

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
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 практическим занятиям 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 Практическое занятие № 1. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по расходу топлива	5
2 Практическое занятие № 2. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по переходной характеристике.....	8
3 Практическое занятие № 3. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по его частотной характеристике.....	13
4 Практическое занятие № 4. Проектирование стенда для диагностирования дизельных двигателей по статистическим характеристикам	19
5 Практическое занятие № 5. Проектирование бортовых диагностических систем для агрегатов машин	22
6 Практическое занятие № 6. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по статической характеристике.....	25
7 Практическое занятие № 7. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по их динамическим переходным характеристикам.....	30
8 Практическое занятие № 8. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по их частотным характеристикам	35
Список литературы	45

Введение

Дисциплина «Механизация процессов технической эксплуатации» является одной из основополагающих при подготовке специалистов высшей квалификации по специальности 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей».

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 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 и механических систем 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 Практическое занятие № 1. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по расходу топлива

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования дизельных двигателей по расходу топлива.

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 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 режима работы двигателя претерпевает изменения у неисправного дизельного двигателя по сравнению с исправным и отрегулированным. Примерный вид полученной зависимости представлен на рисунке 1.1, 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 1.1 приведена кривая 2, которая соответствует неисправному дизельному двигателю.

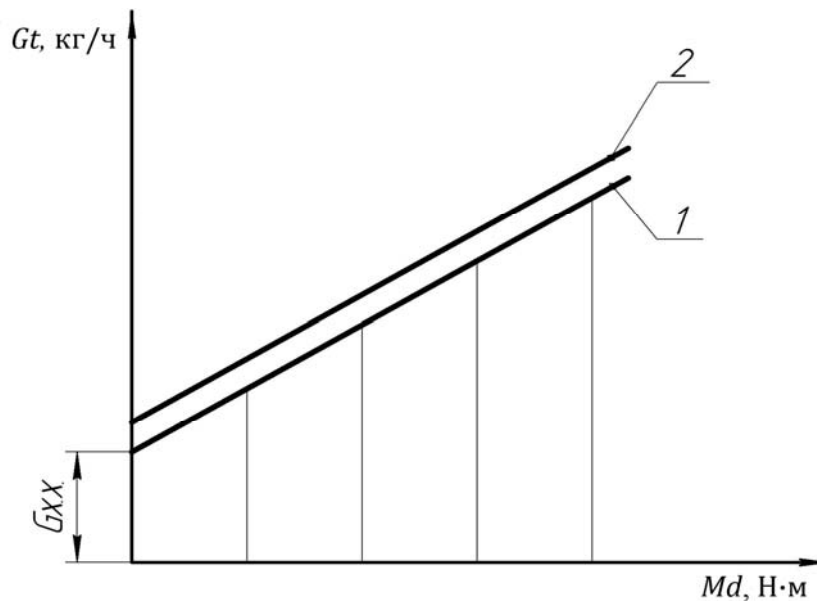


Рисунок 1.1 – Статическая характеристика дизельного двигателя

Изложенное выше дало основание предложить 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 по датчику крутящего момента режимы работы диагностируемого двигателя, измеряют часовой рас-

ход 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 1.2. 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.

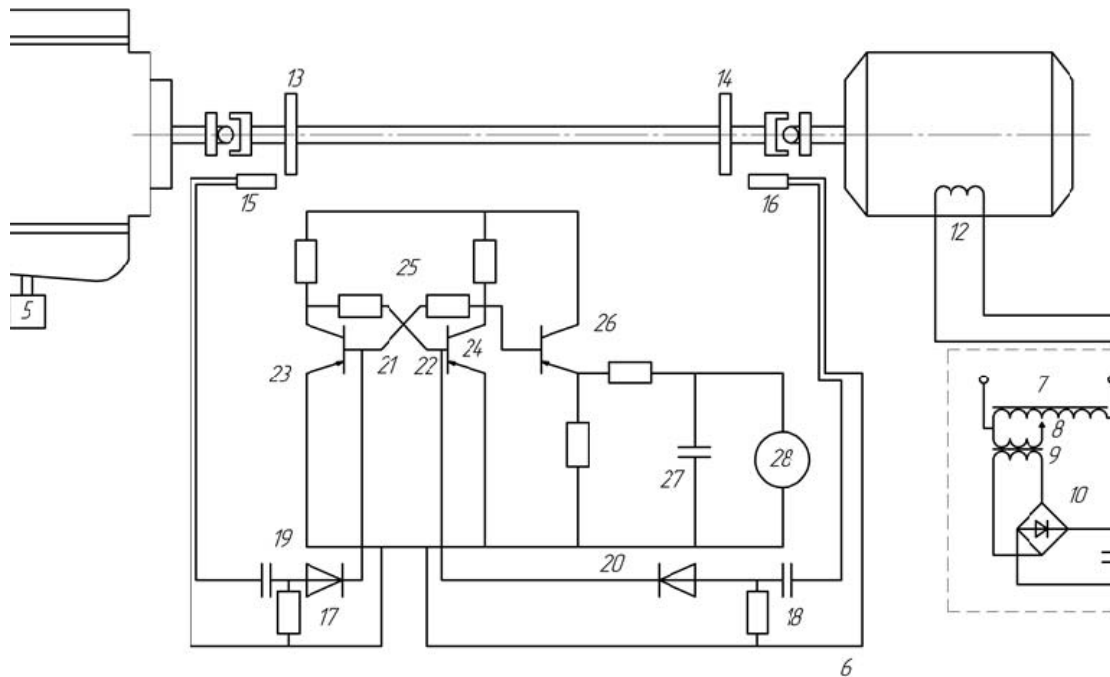


Рисунок 1.2 – Схема стенда для диагностирования дизельного двигателя

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 1.1). 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.

В этом случае дизельный двигатель нагружается в соответствии с внешней регуляторной характеристикой, которая изображена на рисунке 1.3 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.

С увеличением момента сопротивления на валу дизельного двигателя электронный регулятор частоты вращения увеличивает подачу топлива в цилиндры. Происходит это следующим образом. При увеличении момента сопротивления на валу дизельного двигателя в соответствии с уравнением динамического равновесия двигателя появляется недостаток вращающего момента двигателя, что приводит к замедленному вращению его коленчатого вала. Частота вращения двигателя может снизиться, например, на величину, равную 2 об/мин. Поэтому снижается напряжение от датчика частоты вращения вала двигателя, подаваемое по цепи обратной связи на вход электронного регулятора. Вследствие этого возникает положительное управляющее напряжение, которое посредством усилителя подается на электронный блок управления, с помощью которого формируется более широкий прямоугольный импульс напряжения, поступающий с его выхода на обмотку электромагнитной форсунки. 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.

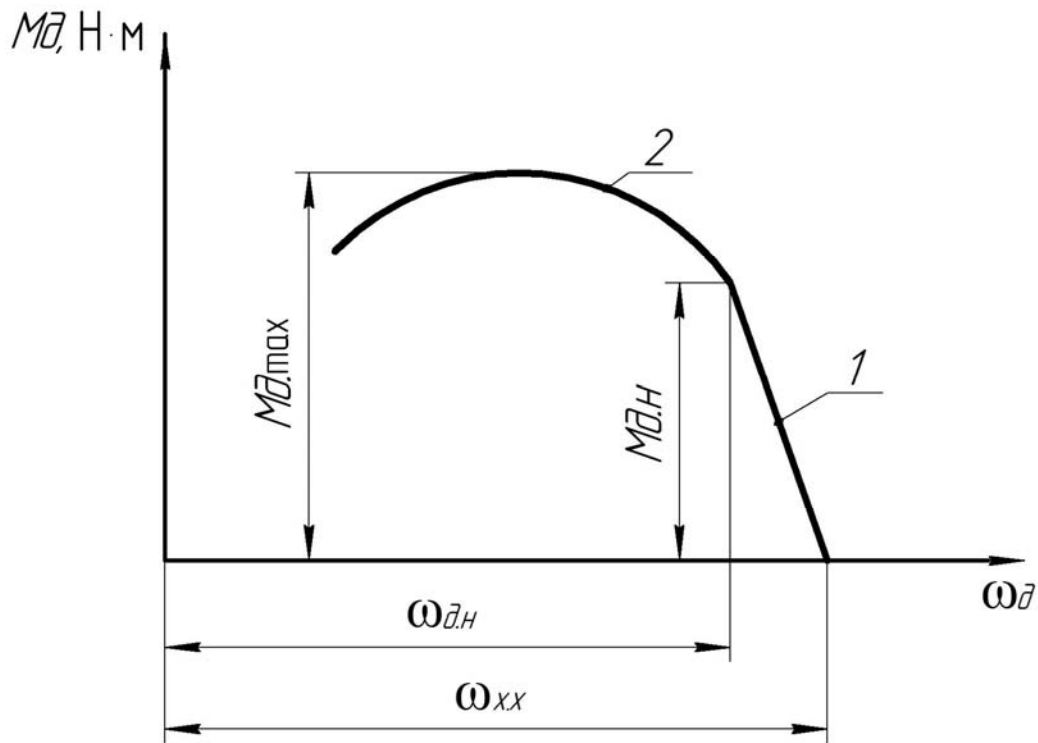


Рисунок 1.3 – Регуляторная и внешняя скоростные характеристики дизельного двигателя

Содержание отчета

- 1 Записать в отчет номер и название темы, изложить в отчете метод диагностирования дизельного двигателя на стенде.
- 2 Начертить схему стенда, описать его конструкцию и принцип действия.
- 3 Начертить графики напряжений в электрических цепях датчика вращающего момента.
- 4 Для дизельного двигателя написать дифференциальное уравнение.
- 5 Дать определение постоянной времени дизельного двигателя.
- 6 Описать принцип действия системы нагружения двигателя моментом сопротивления.

2 Практическое занятие № 2. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по переходной характеристике

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования дизельных двигателей по переходным характеристикам.

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.

Ступенчатое воспроизведение момента на валу дизельного двигателя затруднительно, поэтому 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 2.1, а.

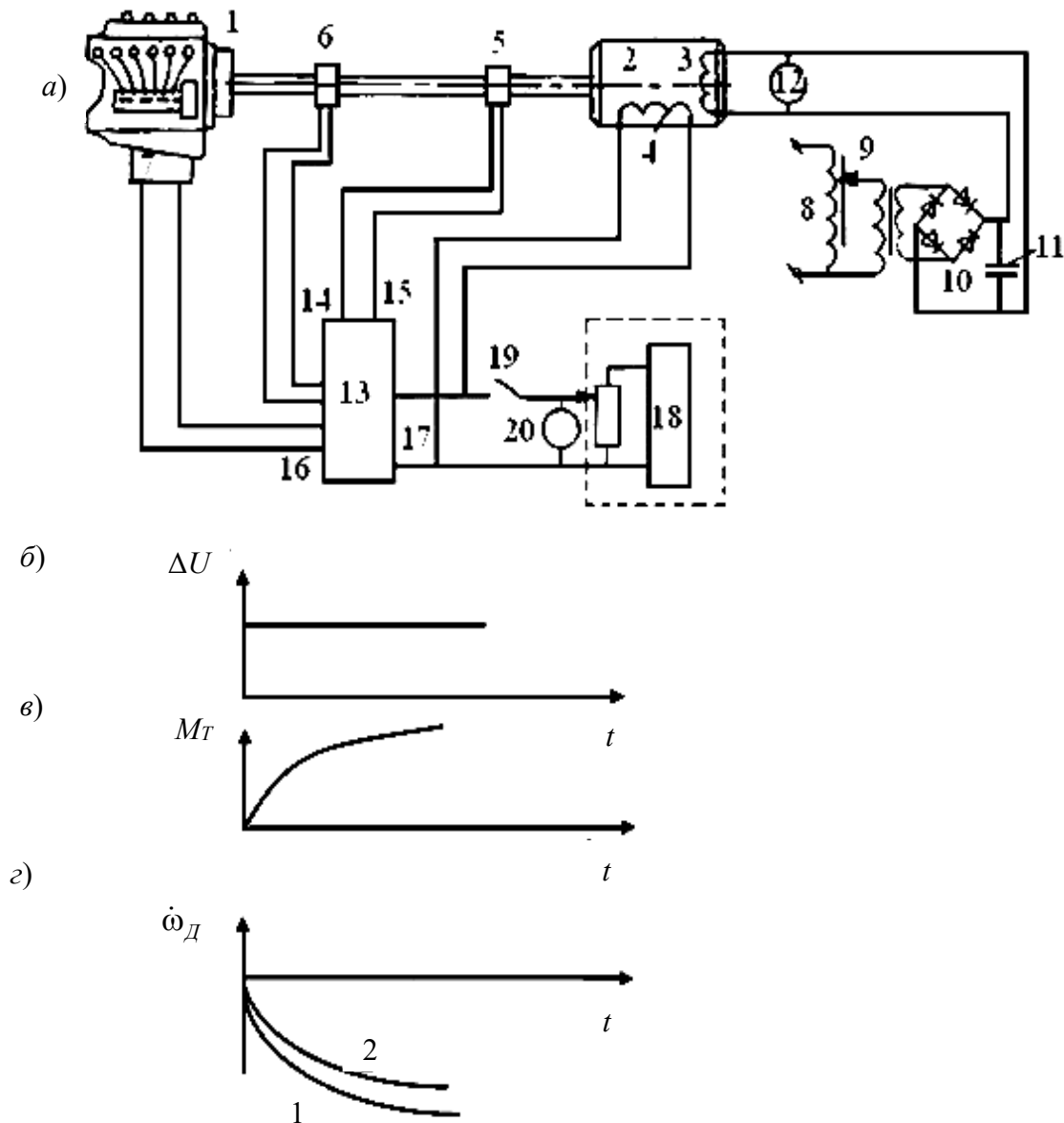


Рисунок 2.1 – Схема стенда и его характеристики

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 *18* постоянного тока.

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, которое нужно подать в обмотку *3* возбуждения. Эта величина напряжения вычисляется по формуле

$$U = M_T / k_T , \quad (2.1)$$

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 2.1, б–г приведены осциллограммы сигналов, записанных с помощью устройства 13. Они поступают на это устройство с обмотки возбуждения, выходов датчика частоты вращения, датчика момента.

Ступенчатое напряжение, подаваемое в обмотку 4 тормоза, приведено на рисунке 2.1, б. Момент на валу тормоза изменяется по экспоненциальной кривой (см. рисунок 2.1, в), частота вращения двигателя – в соответствии с кривыми 1 и 2 рисунка 2.1, г, 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 2.1, г. Эти сигналы подаются на соответствующие входы регистрирующего устройства, в качестве которого принимается светолучевой осциллограф типа К 12-22.

Преобразователь частоты вращения представлен на рисунке 2.2.

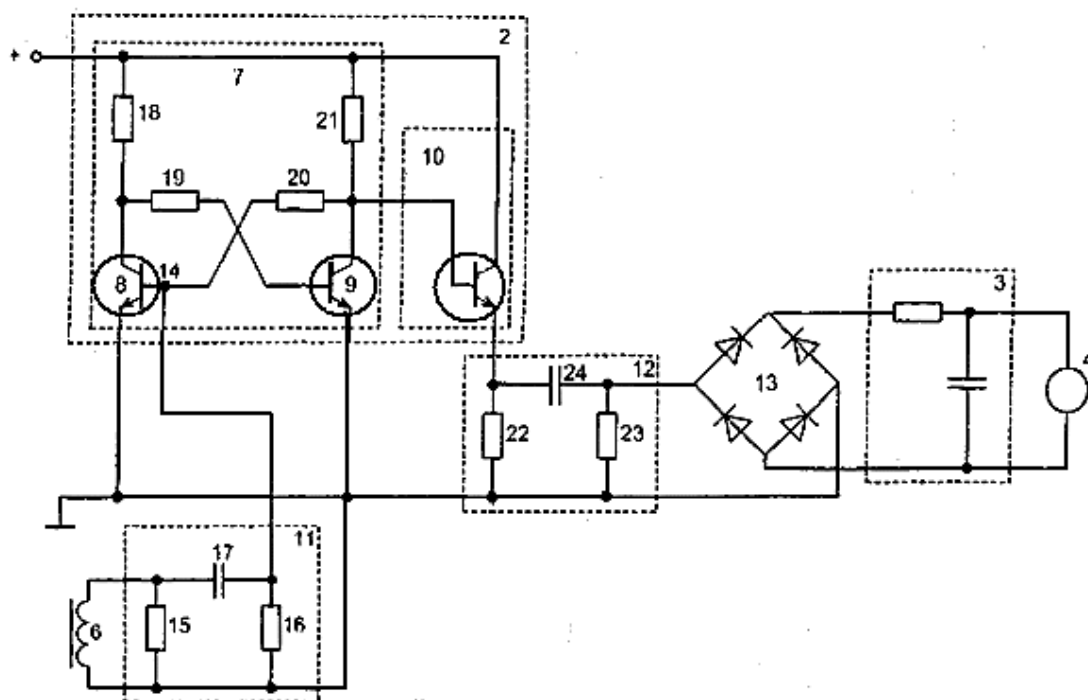


Рисунок 2.2 – Схема преобразователя частоты вращения

Преобразователь (см. рисунок 2.2) 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 2.3, а представлена осциллограмма остроконечных импульсов, пригодных для запуска триггера 7.

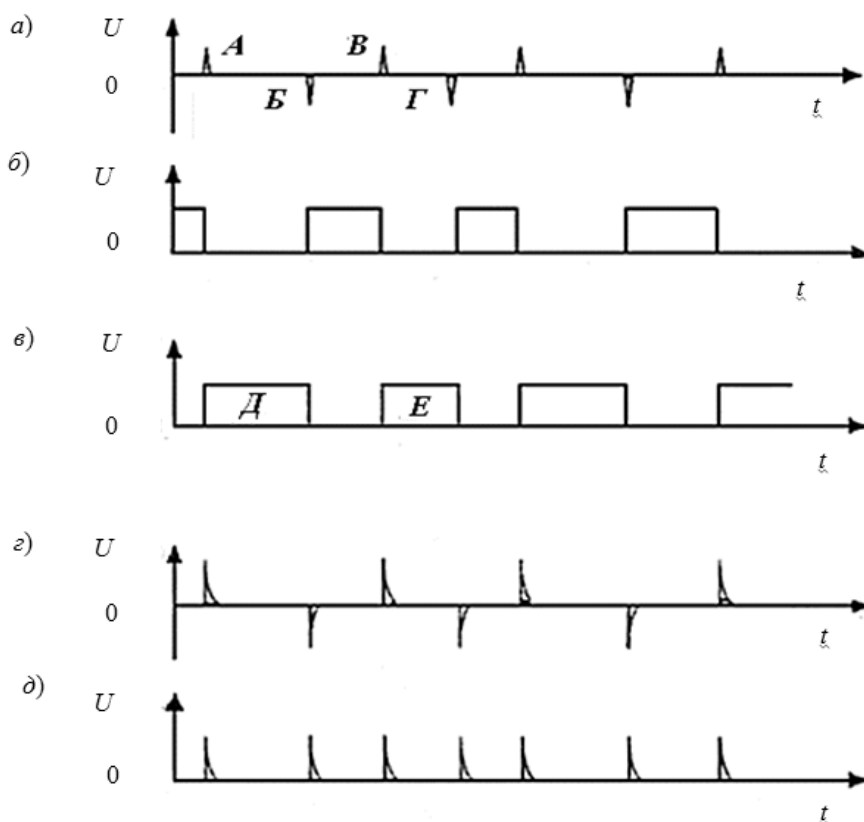


Рисунок 2.3 – Осциллограммы сигналов в электрических цепях преобразователя частоты вращения

В исходном положении триггера считается, что первый транзистор δ закрыт, а второй 10 открыт. При поступлении на базу 14 транзистора δ положительного остроконечного импульса A в момент времени t_1 (см. рисунок 2.3, *а*) транзистор δ открывается, а транзистор 9 закрывается (рисунок 2.3, *б, в*). При последующем поступлении в момент времени t_2 отрицательного остроконечного импульса B (см. рисунок 2.3, *а*) на базу 14 транзистора δ этот транзистор закрывается, а транзистор 9 открывается. В результате этого на выходе триггера 7 формируется прямоугольный импульс D (см. рисунок 2.3, *в*).

При поступлении от первой дифференцирующей цепи 11 остроконечных импульсов B и G (см. рисунок 2.3, *а*) на базу 14 транзистора δ происходит формирование прямоугольного импульса E (см. рисунок 2.3, *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 .

Содержание отчета

1 Записать в отчет номер и название темы, изложить в отчете метод диагностирования дизельного двигателя на стенде по переходной характеристике его частоты вращения.

2 Начертить схему стенда, описать его конструкцию и принцип действия.

3 Начертить в отчете схему датчика частоты вращения вала двигателя.

4 Для дизельного двигателя написать дифференциальное уравнение.

3 Практическое занятие № 3. Проектирование стенда для диагностирования дизельного двигателя по его частотной характеристике

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования дизельных двигателей по его частотной характеристике.

Краткие теоретические сведения. Исследования показали, что в процессе эксплуатации дизельных двигателей их амплитудно-частотная характеристика претерпевает изменения из-за появления неисправностей. Эта характеристика определяется как зависимость отношения амплитуды перемещения рейки топливного насоса дизельного двигателя к амплитуде

момента на его валу от частоты колебаний этих информационных параметров при постоянной амплитуде колебаний момента на валу двигателя. Это дало основание разработать и предложить новый метод диагностирования дизельных двигателей на стенде, заключающийся в том, что диагностируемый дизельный двигатель устанавливают на стенд, содержащий электрический тормоз, карданный вал, соединяющий валы дизельного двигателя и электрического тормоза, снабженный контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления; нагружают дизельный двигатель крутящим моментом, включающим постоянную составляющую, равную половине номинального крутящего момента диагностируемого двигателя, и синусоидальную составляющую, амплитуда которой меньше уровня постоянной составляющей момента; задают частоту синусоидальных колебаний момента и измеряют амплитуду синусоидальной составляющей перемещения рейки топливного насоса; затем, не изменяя амплитуду синусоидальной составляющей момента на валу двигателя, измеряют амплитуду синусоидальной составляющей перемещения рейки для нескольких фиксированных частот колебаний момента; строят амплитудно-частотную характеристику дизельного двигателя, определяя ее ординаты для этих фиксированных значений частоты колебаний момента и рейки топливного насоса, и, сравнивая полученные значения ординат с нормативами, принимают решение о техническом состоянии данного диагностируемого дизельного двигателя.

Для реализации предложенного метода диагностирования дизельных двигателей разработан стенд, общая схема которого приведена на рисунке 3.1. Стенд включает в себя следующие основные элементы: дизельный двигатель *1*, вал которого соединен упругим валом с валом тормоза *2*, имеющим обмотки возбуждения *3* и *4*, датчик *5* момента, установленный на упругом валу, преобразователь *6* перемещения рейки топливного насоса, автотрансформатор *7*, трансформатор *8*, выпрямитель *9*, сглаживающий конденсатор *10*, записывающий осциллограф *11* с каналами *12*, *13*, генератор синусоидальных сигналов *14*, подключенный к обмотке возбуждения *4* тормоза посредством магнитного усилителя *15*. Канал *12* осциллографа *11* подключен к выходу датчика *5* момента, канал *13* осциллографа *11* – к выходу преобразователя *6*, обмотка возбуждения *3* электротормоза – к обкладкам конденсатора *10*.

Датчик *5* момента включает в себя два тонких металлических диска *16* с радиальными выступами и прорезями, закрепленных по концам упругого вала, импульсные щелевые преобразователи *17*, установленные вблизи упругого вала по его концам с обеспечением возможности свободного вхождения выступов металлических дисков в щели импульсных преобразователей, сумматор *18*, выполненный на резисторах *19*, *20*, выпрямитель *21*, конденсатор *22*, резистор *23*.

Преобразователь перемещения рейки *6* топливного насоса состоит из мультивибратора *24*, выполненного на двух транзисторах, согласующего усилителя *25*, конденсатора *26*, катушки индуктивности *27*, выполненной с

возможностью вхождения в нее рейки топливного насоса дизельного двигателя, детектора 28 амплитудно-модулированных сигналов, выходного резистора 29.

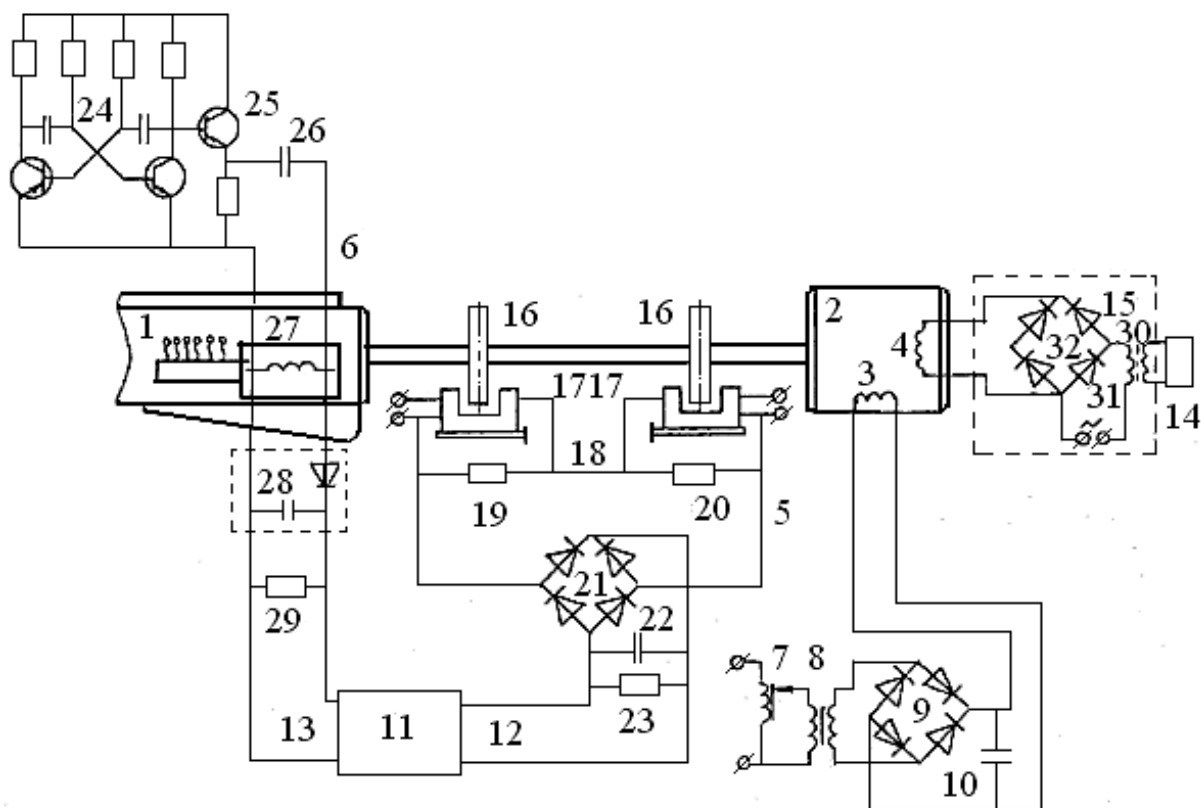


Рисунок 3.1 – Схема стенда

Магнитный усилитель 15 имеет обмотку 30 управления, обмотку переменного тока 31, выпрямитель 32.

После запуска и прогрева дизельного двигателя стенда устанавливается заданный скоростной режим, а на обмотку 3 возбуждения тормоза посредством автотрансформатора 7, трансформатора 8, выпрямителя 9 и конденсатора 10 подается напряжение постоянного тока, изображенное на рисунке 3.2, а. Уровень этого напряжения соответствует формированию на валу двигателя момента, равного половине его номинального. На обмотку 4 возбуждения подается напряжение синусоидальной формы от генератора 14, при этом амплитуда синусоидального напряжения, подаваемого на эту обмотку, меньше, чем уровень напряжения постоянного тока, подаваемого на обмотку возбуждения 3, а частота этого синусоидального напряжения равна, например, 0,5 рад/с (на рисунке 3.2, б изображено это напряжение). Вследствие этого на валу дизельного двигателя появляется момент, который имеет как постоянную, так и переменную составляющую (см. рисунок 3.2, в).

Металлические диски 16 своими выступами и прорезями проходят в щели преобразователей 17, в результате чего на электрических выводах этих преобразователей формируются прямоугольные импульсы одинаковой высоты и

длительности, которые суммируются сумматором 18, выпрямляются, сглаживаются, при этом на резисторе 23 формируется сигнал, пропорциональный моменту на валу дизельного двигателя. На рисунке 3.2, в буквой A_0 обозначена амплитуда переменной синусоидальной составляющей момента на валу диагностируемого двигателя при угловой частоте этого синусоидального колебания момента ω_0 .

Аналитическая запись момента, воспроизводимого на валу двигателя, описывается уравнением

$$M_1 = M_0 + A_0 \sin \omega_0 t, \quad (3.1)$$

где M_0 – постоянная составляющая момента на валу двигателя;

A_0 , ω_0 – амплитуда и угловая частота синусоидальной составляющей момента на валу дизельного двигателя.

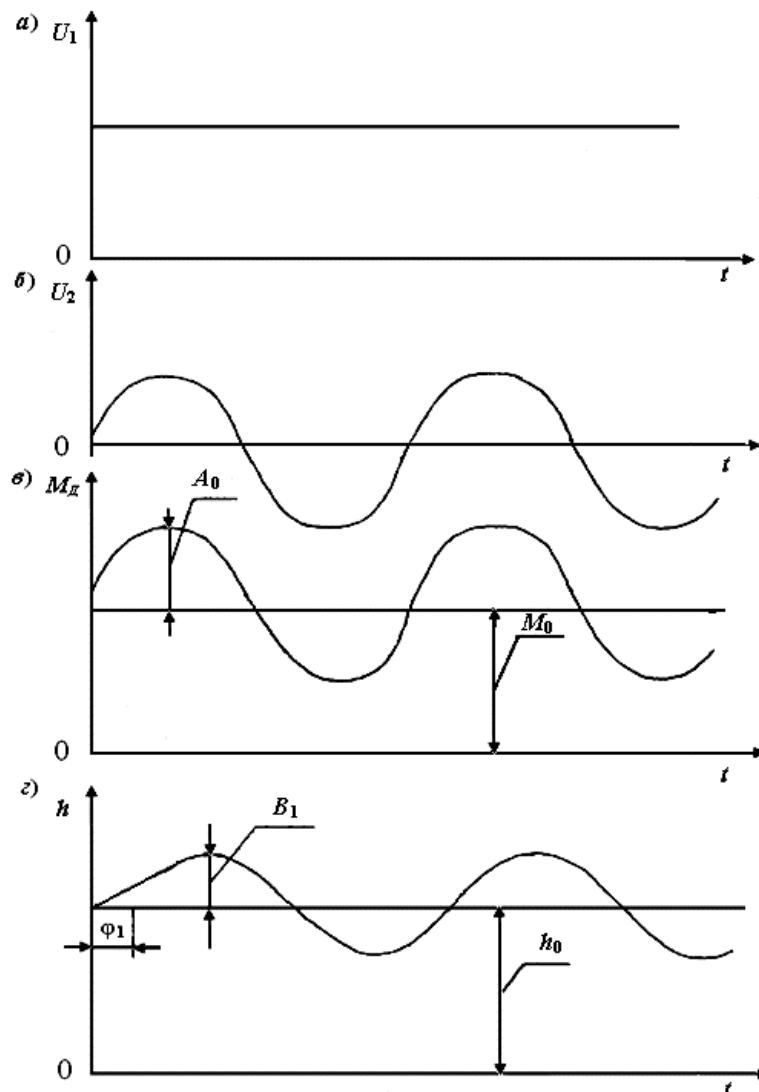


Рисунок 3.2 – Сигналы, регистрируемые на стенде

Под действием момента, воспроизведенного на валу диагностируемого двигателя, рейка топливного насоса претерпевает перемещение по закону (см. рисунок 3.2, з)

$$h_1(t) = h_0 + B_1 \sin(\omega_0 t + \varphi_1) , \quad (3.2)$$

где h_0 – постоянная составляющая колебания рейки;

B_1 – амплитуда синусоидальных колебаний рейки;

φ_1 – фаза отставания колебания рейки относительно колебаний момента на валу дизельного двигателя.

С помощью осциллографа *11* записываются колебание момента на валу двигателя и колебание рейки топливного насоса.

Затем оператор устанавливается новое колебание момента на валу двигателя, имеющее такую же амплитуду A_0 и такую же постоянную составляющую M_0 , но другую угловую частоту ω_1 , равную, например, 1,0 рад/с. Это колебание устанавливается на стенде вращением движка регулятора частоты выходного сигнала генератора синусоидальных сигналов. Аналитическое выражение этого момента на валу двигателя

$$M_2(t) = M_0 + A_0 \sin \omega_1 t . \quad (3.3)$$

В результате изменения частоты колебаний момента на валу двигателя постоянная составляющая колебания рейки остается такой же, как и в первом случае, но изменяются как амплитуда, так и фаза синусоидальной составляющей перемещения рейки. Выражение для перемещения рейки примет вид

$$h_2(t) = h_0 + B_2 \sin(\omega_1 t + \varphi_2) , \quad (3.4)$$

где B_2 , φ_2 – амплитуда и фаза синусоидальной составляющей колебания рейки соответственно.

С помощью осциллографа опять записываются колебания момента и рейки топливного насоса.

Устанавливая одну и ту же амплитуду колебаний момента на валу двигателя, но увеличивая всякий раз частоту этих колебаний момента, получают и регистрируют колебания рейки с разными амплитудами и фазами. Опыт повторяется 10 раз. По полученным данным строится амплитудно-частотная характеристика $B_n / A_0 = r = f(\omega)$ дизельного двигателя на заданном скоростном режиме его работы, которая является текущей амплитудно-частотной характеристикой дизельного двигателя. Для ее построения по оси ординат откладывается модуль вектора r , по оси абсцисс – угловая частота

колебаний момента и рейки. Эта характеристика приведена на рисунке 3.3 (кривая 2), частота ω_p называется резонансной.

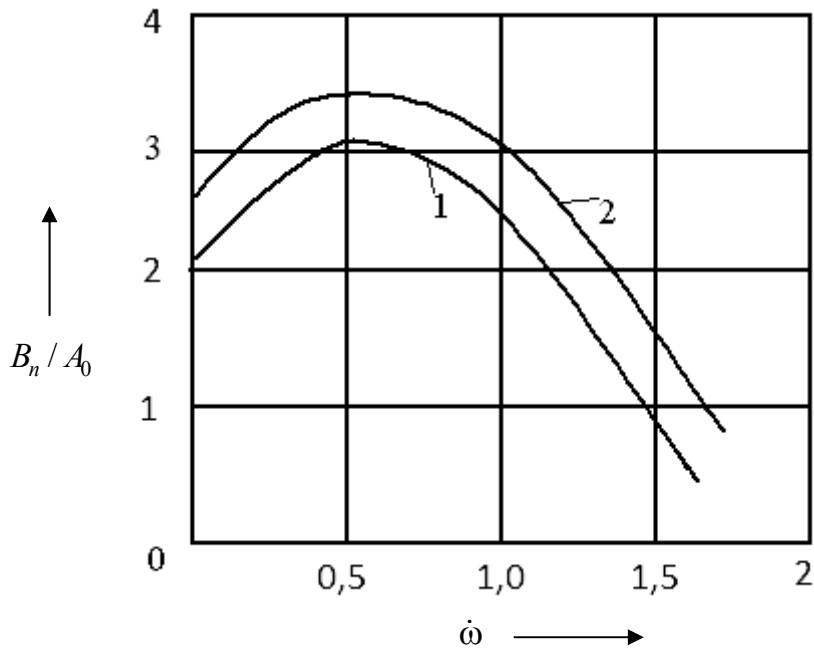


Рисунок 3.3 – Амплитудно-частотные характеристики дизельного двигателя

Условия работоспособности дизельного двигателя определяют, оценивая полученную текущую характеристику по точкам. Для этого находят значения отклонений текущей амплитудно-частотной характеристики двигателя от номинальной, обозначенной на рисунке 3.3 цифрой 1:

$$h_t(\omega_i) - h_n(\omega_i) = \varepsilon_i, \quad (3.5)$$

где $h_t(\omega_i)$ – значение текущей амплитудно-частотной характеристики дизельного двигателя в некоторой точке;

$h_n(\omega_i)$ – значение номинальной амплитудно-частотной характеристики для такой же частоты колебаний момента и рейки, что и для текущей амплитудно-частотной характеристики;

ε_i – допустимое отклонение характеристики в данной рассматриваемой точке.

Если выражение (3.5) справедливо для всех рассматриваемых точек характеристики, то принимается решение, что дизельный двигатель исправен.

Динамические свойства дизельного двигателя с регулятором описываются дифференциальным уравнением третьего порядка. В первом приближении принимаем следующее выражение для построения амплитудно-частотной характеристики дизельного двигателя с регулятором:

$$|W(I\omega)| = \frac{k}{\sqrt{(1 - \omega T_1^2)^2 + \omega^2 T_2^2}}. \quad (3.6)$$

Две кривые амплитудно-частотных характеристик дизельного двигателя представлены на рисунке 3.3 (кривая 2 – для дизельного двигателя при наличии в нем неисправности).

Содержание отчета

- 1 Записать в отчет номер и название темы, изложить в отчете метод диагностирования дизельного двигателя на стенде по частотной характеристике.
- 2 Начертить схему стенда, описать его конструкцию и принцип действия.
- 3 Начертить в отчете схему датчика момента двигателя.
- 4 Для дизельного двигателя написать дифференциальное уравнение.

4 Практическое занятие № 4. Проектирование стенда для диагностирования дизельных двигателей по статистическим характеристикам

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования дизельных двигателей по статическим характеристикам.

Краткие теоретические сведения. Существующие стенды для диагностирования дизельных двигателей наиболее эффективны в том случае, если на них обеспечивается воспроизведение реальных эксплуатационных режимов работы машин, которые являются случайными по своей природе и описываются статистическими характеристиками.

В условиях эксплуатации машин на их валах действуют моменты, непрерывно изменяющиеся по случайному закону. Для описания этих моментов применим статистические характеристики. Это могут быть среднее значение момента, его среднеквадратическое отклонение, дисперсия, корреляционная функция, спектральная плотность.

Если принять, что момент на валу двигателя распределен по случайному закону, то плотность вероятности момента определится по формуле, в которую входят такие статистические характеристики, как среднее значение момента m_M и среднеквадратическое отклонение момента σ_M :

$$P(M_0) = \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(M_0 - m_M)^2}{2\sigma_M^2}}. \quad (4.1)$$

Среднее значение момента на валу двигателя определится на конечном интервале $-T \leq t \leq T$:

$$M(t) = m_M = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T M(t) dt. \quad (4.2)$$

При увеличении длины интервала $T \rightarrow \infty$ среднее значение по времени момента на бесконечном интервале рассчитывается по формуле

$$m_M = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T M(t) dt. \quad (4.3)$$

Дисперсия момента на валу двигателя, представляющая собой меру разброса значений момента вокруг среднего значения, – это среднее значение квадрата отклонения момента от его среднего значения; она определяется формулой

$$D[M(t)] = M[M(t) - m_M]^2. \quad (4.4)$$

Дисперсия случайного момента имеет размерность $\text{Н}^2 \cdot \text{м}^2$. Для характеристики рассеивания более удобно следует пользоваться величиной, размерность которой совпадает с размерностью момента. Для этого из дисперсии извлекают квадратный корень. Полученная величина называется среднеквадратическим отклонением момента σ_M :

$$\sigma_M = \sqrt{D[M(t)]}. \quad (4.5)$$

Проектирование устройства воспроизведения случайных нагрузок на валах диагностического стенда производится применительно к стенду (рисунок 4.1).

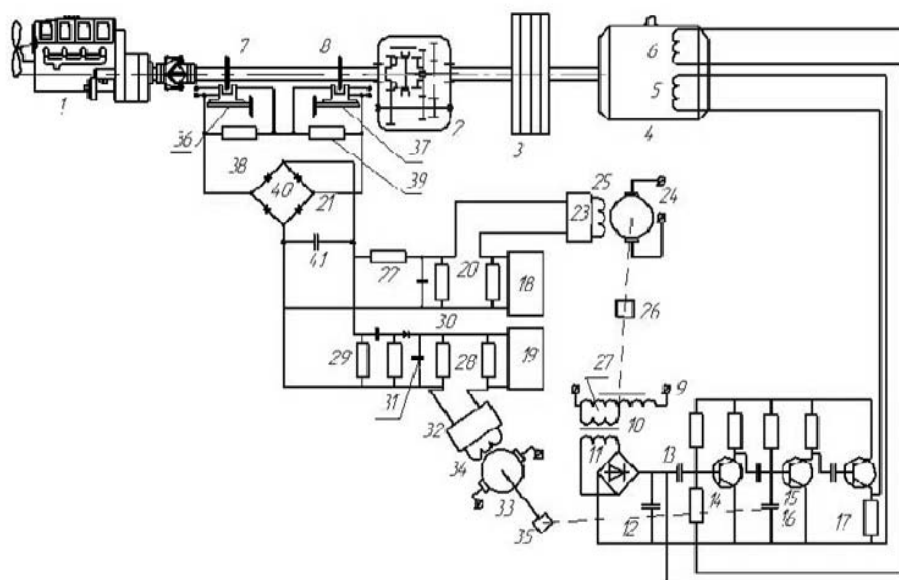


Рисунок 4.1 – Стенд с воспроизведением случайных нагрузок на валу двигателя

Стенд содержит (см. рисунок 4.1) дизельный двигатель *1*, кинематически соединенный с коробкой передач *2*, маховик *3*, электрический тормоз *4* с обмотками *5* и *6* возбуждения. На валу двигателя установлены металлические диски *7* и *8* с прорезями. Они предназначены для измерения момента на валу двигателя.

Система воспроизведения случайных нагрузок имеет автотрансформатор *9*, трансформатор *10*, выпрямитель *11*, конденсатор *12*, дифференцирующую цепь *13*, первый и второй усилители *14* и *15* с общим эмиттером. На входе второго усилителя *15* установлен блок *16* конденсаторов переменной емкости, который может быть выполнен в виде комбинации отдельных конденсаторов с устройством переключения и конденсатора с непрерывным изменением емкости. Поэтому в зависимости от величины емкости блока конденсаторов изменяются напряжение на выходе первого усилителя и его спектральная плотность.

Второй усилитель *15* осуществляет в соответствии со своим коэффициентом усиления, под которым понимается отношение напряжения на его выходе к напряжению на входе, усиление сигнала. Так как выходное сопротивление второго усилителя высоко, то непосредственная подача его выходного сигнала в обмотку тормоза, которая отличается малым сопротивлением, невозможна. Для согласования указанных сопротивлений между обмоткой тормоза и выходом второго усилителя устанавливается эмиттерный повторитель, у которого высокое входное и малое выходное сопротивления. При этом резистор в этом усилителе включен в эмиттерную цепь.

Таким образом, обмотка *6* тормоза подключена на обкладки конденсатора *12*, на котором формируется почти постоянный уровень напряжения. Обмотка *5* возбуждения получает питание от усиленного и преобразованного напряжения случайного характера.

Переменная составляющая момента на валу тормоза формируется следующим образом. Автотрансформатор *9* включается в сеть переменного тока с частотой 50 Гц напряжением 220 В. На выходе автотрансформатора появляется напряжение, величина которого пропорциональна перемещению движка автотрансформатора. Это напряжение подается на первичную обмотку трансформатора *10*. На выходе трансформатора, т. е. на его вторичной обмотке, формируется напряжение, амплитуда которого уменьшается в соответствии с его коэффициентом трансформации, например, в 10 раз. Соответственно коэффициенту трансформации изменяется в 10 раз нагрузочная способность вторичной обмотки трансформатора по отношению к его первичной обмотке.

Напряжение с вторичной обмотки трансформатора подается на выпрямитель *11*, на выходе которого создается выпрямленное пульсирующее напряжение. Затем полученное напряжение с целью сглаживания пульсаций подается на конденсатор *12*, который вместе с диодами, обладающими прямым сопротивлением, образует фильтр низких частот. Амплитудно-частотная характеристика этого фильтра определяется модулем частотной функции апериодического звена первого порядка. С увеличением частоты подаваемого на его вход сигнала переменной амплитуды амплитуда на его выходе падает. Поэтому на обкладках конденсатора *12* формируется напряжение с постоянной и переменной составляющими, что изображено на рисунке 4.3, *a*.

При этом если полученная постоянная составляющая равна, например, 12 В, то переменная составляющая имеет незначительную величину и составляет напряжение порядка 10...30 мВ. Переменная составляющая на обкладках конденсатора всегда присутствует, т. к. автотрансформатор 9 подключен к сети переменного тока, в которой происходят изменения уровня переменного напряжения, занимающие инфранизкочастотную область, если определить их частотный диапазон.

Объясняется это тем, что к сети непрерывно подключаются и отключаются потребители электрической энергии. Это происходит в случайные моменты времени и поэтому колебания уровня полученного напряжения являются случайной величиной. Число потребителей исчисляется десятками и сотнями тысяч, например, в качестве потребителей наиболее распространены электрические двигатели переменного трехфазного тока. В результате напряжение на обкладках конденсатора непрерывно случайно изменяется по величине 10...30 мВ.

График изменения выделенной на резисторе посредством конденсатора 13 случайной составляющей этого напряжения представлен на рисунке 4.3, б.

Содержание отчета

1 В отчет записать номер темы занятия, название темы, начертить схему стенда, изложить принцип его действия.

2 Изложить в отчете метод воспроизведения случайной нагрузки с заданными статистическими характеристиками.

3 Записать в отчет передаточную функцию коробки передач, дать определение коэффициентам усиления и постоянным времени коробки передач.

4 Записать в отчет передаточную функцию датчика момента, дать определение его коэффициента усиления.

5 Начертить и заполнить таблицу 4.1 для построения плотности вероятности момента (см. формулу (4.1)) на валу двигателя для среднего значения момента, равного 400 Н·м, и среднеквадратического отклонения, равного 200 Н·м.

Таблица 4.1 – Данные для построения плотности вероятности момента

$M_0, \text{Н}\cdot\text{м}$								
$P(M_0)$								

5 Практическое занятие № 5. Проектирование бортовых диагностических систем для агрегатов машин

Цель работы: исследовать и изучить бортовые диагностические системы для агрегатов машин.

Краткие теоретические сведения. На основе анализа работы ДВС было установлено, что при наличии неисправностей в двигателе претерпевает изменение такая статистическая характеристика, как среднеквадратическое откло-

нение частоты вращения его вала. Это дало основание предложить новый метод диагностирования двигателя внутреннего сгорания, заключающийся в том, что в процессе диагностирования на заданных скоростном и нагрузочном режимах его работы измеряют среднеквадратическое отклонение частоты вращения его вала, сравнивают измеренное значение с нормативным значением, которое соответствует исправному двигателю, и в зависимости от полученного результата принимают решение о техническом состоянии диагностируемого двигателя.

В процессе исследования принято решение спроектировать цифровое устройство для диагностирования двигателей внутреннего сгорания согласно предложенному методу диагностирования, представленное на рисунке 5.1.

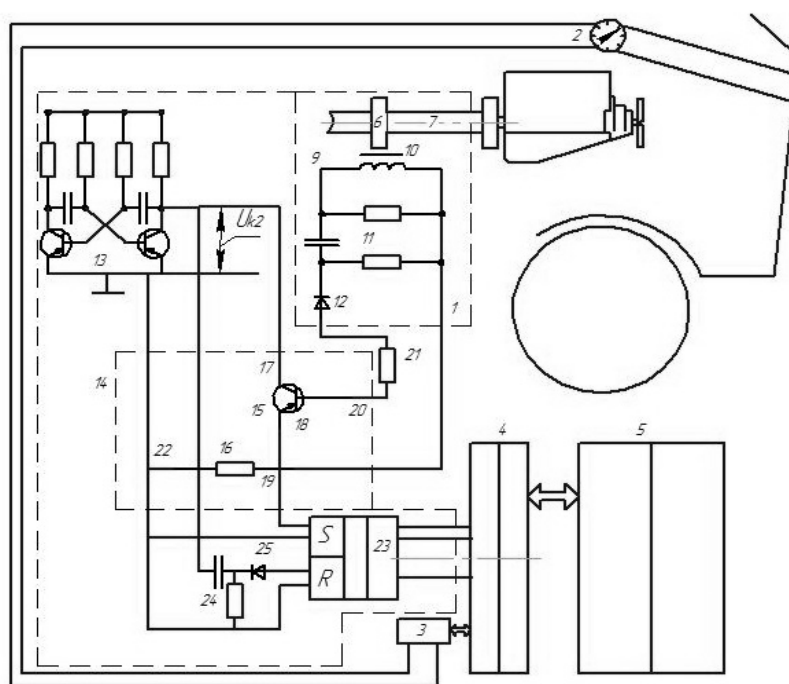


Рисунок 5.1 – Устройство для диагностирования дизельных двигателей

Это объясняется тем, что цифровой метод обработки сигналов является наиболее точным и тем самым перспективным для последующего внедрения в эксплуатацию. При этом необходимо было разработать такие его элементы, как мультивибратор, АЦП, схему логического умножения, а также обеспечить связи между этими элементами. В результате проведенной работы для реализации предложенного метода разработано устройство для диагностирования двигателей внутреннего сгорания, содержащее (см. рисунок 5.1) датчик 1 частоты вращения вала двигателя, установленный на щитке приборов в кабине транспортного средства, регистратор 2, АЦП, вход которого подключен к выходу датчика частоты вращения, цифроаналоговый преобразователь 3, выход которого подключен ко входу регистратора, интерфейс 4 с двумя каналами, связанными с АЦП и ЦАП соответственно, микроЭВМ 5, связанную с интерфейсом.

Датчик частоты вращения вала двигателя имеет металлический диск 6 с прорезями и выступами, установленный на валу 7 двигателя 8, катушку 9 индуктив-

ности с магнитным сердечником 10, жестко закрепленную вблизи выступов и прорезей диска, первую дифференцирующую цепь 11, входом подключенную к катушке индуктивности, диод 12, подключенный к выходу первой дифференцирующей цепи. АЦП имеет мультивибратор 13, транзисторный ключ 14, включающий в себя транзистор 15, резистор 16 нагрузки, при этом коллектор 17 транзистора соединен с коллектором выходного транзистора мультивибратора, эмиттер 18 с положительным выводом датчика частоты вращения вала двигателя, а также с выводом 19 резистора нагрузки, база 20 транзистора посредством резистора 21 подключена к отрицательному выводу датчика частоты вращения вала двигателя, а вывод 22 резистора нагрузки соединен с эмиттером транзистора мультивибратора, суммирующий счетчик 23, счетный вход R которого подключен на выводы резистора нагрузки, вход установки нуля подключен посредством дифференцирующей цепи 24 и диода 25 к выходу мультивибратора, а выходом счетчик подключен к первому каналу интерфейса.

При работе транспортного средства на катушке индуктивности формируются сигналы, которые дифференцируются с помощью первой дифференцирующей цепи. Полученные импульсы напряжения выпрямляются диодом и подаются на базу транзистора посредством резистора. Транзистор получает питание от мультивибратора в виде прямоугольных импульсов заданной длительности. Период импульсов, поступающих с мультивибратора, во много раз больше периода импульсов, поступающих на базу транзистора.

При наличии отрицательного напряжения на коллекторе транзистора (а это происходит тогда, когда имеется отрицательный импульс на выходе мультивибратора) и одновременно короткого отрицательного импульса напряжения на базе этого транзистора последний открывается, и на резисторе нагрузки выделяется короткий импульс.

При каждом коротком импульсе, поступающем на базу транзистора, он будет открыт на протяжении длительности прямоугольного импульса, питающего транзистор. Импульсы напряжения с резистора нагрузки поступают на счетный вход счетчика. Количество поступающих на счетный вход импульсов определяется частотой их следования, а следовательно, частотой вращения вала двигателя. С выхода счетчика зафиксированное в нем число считывается в параллельном коде и поступает на интерфейс, обращение к которому происходит по сигналу, поступающему с микроЭВМ. Обработка сигналов выполняется микроЭВМ.

В постоянном запоминающем устройстве микропроцессорной системы для диагностирования двигателя внутреннего сгорания записана программа вычисления среднеквадратического отклонения частоты вращения вала двигателя. После выполнения программы на выходе цифроаналогового преобразователя микропроцессорной системы диагностирования возникает сигнал в виде напряжения постоянного тока, уровень которого пропорционален среднеквадратическому отклонению частоты вращения вала двигателя.

При предельном значении показаний регистратора необходимо производить обнаружение и ликвидацию неисправностей, возникающих в двигателе внутреннего сгорания транспортного средства. После выполнения этих работ

производится повторное диагностирование двигателя внутреннего сгорания. После выполнения регулировочных и ремонтных работ показания регистратора не должны достигать предельных значений на заданных скоростном и нагрузочном режимах работы двигателя.

Разработанное устройство предназначается для использования водителем непосредственно для определения технического состояния двигателей транспортных средств на линии. Устройство позволяет при появлении мелких неисправностей и разрегулировок на эксплуатируемой машине предотвратить перерасход топлива, т.к. при появлении неисправностей возрастает неравномерность вращения коленчатого вала двигателя, а это означает, что увеличивается среднее квадратическое отклонение данного диагностического параметра.

Устройство отличается простотой и имеет малую стоимость, поэтому пригодно для внедрения на транспортные средства.

Содержание отчета

1 В отчет записать номер и тему занятия, начертить осциллограммы случайной составляющей частоты вращения вала двигателя.

2 Начертить в отчете схему бортового устройства для диагностирования дизельного двигателя по среднее квадратическому отклонению его частоты вращения, записать в отчет принцип действия данного устройства бортового диагностирования.

3 Описать принцип действия всех электронных узлов устройства: мультивибратора, датчика частоты вращения, счетчика, дифференцирующей цепи, транзисторного ключа.

4 Вычертить и заполнить таблицу 5.1, принимая, что напряжение на выходе дифференцирующей цепи датчика частоты вращения изменяется согласно выражению $U_{\text{ВЫХ}} = Ae^{-\frac{t}{T}}$, где $A = 12 \text{ В}$, $T = 0,1 \text{ с}$.

Таблица 5.1 – Данные для построения импульса напряжения на выходе дифференцирующей цепи

$t, \text{ с}$								
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$								

6 Практическое занятие № 6. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по статической характеристике

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования механических коробок передач по статической характеристике.

Краткие теоретические сведения. На первой стадии проектирования стенда для диагностирования механических коробок передач были проведены

теоретические и экспериментальные исследования работы коробок передач в исправном состоянии, а также при наличии неисправностей. Было установлено, что статическая характеристика коробок передач на заданной передаче, представляющая собой зависимость крутящего момента на первичном валу коробки передач от крутящего момента на ее вторичном валу в установившемся режиме ее работы, претерпевает изменения у неисправной коробки передач по сравнению с исправной. Примерный вид полученной зависимости представлен на рисунке 6.1, причем кривая 1 соответствует исправной коробке передач. При наличии неисправностей в коробке передач при заданном значении момента на ее вторичном валу уровень крутящего момента на ее первичном валу увеличивается. На рисунке 6.1 приведена кривая 2, которая соответствует статической характеристике неисправной коробки передач.

Изложенное выше дало основание предложить новый метод диагностирования механических коробок передач, заключающийся в том, что при заданной величине крутящего момента на вторичном валу коробки передач при работе ее на заданной передаче измерят крутящий момент на ее первичном валу и, сравнивая его с нормативом, соответствующим исправному состоянию коробки передач, примут решение о техническом состоянии этой коробки передач.

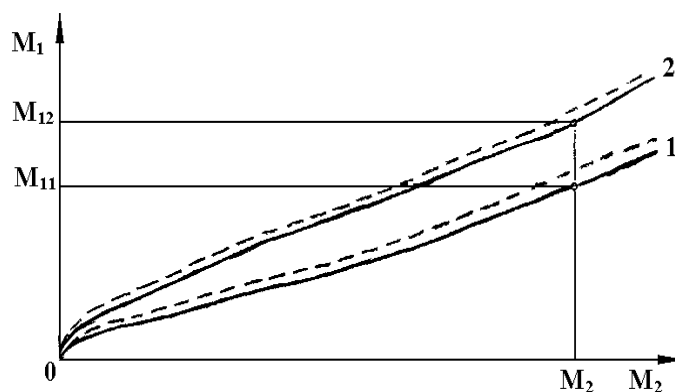


Рисунок 6.1 – Статические характеристики коробки передач

На основе предложенного метода был разработан стенд для диагностирования механических коробок передач, общая схема которого приведена на рисунке 6.2.

Стенд содержит: двигатель внутреннего сгорания 1, кинематически соединенный с первичным валом коробки передач 2, вторичный вал которой соединен с электрическим тормозом 3; первый датчик 4 момента, установленный на первичном валу коробки передач; второй датчик 5 момента, установленный на вторичном валу коробки передач; регулируемый источник 6 постоянного тока, включающий в себя автотрансформатор 7, выпрямитель 8, сглаживающий конденсатор 9, подключенный выходом к обмотке возбуждения 10 электрического тормоза 3.

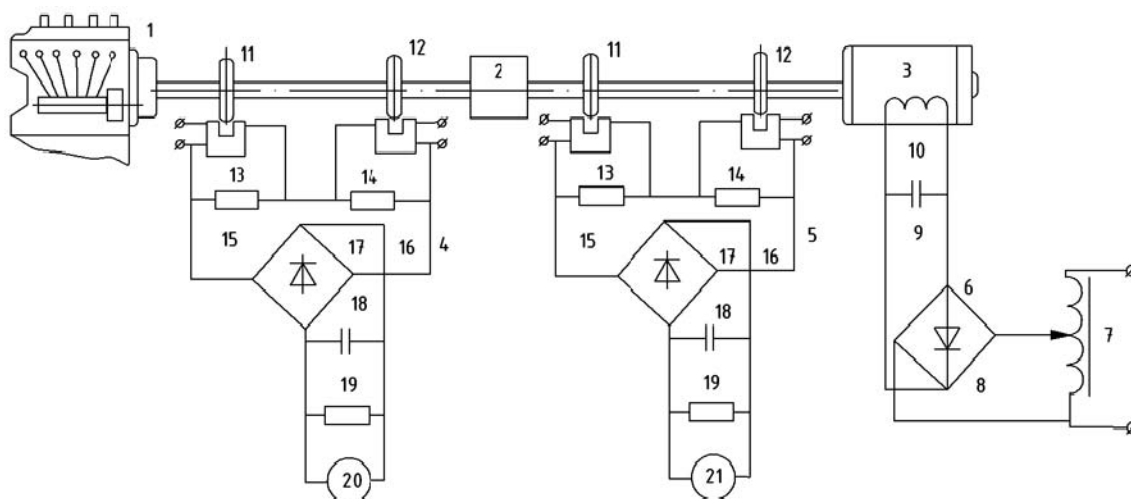


Рисунок 6.2 – Стенд для диагностирования коробок передач

Каждый из датчиков крутящего момента имеет: металлические диски с прорезями и выступами *11* и *12*; преобразователи импульсные щелевые *13* и *14*, установленные вблизи соответствующих валов с возможностью вхождения в их щели металлических дисков *11*, *12*; резисторы *15*, *16*, подключенные в противофазе к электрическим выводам преобразователей импульсных щелевых; выпрямители *17*, подсоединенные к выходу резисторов; сглаживающие конденсаторы *18* и резисторы *19*. Крутящий момент на первичном валу коробки передач измеряется прибором *20*, а крутящий момент на вторичном валу коробки передач измеряется на стенде прибором *21*. При пуске двигателя *1* внутреннего сгорания начинают вращаться валы коробки передач, включаются в сеть переменного тока автотрансформатор *7*, источники напряжения постоянного тока, питающие преобразователи *13*, *14* импульсные щелевые. Вращая движок автотрансформатора по регистрирующему прибору постоянного тока *21*, подаем на обмотку возбуждения *10* тормоза *3* напряжение постоянного тока такой величины, которое вызывает на вторичном валу диагностируемой коробки передач появление момента, равного по уровню заданному значению. Металлические диски *11*, *12* проходят в щели преобразователей *13*, *14*, в результате чего на электрических выводах этих преобразователей формируются прямоугольные импульсы одинаковой высоты и длительности. В случае отсутствия момента на валах сигналы на входе резисторов *15*, *16* показаны на рисунке 6.3, *а*. С появлением момента на валах происходит относительное смещение полученных сигналов, т. к. при передаче крутящихся моментов валы закручиваются. Импульсы, сформированные преобразователями, установленными у вала, соединенного с тормозом, отстают по фазе от импульсов, сформированных преобразователями, установленных у вала, соединенного с двигателем. Величина фазы отставания импульсов одной последовательности от импульсов второй последовательности пропорциональна моменту на данном валу. На рисунке 6.3, *б* приведены сигналы, сформированные преобразователями при наличии момента на валах диагностируемой коробки передач. В результате суммирования противофазных импульсов на выходе последовательного соеди-

нения резисторов появляется сигнал, состоящий из разнополярных прямоугольных импульсов, длительность каждого из которых пропорциональна моменту на валу. Затем полученный сигнал выпрямляется и сглаживается. Графики сигналов до выпрямления, после выпрямления и сглаживания представлены на рисунке 6.3, в–д соответственно.

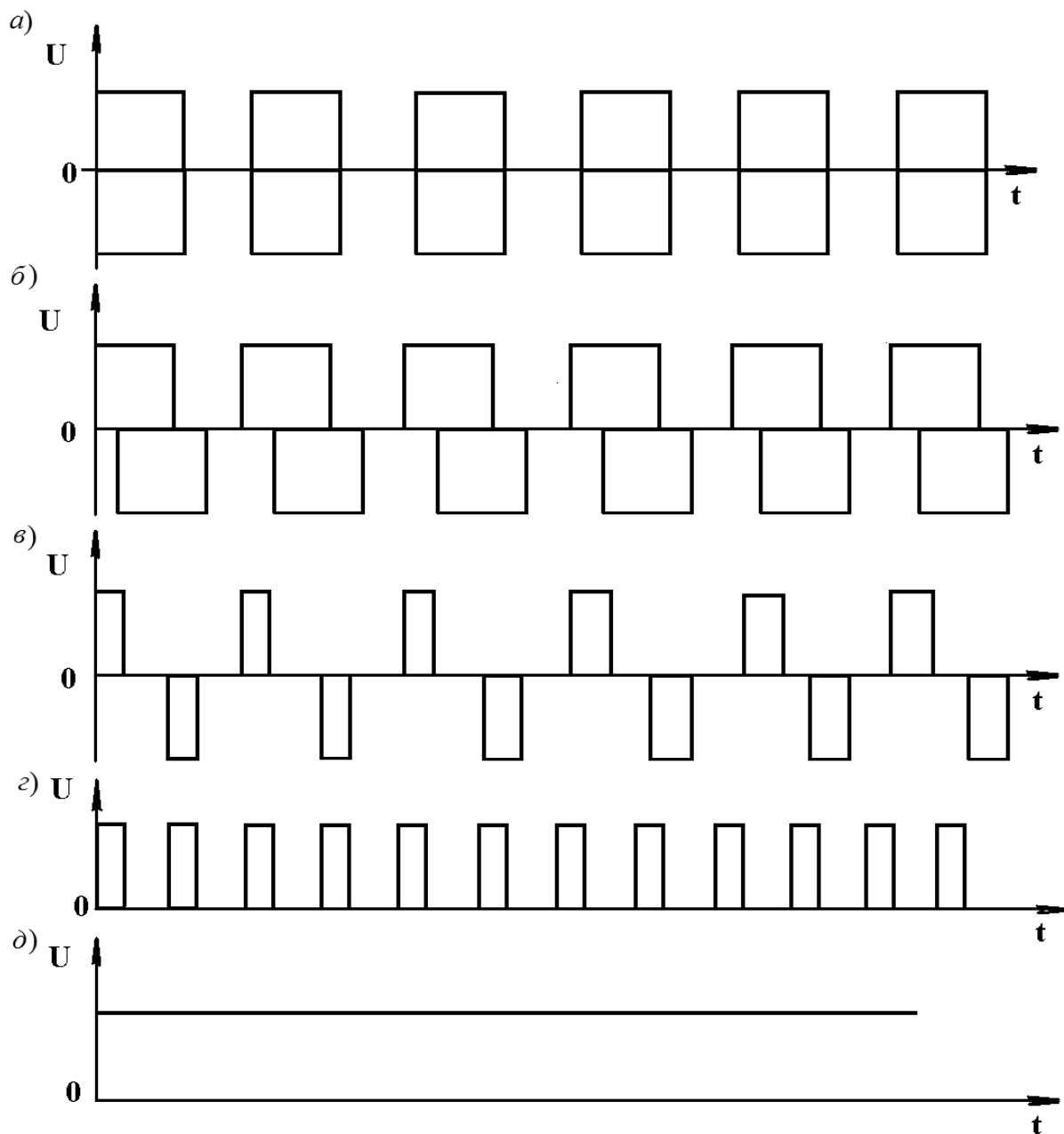


Рисунок 6.3 – Электрические сигналы в цепях стенда

Если заданное значение момента на вторичном валу равно M_2 (см. рисунок 6.1), то на первичном валу диагностируемой коробки появляется крутящий момент, величина которого равна M_{11} в случае отсутствия неисправностей, или крутящий момент, величина которого равна M_{12} в случае наличия неисправностей в диагностируемой коробке передач.

3 Вычислить крутящий момент M_2 для всех значений M_1 по формуле

$$M_2 = M_1 \cdot i \cdot \eta. \quad (6.1)$$

Полученные значения M_2 занести в четвертую графу таблицы 6.1.

4 По данным таблицы 6.1 построить статическую характеристику исправной коробки передач, используемую при ее диагностировании.

7 Практическое занятие № 7. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по их динамическим переходным характеристикам

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования механических коробок передач по их динамическим переходным характеристикам.

Краткие теоретические сведения. Переходная характеристика коробки передач – это изменение во времени момента на первичном валу коробки передач при ступенчатом изменении момента на её вторичном валу. Под ступенчатым изменением момента на вторичном валу коробки передач понимается мгновенное изменение его от нуля до некоторой заданной величины.

Один из вариантов проектируемого стенда для диагностирования коробок передач по переходным характеристикам включает в себя (рисунок 7.1): двигатель внутреннего сгорания 1; электромагнитный тормоз 3 с обмоткой 11 управления; датчики 14, 15 момента, установленные соответственно на первичном и вторичном валах коробки передач 2; регистрирующий светолучевой осциллограф 7 с входами 8, 9, 10, подключенными соответственно к датчикам момента и к источнику 11 постоянного тока; коммутатор 12, выполненный в виде переключателя.

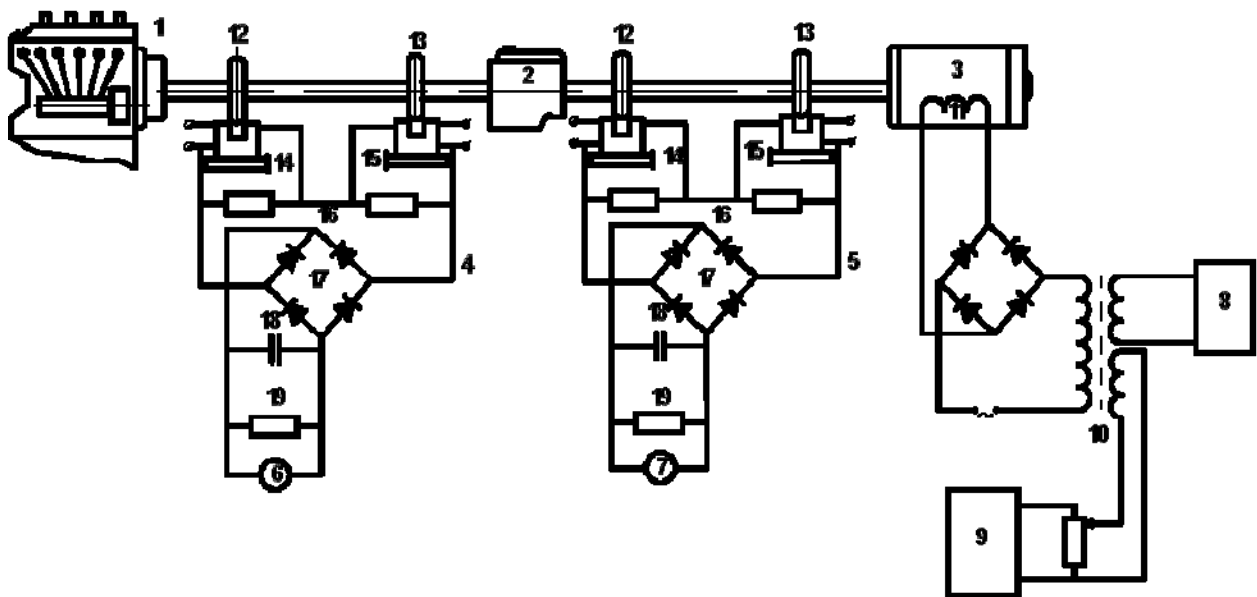


Рисунок 7.1 – Стенд для диагностирования коробок передач

Каждый из датчиков момента выполнен на валах 13, по концам которых установлены диски 14 с радиальными прорезями, вблизи валов установлены преобразователи импульсные щелевые 15 с возможностью вхождения дисков 14 в щели этих преобразователей. При вращения валов на электрических выводах преобразователей 15 формируются прямоугольные импульсы одинаковой высоты и длительности, которые подаются на резисторы 16. Преобразователи 15 подключены к резисторам 16 таким образом, что их выходные сигналы находятся в противофазе. В случае отсутствия момента на валу коробки 6 передач графики сигналов на входе резисторов 16 показаны на рисунке 7.2, а. С появлением момента на валу возникает фазовое смещение выходных сигналов, поступающих с противоположных концов каждого вала коробки передач, что изображено на рисунке 7.2, б.

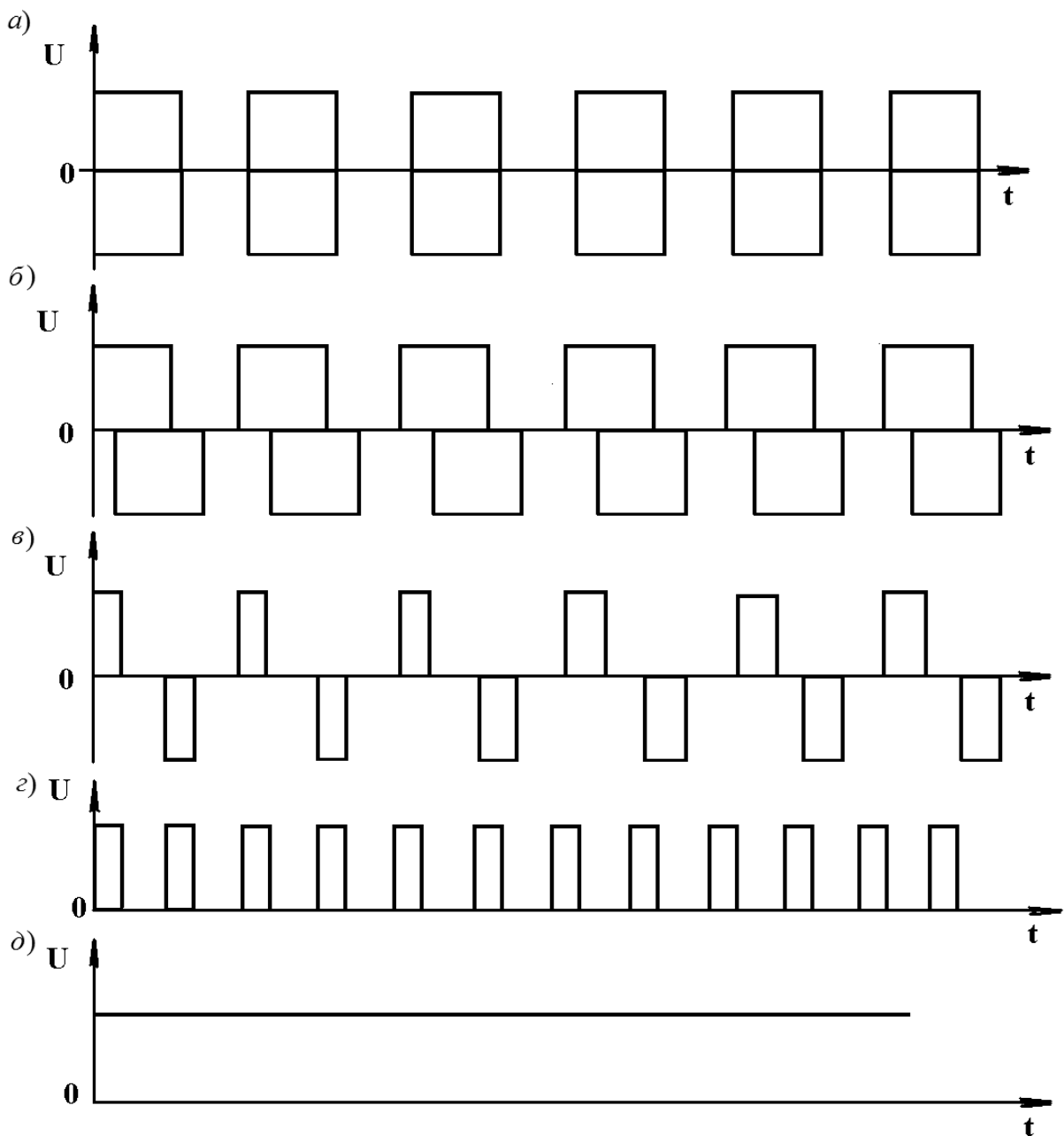


Рисунок 7.2 – Электрические сигналы в стенде для диагностирования КП

Величина фазового смещения пропорциональна моменту на соответствующих валах. На выходе резисторов *16* возникает сигнал разности импульсных процессов, представляющий собой (рисунок 7.2, *в*) последовательность прямоугольных импульсов, состоящую из положительных и отрицательных импульсов, при этом с помощью выпрямителя *17* из этих импульсов формируется однополярный сигнал в виде положительных импульсов (рисунок 7.2, *з*). Сформированный сигнал сглаживается фильтром *18*. На резисторе, параллельно подключенном к фильтру *18*, появляется сигнал (рисунок 7.2, *д*), уровень которого пропорционален моменту на валах коробки передач.

Диагностирование коробки передач на стенде происходит следующим образом. Включаем заданную передачу и запускаем двигатель *1* внутреннего сгорания, при этом валы коробки передач свободно вращаются.

При отключенном положении коммутатора *12* на выходе источника постоянного тока устанавливаем напряжение, равное 15 % от уровня, соответствующего номинальной нагрузке на вторичном валу данной передачи. Затем включается регистрирующее устройство *7* и коммутатор *12*, тем самым скачкообразно подаётся напряжение одновременно на обмотку *3* управления электротормоза и на вход *10* осциллографа *7*. Это напряжение обозначается и показано на рисунке 7.3, *а*. С момента подачи на обмотку *3* управления этого напряжения в динамической системе стенда возникают переходные процессы моментов на валах коробки передач, которые регистрируются осциллографом *7*, т. к. его входы *8* и *9* подключены к датчикам *4* и *5* момента.

Изменение момента на вторичном валу показано на рисунке 7.3, *б*. Это есть переходная характеристика электрического тормоза. Изменение момента на первичном валу коробки передач показано на рисунке 7.3, *в*. По отношению к ступенчатому напряжению, которое подавалось на обмотку управления тормоза, полученное изменение момента есть переходная характеристика двух последовательно соединенных узлов стенда: электрического тормоза *3* и коробки передач *б*. По изменениям показателей кривой, изображенной на рисунке 7.3, *в*, будем судить об изменениях в коробке передач и принимать решение о необходимости проведения профилактических работ. После окончания переходных процессов осциллограф *7* и коммутатор *12* отключаются. Производится переключение передачи, опыт по определению динамической характеристики коробки передач продолжается на другой включенной передаче, при этом в результате его проведения регистрируется переходная характеристика тормоза и коробки передач, аналогичная характеристике, изображенной на рисунке 7.3, *в*, но имеющая другие показатели.

Используем полученные данные путем их обработки для оценки технического состояния коробки передач. Аналитическое выражение для описания динамических свойств тормоза по его переходной характеристике, изображенной на рисунке 7.3, *б*, следующее:

$$M_T(t) = K_T \Delta U \left(1 - e^{-\frac{t}{T_T}} \right), \quad (7.1)$$

где K_T – коэффициент усиления электрического тормоза, Н·м/В (показывает, на сколько изменяется воспроизводимый на его валу тормозной момент при изменении напряжения, подаваемого в его обмотку возбуждения, на 1 В);

T_T – постоянная времени электрического тормоза, с (равна времени, за которое закончился бы переходный процесс в электрическом тормозе, если бы он протекал с максимальной скоростью);

ΔU – величина ступеньки напряжения на обмотке возбуждения тормоза (рисунок 7.3, а).

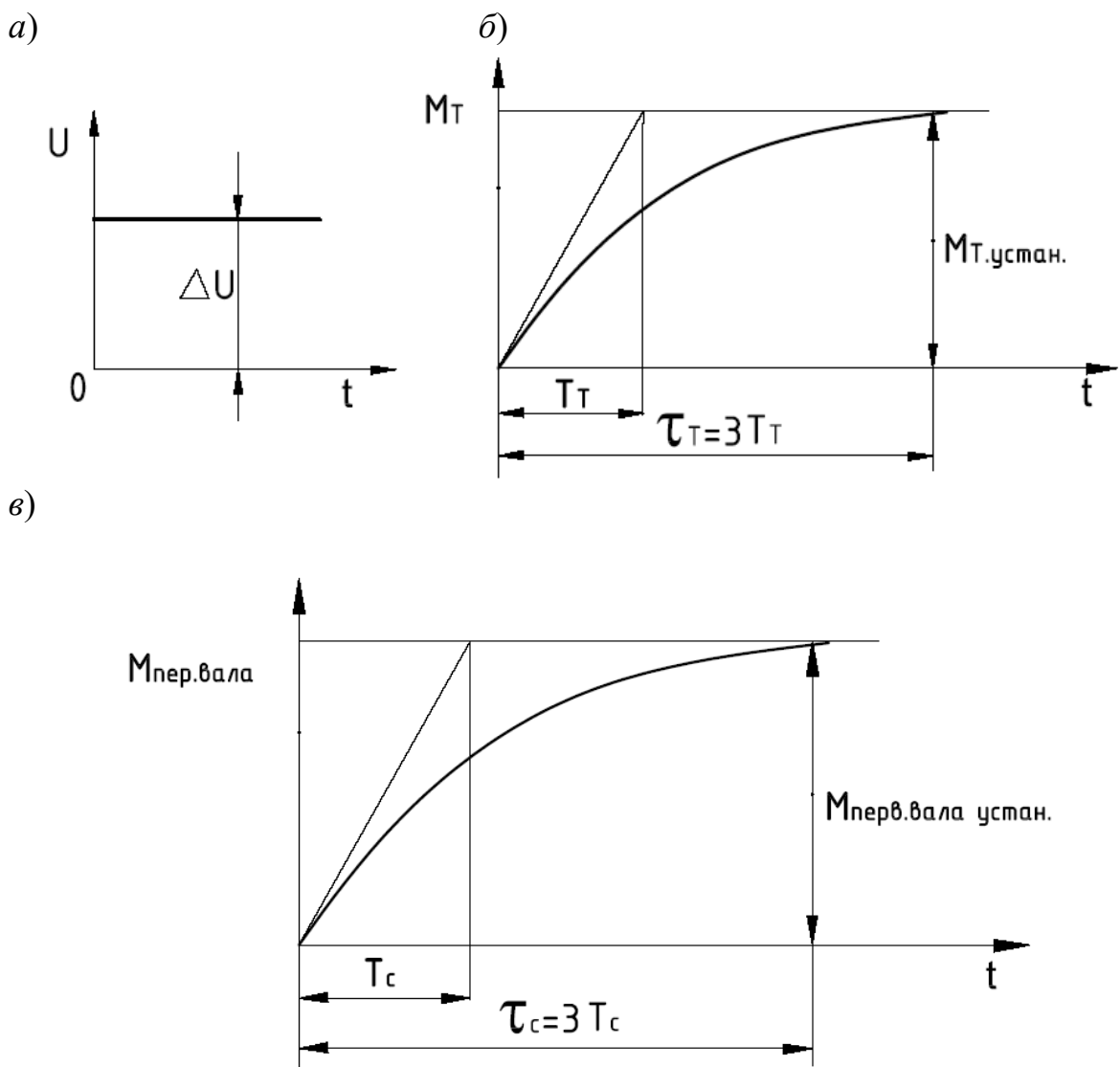


Рисунок 7.3 – Переходные характеристики

Под переходным процессом понимается процесс изменения во времени тормозного момента на валу тормоза, соединенного со вторичным валом диа-

гностируемой коробки передач, от одного установившегося значения до нового установившегося значения, обусловленный ступенчатым изменением напряжения на обмотке возбуждения величиной 0,05...0,15 от номинального.

Переходная характеристика электрического тормоза, описываемая уравнением (7.1), график которой изображён на рисунке 7.3, б, называется апериодической кривой первого порядка. Коэффициент усиления тормоза определяется уравнением

$$K_T = \frac{M_{T\text{устан.}}}{\Delta U}. \quad (7.2)$$

Для электрических тормозов типа ПТ (порошковые тормоза) коэффициент усиления находится в пределах от 10 до 50 Н·м/В. Постоянную времени определяют отрезком времени, отсекаемым касательной, проведенной к кривой (см. рисунок 7.3, б) в точке с нулевыми координатами. Новое установившееся значение момента на валу тормоза равно $M_{T\text{устан.}}$. Время переходного процесса равно приблизительно $\tau_T = 3T$.

$$M_1 = 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}}, \quad (7.3)$$

где T_1, T_2 – постоянные времени агрегатов стенда, представляющего собой последовательное соединение электрического тормоза и диагностируемой механической коробки передач.

Переходная характеристика агрегата из последовательно соединенных тормоза и коробки передач может быть в зависимости от динамических свойств коробки передач апериодической кривой первого порядка, апериодической кривой второго порядка, а также может описываться колебательным звеном.

Содержание отчета

1 В отчет записать номер и название темы, вычертить схему стенда, изучить метод диагностирования коробки передач, построить переходные характеристики тормоза. Принять значения $T_T = 1$ с, $\Delta U = 2$ В, $K_T = 30$ Н·м/В. Заполнить таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Данные для построения переходной характеристики тормоза

$t, \text{ с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$M_T, \text{ Н·м}$											

2 Построить переходные характеристики стенда. Принять $T_T = T_1 = 1,5$ с; $T_k = T_2 = 0,5$ с для диагностируемой исправной коробки передач, а для коробки передач с неисправностями принять для построения переходной харак-

теристики следующие данные ее динамических свойств: $T_T = T_1 = 1,5$ с; $T_K = T_2 = 0,8$ с. Заполнить таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Данные для построения переходной характеристики системы

$t, \text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$M_{11}, \text{Н}\cdot\text{м}$											
$M_{12}, \text{Н}\cdot\text{м}$											

3 По полученным данным построить переходную характеристику тормоза (см. таблицу 7.1) и две переходные характеристики стенда, состоящего из тормоза и диагностируемой коробки передач (см. таблицу 7.2). За эталонный образец при диагностировании принимаем переходную характеристику агрегата, включающего в себя тормоз и коробку передач, при полностью технически исправной коробке передач. При анализе переходной характеристики тормоза и коробки передач, уже длительное время находившейся в эксплуатации, путем сравнения ее с переходной характеристикой эталонного образца принимается решение о необходимости проведения профилактических работ.

8 Практическое занятие № 8. Проектирование стенда для диагностирования механических коробок передач по их частотным характеристикам

Цель работы: исследовать и изучить стенд для диагностирования механических коробок передач по их частотным характеристикам.

Краткие теоретические сведения. Теоретические и экспериментальные исследования механических коробок передач показали, что в процессе их эксплуатации такая динамическая характеристика данных коробок передач как амплитудно-частотная претерпевает изменения из-за появления неисправностей. Это дало основание предложить новый метод диагностирования механических коробок передач на стенде, заключающийся в том, что диагностируемую коробку передач устанавливают на стенд, содержащий двигатель внутреннего сгорания, электрический тормоз, валы, снабженные контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления; нагружают валы коробки передач крутящим моментом, состоящим из постоянной составляющей, равной половине номинального момента, и синусоидальной составляющей, амплитуда которой меньше уровня постоянной составляющей момента; задают частоту синусоидальных колебаний момента и измеряют амплитуду колебаний момента на вторичном валу, затем, не меняя амплитуду синусоидальной составляющей момента на вторичном валу, измеряют амплитуду колебаний момента на вторичном валу для нескольких фиксированных частот колебаний момента, строят амплитудно-частотную характеристику коробки передач и по ее показателям определяют техническое состояние диагностируемой коробки передач.

Стенд для диагностирования механических коробок передач, общая схема которого изображена на рисунке 8.1, включает в себя следующие основные элементы: двигатель *1* внутреннего сгорания, кинематически соединенный с первичным валом коробки *2* передач, вторичный вал которой соединен с электротормозом *3*, первый датчик *4* момента, установленный на первичном валу коробки передач *2*, второй датчик *5* момента, установленный на вторичном валу коробки передач, регистрирующие приборы *6* и *7* записывающего типа, например, светолучевые осциллографы К12-22, подключенные к выходам соответствующих датчиков момента, генератор *8* синусоидальных сигналов, регулируемый источник постоянного тока *9*, магнитный усилитель *10*, выполненный с двумя обмотками постоянного тока, первая из которых подключена к выходу регулируемого источника постоянного тока, вторая обмотка постоянного тока магнитного усилителя подключена к выходу генератора синусоидальных сигналов. Выход магнитного усилителя подключен к обмотке *11* возбуждения электротормоза *3*.

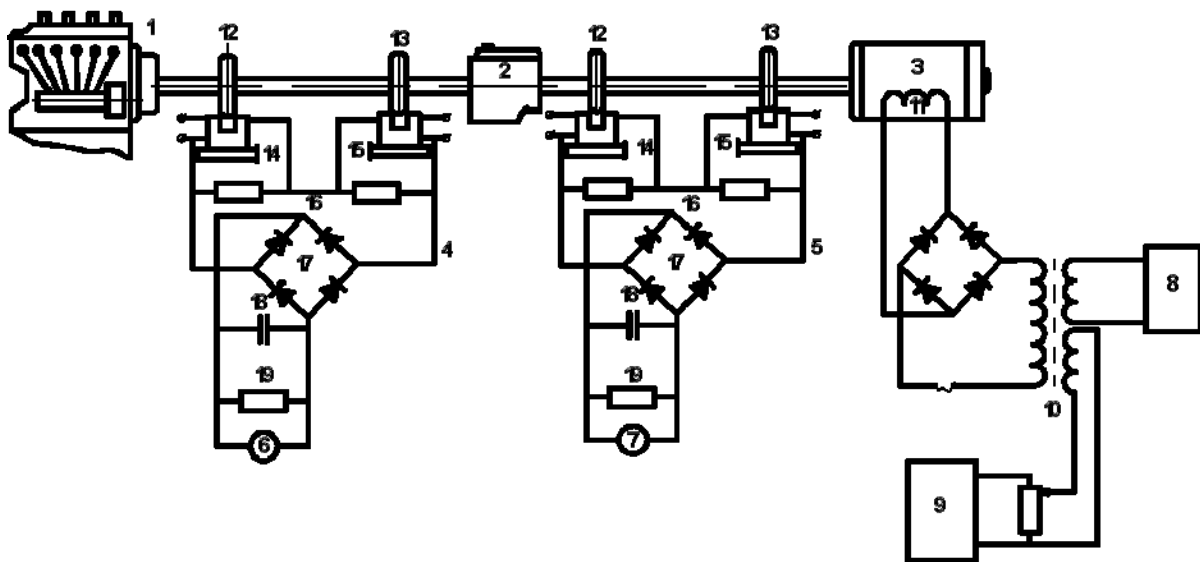


Рисунок 8.1 – Стенд для диагностирования коробок передач

Каждый датчик момента включает в себя два металлических диска *12* и *13*, закрепленных на валах неподвижно на некотором расстоянии один относительно другого, преобразователи импульсные щелевые *14* и *15*, установленные вблизи валов с возможностью вхождения металлических дисков в их щели, вычитающий элемент *16*, выпрямитель *17*, конденсатор *18*, резистор *19*.

После запуска двигателя *1* внутреннего сгорания приходят во вращение валы коробки *2* передач, на первую обмотку магнитного усилителя *10* от регулируемого источника постоянного тока подается напряжение, уровень которого заведомо больше амплитуды синусоидального напряжения, подаваемого на вторую обмотку магнитного усилителя. Напряжение, подаваемое на первую обмотку магнитного усилителя, показано на рисунке 8, *а*, на вторую обмотку, подаваемое от генератора *8* синусоидальных сигналов, – на рисунке 8.2, *б*.

На выходе магнитного усилителя формируется сумма напряжений, которая и подается на обмотку *11* возбуждения электротормоза *3*. Вследствие этого на вторичном валу коробки передач появляется момент, пропорциональный напряжению, приложенному к обмотке возбуждения *11*. Этот момент имеет как постоянную, так и переменную составляющие (рисунок 8.2, *в*).

Металлические диски *12* и *13* проходят в щели преобразователей *14* и *15*, в результате чего на электрических выводах этих преобразователей формируются прямоугольные импульсы одинаковой высоты и длительности, которые вычитаются, выпрямляются, сглаживаются, при этом на резисторах *19* формируется сигнал, пропорциональный моменту на каждом из валов коробки передач. На рисунке 8.1, *в* буквой A_1 обозначена амплитуда переменной синусоидальной составляющей момента на вторичном валу диагностируемой механической коробки передач, а круговая частота этого синусоидального колебания обозначена буквой ω_1 .

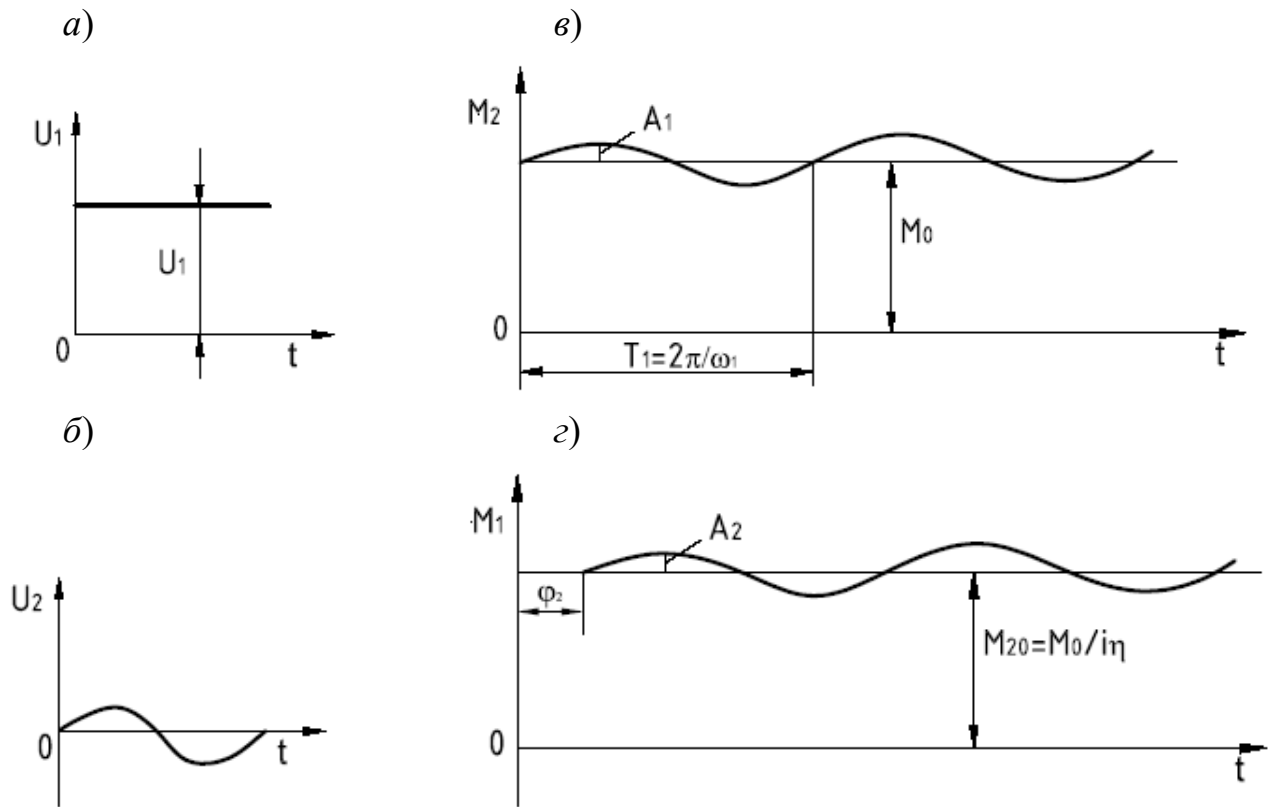


Рисунок 8.2 – Сигналы в электрических цепях стенда

Аналитическая запись момента, воспроизводимого на вторичном валу коробки передач:

$$M_2(t) = M_0 + A_1 \sin \omega_1 t, \quad (8.1)$$

где M_0 – постоянная составляющая момента на этом валу;

A_1, ω_1 – амплитуда и круговая частота синусоидальной составляющей момента.

На первичном валу коробки передач устанавливается момент, постоянная составляющая которого равна U_{20} :

$$M_{20} = \frac{M_0}{i \cdot \eta}, \quad (8.2)$$

где i – передаточное число передачи (например, для пятой передачи коробки передач автомобиля КамАЗ модели 14 $i = 1$);

η – КПД данной включенной передачи.

На первичном валу гармоническое колебание момента имеет амплитуду A_2 и фазу φ_2 , поэтому аналитическое выражение для момента на первичном валу коробки передач имеет вид

$$M_1(t) = M_{20} + A_2 \sin(\omega_1 t + \varphi_2). \quad (8.3)$$

Регистрирующими приборами 6 и 7 записываются на бумагу эти два колебания моментов. Пусть круговая частота в первом опыте равна 0,2 рад/с. Затем по прибору 7 устанавливается новое колебание момента на вторичном валу, имеющее такую же амплитуду A_1 и такую же постоянную составляющую M_0 , но другую круговую частоту ω_2 , равную, например, 0,3 рад/с. Это колебание устанавливается вращением движка регулятора частоты выходного сигнала генератора 8 синусоидальных сигналов. Аналитическое выражение этого момента на вторичном валу коробки передач

$$M_2(t) = M_0 + A_1 \sin \omega_2 t. \quad (8.4)$$

Тогда на первичном валу изменяется как амплитуда синусоидальной составляющей момента, так и фаза этой составляющей, при этом выражение для момента на первичном валу примет вид

$$M_1(t) = M_{20} + A_3 \sin(\omega_2 t + \varphi_3). \quad (8.5)$$

Устанавливаем по прибору 7 одну и ту же амплитуду колебания момента на вторичном валу коробки передач, но изменяя всякий раз частоту этого колебания, мы получим колебания момента на первичном валу с разными амплитудами и фазами. Прделаем это 10–12 раз. По полученным данным может быть построена амплитудно-фазовая частотная характеристика коробки передач на данной включенной передаче (АФХ), а также амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики коробки передач.

Для построения АФХ начертим в декартовых координатах (рисунок 8.3) вектор, начало которого совпадает с началом координат, модуль вектора равен $r_1 = A_2/A_1$, а фаза его равна φ_2 (угол между положительным направлением оси абсцисс и вектором). У конца вектора сделаем отметку ω_1 . Для колебания частотой ω_3 , построим аналогично вектор, модуль которого равен A_3/A_1 , а фаза равна φ_3 .

Для колебания момента на вторичном валу с частотой ω_3 построим вектор, модуль которого равен A_4/A_1 , а фаза равна φ_4 . Соединяя концы векторов плавной линией, получим кривую, которая называется АФХ коробки передач. Имея АФХ, можно для любой частоты момента на вторичном валу найти амплитуду и фазу момента на первичном валу коробки передач. Пусть частота момента на вторичном валу равна ω^* , находим на АФХ точку с данной частотой и соединяем ее с началом координат. Измерив полученный модуль по характеристике, определяем амплитуду момента на первичном валу, угол φ^* определяется графически.

АЧХ коробки передач определяется следующим образом. Это есть зависимость амплитуды момента на первичном валу коробки передач от частоты момента на вторичном валу при постоянной амплитуде последнего.

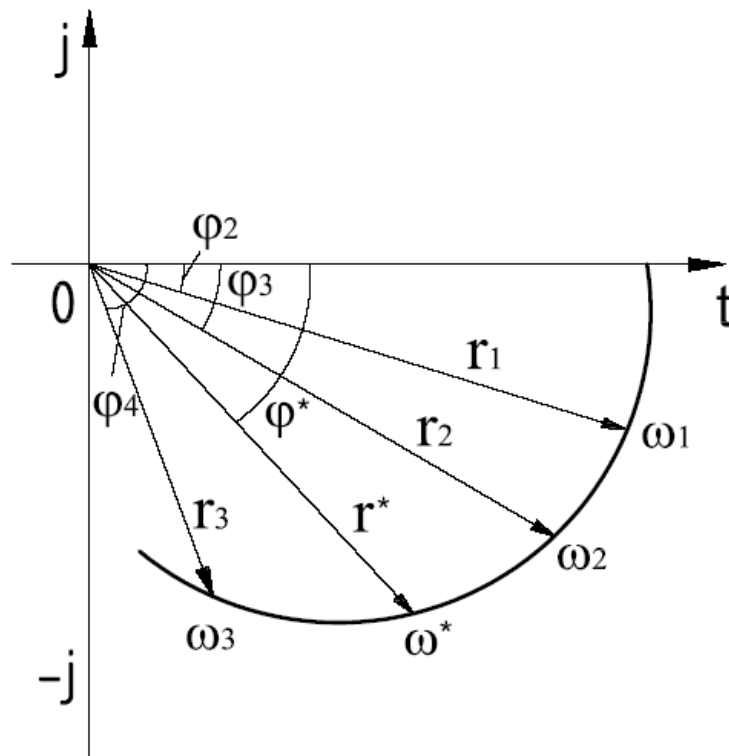


Рисунок 8.3 – Амплитудно-фазовая характеристика КП

Зависимость $A_n/A_1 = r = f(\omega)$ называется АЧХ. Для её построения по оси ординат откладывается модуль вектора r , по оси абсцисс – частота. Примерный вид АЧХ передачи показан на рисунке 8.4, частота ω_p называется резонансной.

Из анализа графической зависимости, представленной на рисунке 8.4, видно, что с увеличением частоты момента на вторичном валу коробки передач от нуля до ω_p при постоянной его амплитуде амплитуда момента на первичном валу увеличивается, достигая максимального значения при резонансной частоте; при частоте вторичного момента выше резонансной амплитуда момента на первичном валу уменьшается.

Фазочастотная характеристика включенной передачи (ФЧХ) может быть определена следующим образом. Это есть зависимость фазы момента на первичном валу коробки передач от частоты момента на вторичном её валу при

постоянной амплитуде последнего. Зависимость $\varphi = \psi(\omega)$ и называется фазо-частотной характеристикой. Для её построения по оси ординат откладывается угол между колебаниями моментов на валах в градусах, по оси абсцисс – круговая частота моментов. Из анализа графической зависимости, представленной на рисунке 8.4, можно сделать вывод, что с изменением частоты момента на вторичном валу фаза момента на первичном валу претерпевает изменения от $+90^\circ$ до -90° . При частоте момента на вторичном валу, равной резонансной, колебания синусоидальной составляющей на вторичном валу и первичном валу совпадают по фазе (фаза равна нулю).

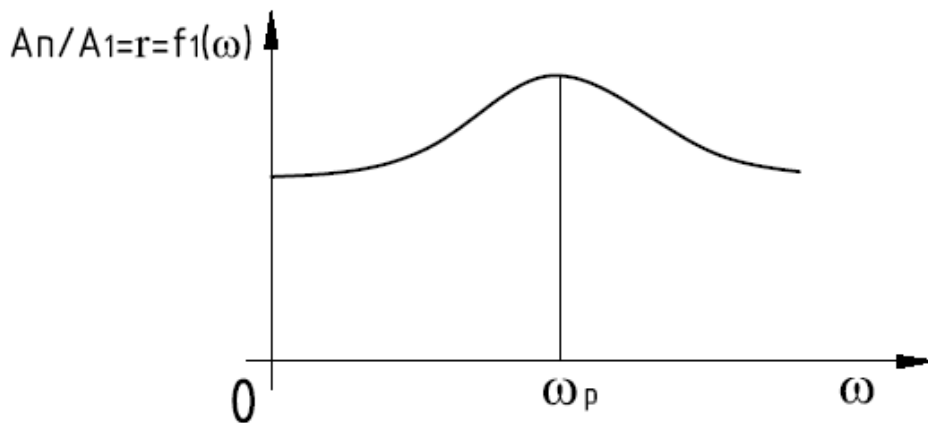


Рисунок 8.4 – Амплитудно-частотная характеристика коробки передач

Аналогично определяем частотные характеристики на других включенных передачах коробки передач. Имея частотные характеристики коробки передач, полученные экспериментально, можно использовать их для целей диагностирования. Для этого их сравнивают с эталонными характеристиками, полученными для исправной коробки передач.

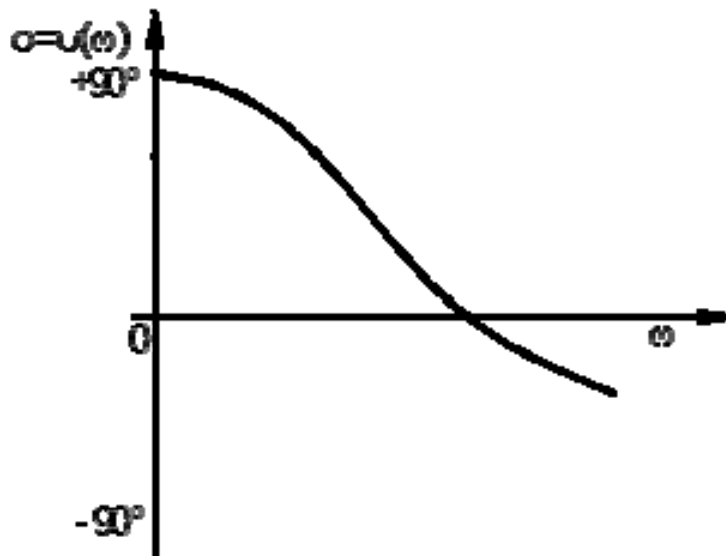


Рисунок 8.5 – Фазочастотная характеристика коробки передач

Контрольные вопросы

- 1 Классификация средств механизации процессов технической эксплуатации.
- 2 Понятие «нестандартизированное» оборудование, примеры по назначению.
- 3 Основные положения и принципы проектирования технологического оборудования.
- 4 Стадии и этапы проектирования объектов технологического оборудования.
- 5 Использование при проектировании межотраслевого каталога физических эффектов.
- 6 Виды конструкторских документов.
- 7 Назначение, классификация и устройство стандов для разборочно-сборочных работ при ремонте агрегатов автомобилей.
- 8 Классификация оборудования для разборки резьбовых соединений. Виды приводов и обоснование параметра гайковерта для разборки (сборки) резьбовых соединений.
- 9 Расчет часто ударного гайковерта.
- 10 Классификация оборудования для разборки соединений с гарантированным натягом. Устройство, работа и обоснование основного параметра пневматического пресса.
- 11 Классификация оборудования для сборки соединений с гарантированным натягом. Устройство гидравлического пресса, характеристики и обоснование основного параметра.
- 12 Назначение, классификация и основные элементы дефектовочно-комплектовочного оборудования.
- 13 Выбор приспособлений и инструмента для определения размеров деталей.
- 14 Контрольные устройства и приспособления для определения отклонений осей и геометрической формы деталей.
- 15 Устройство, принцип действия и характеристики ультразвуковых дефектоскопов для обнаружения скрытых дефектов в деталях.
- 16 Устройство, принцип действия и характеристики ультрафиолетовых дефектоскопов для обнаружения скрытых дефектов в деталях.
- 17 Состав комплекта оборудования для механизированной сварки и наплавки.
- 18 Виды вольт-амперных характеристик электрической дуги и их применение при различных видах сварки и наплавки.
- 19 Типы источников питания электрической дуги, применяемых при сварке и наплавке и основные требования к ним.
- 20 Вольт-амперная характеристика источника дуги при сварке и наплавке в среде защитных газов.
- 21 Вольт-амперная характеристика источника дуги в установке для механизированной сварки и наплавки под слоем флюса.

22 Устройство, принцип действия, характеристики и особенности эксплуатации инверторных источников питания сварочным током. Расшифровка маркировок инвертора.

23 Устройство, работа и характеристики установок плазменной наплавки.

24 Устройство, работа и характеристики установок наплавки под слоем флюса.

25 Устройство, работа и характеристики установок наплавки в среде защитных газов.

26 Устройство электродугового металлизатора, состав оборудования, характеристики, принцип действия и области применения установок электродуговой металлизации.

27 Устройство плазматрона, состав комплекта оборудования, характеристики, принцип действия и применение установок плазменного напыления.

28 Устройство гиперзвукового металлизатора.

29 Состав оборудования, характеристики, принцип действия и области применения установок гиперзвуковой напыления.

30 Устройство электродугового испарителя, принцип действия и применение вакуумно-плазменных установок типа «Булат», расчет параметров напыления.

31 Области применения в ремонтном производстве оборудования электрохимического нанесения покрытий.

32 Назначение и устройство гальванических ванн местного осаждения гальванопокрытий, расчет параметров процесса гальванического осаждения покрытий.

33 Классификация обкаточно-испытательных стендов по направлению потока энергии, вырабатываемой тормозной электромашиной. Расчет мощности и сравнение прямоточных и каскадных стендов.

34 Стенды для диагностирования тягово-экономических качеств автомобилей.

35 Стенды для диагностирования тормозных систем автомобилей.

36 Стенды для приработки и испытания агрегатов трансмиссии.

37 Оборудование для проверки и регулировки углов установки колес автомобилей.

38 Стенды для проверки амортизаторов и зазоров в сочленениях подвески автомобилей.

39 Расчет характеристик двигателя при испытании на электротормозном стенде (мощность, крутящий момент, расход топлива).

40 Нагрузочные устройства стендов и условия их выбора. Устройство и внешние характеристики электротормозных стендов с балансирными машинами постоянного тока. Расчет охлаждения реостата.

41 Устройство и внешние характеристики тормозных стендов с гидравлическими тормозами, их тормозной момент и тормозная мощность.

42 Конструктивные особенности и момент закрутки стенда для приработки и испытания шестеренных агрегатов.

- 43 Устройство, характеристики, принцип действия и применение окрасочного оборудования воздушного распыления.
- 44 Оборудование для нанесения лакокрасочных покрытий безвоздушным распылением. Устройство, характеристики, принцип действия и применение.
- 45 Расчет пневмораспылителей с круглым соплом.
- 46 Расчет пневмораспылителей со щелевым соплом.
- 47 Оборудование механизации и автоматизации окрасочных работ. Состав и конфигурации робототехнологических комплексов.
- 48 Конструкции оборудования для сушки окрашенных объектов ремонта. Виды и расчет нагревателей.
- 49 Классификация подъемно-транспортного оборудования и его конструктивные особенности.
- 50 Расчет количества подъемно-транспортного оборудования.
- 51 Расчет механизмов подъема, передвижения и поворота груза. Расчет привода конвейеров.
- 52 Экономические расчеты на стадии выбора средств механизации.
- 53 Расчеты экономической эффективности применения средств механизации.
- 54 Оценочные показатели технико-экономического эффекта. Факторы повышения технического уровня производства. Учет социальных результатов.
- 55 Основные показатели определения уровней механизации и автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей.
- 56 Как рассчитать уровень механизации (определяет фактическую долю механизированного труда в общих трудозатратах).
- 57 Определение уровня механизации производства в целом на предприятии. Степень охвата рабочих механизированным трудом.
- 58 Степень оснащенности предприятия средствами механизации. Степень оснащенности предприятия средствами механизации по отдельным видам оборудования.
- 59 Формула расчёта уровня механизации. Расчет степени механизации технологических операций.
- 60 Общие положения по ТО и ТР технологического оборудования. Виды технических воздействий.
- 61 Классификация оборудования для составления системы его ТО и ремонта.
- 62 Методы организации и планирования работ по ТО и ремонту технологического оборудования АТП.

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. проф. 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.