистра можно записывать код.



Рисунок 8.4 — Положительный импульс напряжения на выходе первой дифференцирующей цепи с отсекающим диодом

Далее происходит подсчет импульсов счетчиком, поступающих от автоколебательного симметричного мультивибратора на счетный вход 30 счетчика, и преобразование его в цифровой код. В процессе торможения возникает сила инерции, под действием которой кузов 20 автомобиля со стержнем 21 перемещается из нижнего положения в верхнее от катушки 22 индуктивности с магнитным сердечником, а при окончании процесса торможения кузов автомобиля со стержнем снова перемещается в исходное положение из верхнего положения в нижнее до катушки индуктивности.

При этом при перемещении кузова в верхнее положение на выходе второй дифференцирующей цепи 34 формируется отрицательный импульс напряжения (рисунок 8.5), который не пропускается отсекающим диодом на шину 46 записи регистра 48, а в конце процесса торможения при опускании кузова и стержня в исходное до торможения нижнее положение возле катушки 22 индуктивности на выходе второй дифференцирующей цепи 34 формируется положительный импульс напряжения (см. рисунок 8.5), который поступает посредством шины записи на входы 45 логического элемента И 47, и на выходе регистра формируется код, с помощью которого отображается время торможения автомобиля. Он запоминается и высвечивается с помощью светоизлучающих диодов 52–59. После записи в регистр кода водитель может отпустить тормозную педаль.

Формирование кода с помощью параллельного регистра происходит следующим образом. Покажем это на примере вышеупомянутого кода, равного 00110010. На первых входах 44 двух первых логических элементов И 47 регистра имеются нули. При подаче посредством шины записи импульс напря-

жения от второй дифференцирующей цепи поступает на вторые входы 45. Поэтому на выходе двух первых логических элементов И 47 появляются нули. Вследствие этого на обоих входах первых двух триггеров 50 имеются нули, а при подаче на оба входа асинхронного RS-триггера нулей на выходе его имеется ноль. Таким образом, в первые два триггера 50 регистра 48 записаны первый и второй нули полученного на выходе электронного суммирующего счетчика 29.



Рисунок 8.5 – Импульсы напряжения на выходе второй дифференцирующей цепи при перемещении кузова в процессе торможения автомобиля

Приведем теперь пример записи третьей единицы полученного кода. В этом случае на первом входе 44 третьего логического элемента И 47 регистра 48 имеется единица. Поэтому при подачи посредством шины записи импульс напряжения от второй дифференцирующей цепи 34 на второй вход 45 на выходе логического элемента И 47 имеется единица. Вследствие этого на первом входе S третьего триггера 50 имеется единица, а на втором входе R асинхронного RS-триггера имеется ноль, а при подаче на вход S единицы, а на вход R нуля асинхронного RS-триггера на его выходе устанавливается единица. Таким образом, в третий триггер 50 регистра 48 записана единица полученного на выходе электронного суммирующего счетчика 29 кода.

На выходе параллельного регистра 48 появляется время торможения автомобиля в виде цифрового кода, от момента нажатия тормозной педали до окончания процесса торможения. При сравнении этого времени торможения с нормативным временем торможения для данных условий движения принимается решение о техническом состоянии тормозной системы автомобиля. Если время торможения автомобиля превышает нормативное время торможения, принимается решение о наличии неисправности.

Таким образом, использование информации о возникшей неисправности в тормозной системе позволяет повысить безопасность вождения путем предотвращения эксплуатации автомобилей с неисправной тормозной системой, а также снизить расходы на ремонт автомобилей путем определения фактического технического состояния тормозной системы автомобилей непосредственно водителем в процессе их эксплуатации.

На лабораторном занятии по данной теме необходимо выполнить следующее:

- 1) описать эксплуатационные показатели, которые улучшаются при применении бортового устройства;
- 2) описать диагностические параметры, которые можно измерить бортовым устройством.

Список литературы

1 Усовершенствованная система автоматического управления скоростью движения автомобиля / В. В. Геращенко [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 2. – С. 11–13.

2 **Чижков, Ю. П.** Электрооборудование автомобилей: курс лекций: в 2 ч. / Ю. П. Чижков. – Москва : Машиностроение, 2003. – Ч. 1. – 240 с.

3 **Савич, Е. Л.** Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие: в 3 ч. Ч. 2: Методы и средства диагностики и технического обслуживания автомобилей / Е. Л. Савич. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.

4 **Яскевич, М. Я.** Основы проектирования систем управления диагностирования строительных и дорожных машин / М. Я. Яскевич, В. В. Геращенко, Л. С. Шкрадюк. – Москва: СДМ Пресс, 2003. – 168 с.

5 **Геращенко, В. В.** Экологичное и топливосберегающее технологическое оборудование автомобильного транспорта / В. В. Геращенко, В. И. Гуменюк, А. В. Щур. – Санкт-Петербург: С.-Петербург. политехн. ун-т, 2017. – 143 с.