

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»

В. В. Геращенко, А.И. Зайцев, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах,
А.В. Щур

**БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОНОМИЧНОСТЬ И
ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

2018

УДК 629.331

Геращенко, В. В.

Безопасность, экономичность и повышение проходимости автомобильного транспорта : [монография] / В. В. Геращенко, А.И. Зайцев Н. А. Коваленко, В. П. Лобах, А.В. Щур. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – 170 с. : ил.

ISBN 978-985-492-199-0.

В монографии рассмотрены вопросы создания и использования методов и средств, повышающих эксплуатационные свойства автомобилей. Приведены расчёты некоторых элементов электрических и кинематических схем.

Для работников автотранспортных организаций, преподавателей, слушателей курсов повышения квалификации, студентов, обучающихся по специальностям автотранспортного профиля, учащихся средних специальных учебных заведений.

УДК 629.331

ISBN 978-985-492-199-0

© Геращенко В. В., А.И. Зайцев,
Коваленко Н. А., Лобах В. П.,
Щур А.В. 2018

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018

Содержание

Введение	4
1 Конструкция, характеристика и принцип действия элементов диагностирования и управления автомобилем	5
1.1 Сумматор	5
1.2 Делитель напряжения	5
1.3 Вычитающий элемент	6
1.4 Усилитель	7
1.5 Триггеры	9
1.6 Датчики	11
1.7 Автоколебательный симметричный мультивибратор	14
2 Безопасность автомобильного транспорта	17
2.1 Устройство для бортового диагностирования тормозных систем автомобиля по времени торможения	17
2.2 Устройство для бортового диагностирования тормозных систем автомобиля по замедлению	25
2.3 Устройство для диагностирования подвески автомобилей	29
3 Экономичность и экологичность автомобильного транспорта	36
3.1 Стенды для диагностирования ДВС	36
3.2 Стенды для диагностирования сцепления	67
3.3 Стенды для диагностирования коробок передач, раздаточных коробок и главных передач	72
3.4 Методика расчета и проектирования стендов и устройств для воспроизведения случайных режимов нагружения	98
4 Повышение проходимости транспортных средств	106
4.1 Устройство повышения проходимости	106
4.2 Устройство управления скоростью движения	113
4.3 Система автоматического управления скоростью автомобиля в зависимости от сопротивления движению	121
4.4 Устройство для автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала грузовых автомобилей	128
4.5 Устройство автоматической блокировки межколесного дифференциала колесного трактора	136
4.6 Догружатель автопоезда	143
Список литературы	149

Введение

Эффективность работы автомобильного транспорта зависит от многих факторов: степени совершенства используемого транспортного состава, производственно-технической базы по их техническому обслуживанию (ТО) и ремонту (Р), материально-технического обеспечения, качества эксплуатационных материалов и т. п. В организациях автомобильного транспорта (ОАТ) на протяжении длительного времени наибольшее внимание уделялось вопросам разработки технологических процессов ТО, диагностирования (Д) и ремонта, создания и приобретения современного гаражного оборудования для их выполнения, строительства и формирования производственных зон и подразделений, обеспечивающих эффективное выполнение процессов ТО и ремонта и т. д. Зачастую эти вопросы решались без учета влияния современных научно обоснованных и разработанных методов и средств диагностирования, и результатом, как следствие, было незначительное повышение производительности и качества труда при больших финансовых затратах.

В монографии отражена попытка системно подойти к вопросам создания и использования стендового диагностического оборудования, особенностей технологических процессов диагностирования на нем, повышения эксплуатационных свойств автомобилей.

Ознакомление студентов вузов, магистрантов и аспирантов автотранспортных специальностей, учащихся автотранспортных колледжей, работников транспортных организаций и автомобильного сервиса с данным трудом позволит яснее представить суть происходящих процессов и даст возможность проводить мероприятия, направленные на повышение эффективности работы автомобильного транспорта.

1 Конструкция, характеристика и принцип действия элементов диагностирования и управления автомобилем

Все диагностическое оборудование (диагностические стенды и приборы, датчики и т. д.) состоит из простейших элементов, без знания назначения, устройства и работы которых невозможно разобраться в этом оборудовании и правильно его применять. В данном разделе книги мы познакомимся с простейшими элементами оборудования [4, 6] и др.

1.1 Сумматор

Сумматор напряжения на двух резисторах предназначен для суммирования напряжения U_1 и U_2 двух источников питания $ИП_1$ и $ИП_2$ (датчиков) и получения на выходе напряжения $U_{ВЫХ}$, равного их сумме

$$U_{ВЫХ} = U_1 + U_2 \quad (1.1)$$

Сумматор состоит из двух источников питания и двух резисторов R_1 и R_2 , соединенных между собой последовательно согласно приведенной схемы (рисунок 1.1)

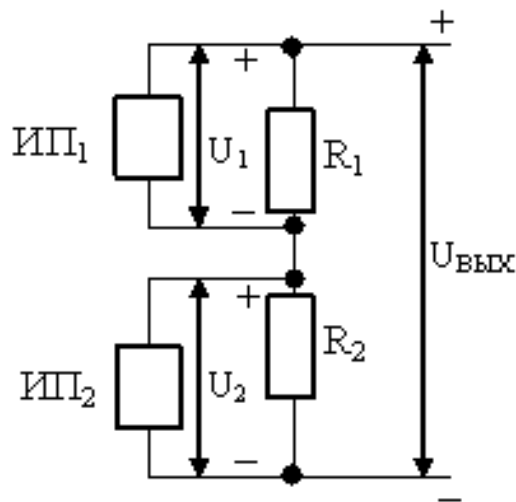


Рисунок 1.1 – Схема сумматора напряжения на двух резисторах

1.2 Делитель напряжения

Делитель напряжения (рисунок 1. 2) предназначен для получения необходимого выходного напряжения при известном входном напряжении.

Он состоит из источника питания *ИП*, напряжением U_{BX} , и двух резисторов R_1 и R_2 . Ток, проходящий через резисторы, определяется по зависимости

$$I_{\partial} = U_{BX} / (R_1 + R_2) \quad (1.2)$$

Выходное напряжение будет равно

$$U_{ВЫХ} = I_{\partial} \cdot R_2 \quad (1.3)$$

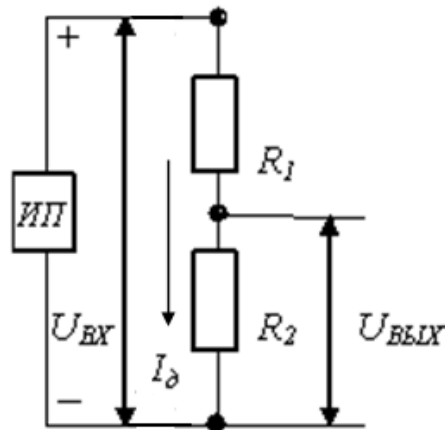


Рисунок 1.2 – Схема делителя напряжения

1.3 Вычитающий элемент

Вычитающий элемент (рисунок 1. 3) используется в системах управления движением автомобиля и работой его систем для получения управляющего напряжения. Он состоит из двух встречно включенных резисторов R_1 и R_2 и двух датчиков D_1 и D_2 .

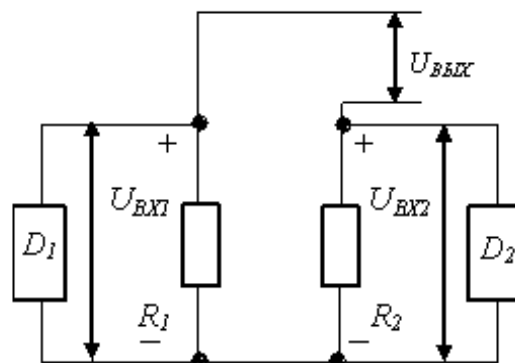


Рисунок 1.3 – Схема вычитающего элемента

Выходное напряжение его определяется как разность напряжений U_{BX1} и U_{BX2} датчиков.

$$U_{ВЫХ} = U_{BX1} - U_{BX2} \quad (1.4)$$

1.4 Усилитель

Транзисторные усилители по назначению делятся на усилители напряжения, тока и мощности. Обычно они предназначены для увеличения в 20- 30 раз малого входного напряжения U_{BX} датчика D до значения выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ (рисунок 1.4).

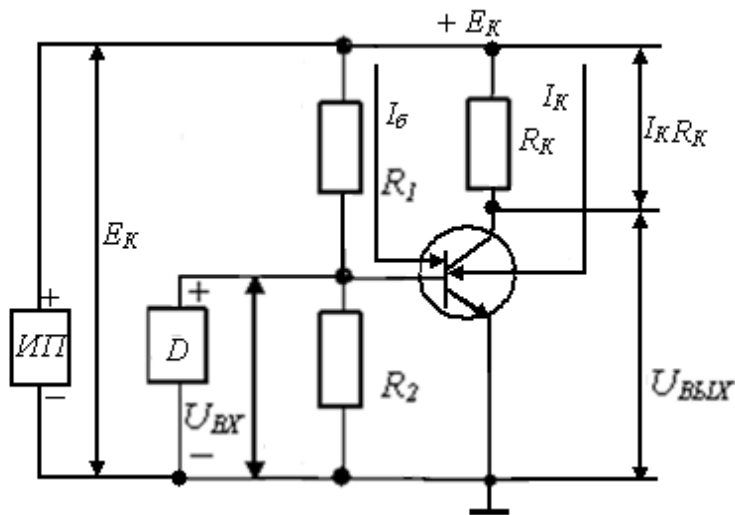


Рисунок 1.4 – Транзисторный усилитель

Транзисторный усилитель содержит источник питания $ИП$, транзистор, делитель напряжения питания (обычно 12 В), выполненный на последовательно включенных резисторах R_1 и R_2 , величина сопротивления которых выбирается. Средняя точка делителя соединена с базой транзистора. Первый вывод делителя соединен с положительным полюсом источника питания, а второй вывод делителя - с отрицательным полюсом источника. К выводам резистора R_2 подсоединяется датчик D . В коллектор транзистора установлен резистор R_K . Выходное напряжение снимается с коллектора транзистора.

Работает транзисторный усилитель следующим образом.

Транзистор имеет входную статическую характеристику, изображенную на рисунке 1.5 и представляющую зависимость тока I_B базы транзистора

от напряжения $U_{БЭ}$ между базой и эмиттером транзистора. Обычно для схем усилителей с помощью делителя на базу транзистора при напряжении датчика $U_{БХ} = 0$ подается напряжение 2 В, при котором ток базы равен $I_{Б1}$, а $U_{ВЫХ}$ и $I_K \cdot R_K$ равны по 6 В. При появлении положительного напряжения от датчика D , например 0,1 В, ток базы возрастет от $I_{Б1}$ до $I_{Б2}$ (рисунок 1.5).

Транзистор имеет также переходную статическую характеристику (рисунок 1.6) – зависимость тока I_K коллектора от тока I_B базы. По переходной характеристике ток коллектора изменяется от I_{K1} до I_{K2} (т.е. происходит увеличение тока коллектора в 20- 30 раз и более по отношению к току базы).

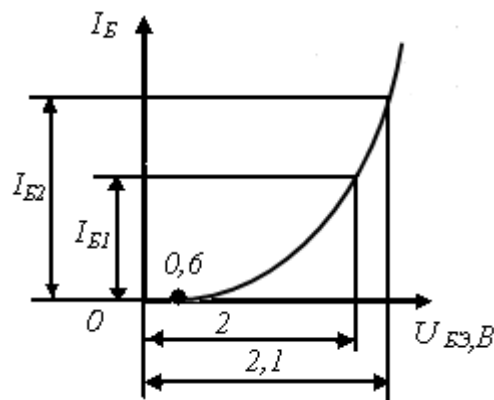


Рисунок 1.5 – Входная статическая характеристика транзистора

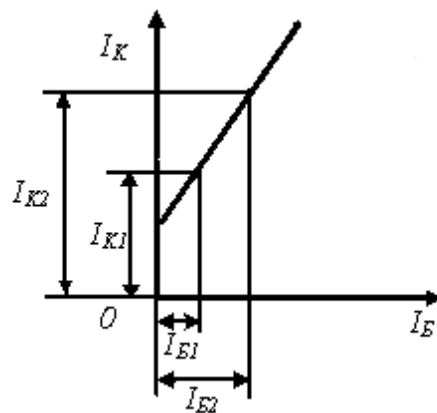


Рисунок 1.6 – Переходная статическая характеристика транзистора

Поэтому происходит увеличение падения напряжения на резисторе R_K , т. е. $I_K \cdot R_K$ стало больше и равное, например, 8 В, т. е. увеличилось, а $U_{БЫХ}$ стало 4 В, т. е. уменьшилось на 2 В. Таким образом, коэффициент K усиления усилителя по напряжению равен

$$K = U_{БЫХ} / U_{ВХ} = 2 / 0,1 = 20 \quad (1.5)$$

Для получения большего значения коэффициента K^* усиления можно использовать два последовательно соединенных усилителя. В этом случае коэффициент усиления будет равен

$$K^* = K \cdot K = 20 \cdot 20 = 400$$

При дальнейшем увеличении напряжения, подаваемого на базу транзистора от датчика D ток I_B базы и ток I_K коллектора, согласно характеристикам (рисунки 1.5 и 1.6) транзистора, возрастают и достигают своих предельных значений при напряжении, подаваемого на базу, примерно 3 В. равного примерно 3 В. При этих условиях принято считать транзистор открытым. Поэтому напряжение $I_K \cdot R_K$ достигает напряжения источника питания примерно равного 12 В, а $U_{БЫХ}$ становится равным нулю. Если на базе транзистора напряжение отрицательное или меньше 0,6 В, то транзистор закрыт. Токи I_B и

I_K равны нулю, поэтому и $I_K \cdot R_K$ также будет равно нулю, а $U_{БЫХ}$ равно 12 В. Это свойство транзистора используется в конструкции триггера.

1.5 Триггеры

Триггер — устройство, выполненное на двух транзисторах, имеющих два устойчивых состояния, обозначаемых в технике как “0” или “1”. Указанное ранее свойство транзистора используется в конструкции триггера. Схема триггера показана на рисунке 1.7. Триггер содержит два транзистора $VT1$ и $VT2$, четыре резистора, два из которых R_{K1} и R_{K2} включены в цепи коллекторов транзисторов, а другие два, $R_{Б1}$ и $R_{Б2}$, в цепи баз транзисторов, и источник питания $ИП$. Транзисторы включены с положительной обратной связью, т. е. коллектор транзистора $VT1$ соединен с базой транзистора $VT2$, а коллектор транзистора $VT2$ с базой транзистора $VT1$.

Принцип действия триггера следующий. Пусть транзистор $VT1$ закрыт, тогда напряжение U_{K1} равно 12 В (рисунок 1.8 а), а падение напряжения на резисторе $R_{Б1}$ будет 9 В, и напряжение на входе транзистора $VT2$ равно 3 В, поэтому транзистор $VT2$ открыт, а напряжение U_{K2} равно 0 В (рисунок 1.8 б). В момент времени t_1 от первого датчика D_1 (например от датчика угла опережения зажигания) поступает импульс напряжения на базу закрытого транзистора $VT1$ (рисунок 1.8 в). Он открывается и на его выходе формируется напряжение, равное нулю. Поэтому транзистор $VT2$ закрывается и на его выходе устанавливается напряжение, равное 12. В момент времени t_2 (рисунок 1.8 г) от второго датчика D_2 (например положения поршня в верхней мертвой точке) поступает импульс напряжения на базу транзистора $VT2$ и он открывается, а транзистор $VT1$ закрывается. Разность времени Δt_1 (рисунок 1.8 б) появления импульсов напряжения во время t_1 и t_2 пропорционален измеряемой физической величине (например углу опережения зажигания). Аналогично формируется второй прямоугольный импульс длительностью Δt_2 (рисунок 1.8 б) соответственно от следующих импульсов датчиков D_1 и D_2 во время t_3 и t_4 , пропорциональный измеряемой физической величине.

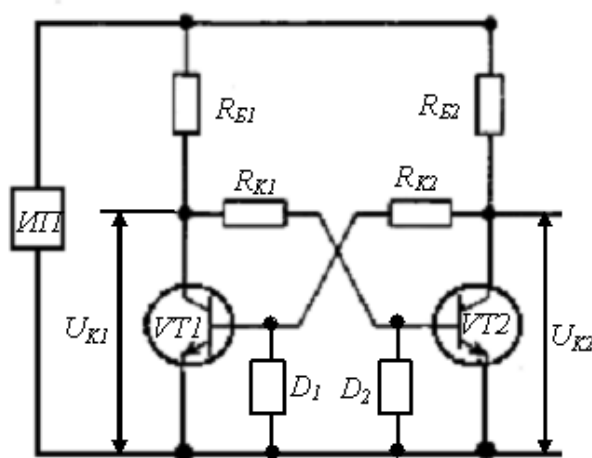


Рисунок 1.7 – Схема триггера

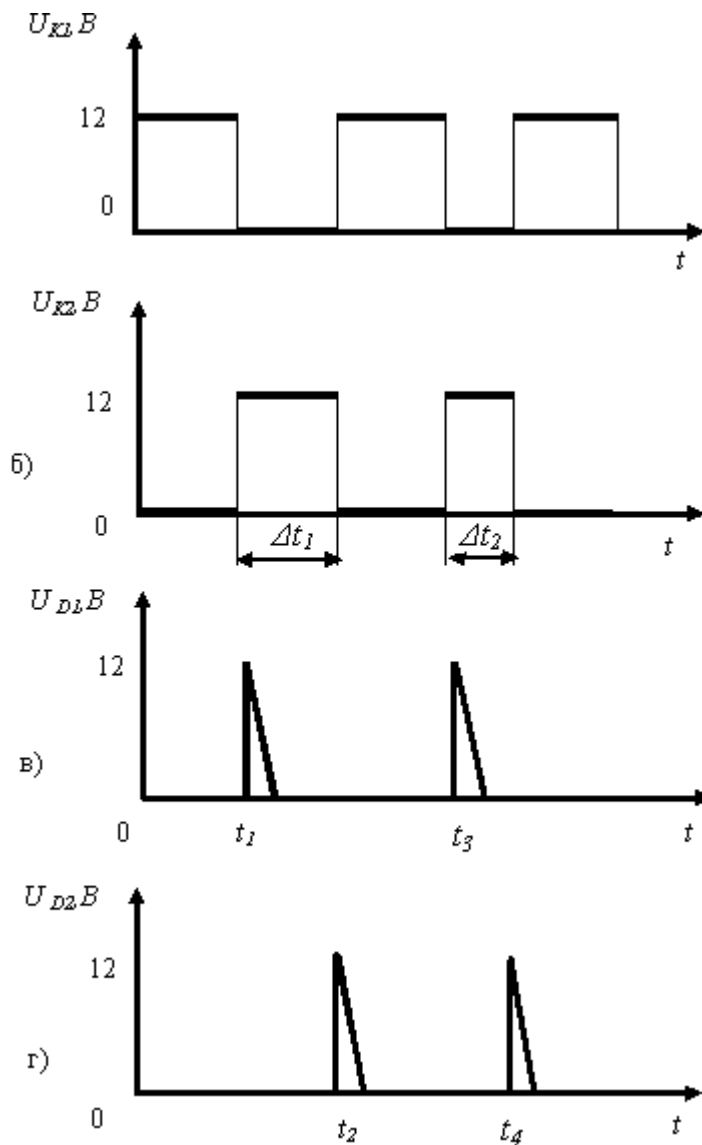


Рисунок 1.8 – Графики изменения напряжения

1.6 Датчики

В качестве практического примера применения триггера создадим схему измерителя угла опережения зажигания (рисунок 1.9). Разность времени Δt_1 (рисунок 1.8 б) появления импульсов напряжения от датчиков D_1 (момента появления электрической искры) и D_2 (положения поршня в верхней мертвой точке) соответственно во время t_1 и t_2 пропорционально углу опережения зажигания. Для формирования напряжения, уровень которого пропорционален углу опережения зажигания, необходимо применить интегрирующий элемент, который будет интегрировать периодические прямоугольные импульсы на выходе триггера, каждый из которых

пропорционален углу опережения зажигания. Наиболее просто это можно сделать применяя $R_6 C$ - цепь (фильтр низких частот). Непосредственное соединение $R_6 C$ - цепи с выходом триггера не представляется возможным из-за большой разности выходного сопротивления триггера и малого входного сопротивления $R_6 C$ - цепи. Для согласования этих сопротивлений необходимо соединить с выходом триггера согласующий усилитель, выполненный в виде эмиттерного повторителя, состоящего из транзистора $VT3$ и резистора R_5 , установленного в эмиттерной цепи.

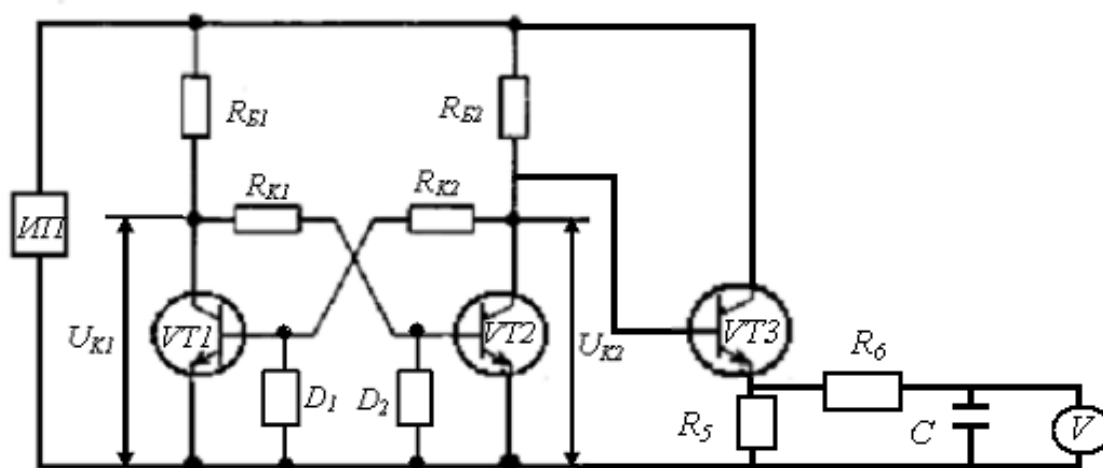


Рисунок 1.9 – Схема измерителя угла опережения зажигания

Изготовленный по схеме рисунка 1. 9 измеритель угла опережения зажигания содержит датчик положения поршня в верхней мертвой точке, который установлен на двигателе (рисунок 1.10) и создает импульс напряжения в момент времени t_2 (рисунок 1. 8 г). Он содержит (рисунок 1.10) индукционный датчик 1 модели ПИЩ- 6 со щелью, закрепленный на блоке двигателя, и металлическую пластину 2, установленную на шкиве коленчатого вала и проходящую через щель датчика 1 при вращении шкива.

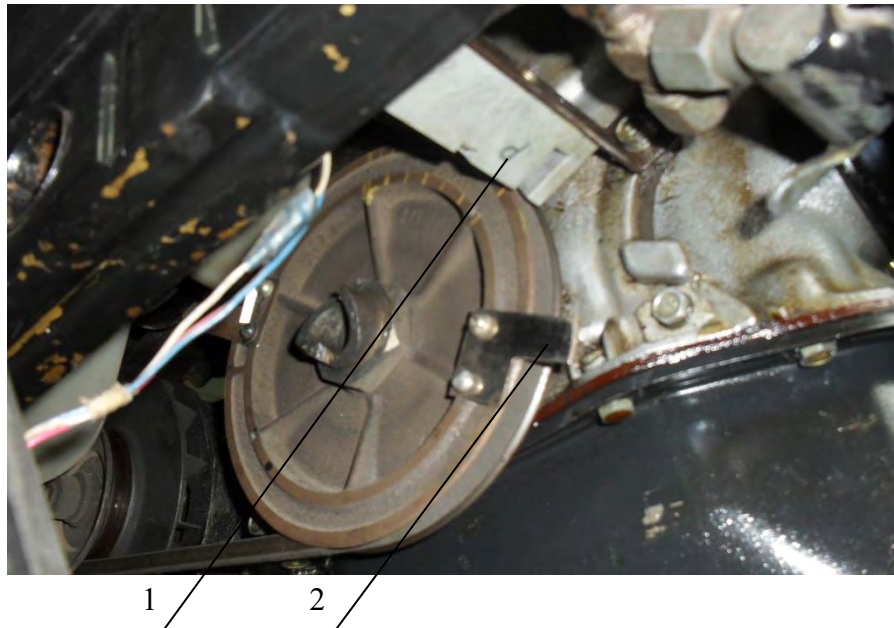


Рисунок 1.10 – Датчик положения поршня в верхней мертвой точке

Аналогично устроен и изготовлен датчик частоты вращения вала (рисунок 1. 11), содержащий датчик 1 модели КВД- 25 со щелью и металлический диск 2 с прорезями, установленный на валу.

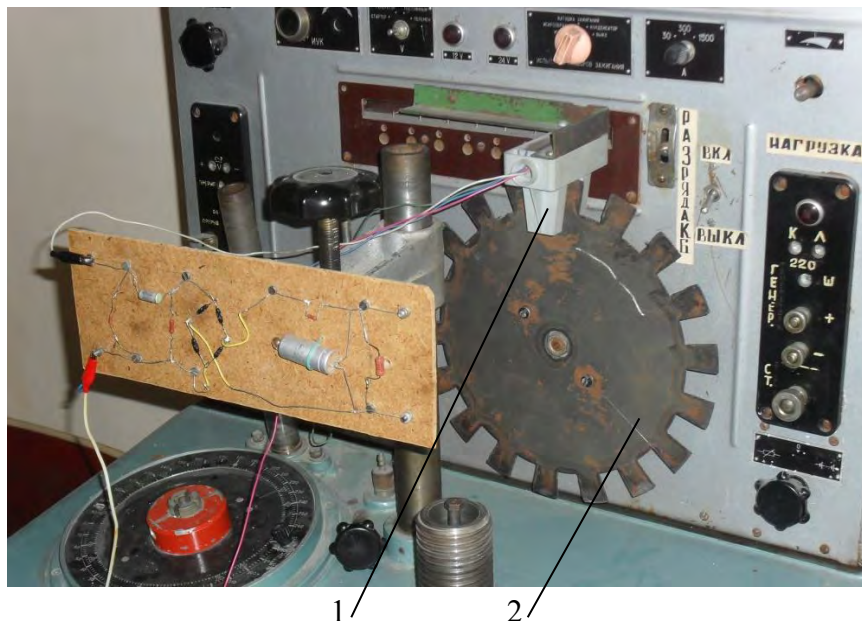


Рисунок 1.11 – Датчик частоты вращения вала

Выполненный нами измеритель угла опережения зажигания (рисунок 1. 9) является универсальным и применим не только для рассмотрен-

ных случаев, но и для измерения других физических величин, например, крутящего момента (рисунок 1. 12). В этом случае датчики D_1 и D_2 (соответственно индукционные датчики 1 и металлические диски 2 с прорезями) установлены на концах упругого вала 3, который при передаче крутящего момента из-за упругих свойств закручивается на определенный угол, пропорциональный передаваемому валом крутящему моменту.

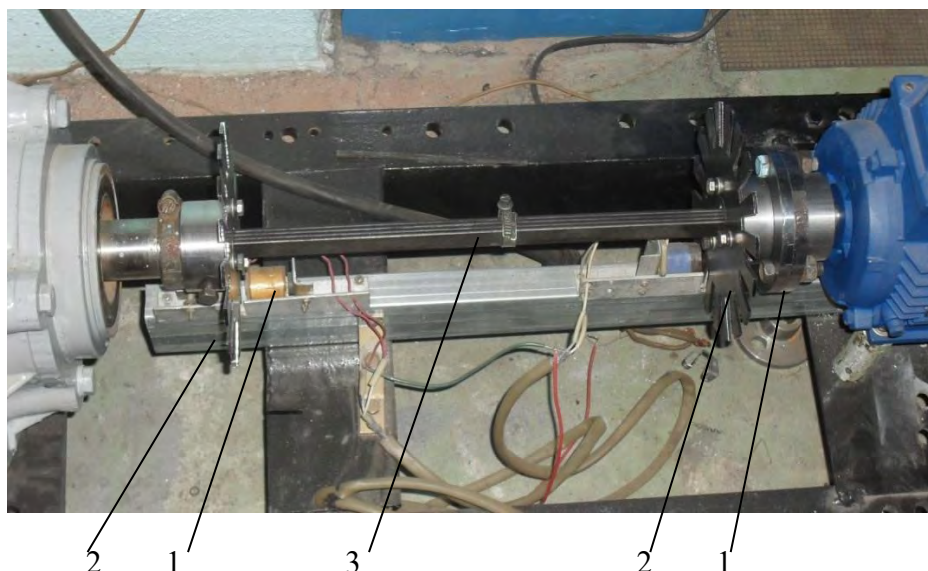


Рисунок 1.12 – Датчик крутящего момента

1.7 Автоколебательный симметричный мультивибратор

Мультивибраторы предназначены для преобразования напряжения источника питания. Они бывают автоколебательные (рисунок 1. 13) на транзисторе и преобразуют постоянное напряжение источника питания (рисунок 1. 14) в последовательность одинаковых по высоте и длительности прямоугольных импульсов напряжения (рисунок 1. 15).

Работает автоколебательный мультивибратор следующим образом. При подключении источника питания коллекторные токи проходят через два транзистора, а конденсаторы C_1 и C_2 заряжаются. Вследствие асимметрии плеч мультивибратора возрастает коллекторный ток I_{K1} , а ток I_{K2} уменьшается. Поэтому с течением времени транзистор $VT1$ открывается, а транзистор $VT2$ закрывается. На выходе транзистора $VT2$ появляется напряжение, равное 12 В. **При открытом транзисторе $VT1$** происходит перезарядка конденсатора C_1 по цепи $+B_K \rightarrow R_2 \rightarrow C_1 \rightarrow$ коллектор-эмиттер $-E_K$.

По мере перезарядки конденсатора C_1 напряжение на конденсаторе C_1 увеличивается и в некоторый момент достигает нулевого значения. С этого момента транзистор $VT2$ начинает открываться, его коллекторное напряжение $U_{ВЫХ} = U_{K2}$ уменьшается (момент времени t_1 на рисунке 1. 15). Этот процесс заканчивается запирающим транзистора $VT1$ и отпиранием транзистора $VT2$, а на выходе транзистора $VT2$ появляется напряжение, равное нулю (момент времени t_1 на рисунке 1. 15). Далее происходят аналогичные процессы, только с перезарядкой конденсатора C_2 . Вследствие его перезарядки открывается транзистор $VT1$, а транзистор $VT2$ закрывается (момент времени t_2 на рисунке 1. 15).

При перезарядке конденсаторов C_1 и C_2 на выходе автоколебательного мультивибратора формируется периодическая последовательность прямоугольных импульсов одинаковой высоты и длительности, определяемых параметрами источника питания $ИП$, конденсаторов C_1 и C_2 и резисторов $R_{Б1}$ и $R_{Б2}$.

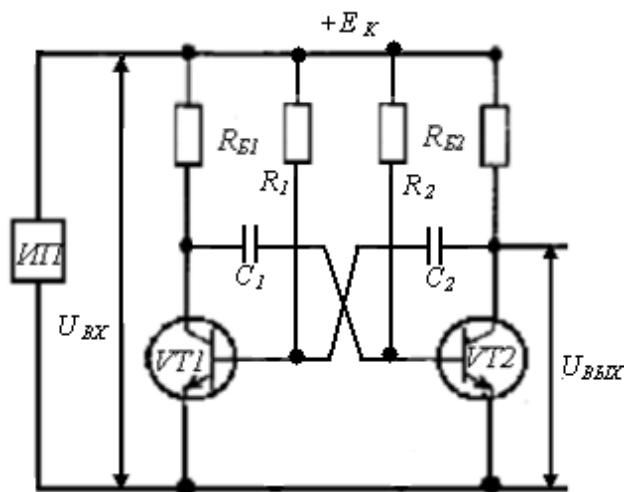


Рисунок 1.13 – Схема автоколебательного мультивибратора

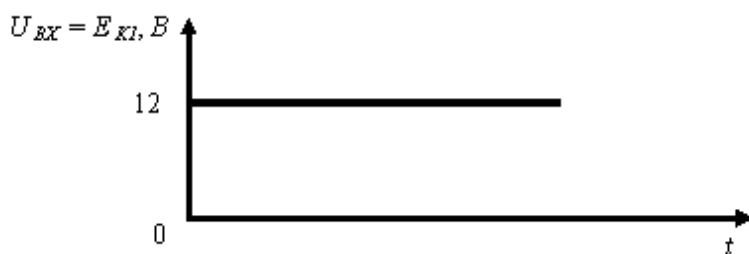


Рисунок 1.14 – Входное напряжение автоколебательного мультивибратора

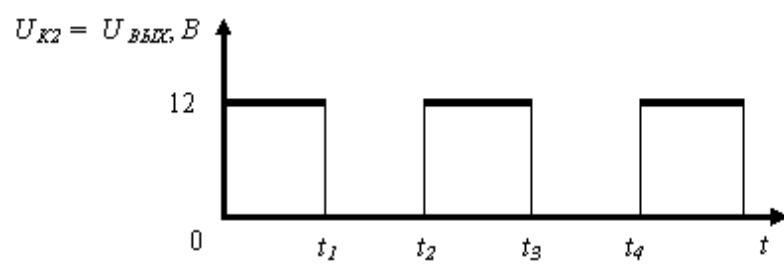


Рисунок 1.15 – Выходное напряжение автоколебательного мультивибратора

2 Безопасность автомобильного транспорта

2.1 Устройство для бортового диагностирования тормозных систем автомобиля по времени торможения

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. [1].

Уравнение движения автомобиля с колесной формулой 4х2 или 4х4 при экстренном торможении записывается в виде

$$P_u - R_{x_1} - R_{x_2} = 0, \quad (2.1)$$

где P_u – сила инерции, действующая на автомобиль Н;

R_{x_1}, R_{x_2} – тормозные силы соответственно на передних и задних колесах автомобиля, Н.

Поскольку при экстренном торможении тормозные силы прямо пропорциональны произведениям нормальных реакций на колесах (R_{z_1}, R_{z_2}) на коэффициент сцепления колес с дорогой φ_{cy} , то уравнение движения можно переписать

$$\frac{G_a}{g} j_3 - R_{z_1} \varphi_{cy} - R_{z_2} \varphi_{cy} = \frac{G_a}{g} j_3 - (R_{z_1} + R_{z_2}) \varphi_{cy} = 0, \quad (2.2)$$

где G_a – вес автомобиля, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

j_3 – замедление при торможении, м/с².

Так как $R_{z_1} + R_{z_2} = G_a$, то можно записать

$$\frac{G_a}{g} j_3 - G_a \varphi_{cy} = 0, \quad (2.3)$$

отсюда

$$j_z = \varphi_{cy} g . \quad (2.4)$$

Для определения времени торможения можно использовать формулу 2.4, представив в ней замедление как производную скорости движения v по времени t :

$$j_z = -\frac{dv}{dt} = \varphi_{cy} g , \quad (2.5)$$

отсюда

$$dt = -\frac{dv}{\varphi_{cy} g} . \quad (2.6)$$

Проинтегрировав выражение 2.6, получают формулу для определения полного времени торможения:

$$t_{\text{мор}} = \frac{v_n - v_k}{\varphi_{cy} g} , \quad (2.7)$$

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

Тормозной путь, проходимый автомобилем за время полного торможения (когда замедление принимает максимальное значение), можно определить, используя выражение 2.6, учитывая, что $v = dS/dt$, откуда $dt = dS/v$. Таким образом,

$$\frac{dS}{v} = -\frac{dv}{\varphi_{cy} g} \text{ и } dS = -\frac{v dv}{\varphi_{cy} g} . \quad (2.8)$$

Проинтегрировав это уравнение, получают формулу для определения полного тормозного пути:

$$S_{\text{мор}} = \frac{v_n^2 - v_k^2}{2\varphi_{cy} g} . \quad (2.9)$$

Перечисленные параметры эффективности торможения используются и при проведении диагностирования автомобилей.

Известно устройство для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля, выполненное в виде цифрового преобразователя [11], 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 этот 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 в его совершенствовании.

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 [1] в нем установлен датчик перемещения кузова автомобиля со вторым импульсным 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 2.1) датчик 5 перемещения тормозной педали 4 с первым импульсным преобразователем 2, выполненным щелевым на кронштейне 3 возле тормозной педали 4 с обеспечением возможности перемещения педали 4 в щели преобразователя, восьмиразрядный электронный суммирующий счетчик 29 с восемью выходами 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, входом 32 установки нуля и счетным входом 30, первую дифференцирующую цепь 19, выполненную на двух резисторах 12, 17, конденсаторе 11 и отсекающей диоде 18, входом соединенную с выходом первого импульсного преобразователя 2, восемь светоизлучающих диодов 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, мультивибратор 16, выполненный 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, датчик 35 перемещения кузова 20 со вторым импульсным преобразователем 23, установленным на кронштейне 28 на заднем мосту 27 автомобиля, и выполненным в виде катушки 22 индуктивности с магнитным сердечником и стержнем 21, первым своим концом установленным возле катушки 22 индуктивности, а вторым концом закрепленным 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.

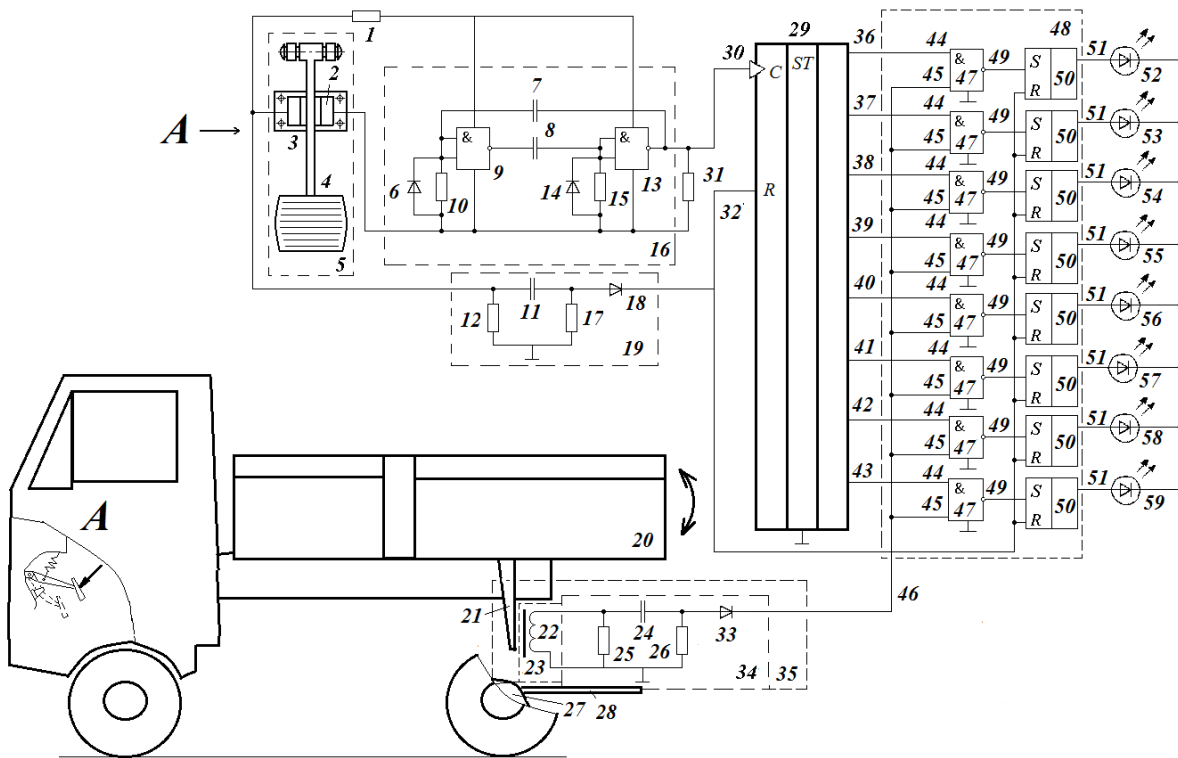


Рисунок – 2.1 Схема устройства для бортового диагностирования тормозной системы автомобиля

Вторая дифференцирующая цепь 34, выполнена на двух резисторах 25, 26 конденсаторе 24 и отсекающем диоде 33, входом соединенную с выходом второго импульсного преобразователя 23, восьмиразрядный параллельный регистр 48, каждый разряд которого 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, 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 2 на выходе преобразователя 2 импульсного щелевого датчика 5 перемещения педали 4 формируется напряжение (рис. 2.2) постоянного уровня, прикладываемое посредством резистора 1 к

автоколебательному мультивибратору 16, на выходе автоколебательного мультивибратора 16 появляются прямоугольные импульсы напряжения (рис. 2.3).

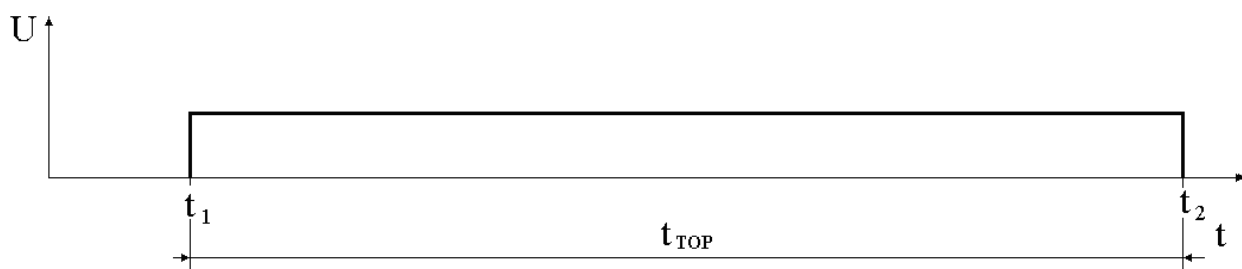


Рисунок – 2.2 Напряжение на выходе преобразователя импульсного щелевого датчика перемещения педали

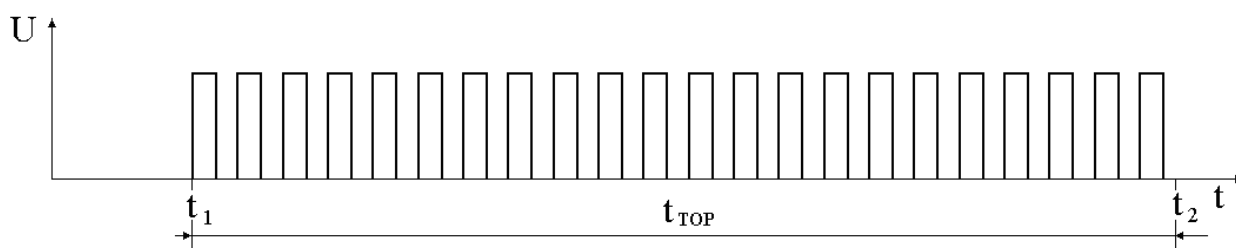


Рисунок – 2.3 Прямоугольные импульсы напряжения на выходе автоколебательного мультивибратора

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 этой 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, и в результате протекающих процессов разрядки и зарядки соответствующих

конденсаторов окажется логический элемент 9 закрыт, а логический элемент 13 опять открыт. 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 (рис. 2.4), 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 в цифровой код, которые поступят на счетный вход 30 счетчика. Также обнуляются все триггеры 50 регистра 48, после чего во все триггеры регистра можно записывать код.



Рисунок – 2.4 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 2.5), 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 (рисунок 2.5), 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, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59. После записи в регистр кода водитель может отпустить тормозную педаль.



Рисунок – 2.5 Импульсы напряжения на выходе второй дифференцирующей цепи при перемещении кузова в процессе торможения автомобиля

Формирование кода с помощью параллельного регистра происходит следующим образом. Покажем это на примере упомянутого выше кода, равного 00110010, поэтому на первых входах 44 двух первых логических элементов И 47 регистра имеются нули. Поэтому, при подачи посредством шины записи импульс напряжения от второй дифференцирующей цепи на вторые входы 45 на выходе двух первых логических элементов И 47 имеются 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.

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 время 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.

2.2 Устройство для бортового диагностирования тормозных систем автомобиля по замедлению

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, так как 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/час, 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 2.6) затормаживаемого колеса автомобиля, содержащий металлический диск 4 с прорезями и выступами, установленный на валу 2 затормаживаемого колеса 1 автомобиля, импульсный щелевой преобразователь 3, установленный вблизи диска 4 с обеспечением возможности вхождения выступов диска в щель преобразователя 3, первую дифференцирующую цепь 8, включающую в себя резисторы 5 и 7 и конденсатор 6, выпрямитель 14 на четырех импульсных диодах 10, 11, 12, 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, при этом неинвертирующий вход 28 компаратора 29 соединен с выходом регулируемого источника 26 постоянного тока, вторую дифференцирующую цепь 22, выполненную на резисторе 21 и конденсаторе 20, входом соединенную с выходом датчика 19 частоты вращения затормаживаемого колеса 1 автомобиля, выходом соединенную 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.

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.

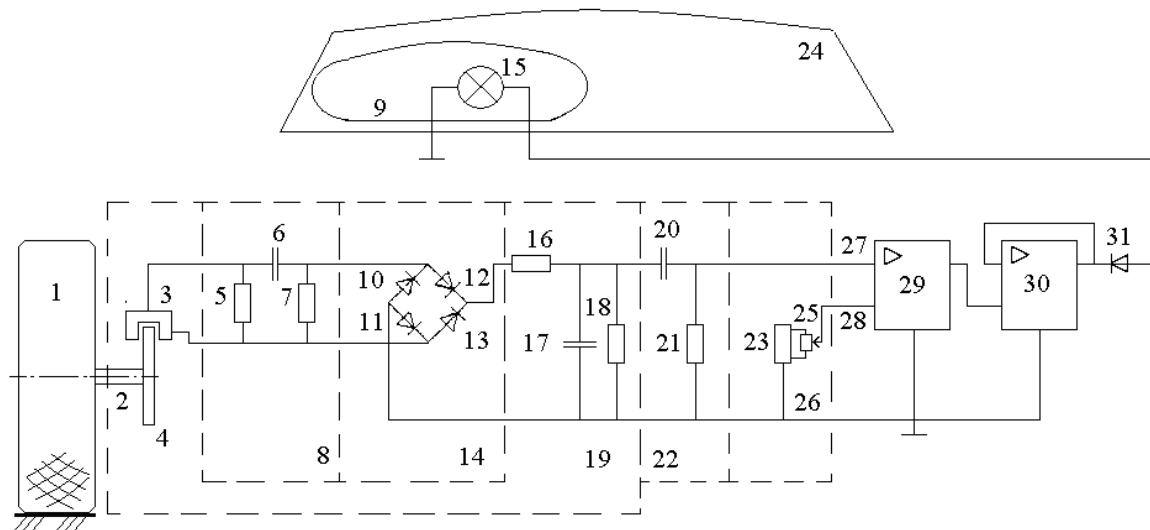


Рисунок – 2.6 Схема устройства для диагностирования автомобиля по времени торможения

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 2.7, 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.

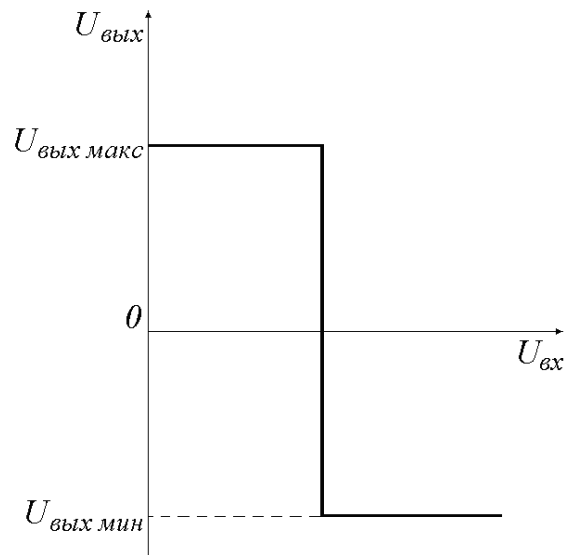


Рисунок – 2.7 Передаточная характеристика компаратора

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.

2.3 Стенды для диагностирования подвески автомобилей

2.3.1 Стенд для диагностирования подвески автомобилей по статической характеристике. Зависимость перемещения кузова от перемещения осей в установившемся режиме (статическая характеристика) у исправной и неисправной подвесок заметно отличается. Например, чтобы проверить исправность амортизатора автомобиля, инструкция по эксплуатации рекомендует резко нажать на соответствующее крыло. Если после этого восстанавливается исходное положение без колебаний, амортизатор исправен, если с колебаниями – неисправен.

Но это лишь качественная оценка. Для количественной же предлагается метод, суть которого сводится к следующему. Автомобиль устанавливают на площадки стенда, снабженного подъемными пневматическими механизмами и измерительным оборудованием, выполненным в виде преобразователей перемещения осей и кузова, а также микропроцессорной системой диагностирования подвески по ее статической характеристике. Далее по программе, записанной в ПЗУ микропроцессорной системы, медленно перемещают оси автомобиля вверх и регистрируют через заданные промежутки времени изменения положения как самих осей, так и кузова. Затем оси медленно опускают, повторяя те же, что и при подъеме, измерения. Потом система обрабатывает эти показатели и выводит на дисплей статическую характеристику диагностируемой подвески. Там же находится аналогичная характеристика исправной подвески. Сравнивая их, оператор принимает решение о техническом состоянии диагностируемой подвески.

Стенд (рисунок 2.8) создан и предназначен именно для реализации данного метода.

Стенд включает основание 16, установленные на нем первую и вторую опорные площадки 12 осей 10 транспортного средства, пульт 19 управления, концевой выключатель 13, кронштейн 15 для крепления концевого выключателя, пневмосистему, выполненную в виде последовательно соединенных компрессора 25, первого 22 и второго 21 ресиверов с предохранительным клапаном 23 и электроуправляемого пневматического клапана 20, обмотка 24 управления которого соединена посредством концевого выключателя 13 с пультом 19 управления, четыре исполнительных механизма с электроуправляемыми пневматическими клапанами 18 и пневмодресселем 17.

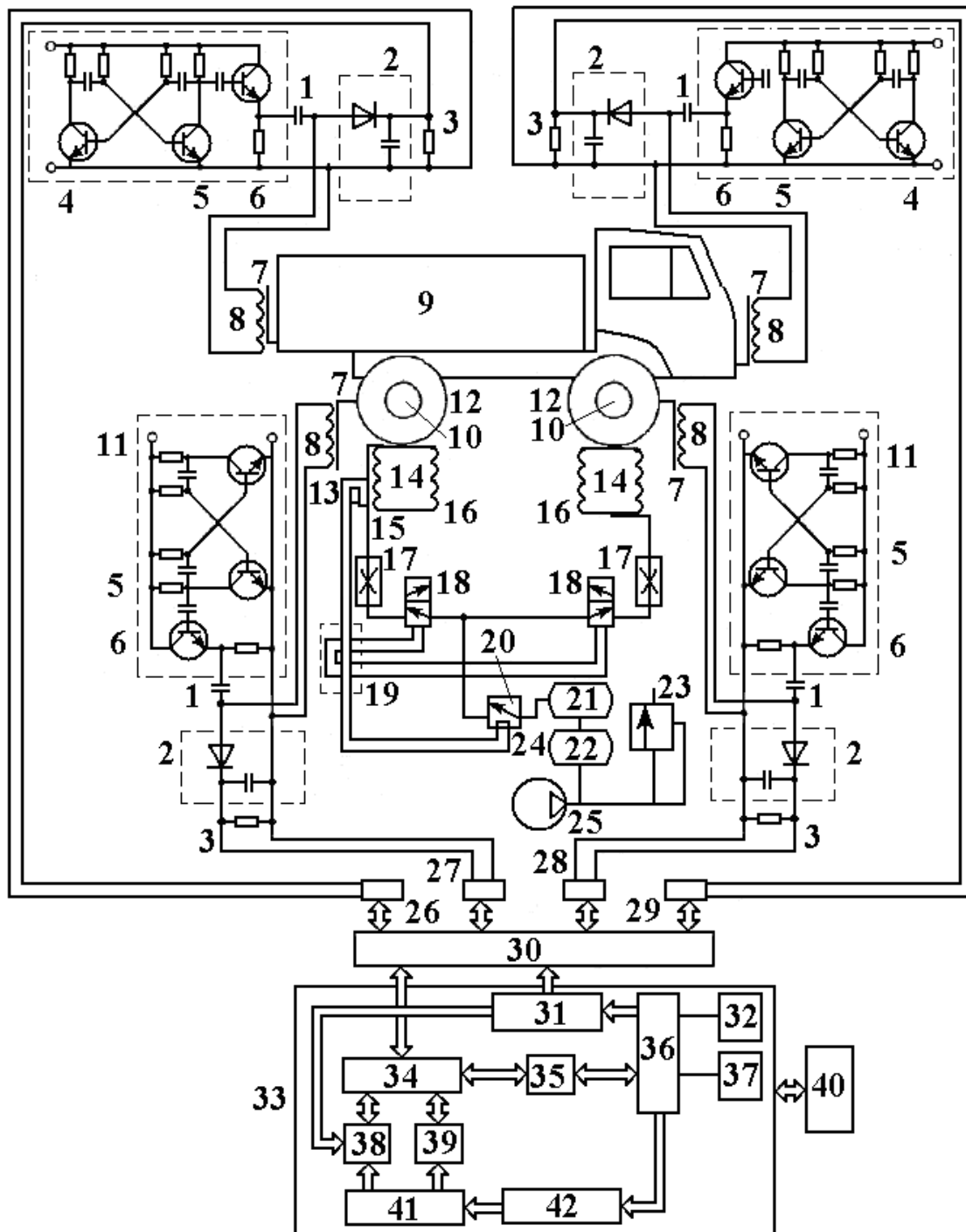


Рисунок 2.8 – Схема станда для диагностирования подвески

В свою очередь, каждый из исполнительных механизмов выполнен в виде пневмобаллона 14, который установлен в соответствующем углублении основания станда, размещенном под одной из опорных площадок. В схему станда также входят первый и второй преобразователи 11 сигналов перемещения осей транспортного средства, первый и второй преобразователи 4 перемещения кузова 9, каждый из которых включает

последовательно соединенные мультивибратор 5, согласующий усилитель 6, конденсатор 1, катушку 8 индуктивности со стержнем 7, закрепленные на осях и кузове диагностируемого транспортного средства над опорными площадками, детектор 2, выходной резистор 3, микропроцессорную систему 33 обработки сигналов о перемещениях осей и кузова транспортного средства, дисплей 40, соединенный с микропроцессорной системой, интерфейс 30 с шестью каналами, первый 27 и второй 28 аналого-цифровые преобразователи сигналов о перемещении осей, соединенные с выходами соответствующих преобразователей 11 перемещения осей, третий 26 и четвертый 29 аналого-цифровые преобразователи сигналов перемещения кузова, соединенные с выходами аналогичных преобразователей 4 сигналов перемещения кузова соответственно.

Интерфейс 30 первым и вторым каналами соединен с выходами первого 27 и второго 28 аналого-цифровых преобразователей сигналов о перемещении осей соответственно, третьим и четвертым – с выходами третьего и четвертого аналого-цифровых преобразователей 26 и 29 сигналов перемещения кузова соответственно, пятым и шестым каналами – с микропроцессорной системой обработки сигналов о перемещениях осей и кузова.

Микропроцессорная система обработки сигналов о перемещениях осей и кузова состоит из микропроцессора 36, оперативного 39 и постоянного 38 запоминающих устройств, генератора 32 тактовой частоты, таймера 37, буфера 42 адреса, буфера 35 данных, шины 41 адреса, шины 34 данных и шины 31 управления.

Стенд работает следующим образом. Диагностируемое транспортное средство устанавливают на опорные площадки. В исходном состоянии электроуправляемые пневматические клапаны 18 закрыты, а клапаны 20 открыты. Включается компрессор 25. Оператор с пульта управления 19 переключает электроуправляемые пневматические клапаны 18 в открытое положение. Пневмобаллоны 14 исполнительных механизмов заполняются воздухом. Одновременно осуществляется подъем опорных площадок с транспортным средством и перемещение его осей и кузова. Сигналы преобразователей 4 и 11 непрерывно поступают в аналого-цифровые преобразователи 26, 27, 28 и 29. Обработанные там, они через заданные программой промежутки времени по командам микропроцессора, содержание которых – разрешение прямого доступа в память микропроцессорной системы обработки сигналов со стороны устройства ввода для записи данных, минуя микропроцессор по первому,

второму, третьему и четвертому каналам интерфейса 30 и шины 34 данных, поступают в оперативное запоминающее устройство 39.

При перемещении осей и кузова транспортного средства на заданную величину срабатывает концевой выключатель 13, привод пневмосистемы отключается от сети, пневмобаллоны 14 через дроссель 17 сообщаются с атмосферой. Оси и кузов медленно опускаются до тех пор, пока давление в пневмобаллонах не сравняется с атмосферным. Цифровые сигналы на выходе аналого-цифровых преобразователей 26, 27, 28 и 29 уменьшаются по величине и через заданные промежутки времени по первому, второму, третьему и четвертому каналам интерфейса 30 и шины 34 данных подаются в оперативное запоминающее устройство 39.

В запоминающем устройстве 38 записана программа, состоящая из команд для обработки полученных и записанных данных в оперативном запоминающем устройстве 39. В ходе работы микропроцессор выдает на шину 41 адреса номер ячейки постоянного запоминающего устройства 38, где хранится команда, которую необходимо выполнить по программе. По шине 31 управления в постоянное запоминающее устройство 38 поступают сигналы, обеспечивающие чтение содержимого этой ячейки памяти. Запрошенная команда выдается на шину 34 данных, через буфер 35 данных принимается микропроцессором 36 и расшифровывается. Таймером 37 задаются в определенное время команды управления и организуются временные задержки для выполнения команд программы. Для синхронизации работы по обработке информации генератор 32 тактовой частоты подает на микропроцессор последовательность тактовых импульсов.

В результате обработки в соответствии с программой полученных показателей, как отмечено выше, строится и выводится на дисплей статическая характеристика диагностируемой подвески, она сравнивается с соответствующей статической характеристикой заведомо исправной подвески такого же транспортного средства, что позволяет принять решение о техническом состоянии подвески. Если же она неисправна, то выполняются необходимые регулировочные или ремонтные работы.

2.3.2 Стенд для диагностирования подвески автомобилей по переходной характеристике. Стенд (рисунок 2.9) для диагностирования подвески транспортного средства содержит основание 1, установленные на основании 1 первую и вторую опорные площадки 2 осей транспортного средства 3, исполнительные механизмы 4 с электроуправляемыми клапанами 5, первый и второй преобразователи 6 колебаний подвески, каждый из которых включает последовательно соединенные

мультивибратор 7, согласующий усилитель 8, конденсатор 9, катушку 10 индуктивности со стержнем 11, закрепляемым на днище диагностируемого транспортного средства 3 над опорными площадками 2, при этом катушка 10 индуктивности установлена с возможностью вхождения в нее стержня 11, детектор 12, выходной резистор 13, пульт 14 управления, концевой выключатель 15, кронштейн 16, установленный на основании 1 станда и выполненный с возможностью размещения на нем концевой выключателя 15, регистрирующее устройство 17 с двумя каналами, каждый из которых соединен с выводами выходного резистора 13 соответствующего преобразователя 6 колебаний подвески, пневмосистему в виде последовательно соединенных компрессора 18, первого и второго ресиверов 19 с предохранительным клапаном 20 и электроуправляемого пневматического клапана 21, обмотка 22 управления которого соединена посредством концевой выключателя 15 с пультом 14 управления.

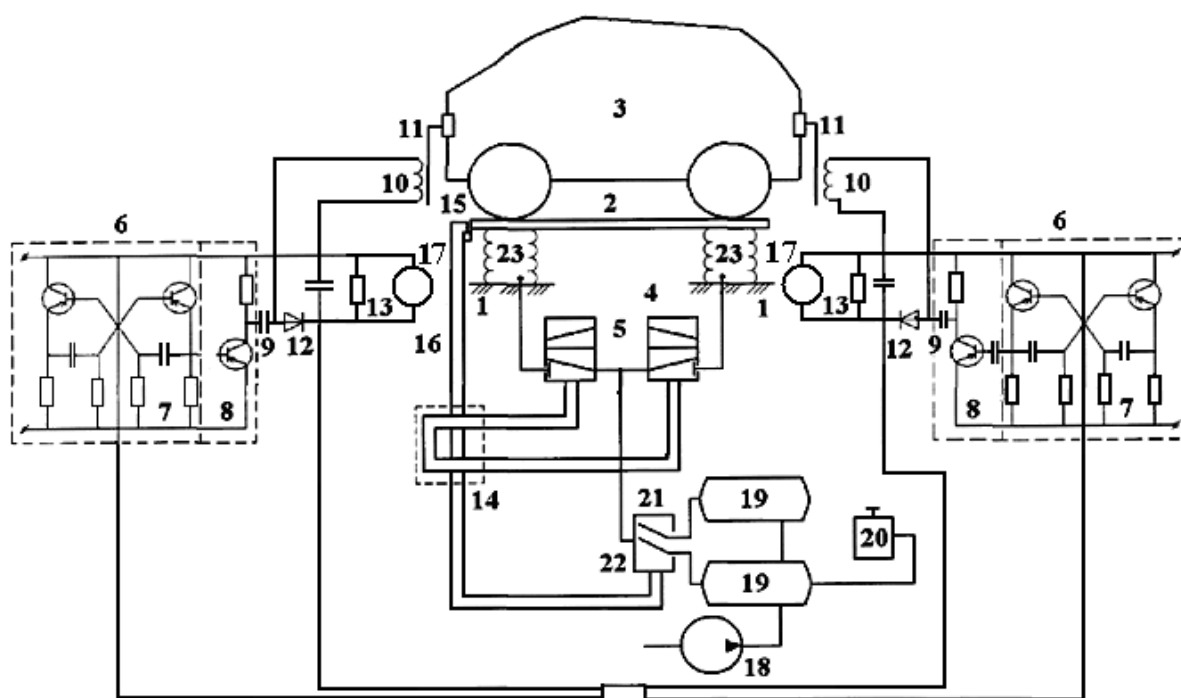


Рисунок 2.9 – Стенд для диагностирования подвески

Опорные площадки 2 осей изготовлены сплошными колеевыми, число исполнительных механизмов равно четырем, каждый из исполнительных механизмов 4 выполнен в виде пневматического баллона 23, установленного в соответствующем углублении основания 1 станда, выполненном под одной из опорных площадок 2, электроуправляемые клапаны 5 исполнительных механизмов изготовлены пневматическими и

соединены с электроуправляемым пневматическим клапаном 20 пневмосистемы.

Стенд работает следующим образом. Диагностируемое транспортное средство 3 устанавливается на опорные площадки 2. В исходном состоянии электроуправляемые пневматические клапаны 5 закрыты, а электроуправляемый пневматический клапан 21 открыт. Включается компрессор 18, пневмосистема заполняется воздухом до заданного давления. Оператор с пульта 14 управления переключает электроуправляемые пневматические клапаны 5 в открытое положение. Баллоны 23 исполнительных механизмов 4 заполняются воздухом. Одновременно с заполнением баллонов происходит подъем опорных площадок 2 с транспортным средством 3. При подъеме их на заданную высоту срабатывает концевой выключатель 15, при этом электроуправляемый пневматический клапан 21 закрывается, перекрывая воздушную магистраль автоматически. Прекращается подача воздуха в пневмоэлементы, подъем опорных площадок 2 с транспортным средством завершается.

Оператор с пульта управления 14 переключает клапаны 5 в положение, при котором воздушная магистраль перекрывается, а баллоны сообщаются с атмосферой. Опорные площадки 2 под собственным весом и весом транспортного средства 3 падают, в конце падения останавливаются. Кузов же транспортного средства по инерции продолжает движение. В результате происходят его колебания относительно опорной поверхности. Вместе с кузовом перемещаются стержни 11 в катушках 10 индуктивности. На выходе резисторов 13 формируются сигналы, пропорциональные уровням этих колебаний. Происходит это следующим образом. На выходе мультивибратора 7 формируется периодическая последовательность прямоугольных импульсов, которые посредством согласующего усилителя 8 поступают на последовательный резонансный контур, образованный конденсатором 9 и катушкой 10 индуктивности. Контур имеет резонансную амплитудно-частотную характеристику, поэтому из всего спектра частот входного на контур периодического сигнала с прямоугольными импульсами, имеющего почти неограниченную полосу частот, выделяется гармоническая составляющая с частотой, равной резонансной частоте контура. При изменении положения стержней 11 изменяются индуктивность катушки 10, амплитуда выделенной гармонической составляющей на выходе резонансного контура. Для выделения амплитуды гармонической составляющей сигнал подается на детектор 12,

который выпрямляет его, а затем отфильтровывает его высокочастотную составляющую. Диагностирование производится путем сравнения полученных переходных характеристик пневмоподвески или их показателей с соответствующими переходными характеристиками или показателями, полученными при диагностировании технически исправного транспортного средства.

3 Экономичность и экологичность автомобильного транспорта

3.1 Стенды для диагностирования ДВС

3.1.1 Стенд для диагностирования дизельного ДВС по часовому расходу топлива. На первой стадии проектирования стенда для диагностирования дизельных двигателей были проведены исследования работы дизельного двигателя в исправном состоянии и при наличии неисправностей. В результате 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 в неисправном дизельном двигателе по сравнению с исправным [12]. Примерный вид полученной зависимости представлен на рисунке 3.1 (кривая 1 соответствует исправному дизельному двигателю, 2 – неисправному). При наличии неисправностей в дизельном двигателе каждому из возможных значений момента на его валу соответствует более высокий часовой расход топлива.

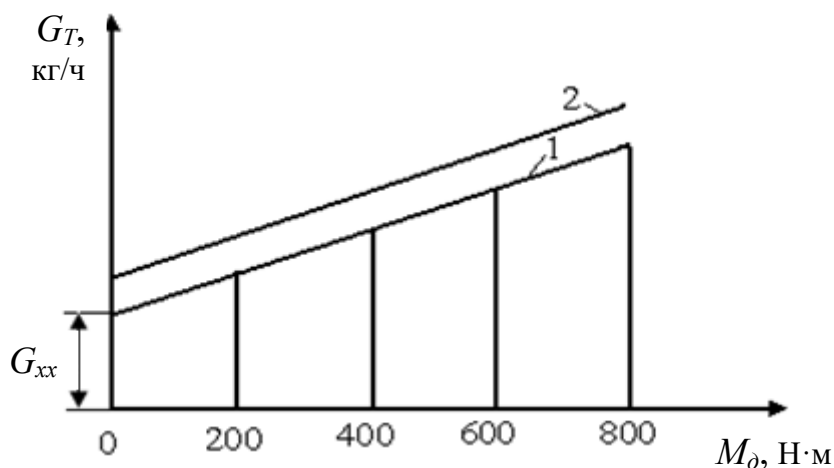


Рисунок 3.1 – Статическая характеристика дизельного двигателя

Изложенное выше дало основание предложить новый метод диагностирования дизельных двигателей на стенде, заключающийся в том, что диагностируемый дизельный двигатель устанавливают на стенд, содержащий электрический тормоз, карданный вал, соединяющий вал двигателя с валом тормоза, снабженный контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления, задают

скоростной и нагрузочный режимы работы диагностируемого двигателя, измеряют часовой расход топлива и, сравнивая полученное значение расхода топлива с нормативным значением, соответствующим исправному двигателю, принимают решение о техническом состоянии двигателя.

Для реализации предложенного метода диагностирования дизельного двигателя был разработан стенд, общая схема которого изображена на рисунке 3.2.

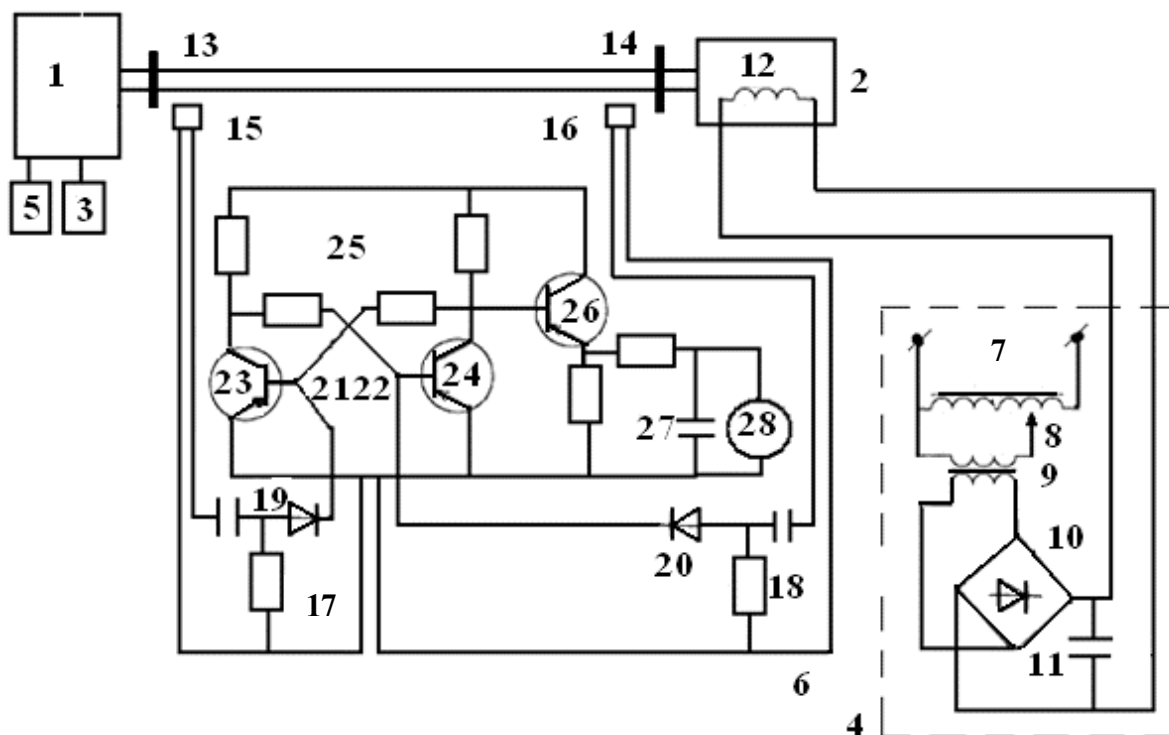


Рисунок 3.2 – Схема диагностического стенда

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 импульсные преобразователи 15 и 16. При вращении вала на электрических выводах преобразователей 15 и 16 формируются импульсы, которые подаются соответственно на

дифференцирующие резисторы 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 прибор 28, которым измеряется момент на валу двигателя. Расход топлива определяется 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 нагружения 4 напряжение, соответствующее 20 % от номинального момента двигателя. Установка этого момента на валу двигателя производится по прибору 28. Расход топлива измеряется за две минуты работы дизельного двигателя. Далее измерения расхода топлива продолжаются с увеличивающимся моментом нагружения каждый раз на 20 % и до номинального.

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, то диагностируемый двигатель неисправен. Диагностирование проводится при наибольшей 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 указанной характеристики, на этом же рисунке приведены внешняя скоростная характеристика (цифра 2), номинальный момент дизельного двигателя $M_{д.н.}$, его номинальная частота вращения $\omega_{д.н.}$, частота вращения вала двигателя, соответствующая его холостому ходу, $\omega_{д.х.х.}$. При полной подаче топлива и холостом ходе дизельный двигатель развивает наибольшую частоту вращения вала.

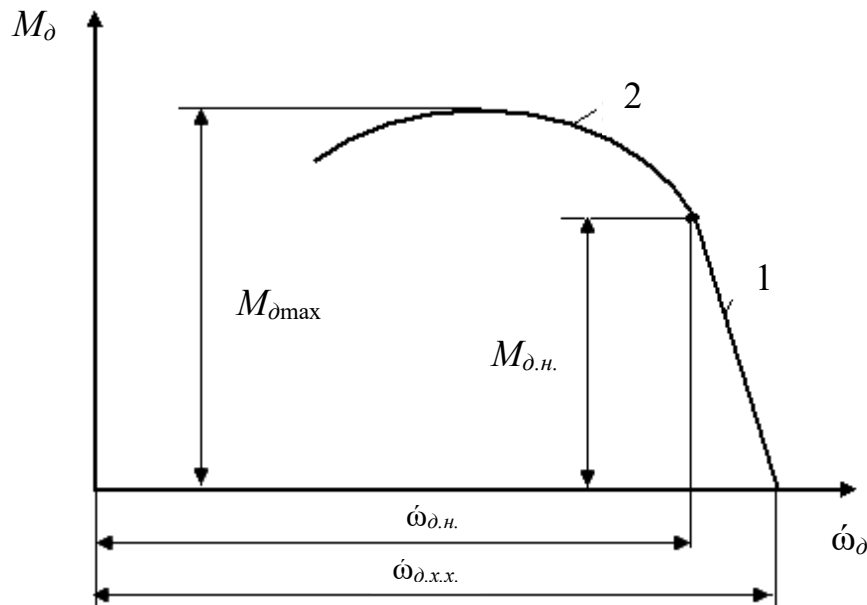


Рисунок 3.3 – Внешние регуляторная (1) и скоростная (2) характеристики ДВС

С увеличением момента сопротивления на валу дизельного двигателя центробежный регулятор частоты вращения увеличивает подачу топлива в цилиндры путем перемещения рейки топливного насоса.

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. На рисунке 3.4 изображена функциональная схема системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя, регулируемым параметром в которой является частота вращения вала двигателя.

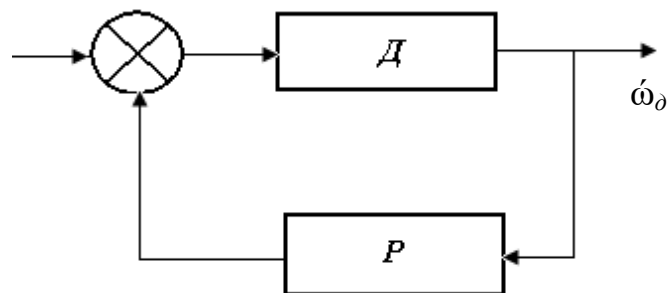


Рисунок 3.4 – Функциональная схема системы автоматического регулирования частоты вращения вала ДВС

Частота вращения измеряется чувствительным элементом регулятора, установленным в цепи обратной связи. При ее снижении возникает сигнал обратной связи, поступающий на сумматор (рычаг управления рейкой насоса), где он сравнивается с заданным значением, которое формируется водителем в зависимости от положения педали управления подачей топлива. На выходе сумматора формируется сигнал рассогласования (управления), с его помощью перемещается рейка топливного насоса в сторону увеличения подачи топлива. В результате этого крутящий момент дизеля увеличивается в соответствии с регуляторной характеристикой (см. рисунок 3.3, кривая 1) при одновременном некотором снижении частоты вращения вала. Дизельный двигатель начинает работать на новом скоростном и нагрузочном режимах.

3.1.2 Стенд для диагностирования дизельного двигателя с переменным синусоидальным нагружением. Согласно практике, находящиеся в эксплуатации дизельные ДВС очень часто имеют недостаточную по сравнению с паспортной топливную экономичность. Объясняется это многими причинами, в том числе несовершенством стендов для диагностирования дизелей, которые воспроизводят только постоянные по уровню нагрузки, вследствие чего получаемые результаты не соответствуют реальным условиям эксплуатации автомобилей, когда на коленчатом валу дизеля действуют переменные по величине крутящие моменты.

Чтобы устранить такое противоречие, создан стенд, работающий не при постоянной нагрузке на дизель, а при нагрузке, величина которой представляет собой сумму среднего значения крутящего момента и его переменной составляющей, изменяющейся по синусоидальному закону. Эта сумма нагрузок ближе к реальным нагрузкам, которые воздействуют на дизель в процессе его эксплуатации. Для проверки этой идеи проводились специальные исследования, суть которых сводилась к следующему [12].

Дизель устанавливали на стенд, оборудованный электромагнитным тормозом с двумя обмотками возбуждения и муфтой, соединенной с карданным валом, второй конец которого соединен с валом диагностируемого дизеля специальными нагрузочным и измерительным устройствами. Дизель пускают и нагружают постоянным моментом и его переменным синусоидальным составляющим, определяя амплитуду и частоту. Потом перемещают педаль управления подачей топлива в режим

полной подачи, т. е. переводят дизель на работу по внешней регуляторной характеристике. На этом режиме измеряют часовой расход топлива и сравнивают полученное значение с нормативным для получения сведений о техническом состоянии дизеля.

На основе этих исследований разработан стенд (рисунок 3.5), содержащий дизель, коленчатый вал которого соединен с упругим валом 21. Второй конец последнего, в свою очередь, соединен с валом электромагнитного тормоза 45, имеющего две (43 и 44) обмотки возбуждения.

Специальное нагрузочное устройство выполнено в виде двух цепей. В первую цепь входят последовательно соединенные автотрансформатор 28 с регулятором 29, трансформатор 36, выпрямитель 37, выполненный на четырех диодах, конденсатор 42, выводы которого соединены с первой 43 обмоткой возбуждения тормоза 45, во вторую цепь – магнитный усилитель 48 с двумя (50 и 51) обмотками управления постоянного тока, рабочая обмотка 47, источник 49 переменного тока, выпрямитель 46, регулируемый источник 52 постоянного тока и регулируемый по частоте и амплитуде генератор 53 синусоидальных колебаний.

Стенд снабжен специальным измерительным устройством – датчиком крутящего момента, который состоит из двух дисков 4 и 38 с выступами и прорезями, установленных по концам упругого вала 21, и двух импульсных преобразователей 5 и 39 в виде катушек индуктивности с магнитными сердечниками и в котором обеспечена возможность прохождения выступов и прорезей каждого из дисков вблизи соответствующего преобразователя.

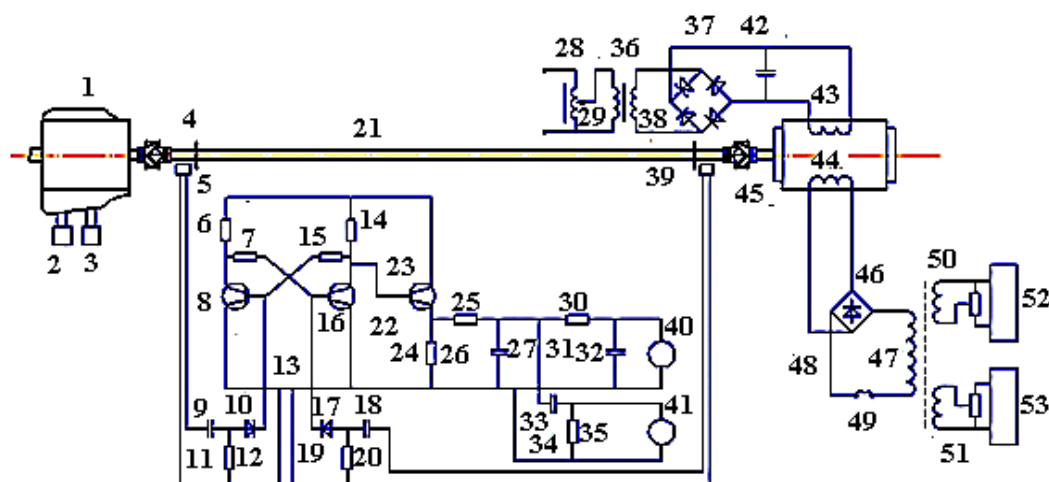


Рисунок 3.5 – Схема стенда

К выходам импульсных преобразователей подсоединены дифференцирующие цепи 11 и 19, которые выполнены на конденсаторах 9 и 18 и резисторах 12 и 20 с отсекающими диодами 10 и 17. Эти цепи имеют триггер 13 (два биполярных транзистора 8, 16 и четыре резистора 6, 7, 14, 15), согласующий усилитель (транзистор 23 и резистор 24), первый интегрирующий элемент 26 с заданной постоянной времени T , равной произведению сопротивления резистора 25 на емкость конденсатора 27, выбором величины которой обеспечивается получение на выходе первого интегрирующего элемента суммы постоянной составляющей крутящего момента и его синусоидальной составляющей, второй интегрирующий элемент 31 с заданной постоянной времени T , т. е. в 10 раз больше постоянной времени 1 первого интегрирующего элемента, вход которого соединен с выходом первого интегрирующего элемента, а выход – с измерительным прибором 40, выполненным на резисторе 30 и конденсаторе 32, дифференцирующий элемент 34, вход которого соединен с выходом первого интегрирующего элемента, а выход – с цифровым запоминающим осциллографом 41 (конденсатор 33 и резистор 35). Стенд также снабжен датчиком 2 частоты вращения и измерителем 3 часового расхода топлива.

Алгоритм диагностирования дизеля на рассматриваемом стенде следующий.

После пуска диагностируемого дизеля включают в сеть автотрансформатор 28 и, поворачивая регулятор 29 автотрансформатора, увеличивают напряжение постоянного тока, прикладываемое к первой обмотке 43 возбуждения тормоза. Напряжение увеличивают до тех пор, пока на коленчатом валу дизеля установится крутящий момент, равный 0,95 его номинального значения. Далее включают в сеть источник 52 постоянного тока и генератор 53 синусоидальных колебаний и, вращая регуляторы источника 52 и генератора 53, задают такой переменный синусоидальный нагрузочный режим, которому соответствует амплитуда колебаний крутящего момента, равная 5 % номинального, а частота – 1 Гц. При этом непрерывно измеряют переменный момент на коленчатом валу диагностируемого двигателя, а также его постоянную и переменную составляющие. Измерения этих параметров выполняют прибором 40 и цифровым запоминающим осциллографом 41, работающими следующим образом.

При включении датчика момента первый транзистор 8 триггера 13 закрыт, вследствие чего второй его транзистор 16 из-за наличия

положительной обратной связи открыт. Поэтому на коллекторе первого транзистора положительное напряжение, равное напряжению питания, а на коллекторе второго оно равно нулю.

При вращении упругого вала с первым диском 4 на выходе первого импульсного преобразователя 5 формируется импульс, который дифференцируется первой дифференцирующей цепью 11 и выпрямляется диодом 10. В итоге образуется положительный импульс, который подаётся на базу первого транзистора триггера. Этот транзистор открывается, второй закрывается, а на его коллекторе появляется положительное напряжение, равное напряжению питания.

Известно, что при нагружении упругих валов они закручиваются пропорционально приложенному моменту. Поэтому второй диск 38 с выступами и прорезями закручивается относительно первого диска 4, и на выходе второго импульсного преобразователя 39 образуется второй импульс, имеющий фазовое смещение относительно первого импульса, сформированного преобразователем 5.

Параллельно с выхода первого интегрирующего элемента напряжение подается и на дифференцирующий элемент 34, на выходе которого появляется напряжение, изменяющееся по синусоидальному закону и отражающее переменную составляющую момента на валу диагностируемого двигателя. Амплитуда и частота этой составляющей измеряются подключенным к выходу дифференцирующего элемента 34 запоминающим цифровым осциллографом 41.

Далее обычным весовым методом измеряют часовой расход топлива и сравнивают его с нормативным, т.е. соответствующим исправному двигателю. И если он превышает нормативный, то это означает, что диагностируемый двигатель имеет неисправности.

Результаты испытаний на стенде приведены на рисунке 3.6. Они показывают, что такие информационные параметры диагностируемого двигателя, как изменение во времени расхода G_T топлива и частоты вращения коленчатого вала дизеля, подчиняются тому же синусоидальному закону, что и момент M_m на валу двигателя. На основании этого можно сделать вывод: дизель в процессе диагностирования работал при синусоидальной нагрузке и часовой расход топлива определялся более точно, чем при постоянном нагружении.

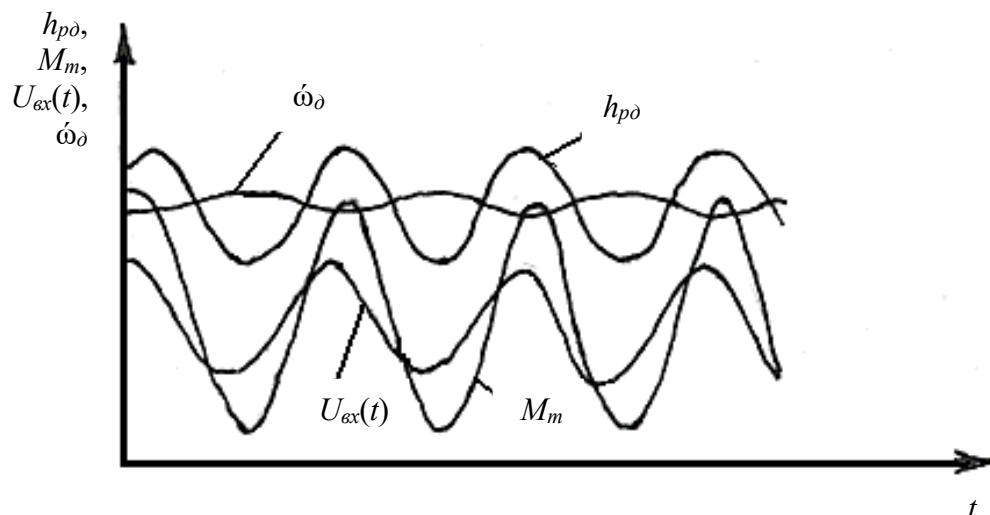


Рисунок 3.6 – Осциллограмма синусоидальных колебаний напряжения $U_{ax}(t)$, момента M_m , перемещения рейки изменения подачи топлива $h_{p\partial}$ и частоты вращения ω_{∂} вала диагностируемого двигателя

3.1.3 Стенд для диагностирования ДВС с переменным случайным нагружением. Стенд предназначен для повышения качества испытания двигателей внутреннего сгорания путем воспроизведения различных эксплуатационных режимов и обеспечения оперативного управления процессом испытания. Достигается это путем создания необходимого момента сопротивления, имитирующего постоянную составляющую нагрузки, а также воспроизведения и добавления к ней случайной составляющей нагрузки.

На рисунке 3.7 показана общая схема такого стенда. Стенд содержит ДВС 1, соединенный с нагрузочным устройством 2, состоящим из электротормоза 3, жидкостного реостата 4, снабженного электродами 5.

Вал 6 электродов 5 соединен с одной стороны с первым программным устройством 7, а с другой – с исполнительным элементом 8 нагрузки, выполненным в виде электродвигателя 9, обмотка 10 управления которого подключена к схеме управления, состоящей из последовательно соединенных источника 11 и формирователя 12 случайных сигналов, системы 13 для их воспроизведения и преобразователя 14, выполненного в виде дифференцирующей цепи, входом подключенного к выходу формирователя 12 случайных сигналов, а выходом соединенного с обмоткой 10 управления электродвигателя 9. Источник 11 случайных сигналов содержит трансформатор 15, выпрямитель 16 и сглаживающий фильтр 17. Формирователь 12 случайных сигналов выполнен в виде

последовательно соединенных элемента 18 выделения случайной составляющей и формирователя 19, состоящего из усилителей 20 и 21.

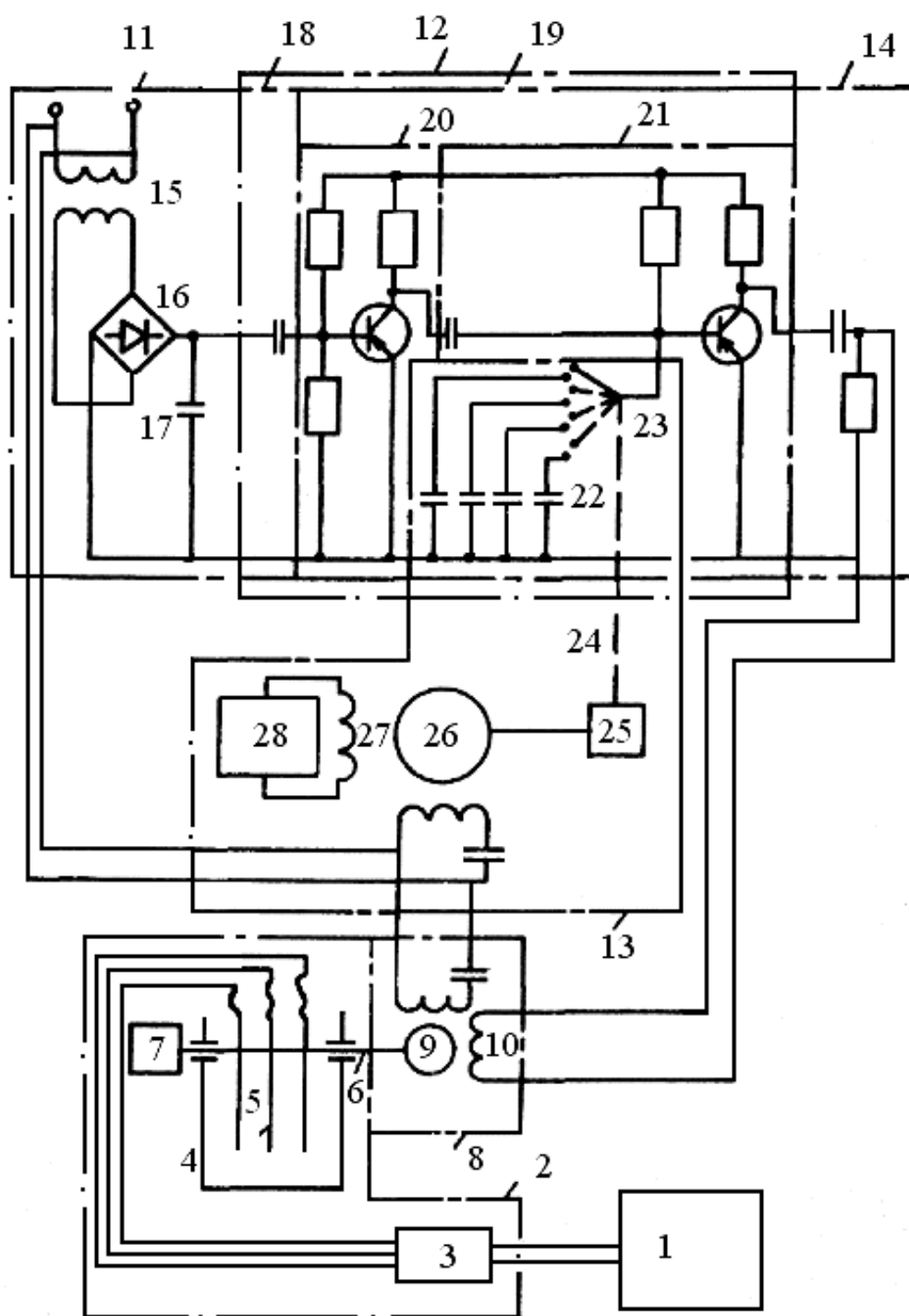


Рисунок 3.7 – Стенд с переменным случайным нагружением

Система 13 для воспроизведения случайных процессов, характеризующихся корреляционной функцией экспоненциально-косинусного типа с различными коэффициентами корреляционной

функции, соответствующими реальным эксплуатационным значениям, состоит из блока 22 конденсаторов различной емкости и переключателя 23, причем общим выводом переключатель 23 соединен с базой транзистора второго усилителя 21 формирователя 19, а другим выводом – с первыми выводами каждого конденсатора блока 22, вторые выводы которых соединены с нулевой шиной формирователя 12, а ось переключателя 23 соединена посредством привода 24 и редуктора 25 с валом электродвигателя 26, обмотка 27 управления которого подключена ко второму программному устройству 28.

Стенд работает следующим образом. При испытании двигателя 1 внутреннего сгорания путем изменения сопротивления жидкостного реостата 4 программным устройством 7 задается необходимый изменяющийся по заданному закону момент сопротивления на валу двигателя 1, имитируя тем самым постоянную составляющую уровня нагрузки.

Воспроизведение на стенде случайной составляющей момента сопротивления, соответствующей различным эксплуатационным режимам работы двигателя внутреннего сгорания, производится программным устройством 28, определяющим необходимый режим вращения вала электродвигателя 26, который посредством редуктора 25 и привода 24 поворачивает ось переключателя 23, тем самым подключая на базу транзистора второго усилителя 21 формирователя 19 конденсаторы различной емкости блока 22, изменяя передаточную функцию формирователя 19. Вследствие этого для каждого определенного значения емкости конденсаторов на входе второго транзистора формирователя 19 на его выходе из одной и той же случайной составляющей, выделенной элементом 18, формируются случайные процессы, характеризующиеся корреляционной функцией экспоненциально-косинусного типа с различными коэффициентами корреляционной функции, соответствующими разным эксплуатационным режимам двигателя внутреннего сгорания. При этом количеству конденсаторов различной емкости, установленных в блоке 22 и поочередно подключаемых на вход второго транзистора формирователя 19, соответствует количество воспроизводимых на стенде режимов испытаний двигателей.

3.1.4 Стенд для диагностирования дизельного двигателя по частотной характеристике. 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 3.8. Он 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.

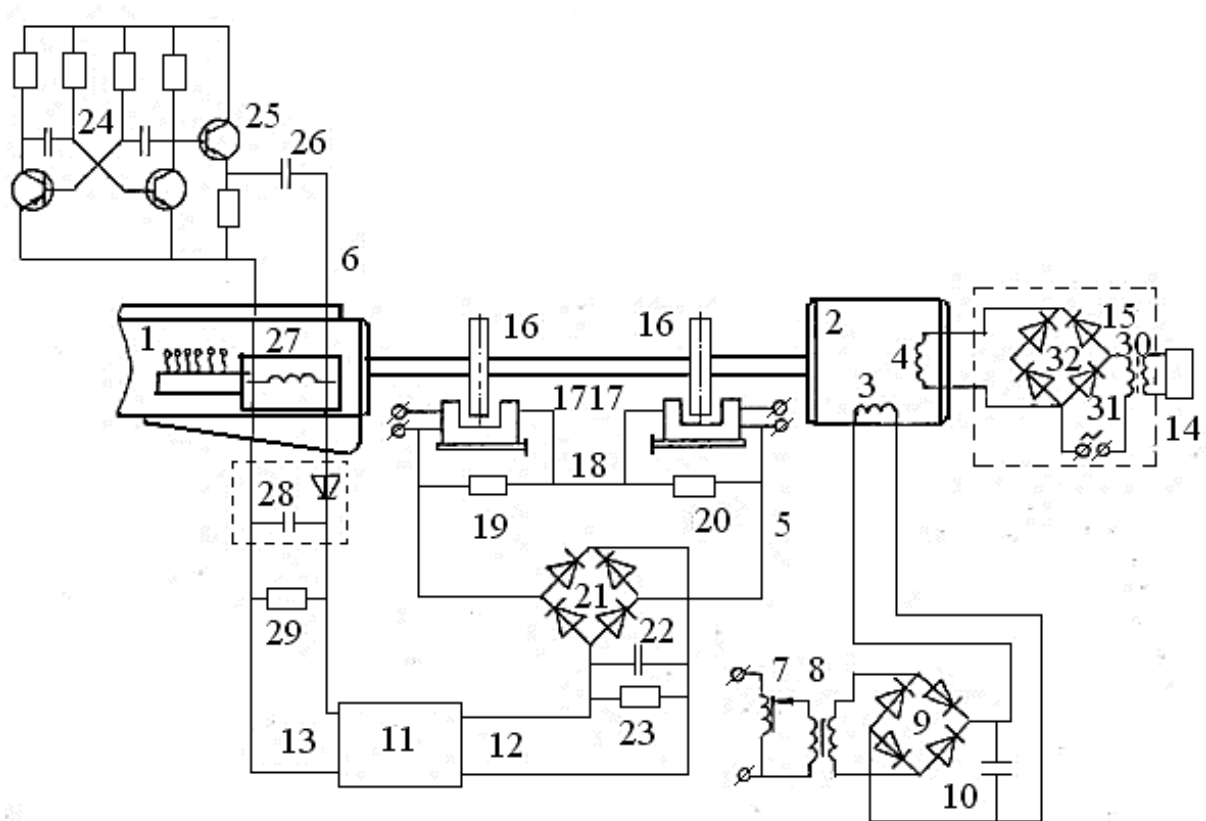


Рисунок 3.8 – Схема стенда

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.

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 3.9, 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 3.9, б изображено это напряжение). Вследствие этого на валу дизельного двигателя появляется момент, который имеет как постоянную, так и переменную составляющую (рисунок 3.9, 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 3.18, 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.

Под действием момента, воспроизведенного на валу диагностируемого двигателя, рейка топливного насоса претерпевает перемещение по закону (рисунок 3.18, г)

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

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.

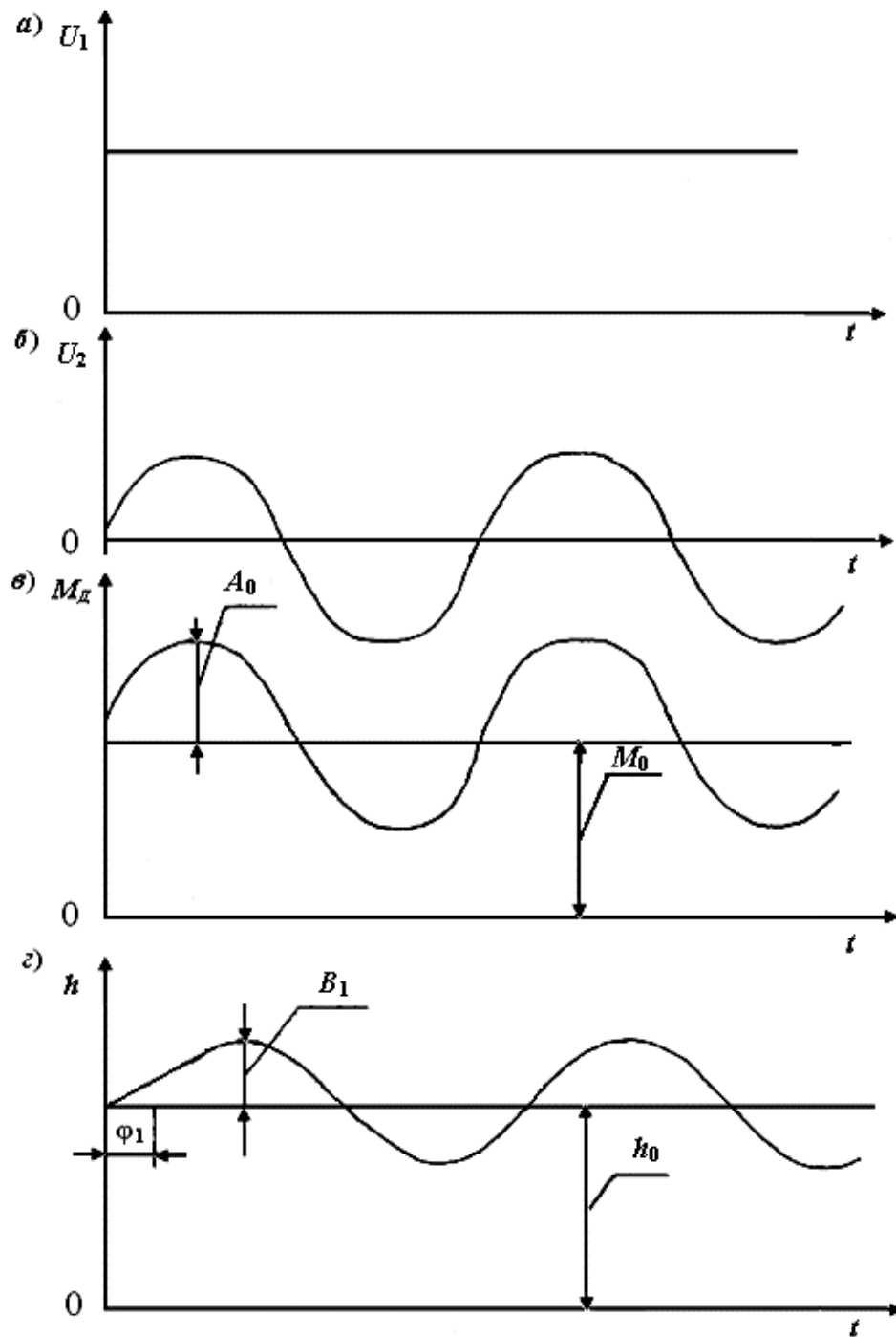


Рисунок 3.9 – Сигналы, регистрируемые на стенде

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

Затем оператором 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 и 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 3.10 (кривая 2), частота ω_p называется резонансной.

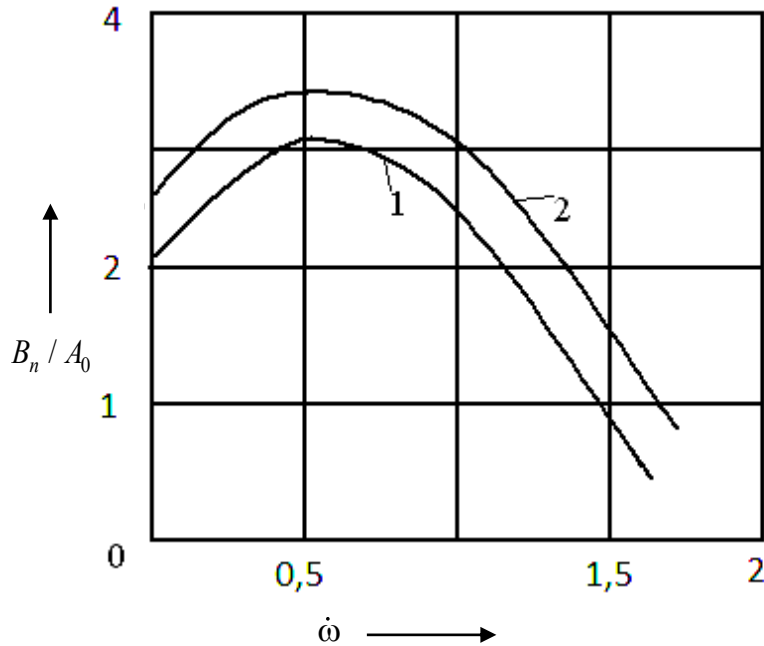


Рисунок 3.10 – Амплитудно-частотные характеристики дизельного двигателя

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 3.10 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 3.10 (кривая 2 – для дизельного двигателя при наличии в нем неисправности).

3.1.5 Стенд для диагностирования дизельных двигателей по статистической характеристике. 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 находят по формуле, в которую входят такие статистические характеристики, как среднее значение момента m_M и среднеквадратическое отклонение момента σ_M :

$$P(M_0) = \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(M_0 - m_M)^2}{2\sigma_M^2}} . \quad (3.7)$$

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

$$M(t) = m_M = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T M(t) dt . \quad (3.8)$$

При увеличении длины интервала $T \rightarrow \infty$ получают формулу для определения среднего по времени момента на бесконечном интервале:

$$m_M = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T M(t) dt. \quad (3.9)$$

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

$$D[M(t)] = M[M(t) - m_M]^2. \quad (3.10)$$

Дисперсия случайного момента имеет размерность ньютон в квадрате-квадратный метр. Для характеристики рассеивания более удобно использовать величину, размерность которой совпадает с размерностью момента. Для этого из дисперсии извлекают квадратный корень. Полученная величина называется среднеквадратическим отклонением момента σ_M :

$$\sigma_M = \sqrt{D[M(t)]}. \quad (3.11)$$

На рисунке 3.11, а приведена осциллограмма момента на валу дизельного двигателя. Этот момент может быть охарактеризован средним значением момента (рисунок 3.11, б) и среднеквадратическим отклонением момента (рисунок 3.11, в).

Таким образом, в любой момент времени в первом приближении нагрузочный режим ДВС может быть охарактеризован средним моментом на его валу и среднеквадратическим отклонением момента. Поэтому при диагностировании двигателя (коробок передач) необходимо воспроизведение на стенде случайного нагружения с заданным нагрузочным режимом, т.е. с определенными значениями среднего момента на его валу и среднеквадратического отклонения.

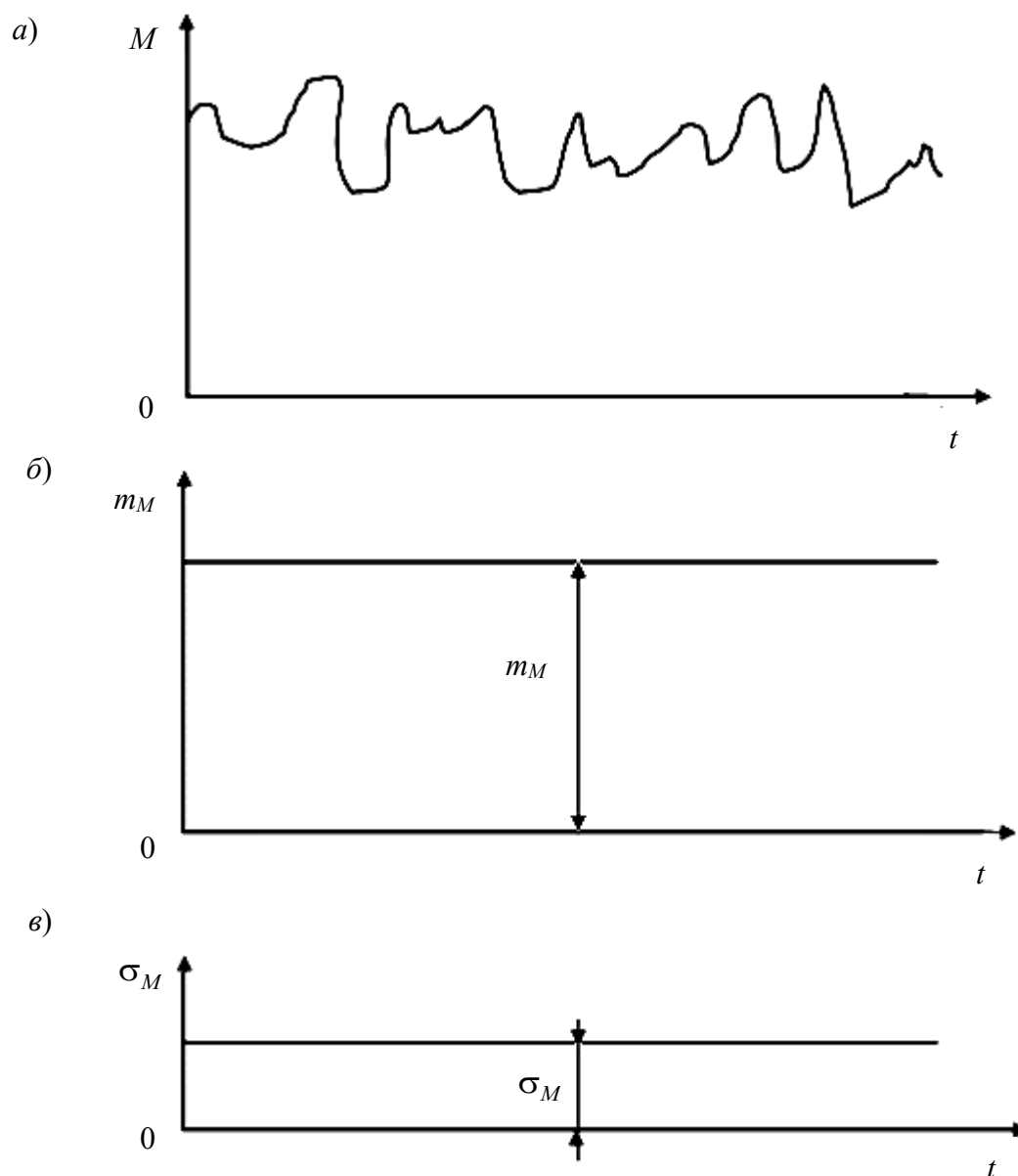


Рисунок 3.11 – Осциллограммы момента на валу двигателя и его статистических характеристик

Более точно нагрузочные режимы ДВС могут быть охарактеризованы корреляционной функцией, которая отражает связь между значениями момента на валу двигателя в различные моменты времени.

Для повышения точности диагностирования дизельных двигателей (механических коробок передач) на стендах должно быть обеспечено воспроизведение момента на валах этих агрегатов с различными корреляционными функциями и средними значениями. При воспроизведении момента на стенде в процессе диагностирования из-за влияния внешних факторов, например температуры окружающей среды,

температуры агрегатов, нагрева масла, статистические характеристики изменяются. Поэтому эти заданные статистические характеристики воспроизводимого момента на валу двигателя необходимо поддерживать автоматически, т. е. на стендах для диагностирования агрегатов следует устанавливать системы автоматического регулирования.

Рассматриваемая система, применяемая, например, для поддержания в процессе эксплуатации среднего значения момента, его среднеквадратического отклонения, имеет следующие элементы измерения, сравнения и преобразования информации: датчик момента, элемент сравнения, блоки, определяющие уровень момента, его среднее значение, его среднеквадратическое отклонение. Кроме того, такая система должна иметь исполнительные регулирующие элементы: микроэлектродвигатели с источниками питания, электромагниты, соленоиды и др.

К системе автоматического регулирования статистических характеристик воспроизводимого на валу двигателя момента при проектировании предъявляется много требований. Наиболее важные из них – требование к надежности, простоте конструкции, малой стоимости, достаточной точности поддержания заданных статистических характеристик момента. Кроме того, спроектированная система должна быть устойчивой, иметь малую величину перерегулирования, в ней должны отсутствовать колебательные процессы.

Отличием проектируемых систем автоматического регулирования статистических характеристик от подобных систем, применяемых в других областях техники, является наличие в них элементов преобразования сигналов (информации). Так, для того чтобы поддерживать среднее значение воспроизводимого момента на валу двигателя, необходимо получить это среднее значение, т. е. иметь электрический сигнал, пропорциональный этому среднему значению момента. Очевидно, что такими элементами могут быть блоки интегрирования или фильтрации электрических сигналов. Для получения же сигнала о величине среднеквадратического отклонения следует ввести в систему автоматики и специально разработать более сложные, чем в первом случае, преобразователи сигналов. Проектирование устройства воспроизведения случайных нагрузок на валах диагностического стенда произведем применительно к стенду (рисунок 3.12).

Такой стенд содержит 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.

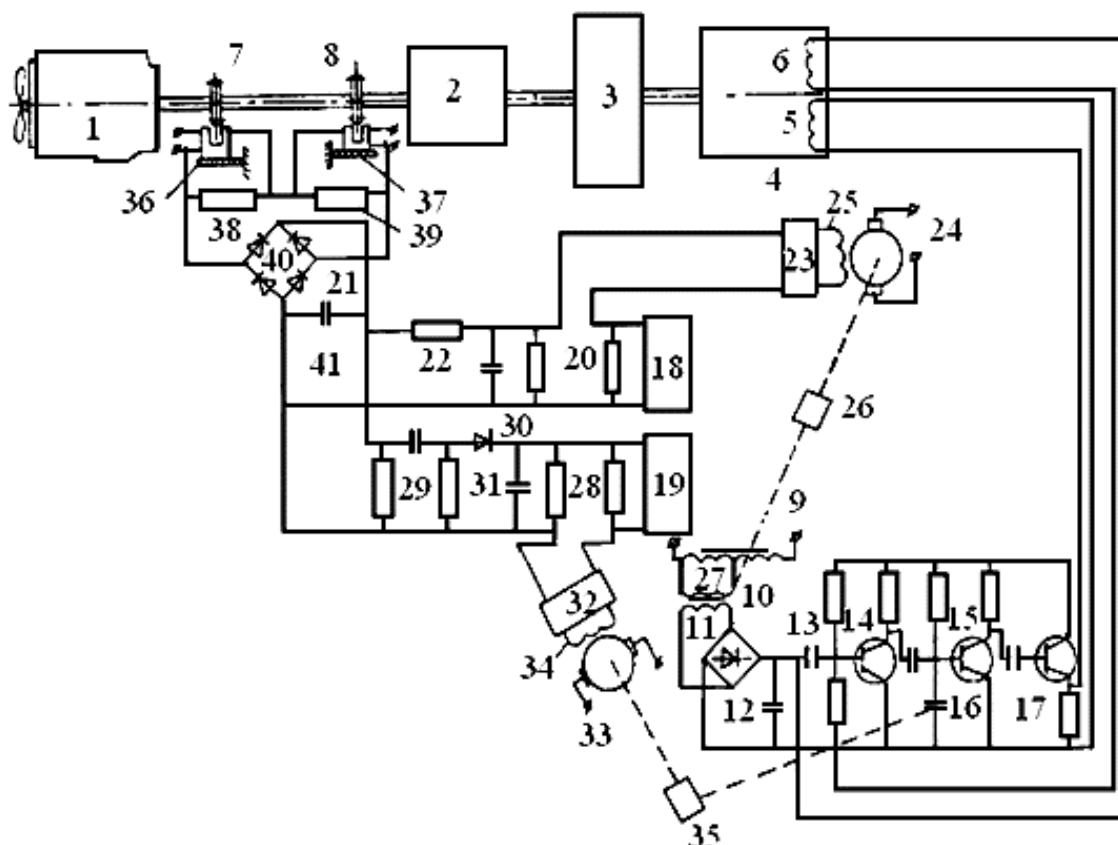


Рисунок 3.12 – Стенд с воспроизведением случайных нагрузок

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, увеличение сигнала. Так как его выходное сопротивление 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

установлен эмиттерный повторитель с высоким входным и малым выходным сопротивлениями. 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 и 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 3.13, а.

При этом, если полученная постоянная составляющая равна, например, 12 В, то переменная составляющая имеет незначительную величину, равную 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 от нее 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 от 10 до 30 мВ.

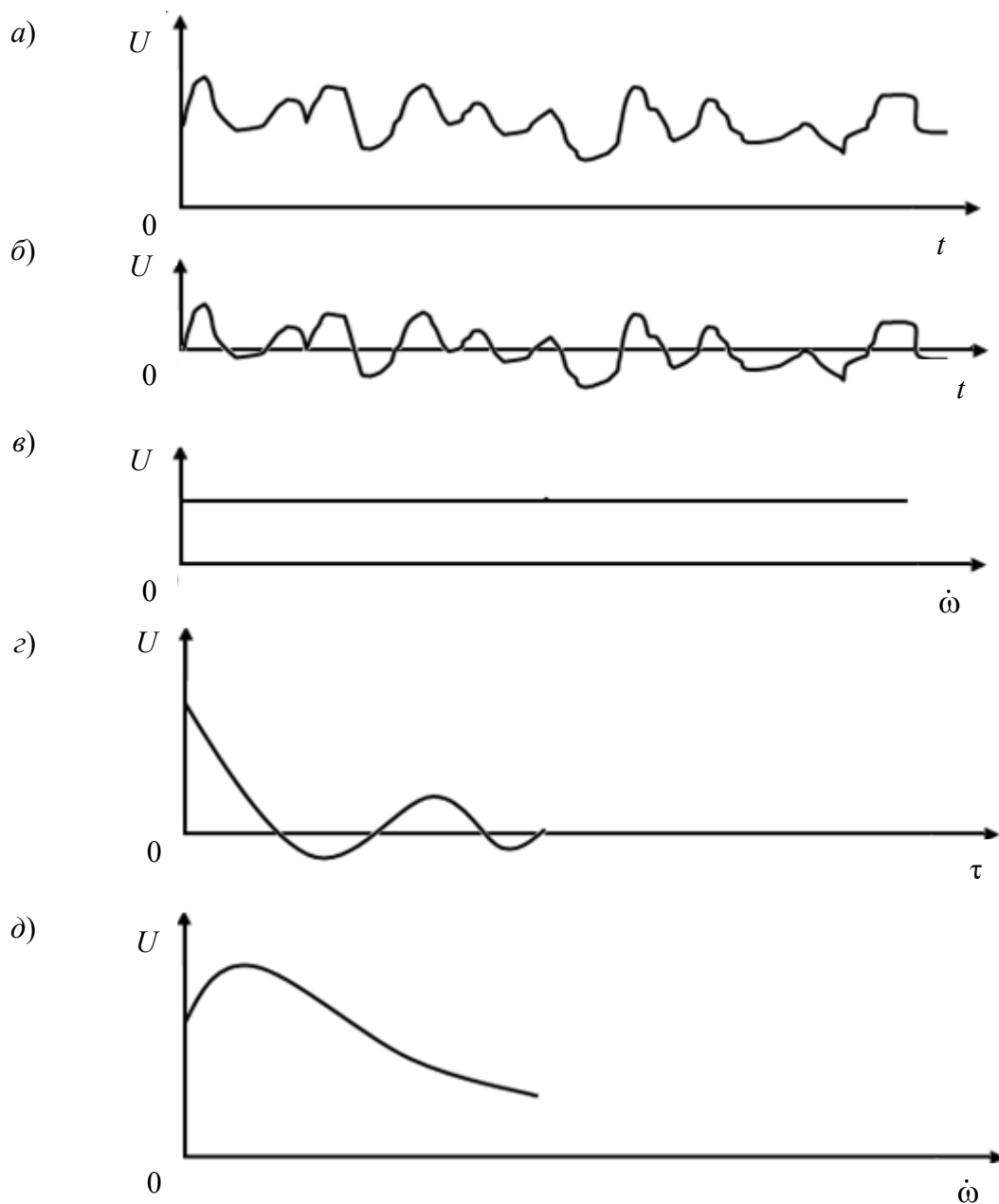


Рисунок 3.13 – Осциллограммы сигналов и статистические характеристики воспроизводимого момента на валу двигателя

График изменения выделенной на резисторе посредством конденсатора 13 случайной составляющей этого напряжения представлен на рисунке 3.13, б.

Основные положения, по которым проектировался данный стенд, следующие. Сначала определяется передаточная функция каждого входящего в динамическую систему стенда элемента. Так, например, электрический тормоз с точки зрения его динамических свойств определяется передаточной функцией $W_T(p) = \frac{K_T}{T_{TP} + 1}$, маховик –

передаточной функцией $W_M(p) = \frac{K_M}{T_{MP} + 1}$, датчик момента – $W_D(p) = K_D$.

На основании этого строится структурная схема данного стенда вместе с его системой управления, посредством которой обеспечивается воспроизведение момента на валах двигателя и коробки передач с заданной корреляционной функцией $K_M(\tau)$.

Корреляционная функция является статистической характеристикой момента, который необходимо воспроизвести на стенде. Она определяется характером эксплуатационного режима работы двигателя, при котором необходимо произвести диагностирование данного двигателя. С помощью корреляционной функции учитывается связь между двумя значениями воспроизводимого момента $M(t_1)$ и $M(t_2)$ в моменты времени t_1 и t_2 . Эта взаимосвязь оценивается средним значением произведения $M(t_1)$ и $M(t_2)$, при этом эти значения разделены промежутком времени, равным τ . Поэтому формула для исчисления корреляционной функции момента имеет вид:

$$K_M(\tau) = M[M(t)M(t+\tau)], \quad (3.12)$$

где τ – аргумент корреляционной функции, $\tau = t_2 - t_1$.

Имея структурную схему стенда для диагностирования двигателей внутреннего сгорания, которая представляет собой совокупность прямоугольников с записанными на них передаточными функциями двигателя внутреннего сгорания, коробки передач, электрического тормоза, системы воспроизведения переменных случайных нагрузок, связанных между собой прямыми линиями со стрелками на одном из концов этих линий, выбирают параметры системы управления воспроизведением случайных нагрузок. Затем определяются качественные

показатели систем автоматического поддержания заданных уровней статистических характеристик воспроизводимого случайного момента на валу двигателя внутреннего сгорания. Спектральная плотность выделенной на входе усилителя 14 случайной составляющей изображена на рисунке 3.13, в.

Момент на валу двигателя стенда, изменяющийся случайным образом, воспроизводится с корреляционной функцией, изображенной на рисунке 3.13, г. Соответствующая спектральная плотность воспроизведенного момента на валу двигателя на стенде изображена на рисунке 3.13, д.

3.1.6 Диагностирование дизельного двигателя на стенде по переходной характеристике его частоты вращения. Функциональный расчет стенда и измерителя частоты вращения состоит в выборе параметров электрического тормоза, принимаемого в качестве нагружающего устройства, параметров упругого вала и параметров измерительных устройств [12].

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 3.14, а. 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.

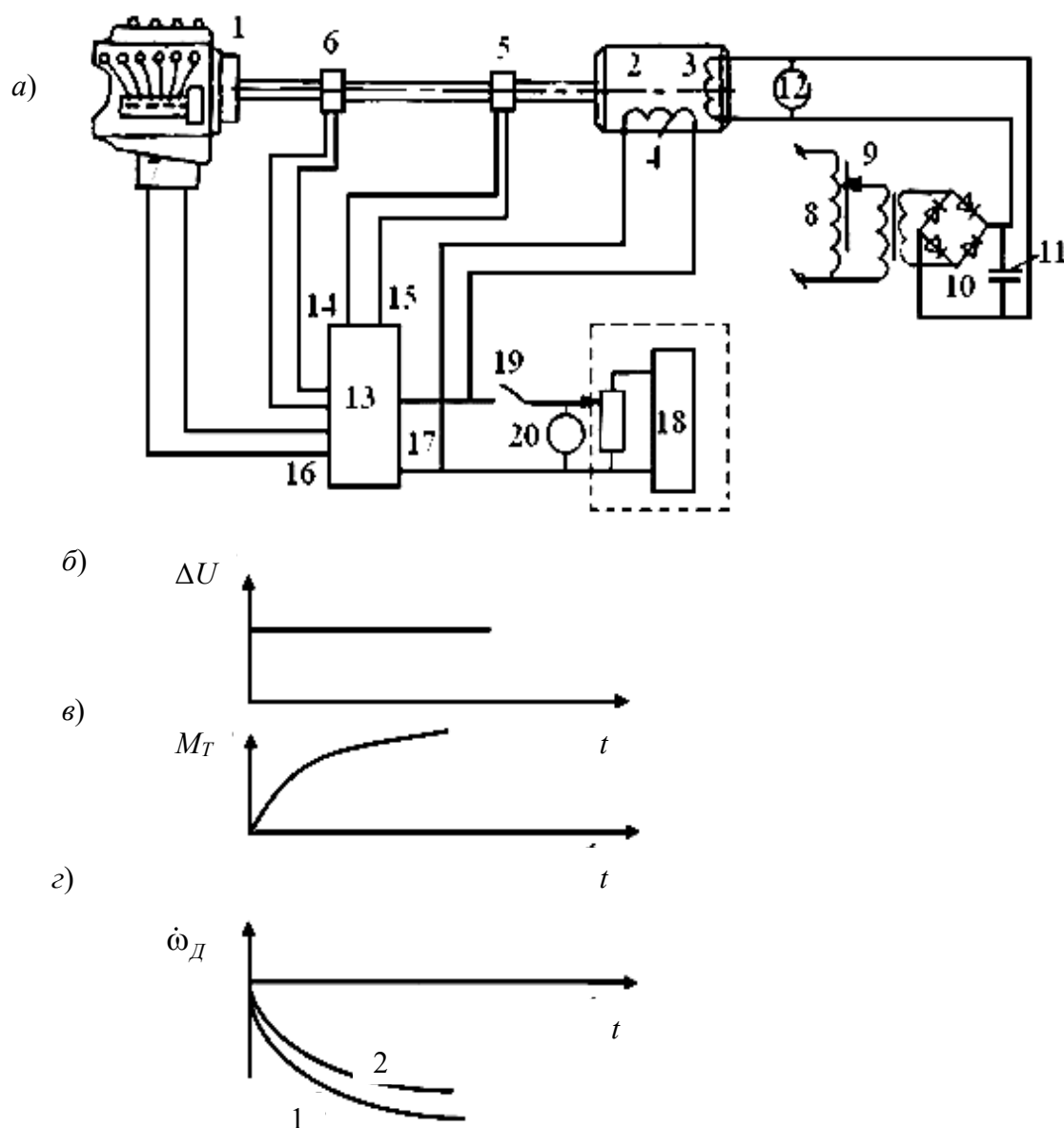


Рисунок 3.14 – Схема стенда и его характеристики

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

возбуждения тормоза и параллельно к регулируемому источнику постоянного тока.

На выходе источника 18 постоянного тока с регулятором установлен 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

$$U = M_T / \kappa_T , \quad (3.13)$$

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

κ_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 3.15, а–д приведены осциллограммы сигналов, записанных с помощью устройства 13. Они поступают на это устройство с обмотки возбуждения, выходов датчика частоты вращения, датчика момента.

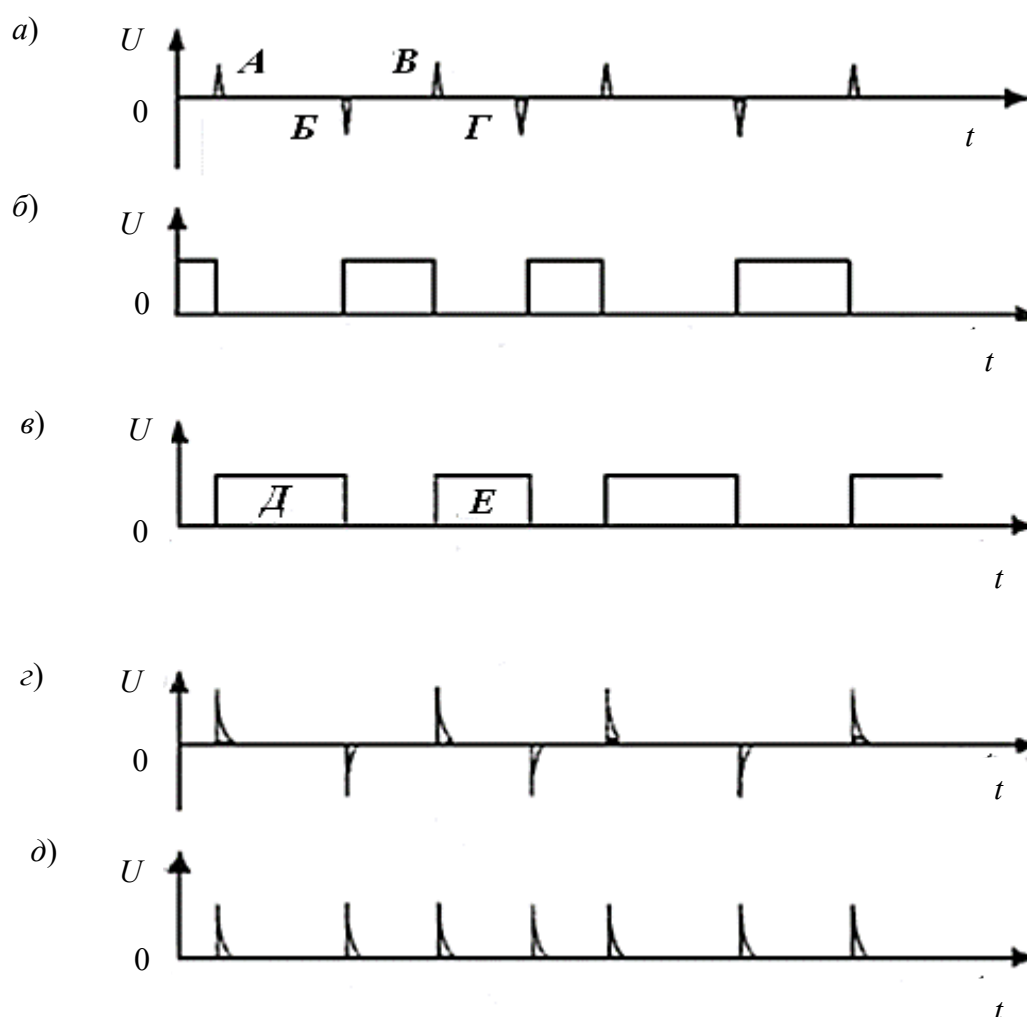


Рисунок 3.15 – Осциллограммы сигналов в электрических цепях преобразователя частоты вращения

Ступенчатое напряжение, подаваемое в обмотку 4 тормоза, приведено на рисунке 3.15, б. Момент на валу тормоза изменяется по экспоненциальной кривой (см. рисунок 3.15, в), частота вращения

двигателя – в соответствии с кривыми 1 и 2 рисунка 3.15, *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 3.15, *г*. Эти сигналы подаются на соответствующие входы регистрирующего устройства, в качестве которого принимается светолучевой осциллограф типа К 12-22.

Разработанный преобразователь (рисунок 3.16) 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, катушка индуктивности 6 с магнитным сердечником, жестко закрепленная 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 3.17, *а* представлена осциллограмма остrokонечных импульсов, пригодных для запуска триггера 7. В исходном положении триггера считается, что первый транзистор 8 закрыт, а второй 9 открыт. При поступлении на базу 14 транзистора 8 положительного остrokонечного импульса *А* в момент времени t_1 (см. рисунок 3.17, *а*) транзистор 8 открывается, а транзистор 9 закрывается (рисунок 3.17, *б, в*). При последующем поступлении в момент времени t_2 отрицательного остrokонечного импульса *Б* (см. рисунок 3.17, *а*) на базу 14 транзистора 8 этот транзистор закрывается, а транзистор 9

открывается. В результате этого на выходе триггера 7 формируется прямоугольный импульс D (см. рисунок 3.15, в).

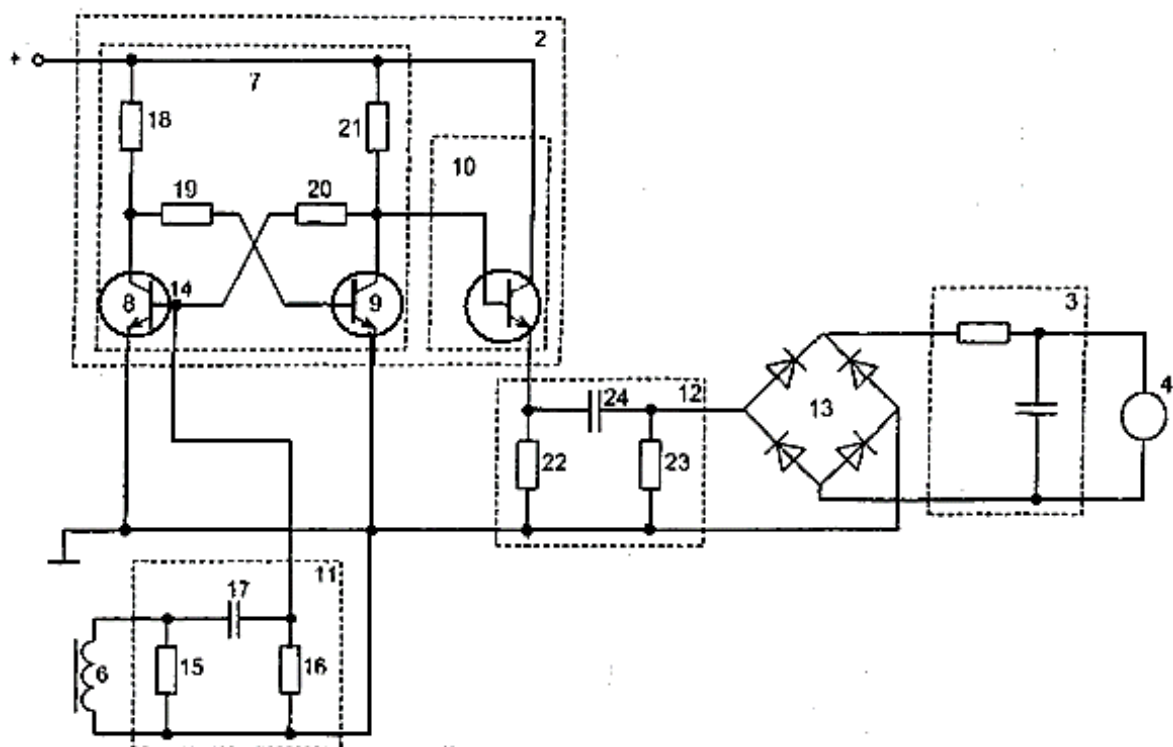


Рисунок 3.16 – Схема преобразователя частоты вращения

При поступлении от первой дифференцирующей цепи 11 остроконечных импульсов В и Г (см. рисунок 3.15, а) на базу 14 транзистора 8 происходит формирование прямоугольного импульса Е (см. рисунок 3.15, 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.

3.2 Стенд для диагностирования сцепления

Стенд (рисунок 3.17) или транспортное средство содержит первый датчик 1 частоты вращения, установленный вблизи зубьев маховика 2 двигателя 3, первый преобразователь 4 сигналов, соединенный с выходом первого датчика 1 частоты вращения, второй датчик 5 частоты вращения, установленный вблизи зубьев зубчатого колеса 6 с постоянным зацеплением коробки передач 7, второй преобразователь 8 сигналов, соединенный с входом второго датчика 5 частоты вращения, при этом каждый из датчиков частоты вращения выполнен в виде катушек 9 индуктивности с магнитным сердечником 10, каждый из преобразователей 4, 8 сигналов выполнен в виде логического элемента И-НЕ 11, два входа которого соединены параллельно с выходом соответствующего датчика частоты вращения, первого резистора 12, соединенного с выходом логического элемента И-НЕ 11, дифференцирующей цепи 13, выполненной на втором 14 и третьем 15 резисторах и первом конденсаторе 16 и соединенной посредством первого импульсного диода 17 с первым резистором 12, интегрирующей цепи 18, выполненной на четвертом резисторе 19, втором конденсаторе 20 и соединенной с выходом дифференцирующей цепи 13 вторым импульсным диодом 21; делитель 22 напряжения, выполненный на двух последовательно соединенных резисторах 23, 24 с коэффициентом деления по напряжению, равным отношению числа зубьев маховика 2 к числу зубьев зубчатого колеса 6 с постоянным зацеплением коробки передач 7, вход которого соединен с выходом первого преобразователя 4 сигналов, первый фильтр 25, соединенный с выходом делителя 22 напряжения, второй фильтр 26, соединенный с выходом второго преобразователя 8 сигналов, первый вычитающий операционный усилитель 27 с инвертирующим и неинвертирующим входами, первый повторитель 28 напряжения, вход которого соединен с выходом первого вычитающего операционного усилителя 27, при этом неинвертирующий вход первого вычитающего операционного усилителя 27 соединен с выходом первого фильтра 25, инвертирующий вход – с выходом второго фильтра 26, третий преобразователь 29 сигналов, входом соединенный с выходом делителя 22 напряжения параллельно первому фильтру 25, четвертый преобразователь 30 сигналов, входом соединенный с выходом второго преобразователя 8 сигналов параллельно второму фильтру 26, второй вычитающий операционный усилитель 31 с инвертирующим и неинвертирующим входами, второй повторитель 32 напряжения, вход которого соединен с

выходом второго вычитающего операционного усилителя 31, при этом неинвертирующий вход второго вычитающего операционного усилителя 31 соединен с выходом четвертого преобразователя 30 сигналов, а инвертирующий вход второго вычитающего операционного усилителя 31 – с выходом третьего преобразователя 29 сигналов; первый измерительный прибор 33, соединенный с выходом первого повторителя 28, второй измерительный прибор 34, соединенный с выходом второго повторителя 32 напряжения, при этом шкала каждого измерительного прибора 33, 34 содержит отметки предельных значений измеряемых величин.

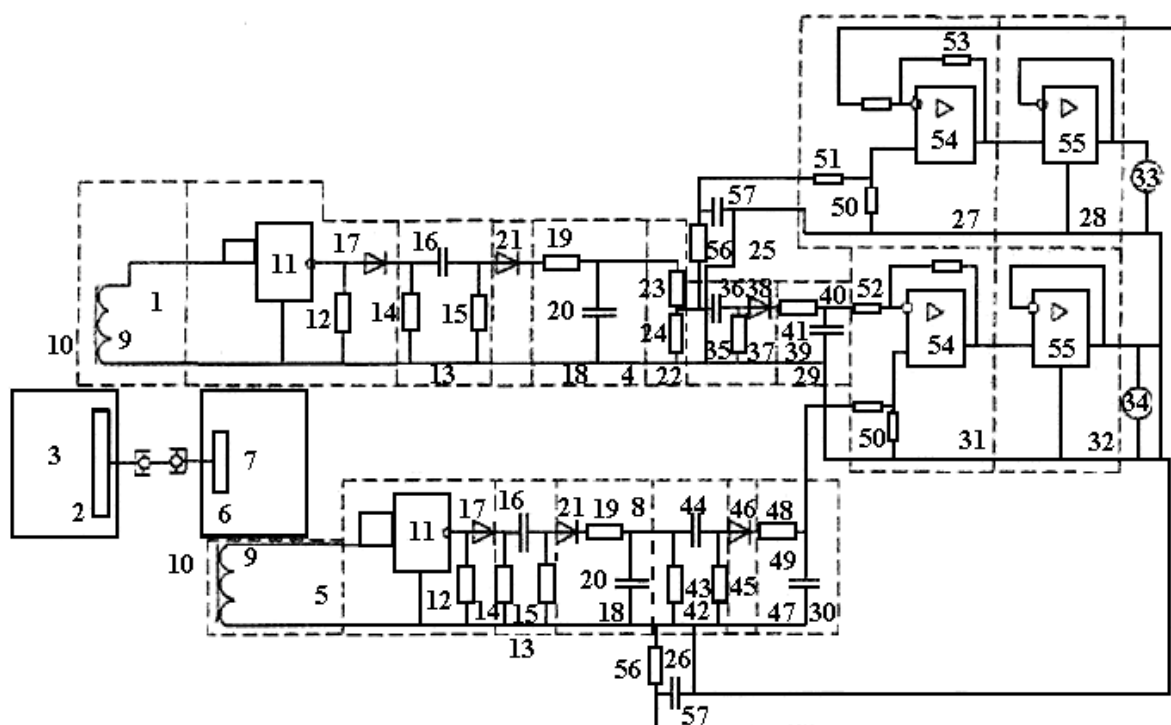


Рисунок 3.17 – Стенд для диагностирования сцепления

Третий преобразователь сигналов 29 содержит последовательно соединенные дифференцирующую цепь 35, состоящую из конденсатора 36 и резистора 37, диода 38, интегрирующей цепи 39, состоящей из резистора 40 и конденсатора 41. Четвертый преобразователь сигналов 30 содержит последовательно соединенные дифференцирующую цепь 42, состоящую из резистора 43, конденсатора 44, резистора 45, диод 46, интегрирующую цепь 47, состоящую из резистора 48 и конденсатора 49. Каждый из вычитающих операционных усилителей 27, 31 содержит четыре резистора 50, 51, 52, 53 и операционный усилитель 54. Каждый из повторителей напряжения 28, 32 выполнен на операционном усилителе 55, каждый из фильтров 25, 26 – на резисторе 56 и конденсаторе 57.

В процессе эксплуатации транспортное средство находится под воздействием случайных нагрузок, поэтому частота вращения маховика и частота вращения зубчатого колеса изменяются случайным образом, что изображено на рисунке 3.18. Поэтому эти частоты вращения могут быть описаны статистическими характеристиками, т. е. своими средними значениями частоты вращения и среднеквадратическими отклонениями частоты вращения. При отсутствии неисправностей как средние значения (рисунок 3.19) частот вращения маховика 2 и зубчатого колеса 6, так и среднеквадратические отклонения (рисунок 3.20) частот вращения маховика 2 и зубчатого колеса 6 совпадают.

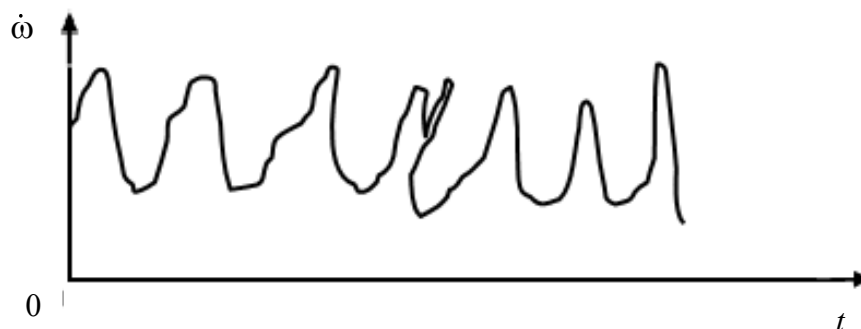


Рисунок 3.18 – График частоты вращения вала

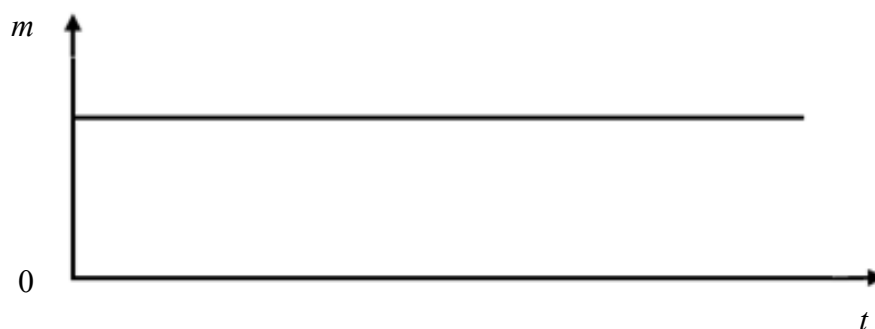


Рисунок 3.19 – Среднее значение частоты вращения

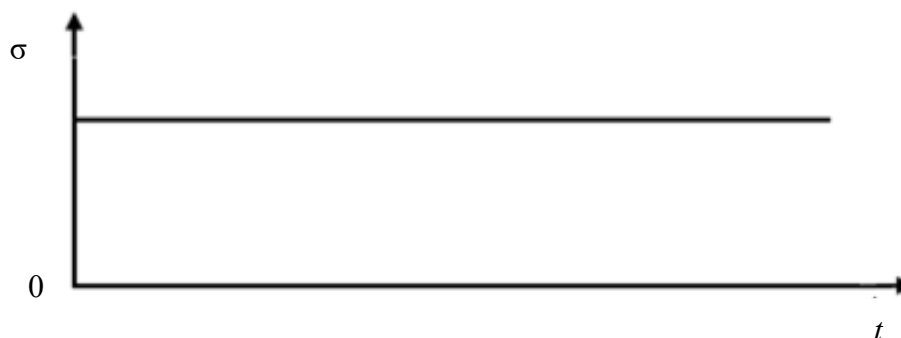


Рисунок 3.20 – Среднеквадратическое отклонение частоты вращения

При наличии неисправностей в сцеплении среднее значение частоты вращения зубчатого колеса 6 снижается относительно среднего значения частоты вращения маховика 2, а среднеквадратическое отклонение частоты вращения зубчатого колеса 6, наоборот, увеличивается относительно среднеквадратического отклонения частоты вращения маховика 2. Происходит это из-за многих причин, вызывающих неисправности, например, из-за отсутствия или малой величины свободного хода педали, замасливания и износа дисков, усадки нажимных пружин и др. В результате происходит проскальзывание дисков, что вызывает изменение статистических характеристик частоты вращения зубчатого колеса относительно таких же статистических характеристик частоты вращения маховика.

Случайно изменяющиеся в процессе эксплуатации транспортного средства частоты вращения маховика и зубчатого колеса измеряются датчиком 1 частоты вращения маховика и датчиком 5 частоты вращения зубчатого колеса, преобразуются преобразователями 4 и 8, на выходе которых появляются напряжения, случайным образом изменяющиеся в соответствии с изменением частот вращения маховика и зубчатого колеса.

При работе транспортного средства и включении устройства на выходе датчика 1 частоты вращения маховика 2 и на выходе датчика 5 частоты вращения зубчатого колеса 6 с постоянным зацеплением коробки передач 7 появляется напряжение, которое подается одновременно на два входа каждого из логических элементов И-НЕ 11. При этом на первом резисторе 12 возникает разнополярная последовательность прямоугольных импульсов напряжения. Эти импульсы после прохождения диода 17 дифференцируются цепью 13, на выходе которой появляются разнополярные экспоненциальные импульсы одинаковой площади. После прохождения диода 21 экспоненциальные импульсы положительной полярности интегрируются цепью 18, а на конденсаторе 20 формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения маховика 2 и зубчатого колеса 6 соответственно. При этом при отсутствии неисправностей в сцеплении величина напряжения на выходе первого преобразователя 4 сигналов в любой момент времени больше величины напряжения на выходе второго преобразователя 8 сигналов во столько раз, во сколько число зубьев маховика больше числа зубьев зубчатого колеса. Для выравнивания этих напряжений выход первого преобразователя 4 сигналов соединен с делителем напряжения с коэффициентом деления,

равным отношению числа зубьев маховика к числу зубьев зубчатого колеса.

С выхода делителя 22 напряжение поступает на первый фильтр 25, на выходе которого появляется напряжение, пропорциональное среднему значению частоты вращения маховика. С выхода второго преобразователя 8 сигналов напряжение подается на второй фильтр 26, на выходе которого появляется напряжение, пропорциональное среднему значению частоты вращения зубчатого колеса, с выхода первого фильтра 25 напряжение поступает на неинвертирующий вход первого вычитающего операционного усилителя 27, на инвертирующий вход которого поступает напряжение с выхода второго 26 фильтра.

При отсутствии неисправностей на выходе усилителя 27 напряжение равно нулю, т. к. напряжения, подаваемые на входы усилителя 27, равны между собой, показания измерительного прибора 33 равны нулю. При наличии неисправностей любой величины напряжение с выхода второго фильтра 26 снижается из-за появления буксования. На выходе усилителя 27 появляется напряжение, пропорциональное разности напряжений, подаваемых на входы усилителя 27. Это напряжение подается посредством повторителя 28 на измерительный прибор 33, при этом показания прибора 33 свидетельствуют о неисправностях по разности средних значений частот вращения маховика и зубчатого колеса.

Одновременно напряжение с выхода делителя 22 подается на третий преобразователь 29, в котором дифференцирующей цепью 35 выделяется случайная переменная составляющая подаваемого напряжения, выпрямляется диодом 38, интегрируется цепью 39. На выходе цепи 39 появляется напряжение, пропорциональное среднеквадратическому отклонению частоты вращения маховика. С выхода второго преобразователя 8 сигналов напряжение подается на четвертый преобразователь 30 сигналов, в котором дифференцирующей цепью 42 выделяется случайная составляющая подаваемого напряжения, выпрямляется диодом 46, интегрируется цепью 47. На выходе цепи 47 появляется напряжение, пропорциональное среднеквадратическому отклонению частоты вращения зубчатого колеса 6.

С выхода четвертого преобразователя 39 сигналов напряжение, пропорциональное среднеквадратическому отклонению частоты вращения зубчатого колеса 6, поступает на неинвертирующий вход второго вычитающего операционного усилителя 31, на инвертирующий вход которого поступает напряжение с выхода третьего преобразователя

29 сигналов, пропорциональное среднеквадратическому отклонению частоты вращения маховика.

При отсутствии неисправностей на выходе усилителя 31 напряжение равно нулю, т. к. напряжения, подаваемые на входы усилителя 31, равны между собой, показания измерительного прибора 34 равны нулю. При наличии неисправностей любой величины напряжение на выходе четвертого преобразователя 39 сигналов увеличивается из-за появления буксования или других причин, на выходе усилителя 31 появляется напряжение, пропорциональное разности напряжений, подаваемых на входы усилителя 31. Это напряжение подается посредством повторителя 32 на измерительный прибор 34, при этом показания прибора 34 свидетельствуют о неисправностях по разности среднеквадратических отклонений частот вращения зубчатого колеса и маховика.

При наличии даже малых показаний хотя бы одного из измерительных приборов 33 или 34 принимается решение о наличии неисправностей в сцеплении эксплуатируемого транспортного средства.

3.3 Стенды для диагностирования коробок передач, раздаточных коробок и главных передач

3.3.1 Стенд для диагностирования по мощности. КПД трансмиссии и ее составляющих – эффективный и наиболее объективный показатель качества ее конструкции. Однако применяемые в настоящее время стенды для испытаний трансмиссии не позволяют оперативно измерять данный показатель: на стендах нет устройств для определения мощностей на валах трансмиссии. Поэтому измеряют только крутящие моменты и частоты вращения, а затем уже по ним вычисляют мощности, передаваемые этими валами.

Такая работа не только трудоемка, но и не дает точных результатов, поскольку погрешности измерения моментов и частот вращения обычно весьма значительны.

Разработано устройство измерения мощности, которым можно оборудовать стенды испытания трансмиссий. Общая схема стенда с таким устройством показана на рисунке 3.21. Схема включает кинематически соединенные с валами испытываемой трансмиссии 24 двигатель внутреннего сгорания 1, электрический тормоз 45 с обмоткой 46 возбуждения, установленные на ведомом валу датчик частоты вращения 26 и широтно-импульсный модулятор 43 момента, установленные на ведущем валу датчик 3 частоты вращения, широтно-

импульсный модулятор 22 момента, регулируемый источник 49 напряжения постоянного тока, магнитный усилитель 47 с обмоткой 48 управления (обмотка подключена к выходу источника 49 напряжения, магнитный усилитель 47 своим выходом – к обмотке 46 возбуждения электрического тормоза).

Стенд имеет канал 42 обработки информации, поступающей с ведомого вала, и канал 21 обработки информации, поступающей с ведущего вала. Каждый из каналов включает транзисторы 32 и 8, резистор нагрузки 29 и 6, сглаживающий фильтр 30 и 7, при этом коллекторные выходы транзисторов соединены с положительным выводом выхода соответствующего датчика частоты вращения, а эмиттер – с отрицательным выводом выхода соответствующего широтно-импульсного модулятора момента и с выводом резистора нагрузки. Базы 34 и 10 транзистора посредством резисторов 33 и 11 подключены к положительному выводу широтно-импульсного модулятора момента, выводы 25 и 2 резисторов нагрузки – к отрицательному выводу соответствующих датчиков частоты вращения. Сглаживающие фильтры соединены с выводами 9 и 33.

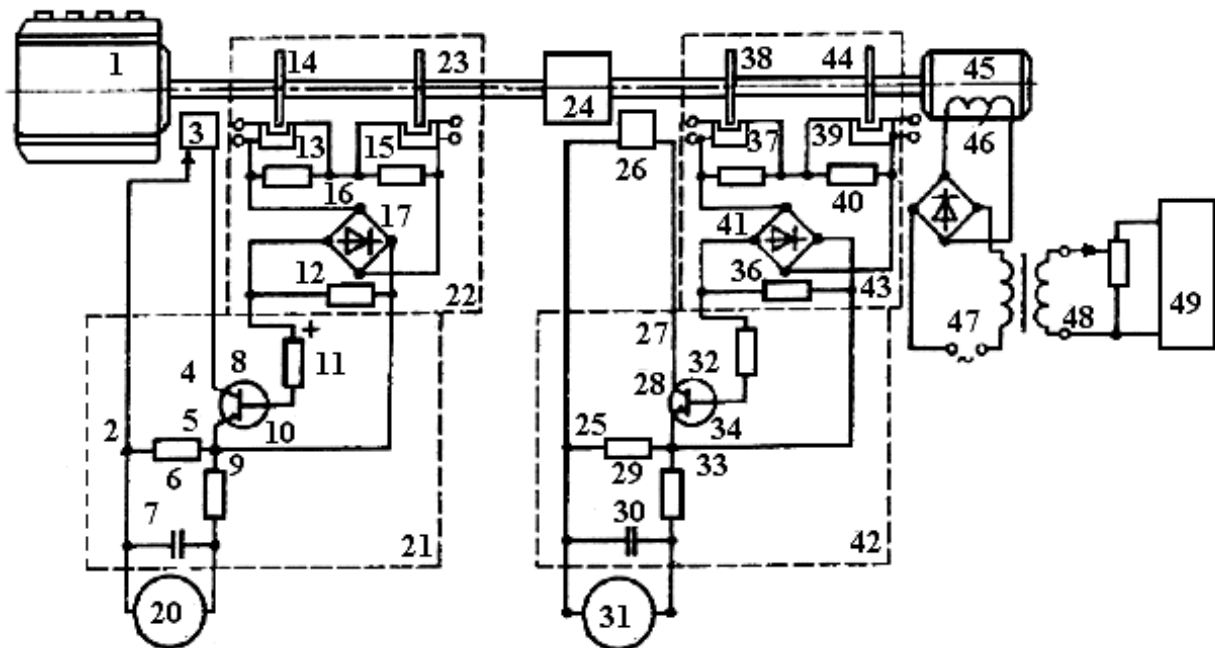


Рисунок 3.21 – Стенд для диагностирования по мощности

Каждый широтно-импульсный модулятор момента включает металлические диски (соответственно 14 и 23, 38 и 44) с радиальными прорезями, закрепленные на валах трансмиссии, импульсные щелевые

преобразователи (13 и 15, 37 и 39), установленные вблизи вала, вычитающий элемент 16 и 40, выполненный на двух резисторах, выпрямитель 17 и 41 и параллельно подключенный к нему резистор 12 и 36. КПД трансмиссии определяется следующим образом.

При работе двигателя и отсутствии сигнала в обмотке 46 возбуждения электрического тормоза ротор тормоза вращается свободно. Регулированием сигнала на выходе источника 49 напряжения постоянного тока устанавливают различные токи возбуждения в этой обмотке и, соответственно, моменты на валах трансмиссии.

Сигналы о величине мощностей на валах трансмиссии формируются каналами 21 и 42 с помощью датчиков частот вращения валов и широтно-импульсных модуляторов обработки информации.

Так, в канале 42 происходит следующее. Положительный сигнал с выхода датчика 26 частоты вращения поступает на коллектор транзистора 31, положительный сигнал от широтно-импульсного модулятора момента 43 – на его базу, а отрицательный – на эмиттер. При этом на коллектор сигнал идет непрерывно, на базу – периодически. Очевидно, что при отсутствии сигнала на базе транзистор закрыт, сигнала на резисторе 29 нагрузки тоже нет. Когда же импульс от широтно-импульсного модулятора на базу поступит, транзистор открывается, причем на время, равное длительности поступившего импульса. При этом на выходе резистора нагрузки появляется прямоугольный импульс, высота которого равна уровню напряжения, поступающего от датчика частоты вращения, длительность – длительности импульса, поступающего от модулятора момента. На резисторе 5 нагрузки формируется периодический импульсный процесс с прямоугольными импульсами. Он сглаживается фильтром, на выходе которого и получается сигнал, пропорциональный мощности на ведомом валу. Точно так же работает и канал 21 обработки информации. Только на выходе сглаживающего фильтра этого канала получается сигнал, пропорциональный мощности на ведущем валу. Разделив показания прибора 31 на показания прибора 20 (величину мощности на ведомом валу на величину мощности на ведущем валу), получают КПД трансмиссии.

Устанавливая движком регулируемого источника питания различные по величине напряжения постоянного тока, а следовательно, и мощности на валах трансмиссии (агрегата) и записывая показания приборов 20 и 31, соответствующие этим мощностям, можно построить зависимость КПД $\eta_{тр}$ трансмиссии (агрегата) от мощности $P_{тр}$ на ее ведомом валу (рисунок 3.22).

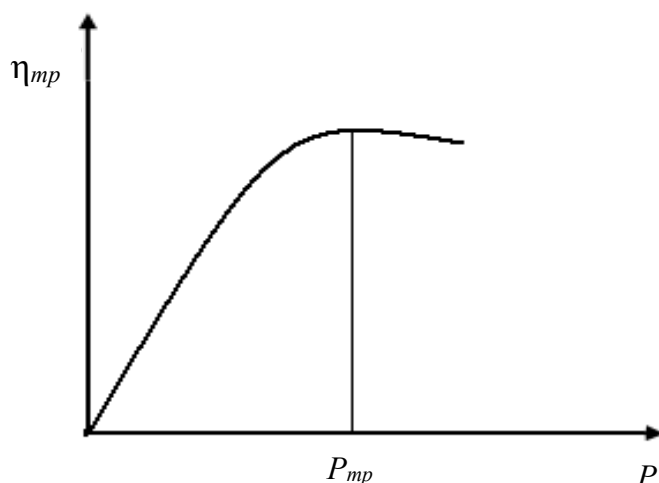


Рисунок 3.22 – Зависимость КПД от мощности на ведомом валу

3.3.2 Стенд для диагностирования по крутящему моменту. При проведении теоретических и экспериментальных исследований коробок передач в исправном и неисправном состояниях 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 в неисправной коробке передач по сравнению с исправной.

Примерный вид полученной зависимости представлен на рисунке 3.23, причем кривая 1 соответствует исправной коробке передач, а кривая 2 – неисправной. При наличии неисправностей в коробке передач при заданном значении момента на ее вторичном валу уровень крутящего момента на ее первичном валу увеличивается.

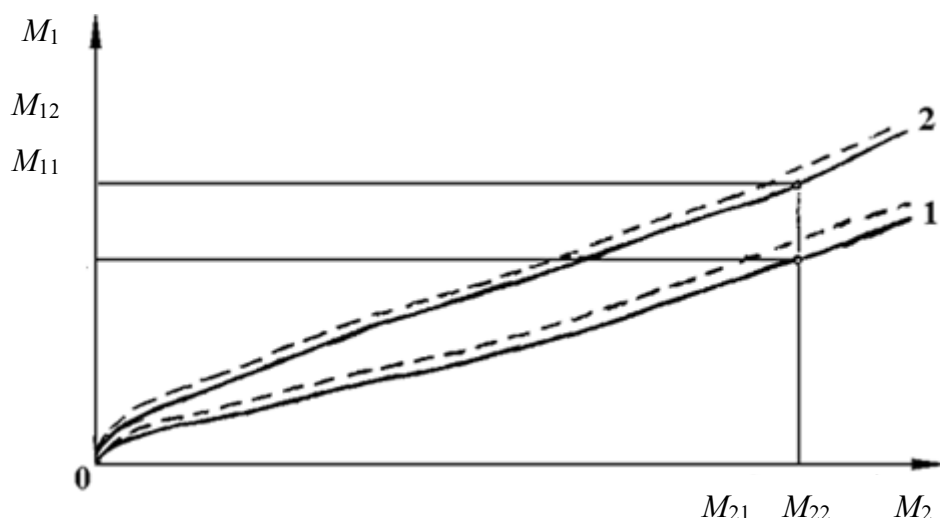


Рисунок 3.23 – Статические характеристики коробки передач

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 ее работе на заданной передаче измеряют крутящий момент на ее первичном валу и, сравнивая его с нормативом, принимают решение о техническом состоянии этой коробки передач.

На основе предложенного метода был разработан стенд (рис. 3.24). Он 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. 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, резисторы 19.

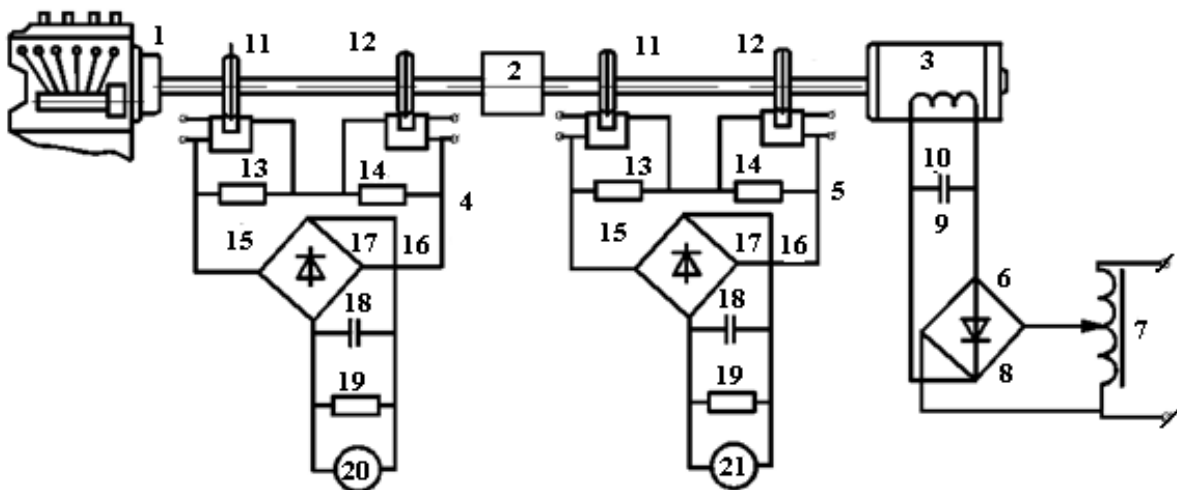


Рисунок 3.24 – Стенд для диагностирования коробок передач

Крутящий момент на первичном валу коробки передач измеряется прибором 20, а крутящий момент на вторичном валу – 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, подают на обмотку возбуждения 10 тормоза 3 напряжение постоянного тока такой величины, которое вызывает на вторичном валу 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 3.25, *а*. С появлением момента на валах происходит относительное смещение полученных сигналов, т. к. при передаче крутящих моментов валы закручиваются. Импульсы, сформированные преобразователями, установленными у вала, соединенного с тормозом, отстают по фазе от импульсов, сформированных преобразователями, установленными у вала, соединенного с двигателем. Величина фазы отставания импульсов одной последовательности от импульсов второй пропорциональна моменту на данном валу.

На рисунке 3.25, *б* приведены сигналы, сформированные преобразователями при наличии момента на валах диагностируемой коробки передач. В результате суммирования противофазных импульсов на выходе последовательного соединения 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 соответственно представлены на рисунках 3.25, *в–д*. Если заданное значение момента на вторичном валу равно M_2 (см. рисунок 3.23), то на первичном валу диагностируемой коробки появляется крутящий момент, величина которого равна M_{11} в случае отсутствия неисправностей или M_{12} в случае наличия неисправностей в диагностируемой коробке передач. Следует учитывать при диагностировании, что КПД агрегата или трансмиссии в целом изменяется при их загрузке (рисунок 3.26).

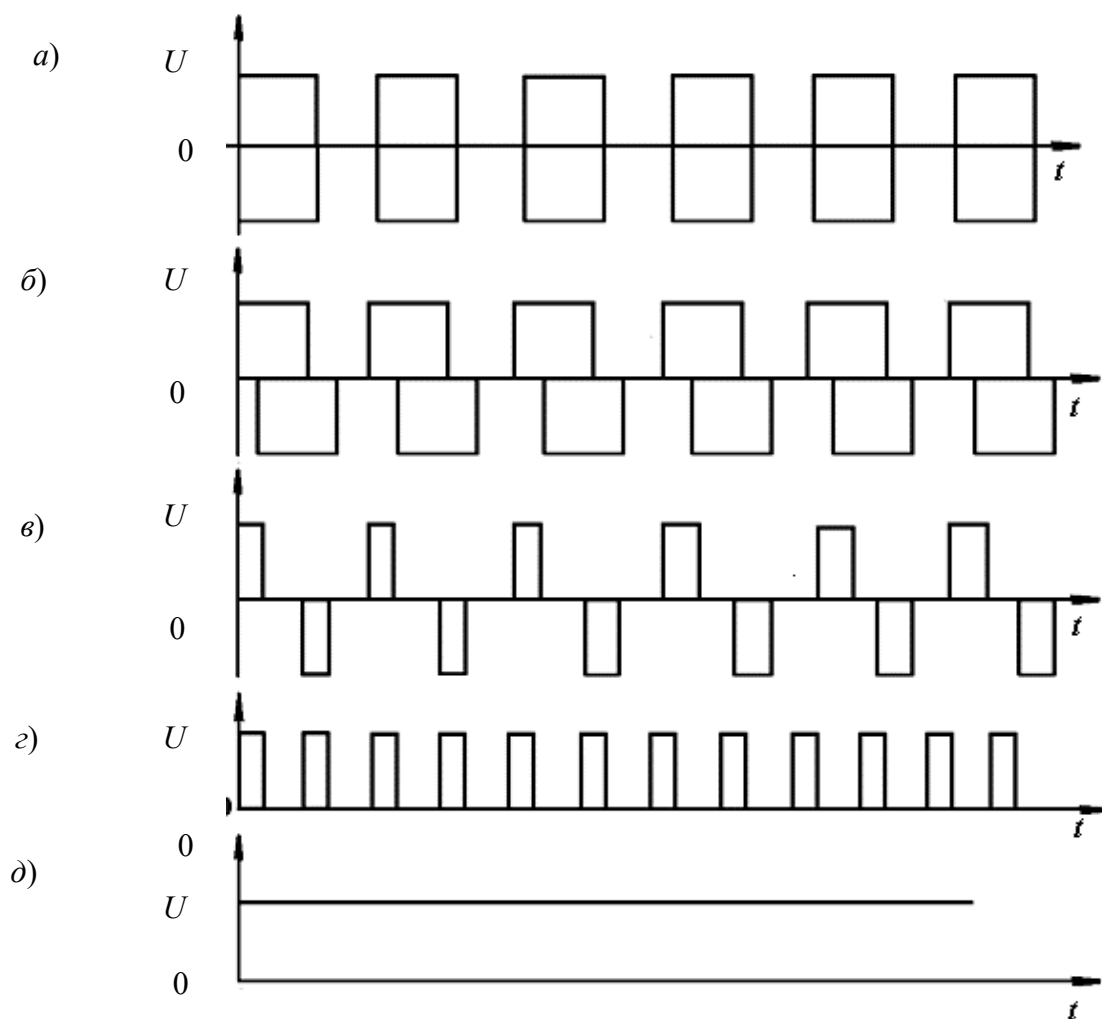


Рисунок 3.25 – Электрические сигналы в цепях стенда

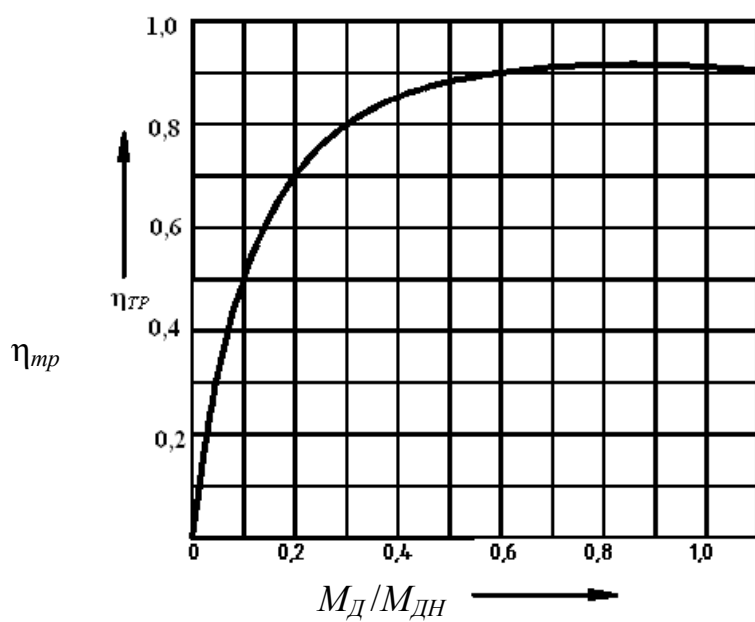


Рисунок 3.26 – Зависимость КПД от относительной нагрузки КП

Данный стенд может применяться для диагностирования как агрегатов, так и трансмиссии в целом, он прост по конструкции, обеспечивает высокую точность результатов диагностирования за счет применения нового метода и средств бесконтактных преобразователей для измерения крутящих моментов на валах диагностируемой коробки передач.

3.3.3 Стенд для диагностирования по амплитудно-частотным характеристикам. Теоретические и экспериментальные исследования механических коробок передач показали, что в процессе их эксплуатации амплитудно-частотная динамическая характеристика данных коробок передач 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 ДВС, электрический тормоз, валы, снабженные контрольно-диагностической аппаратурой и измерительными приборами с пультом управления, нагружают валы коробки передач крутящим моментом, включающим постоянную составляющую, равную половине номинального момента, и синусоидальную составляющую, 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 3.27, 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 – к выходу генератора синусоидальных сигналов. Выход магнитного усилителя подключен к обмотке 11 возбуждения электротормоза 3.

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.

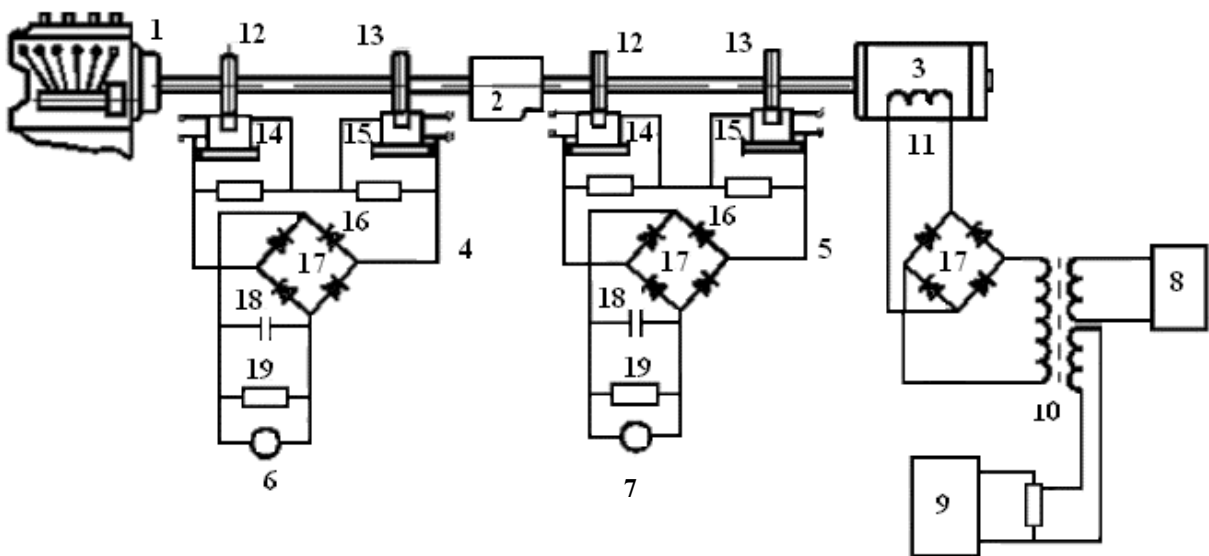


Рисунок 3.27 – Стенд для диагностирования КПП

После запуска ДВС 1 приходят во вращение валы коробки 2 передач, на первую обмотку магнитного усилителя 10 от регулируемого источника постоянного тока подается напряжение, уровень которого больше амплитуды синусоидального напряжения, подаваемого на вторую обмотку магнитного усилителя. Напряжение, подаваемое на первую обмотку магнитного усилителя, показано на рисунке 3.28, а, подаваемое на вторую обмотку от генератора синусоидальных сигналов – на рисунке 3.28, 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 составляющую (рисунок 3.28, в).

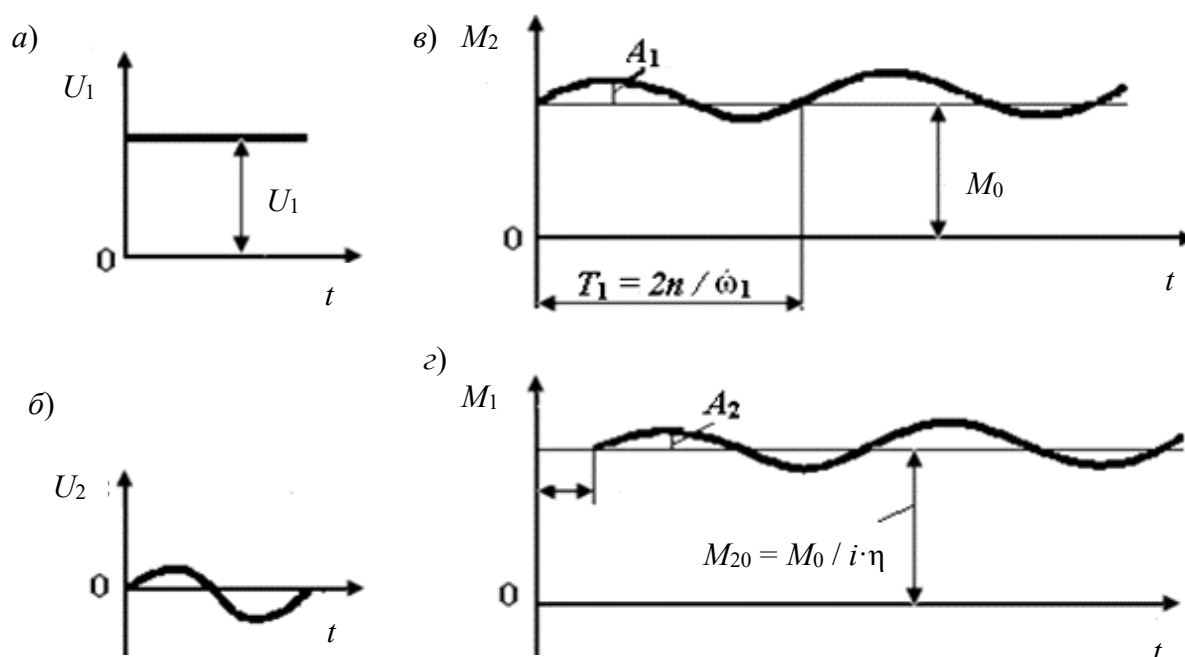


Рисунок 2.28 – Сигналы в электрических цепях стенда

Металлические диски 12 и 13 (см. рисунок 3.27) 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 3.28, в буквой A_1 обозначена амплитуда переменной синусоидальной составляющей момента на вторичном валу диагностируемой механической коробки передач, буквой ω_1 – круговая частота этого синусоидального колебания.

Аналитическая запись момента, воспроизводимого на вторичном валу коробки передач:

$$M_2(t) = M_0 + A_1 \sin \omega_1 t, \quad (3.14)$$

где M_0 – постоянная составляющая момента на этом валу;

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

На первичном валу коробки передач устанавливается момент, постоянная составляющая которого равна $U 20$:

$$M_{20} = \frac{M_0}{i\eta}, \quad (3.15)$$

где i – передаточное число коробки;

η – КПД коробки на данной включенной передаче.

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

$$M_1(t) = M_{20} + A_2 \sin(\omega_1 t + \varphi_2). \quad (3.16)$$

Регистрирующими приборами 6 и 7 записываются 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

$$M_2(t) = M_0 + A_1 \sin \omega_2 t. \quad (3.17)$$

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:

$$M_1(t) = M_{20} + A_3 \sin(\omega_2 t + \varphi_3). \quad (3.18)$$

По прибору 7 устанавливают одну и ту же амплитуду колебания момента на вторичном валу коробки передач, но, изменяя всякий раз частоту этого колебания, получают колебания момента на первичном валу с разными амплитудами и фазами. Опыт повторяется 10–12 раз. По полученным данным может быть построена амплитудно-фазовая частотная характеристика коробки передач на данной включенной передаче (АФЧХ),

а также амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики коробки передач.

Для построения АФЧХ в декартовых координатах (рисунок 3.29) следует начертить вектор, начало которого совпадает с началом координат, модуль вектора $r_1 = A_2/A_1$, а его фаза равна φ_2 (угол между положительным направлением оси абсцисс и вектором). У конца вектора делается отметка ω_1 .

Для колебания частотой ω_3 аналогично строится вектор, модуль которого равен A_3/A_1 , а фаза – φ_3 , для колебания момента на вторичном валу с частотой ω_3 – вектор, модуль которого равен A_4/A_1 , а фаза – φ_4 . Соединяя концы векторов плавной линией, получают кривую, которая называется амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ) коробки передач. Имея АФХ, для любой частоты момента на вторичном валу можно найти амплитуду и фазу момента на первичном валу коробки передач. Пусть частота момента на вторичном валу равна ω^* , на АФХ определяется точка с данной частотой и соединяется с началом координат. Измерив полученный модуль по характеристике, рассчитывают амплитуду момента на первичном валу, угол φ^* определяется графически.

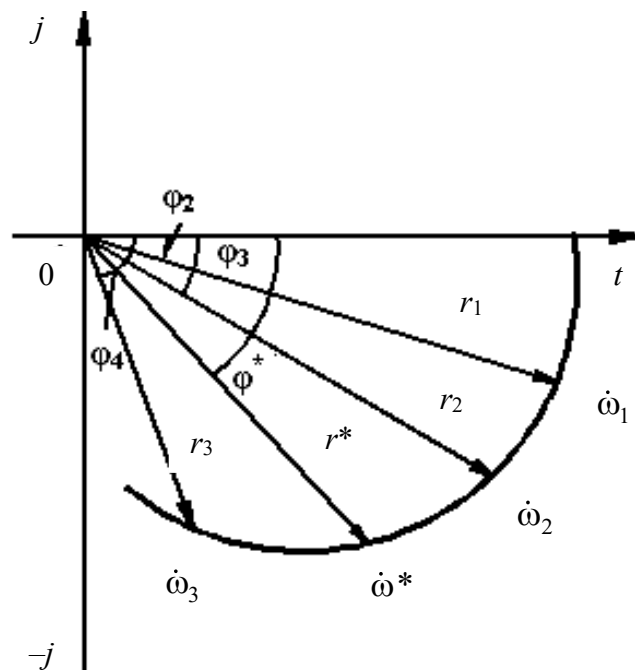


Рисунок 3.29 – Амплитудно-фазовая характеристика коробки передач

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

Зависимость $A_n / A_1 = r = f(\omega)$ называется амплитудно-частотной характеристикой. Для её построения по оси ординат откладывается модуль вектора r , по оси абсцисс – частота. Примерный вид АЧХ передачи показан на рисунке 3.30. Частота ω_p называется резонансной.

Из анализа графической зависимости, представленной на рисунке 3.31, видно, что с увеличением частоты момента на вторичном валу коробки передач от 0 до ω_p при его постоянной 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.

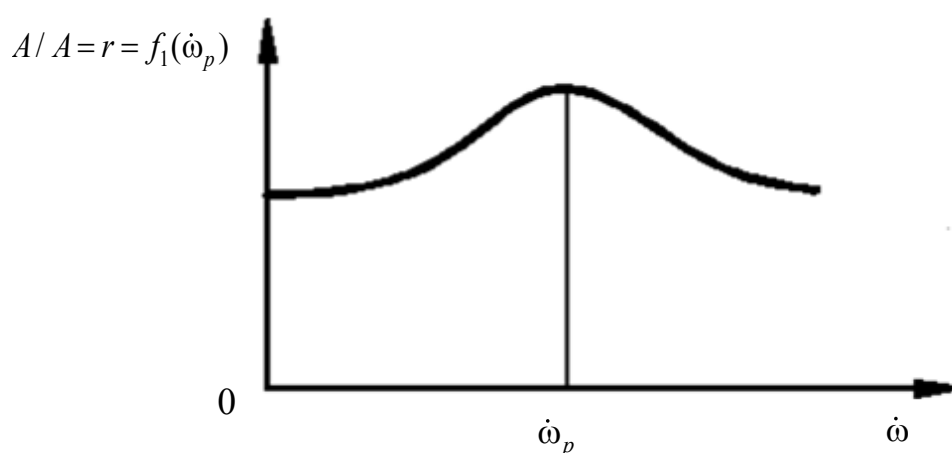


Рисунок 3.30 – Амплитудно-частотная характеристика коробки передач

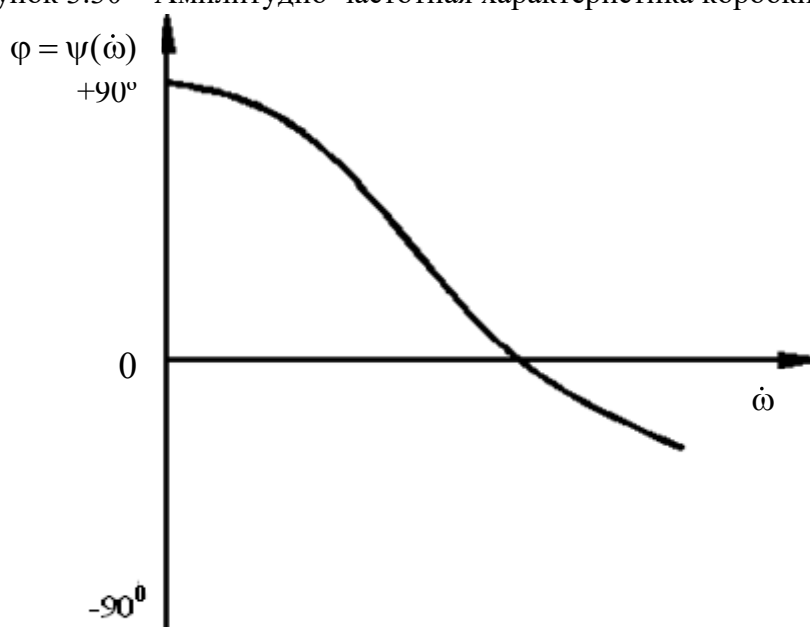


Рисунок 3.31 – Фазочастотная характеристика коробки передач

Фазочастотная характеристика включенной передачи (ФЧХ) может быть определена следующим образом. ФЧХ – это зависимость фазы момента на первичном валу коробки передач от частоты момента на её вторичном валу при постоянной амплитуде последнего. Зависимость $\varphi = \psi(\omega)$ и называется фазочастотной 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 3.31, можно сделать вывод, что с изменением частоты момента на вторичном валу фаза момента на первичном валу претерпевает изменения от $+90$ 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).

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

3.3.4 Стенд для диагностирования гидромеханических коробок передач. Для сокращения затрат на автомобильном транспорте можно применять многие организационные и технические решения, в том числе и внедрение новых инновационных методов и средств диагностирования гидротрансформаторов гидромеханических коробок передач на стендах.

Анализ стендов для диагностирования гидротрансформаторов как составляющих агрегатов гидромеханической коробки передач и их измерительных устройств показал, что они имеют недостатки. Основные измерительные устройства, используемые на известных стендах, выполнены с применением аналоговых элементов, и их использование снижает точность результатов диагностирования.

В результате исследований и анализа полученных результатов испытания гидротрансформатора был предложен новый метод диагностирования гидротрансформатора на стенде, заключающийся в определении его передаточного отношения и сравнении последнего с нормативной величиной, которая соответствует его номинальному коэффициенту полезного действия при нагружении гидротрансформатора номинальным моментом. Для реализации предложенного метода был разработан стенд для диагностирования гидротрансформатора,

применение которого обеспечивает высокую точность задания нормативного параметра и определения диагностического параметра.

Стенд (рисунок 3.32) содержит ДВС 1, вал которого соединен с первым упругим валом 2, второй конец которого соединен с насосным колесом гидротрансформатора гидромеханической коробки передач 6, выходной вал этой коробки соединен вторым упругим валом 7 с валом электромагнитного тормоза 9, имеющего обмотку возбуждения 10, систему нагружения, включающую в себя последовательно соединенные автотрансформатор 14 с регулятором 15, трансформатор 13, выпрямитель 12 и конденсатор 11, соединенный с обмоткой возбуждения 10 электротормоза.

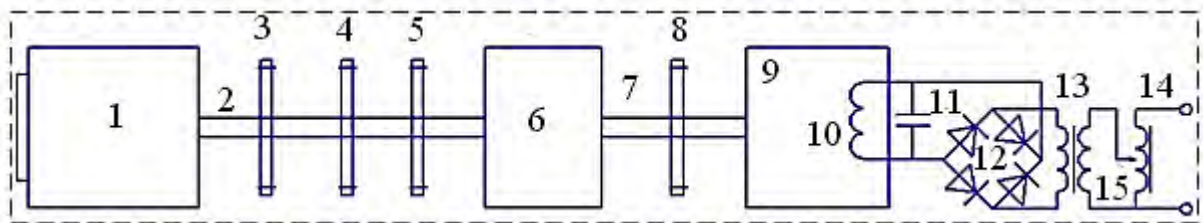


Рисунок 3.32 – Стенд для диагностирования гидромеханических коробок передач

На первом упругом валу стенда установлены два диска 3 и 5 с выступами и прорезями, используемые для измерения крутящего момента на ведущем валу гидромеханической коробки передач, а также третий диск 4 с выступами и прорезями для измерения частоты вращения насосного колеса гидротрансформатора. На втором упругом валу установлен четвертый диск 8 для измерения частоты вращения выходного вала гидромеханической коробки передач.

Датчик (рисунок 3.33) крутящего момента содержит два импульсных преобразователя 6 и 19, установленных с обеспечением возможности прохождения прорезей и выступов каждого из дисков 3 и 5 (см. рисунок 3.32) вблизи соответствующего преобразователя, подсоединенные к выходам преобразователей дифференцирующие цепи 8, 17, первая из которых выполнена на двух резисторах 7, 9 и конденсаторе 4 с подсоединенным к ее выходу диодом 5, вторая – на двух резисторах 16, 18 и конденсаторе 15 с подсоединенным к ее выходу диодом 14, триггер 10, выполненный на первом и втором биполярных транзисторах 3, 13 и четырех резисторах 1, 2, 11, 12, интегрирующую цепь 24, выполненную на резисторе 23 и конденсаторе 25, соединенную входом посредством

эмиттерного повторителя 20, выполненного на транзисторе 21 и резисторе 22, с выходом триггера 10. При этом к выходу датчика подсоединен измерительный прибор 26 постоянного тока, а базы транзисторов 3, 13 подсоединены к дифференцирующим цепям 8, 17 с диодами 5, 14.

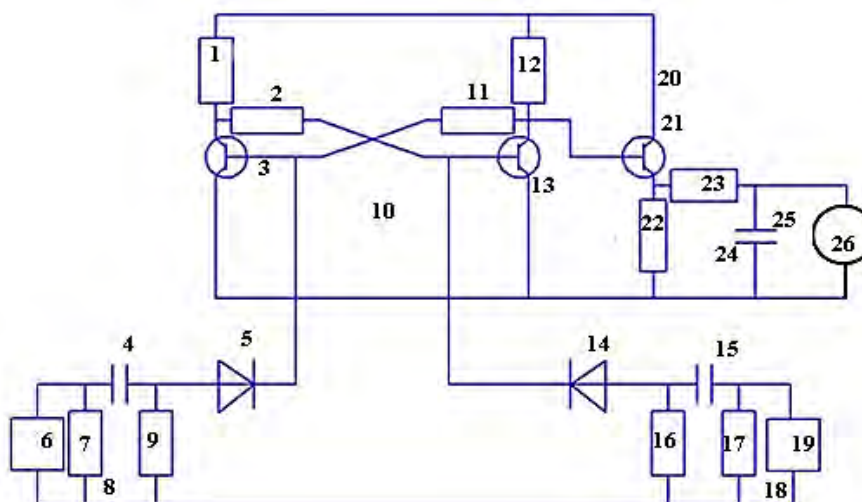


Рисунок 3.33 – Схема датчика крутящего момента

Каждый из цифровых датчиков частоты вращения содержит (рисунок 3.34) катушку 3 индуктивности с магнитным сердечником, жестко закрепленную вблизи прорезей и выступов соответствующего диска 4, 8 (см. рисунок 3.32), первую дифференцирующую цепь 4 с отсекающим диодом 2 на выходе, входом подсоединенную к катушке индуктивности и выполненную на первом и втором резисторах 5 и 6 и конденсаторе 1, вторую дифференцирующую цепь 22 с отсекающим диодом 21 на выходе, выполненную на резисторе 23 и конденсаторе 20, автоколебательный мультивибратор 15, выполненный на первом логическом элементе И-НЕ 7, втором логическом элементе И-НЕ 12, первом конденсаторе 11, втором конденсаторе 10, первом диоде 8, втором диоде 13, первом резисторе 9, втором резисторе 14, шестнадцатиразрядный суммирующий электронный счетчик 24, логический элемент И 18 с двумя входами 16, 17, первым входом 16 соединенный с первой дифференцирующей цепью 4, а вход второй дифференцирующей цепи 22 и второй вход 17 логического элемента И 18 параллельно соединены с выходом автоколебательного мультивибратора 15. Выход логического элемента И18 посредством резистора 19 соединен со счетным входом

счетчика 24, выход второй дифференцирующей цепи 22 – со входом установки нуля счетчика 24.

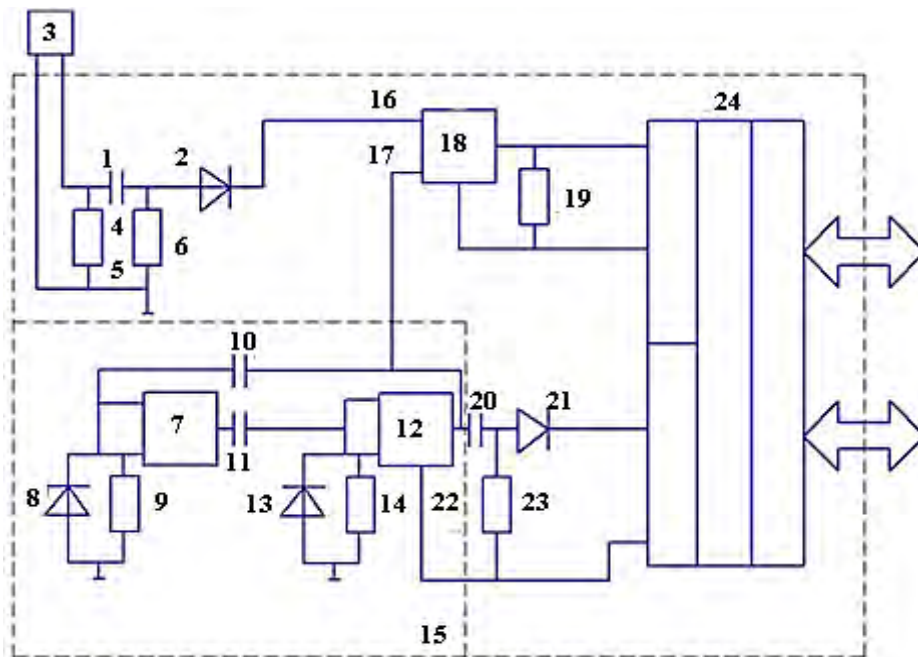


Рисунок 3.34 – Схема датчика частоты вращения

Сопротивления первого и второго резисторов и емкости первого и второго конденсаторов автоколебательного мультивибратора 15 выбраны таким образом, что длительность формируемых на его выходе прямоугольных импульсов равна одной секунде.

Стенд снабжен устройством (рисунок 3.35) микропроцессорной обработки сигналов для определения передаточного отношения гидротрансформатора, включающим в себя микропроцессор 3 с внутренней памятью в виде семи регистров 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 общего назначения, цифроаналоговый преобразователь 19, выход которого соединен с регистрирующим прибором 20, генератор 1 тактовой частоты, таймер 2, соединенные с микропроцессором, буфер 11 адреса, шину 12 адреса, буфер 15 данных, шину 16 данных, шину 17 управления, оперативное 13 и постоянное 14 запоминающие устройства, каждое из которых имеет три канала, интерфейс 18 с пятью каналами, при этом первым каналом интерфейс соединен с первым цифровым датчиком 21 частоты вращения, вторым каналом – со вторым цифровым датчиком 22 частоты вращения, третьим каналом – со входом цифроаналогового преобразователя 19, четвертым каналом – через шину управления с микропроцессором и параллельно через эту шину с первыми каналами

оперативного и постоянного запоминающих устройств, вторые каналы которых соединены с шиной адреса, а третьи – с шиной данных, пятым каналом интерфейс соединен через шину данных и буфер данных с микропроцессором, который через буфер адреса соединен с шиной адреса.

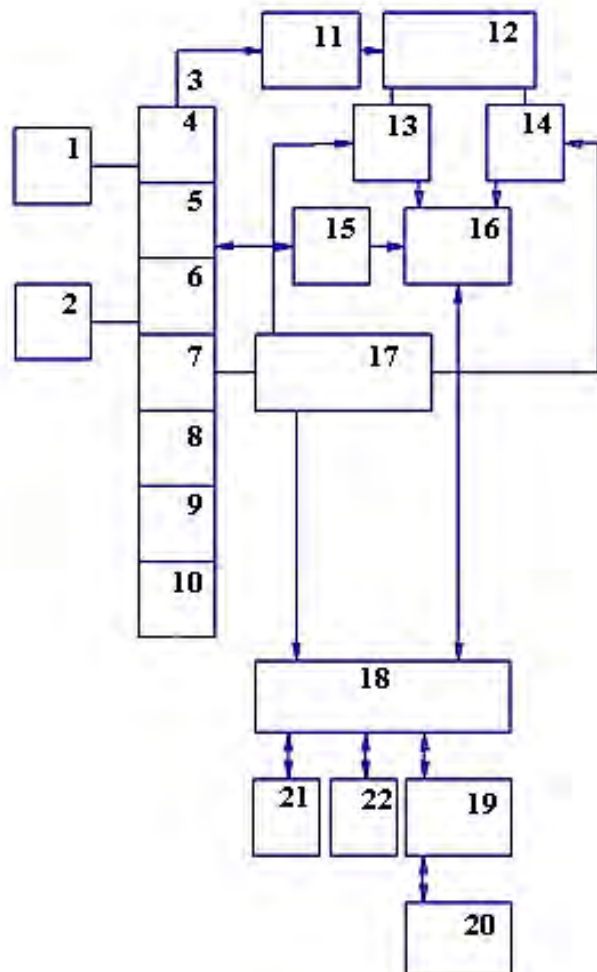


Рисунок 3.35 – Схема микропроцессорной системы обработки сигналов

Датчик (см. рисунок 2.33) крутящего момента работает следующим образом. При нагружении первого вала моментом этот вал закручивается на угол, пропорциональный моменту, при этом на выходе триггера формируются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна моменту. После интегрирования полученной последовательности прямоугольных импульсов крутящий момент, передаваемый первым валом, определяется прибором 26.

На выходе электронных суммирующих счетчиков формируются цифровые коды, отображающие величины частот вращения первого и второго валов стенда соответственно.

Диагностирование гидротрансформатора производится следующим образом. Устанавливается на стенд диагностируемая гидромеханическая коробка передач. Включается передача, на которой производится диагностирование, передаточное число передачи записывается в первый регистр 4 общего назначения, нагружается двигатель по прибору 26 до величины номинального момента перемещением движка автотрансформатора.

Используя характеристику гидротрансформатора, представляющую собой зависимость коэффициента полезного действия от передаточного отношения, находят передаточное отношение для исправного гидротрансформатора, соответствующее его номинальному коэффициенту полезного действия, и значение передаточного отношения записывают во второй регистр 5 общего назначения микропроцессора.

В третий и четвертый регистры 6, 7 общего назначения записываются коды, отображающие величины частот вращения насосного колеса гидротрансформатора и выходного вала гидромеханической коробки передач соответственно.

По программе, записанной в постоянном запоминающем устройстве, код, записанный в четвертом регистре 7, умножается на передаточное число механической части гидромеханической коробки передач, результат записывается в пятый регистр 8 общего назначения микропроцессора. Это и есть код, отображающий частоту вращения турбины гидротрансформатора.

Далее по программе производится деление кода, записанного в пятом регистре 8 на код, записанный в третьем регистре 6. Результат записывается в шестой регистр 9 общего назначения. Это и есть действительное значение передаточного отношения гидротрансформатора. Вычитая код, записанный в шестой регистр 9, из кода, записанного в первый регистр 4 общего назначения, получают код разности передаточных отношений гидротрансформатора. Этот код регистрируется прибором 20. Если он имеет значение, отличное от нуля, то в гидротрансформаторе имеются неисправности.

Испытания изготовленного стенда состояли в определении статической характеристики первого упругого вала, представляющей собой зависимость угла закручивания упругого вала от приложенного к валу крутящего момента. На основании полученной характеристики первого вала было определено количество выступов и прорезей дисков, установленных по концам данного упругого вала.

Для задания крутящего момента на первом валу, равного номинальному, применен датчик крутящего момента, выполненный в виде

дисков и импульсных преобразователей с дифференцирующими цепями. Для формирования прямоугольных импульсов применен триггер, выполненный на двух биполярных транзисторах. Получены осциллограммы прямоугольных импульсов на выходе триггера, установлено, что длительность каждого из импульсов пропорциональна моменту на валу. С помощью интегрирующей цепи последовательность полученных прямоугольных импульсов преобразуется в непрерывный сигнал, уровень которого пропорционален крутящему моменту на данном валу станда.

Аналогично проведены исследования цифровых датчиков частот вращения валов станда. Установлено, что цифровые коды, полученные на выходах аналого-цифровых преобразователей, с высокой точностью отображают частоты вращения валов гидромеханической коробки передач.

Применение разработанного станда для диагностирования гидротрансформатора гидромеханической коробки позволяет снизить затраты на эксплуатацию машин, т. к. с его помощью обеспечивается своевременное определение неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации транспортных средств. Как аналоговый измеритель крутящего момента на первом валу станда, так и разработанный цифровой измеритель частот вращения валов станда имеет малую стоимость и большую надежность, т. к. являются бесконтактными.

В процессе диагностирования гидротрансформатора гидромеханической коробки передач на разработанном станде измеряется передаточное отношение гидротрансформатора, сформированное в виде цифровых кодов, и сравнивается с нормативным передаточным отношением гидротрансформатора, также заданного в виде цифрового кода. Этим обеспечивается повышение точности результатов диагностирования гидротрансформатора.

Практическая значимость состоит в том, что создан, испытан и внедрен цифровой измеритель частоты вращения валов, устанавливаемый на станд для диагностирования гидротрансформатора. Такие измерители совместно с микропроцессорными системами позволяют получить более точные результаты диагностирования гидротрансформаторов за счет повышения точности измерения частот вращения валов станда.

3.3.5 Стенд для диагностирования главных передач. Установлено, что при увеличении момента на ведомом валу коэффициент полезного действия редуктора (главной передачи) возрастает (рисунок 3.36). При некотором значении момента на ведомом валу коэффициент полезного

действия принимает максимальное значение. Это и есть область наиболее эффективного использования редуктора.

На стенде осуществляется также обработка информации, что сопровождается погрешностью из-за применения аналоговых устройств.

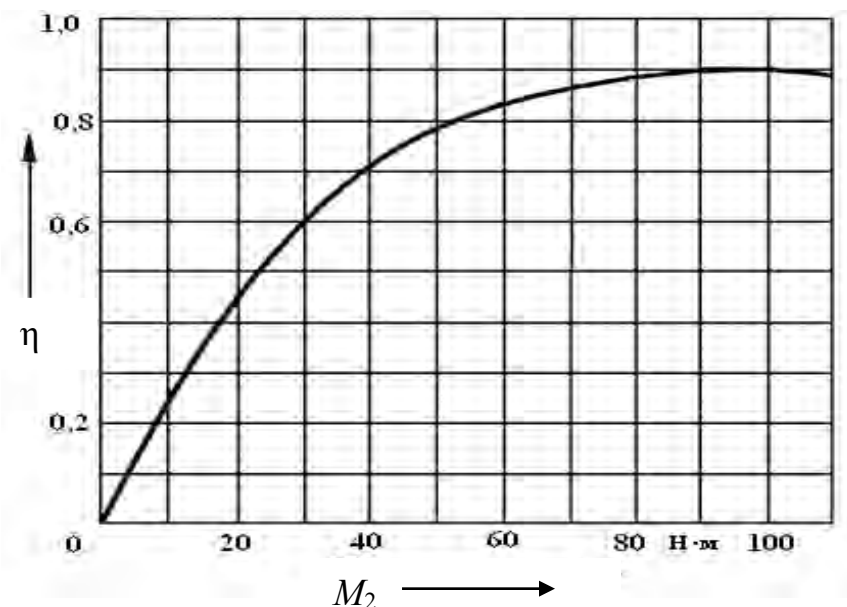


Рисунок 3.36 – Зависимость КПД от нагрузки

Разработанный стенд (рисунок 3.37) содержит привод 1, кинематически соединенный первым упругим валом 2 с ведущим валом редуктора 3, электротормоз 4 с обмоткой возбуждения 5, вал которого кинематически соединен вторым упругим валом 6 с ведомым валом редуктора, первый цифровой датчик 7 момента, установленный на первом упругом валу 2, второй цифровой датчик 8 момента, установленный на втором упругом валу 6, умножитель и делитель, выполненные в виде устройства 9 микропроцессорной системы обработки сигналов, содержащего интерфейс 10 с двумя входами и выходом, микроЭВМ 11, содержащую связанный с интерфейсом 10 посредством шины 12 данных микропроцессор 13 с внутренней памятью в виде восьми регистров 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 общего назначения, дисплей 22, вход которого соединен с выходом интерфейса 10, регулируемый источник 23 постоянного тока с движковым регулятором 24, подключенный к обмотке 5 возбуждения электротормоза 4 и регулирующее устройство 25, выполненное в виде последовательно соединенных программного блока 26 и микро-привода 27, а выходной вал микропривода 27 регулирующего устройства 25 кинематически связан с осью движка регулятора 24 источника 23 постоянного тока.

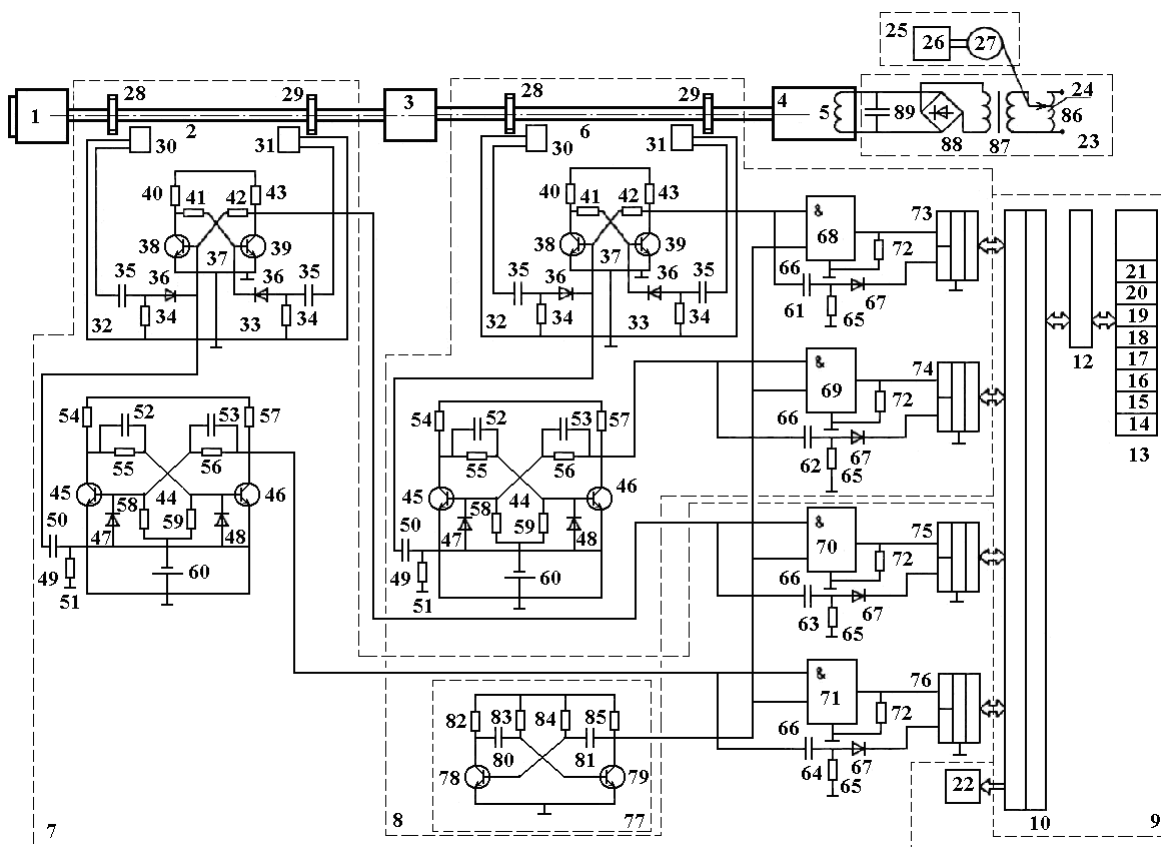


Рисунок 3.37 – Стенд для диагностирования редукторов

Каждый из триггеров датчиков 7 и 8 момента включает в себя первый и второй металлические диски 28, 29 с одинаковыми радиальными прорезями и выступами, установленные по концам упругого вала, первый 30 и второй 31 импульсные преобразователи, установленные с обеспечением возможности прохождения каждого из дисков 28, 29 возле соответствующего преобразователя 30, 31, соединенные с выходом преобразователей первую и вторую дифференцирующие цепи 32, 33, выполненные на резисторе 34 и конденсаторе 35 с соединенным с их выходом импульсным диодом 36, триггер 37, выполненный на первом и втором транзисторах 38, 39 и четырех резисторах 40, 41, 42, 43, при этом базы и эмиттеры транзисторов 38, 39 соединены с соответствующими выводами выхода первой и второй дифференцирующих цепей 32, 33, триггер 44 со счетным запуском, выполненный на первом 45 и втором 46 транзисторах, диодах 47, 48, аноды которых соединены между собой, а катоды – с соответствующими базами транзисторов 45 и 46, третью дифференцирующую цепь 49, выполненную на конденсаторе 50 и резисторе 51, конденсаторах 52, 53, резисторах 54, 55, 56, 57, 58, 59, при этом два вывода резисторов 58 и 59 соединены между собой, а два других вывода этих резисторов – с базами соответствующих транзисторов 45 и

46 параллельно диодам 47, 48, источнику питания 60. При этом вход третьей дифференцирующей цепи 49 соединен с выходом первой дифференцирующей цепи 32, а ее выход – с катодами диодов 47, 48, источник питания 60 положительным полюсом соединен с отрицательным полюсом напряжения питания триггера 44 со счетным запуском, а отрицательным полюсом – с общим выводом резисторов 58 и 59.

Кроме описанных электронных устройств, в состав обоих датчиков 7 и 8 момента входят четыре дифференцирующие цепи 61, 62, 63, 64, каждая из которых состоит из резистора 65, конденсатора 66, диода 67, четыре логических элемента И 68, 69, 70, 71 с двумя входами, на выходе каждого из которых имеется резистор 72, четыре суммирующих электронных счетчика 73, 74, 75, 76 со счетным входом и входом установки нуля, автоколебательный мультивибратор 77, выполненный на двух транзисторах 78, 79, двух конденсаторах 80, 81, четырех резисторах 82, 83, 84, 85.

Регулируемый источник 23 постоянного тока включает в себя последовательно соединенные автотрансформатор 86, трансформатор 87, выпрямитель 88, конденсатор 89.

Выход триггера 37 датчика момента 8 соединен с первым входом логического элемента 68 и параллельно со входом дифференцирующей цепи 61, выход триггера 44 датчика момента 8 – с первым входом логического элемента 69 и параллельно со входом дифференцирующей цепи 62. Выход триггера 37 датчика момента 7 соединен с первым входом логического элемента 70 и параллельно со входом дифференцирующей цепи 63, выход триггера 44 датчика момента 7 – с первым входом логического элемента 71 и параллельно со входом дифференцирующей цепи 64.

Все вторые входы логических элементов 68, 69, 70, 71 соединены с выходом автоколебательного мультивибратора 77.

Выходы логических элементов 68, 69, 70, 71 соединены со счетными входами суммирующих счетчиков 73, 74, 75, 76 соответственно, а выходы дифференцирующих цепей 61, 62, 63, 64 – с входами установки нуля суммирующих счетчиков 73, 74, 75, 76 соответственно.

Стенд работает следующим образом. После запуска привода 1 начинают вращаться валы испытуемого редуктора 3, включаются регулирующее устройство 25 и регулируемый источник 23 постоянного тока. На обмотке 5 возбуждения электротормоза 4 появляется напряжение, возрастающее по линейной зависимости. На ведомом валу

редуктора 3 появляется и изменяется момент (рисунок 3.38), величина которого пропорциональна напряжению, приложенному к обмотке 5, а на ведущем валу редуктора 3 момент M_1 изменяется по кривой, изображенной на рисунке 3.38.

Принцип действия триггеров 37 как первого, так и второго датчиков момента одинаков, поэтому в работе приводится описание принципа действия одного из них. При включении цифровых датчиков 7, 8 крутящего момента на валах редуктора 3 в исходном состоянии первый транзистор 38 триггера 37 закрыт, вследствие чего второй транзистор 39 триггера 37 открыт из-за наличия положительных обратных связей в триггере 37. Поэтому напряжение на коллекторе первого транзистора 38 U_{K38} принимает максимальное значение (рисунок 3.39, а), а на коллекторе второго транзистора 39 напряжение U_{K39} равно нулю (рисунок 3.39, б).

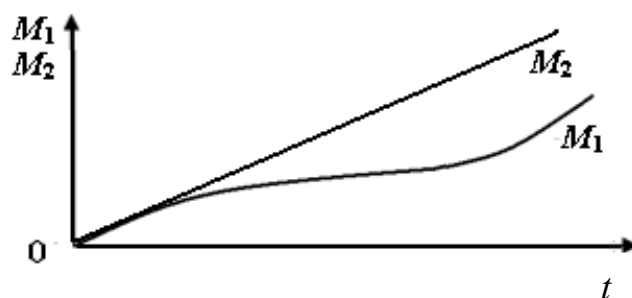


Рисунок 3.38 – Изменение моментов на валах

При вращении упругих валов 2 и 6 с первым диском 28 на выходе первого преобразователя 30 формируется импульс напряжения, который дифференцируется первой дифференцирующей цепью 32, выпрямляется диодом 36, при этом образуется положительный импульс напряжения $U_{Б38}$ (рисунок 3.39, в), который подается на базу первого транзистора 38. Первый транзистор 38 открывается, а второй транзистор 39 закрывается. На коллекторе второго транзистора 39 появляется положительное напряжение.

При нагружении упругих валов они закручиваются на углы, пропорциональные приложенному моменту. Поэтому второй диск 29 закручивается относительно первого диска 28, вследствие чего на выходе второго импульсного преобразователя 31 формируется импульс напряжения, имеющий фазовое смещение относительно первого импульса, сформированного первым импульсным преобразователем 30. Полученный импульс напряжения дифференцируется второй дифференцирующей цепью 33, выпрямляется диодом 36, образуется положительный импульс напряжения $U_{Б39}$ (рисунок 3.39, г), который подается на базу второго

транзистора 39. Вторым транзистор 39 открывается, а первый транзистор 38 закрывается. На коллекторе второго транзистора 39 опять устанавливается напряжение, равное нулю.

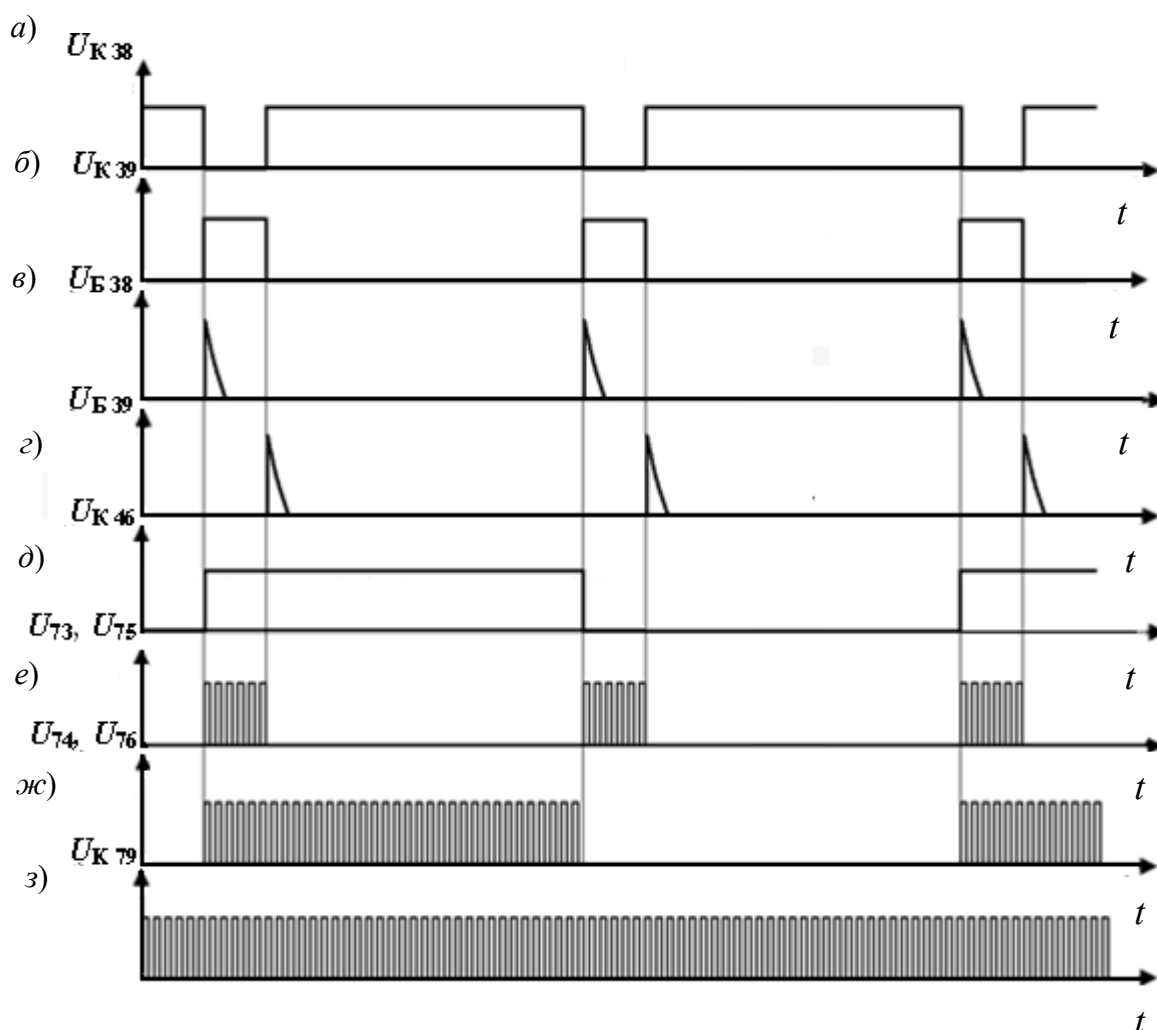


Рисунок 3.39 – Сигналы в цепях цифровых датчиков момента

Таким образом, на выходе второго транзистора 39 триггера 37 сформировался прямоугольный импульс (см. рисунок 3.39, б), длительность которого пропорциональна крутящему моменту на валу. Аналогично в процессе вращения упругих нагруженных валов 2 и 6 формируются прямоугольные импульсы, высота которых постоянна, а длительности их в любой момент времени пропорциональны моменту на валу. Эти импульсы подаются на первые входы логических элементов 70 и 68 соответственно от триггеров 37 датчиков момента 7 и 8.

Так как момент на упругом валу определяется фазой отставания второй импульсной последовательности импульсов от первой последовательности импульсов напряжения, а фаза отставания второй последовательности от первой равна отношению длительности

полученных прямоугольных импульсов на выходе триггеров с двумя входами 37 к периоду их следования, то необходимо получить период следования импульсов в виде длительности прямоугольного импульса напряжения.

Эта операция выполняется с помощью триггера 44 со счетным запуском, принцип действия которого состоит в следующем (см. рисунок 3.37). Предположим, что до прихода первого импульса от дифференцирующей цепи 49 транзистор 45 закрыт, а транзистор 46 открыт. Тогда потенциал катода диода 47 является более низким, чем потенциал катода диода 48, поэтому при подаче положительного импульса от цепи 49 по диоду 47 начинает протекать ток, который является током базы транзистора 45, и транзистор 45 открывается, а транзистор 46 закрывается. Следующий положительный импульс, приходящий от дифференцирующей цепи, возвращает триггер 44 в исходное состояние. На выходе триггера образуются прямоугольные импульсы напряжения (рисунок 3.39, д), длительность которых равна периоду повторения входных импульсов.

На вторые входы логических элементов И непрерывно подаются короткие импульсы напряжения U_{K79} от автоколебательного мультивибратора 77 (рисунок 3.39, з), а сформированные импульсы от триггеров 37 и 44 поступают на первые входы логических элементов И соответственно. Короткие импульсы, формируемые на выходе автоколебательного мультивибратора 77, проходят на выходы логических элементов И только за время, равное длительности прямоугольных импульсов, поступающих от триггеров 37 и 44. Число этих коротких импульсов пропорционально величине момента на валах, что изображено на рисунке 3.39, ж, з соответственно. Короткие импульсы подаются на счетный вход счетчиков, подсчитываются последними и преобразуются в цифровые коды.

С выхода счетчика 73 сформированный цифровой код посредством интерфейса 10 и шины 12 данных записывается в регистр 14 общего назначения микропроцессора 13, с выхода счетчика 74 таким же образом – в регистр 15 общего назначения. С выхода счетчика 75 записывается код в регистр 16, а с выхода счетчика 76 – в регистр 17 общего назначения микропроцессора 13. Далее по программе, имеющейся в микроЭВМ, выполняется операция деления цифрового кода, записанного в регистре 14, на цифровой код, записанный в регистре 15, и результат от деления – код момента на ведомом валу – записывается в регистр 18. Аналогично по программе производится деление кода, записанного в регистре 16, на код,

записанный в регистре 17. Результат от деления есть момент на ведущем валу редуктора, он записывается в регистр 19. Далее по программе выполняется операция умножения кода, записанного в регистре 19, на передаточное отношение и записывается в регистр 20, выполняется операция деления кодов, записанных в регистре 18, на код, записанный в регистре 20, при этом результат записывается в регистр 21 общего назначения.

Коды в регистре 18 и в регистре 21 общего назначения микропроцессора 13 выводятся на дисплей, после чего содержимое всех регистров обнуляется. На дисплее 22 отображается первая точка зависимости коэффициента полезного действия редуктора от момента на ведомом валу.

Аналогично определяются все остальные точки искомой зависимости и производится ее полное построение на дисплее. Использование полученной зависимости позволяет определить нагрузку на редукторе, при которой обеспечивается в последующей эксплуатации редуктора максимальное значение его коэффициента полезного действия.

3.4 Методика расчета и проектирования стендов и устройств для воспроизведения случайных режимов нагружения

Существующие стенды для диагностирования ДВС и трансмиссии в малой степени имитируют реальные нагрузки, которым подвергаются агрегаты автомобиля при их эксплуатации. Объясняется это тем, что практически на всех выпускаемых стендах воспроизводится на валах ДВС и трансмиссии только заданный уровень момента сопротивления. В реальных же условиях эксплуатации автомобиля на валах его действуют моменты, непрерывно изменяющиеся по случайному закону, и в первом приближении могут быть описаны суммой постоянной составляющей момента сопротивления и синусоидальной составляющей с амплитудой A_1 и круговой частотой ω :

$$M_{21} = M_0 + A_1 \sin \omega_1 t, \quad (3.19)$$

где M_0 – постоянная составляющая момента сопротивления, характеризующая нагрузку на автомобиль и воспроизводимая на стенде.

Пусть вторичный вал диагностируемой коробки передач модели 14 автомобиля КамАЗ на передаче 1 необходимо нагрузить моментом сопротивления, имеющим следующие данные:

$$M_{21} = 1000 + 200 \sin 2t. \quad (3.20)$$

Расчет устройства для воспроизведения переменных режимов нагружения агрегатов автомобиля на стенде произведем применительно к контрольно-диагностическому стенду, общая схема которого изображена на рисунке 3,40. Стенд содержит: двигатель внутреннего сгорания 1, кинематически соединенный с входным валом коробки передач 2, вторичный вал которой соединен с электротормозом 3; датчик 4 момента, установленный на вторичном валу коробки передач; генератор 5 синусоидальных сигналов, регулируемый источник 6 постоянного тока; магнитный усилитель 7, имеющий две обмотки управления 8 и 9; обмотка 8 подключена к источнику 6 постоянного тока, обмотка 9 – к выходу генератора 5 синусоидальных сигналов, выход магнитного усилителя подключен к обмотке возбуждения 10 электротормоза 3.

Датчик момента имеет: металлические диски 11 и 12 с прорезями; преобразователи 13 и 14 импульсные щелевые, установленные с возможностями вхождения в их щели металлических дисков 11 и 12 вблизи вала, на котором установлены металлические диски 11 и 12. Электрические выводы преобразователей 13 и 14 встречно подключены к резисторам 15 и 16 и посредством выпрямителя 17 и сглаживающего конденсатора 18 выходной сигнал с резисторов 15 и 16 выпрямляется и сглаживается и образует выходной сигнал датчика момента.

Параллельно выходу датчика момента подключены: сглаживающий фильтр 19, выполненный в виде резистора и конденсатора, так называемой RC-цепи, к выходу которой подключен первый измерительный прибор 20; блок преобразователей, состоящий из дифференцирующей цепи 21, выполненной в виде конденсатора и резистора, так называемой CR-цепи, преобразователя амплитудного значения, состоящего из конденсатора 22, диода 23, резистора 24 и сглаживающего фильтра 25, к выходу которого подключен второй измерительный прибор 26.

При пуске двигателя 1 внутреннего сгорания закручиваются валы коробки передач 2, включается в сеть источник 6 постоянного тока, генератор 5 синусоидальных сигналов, источники постоянного тока, питающие преобразователи 13 и 14. Передвигая регулятор источника 6 постоянного тока, устанавливаем по прибору 20 такое напряжение, которое воспроизводит на валу коробки передач постоянную составляющую, равную заданной величине, а именно 1000 Н·м момента, установим движок указателя частоты генератора 5 синусоидальных сигналов на цифре, соответствующей круговой частоте синусоидального колебания равной 2 рад/с, затем, вращая движок указателя амплитуды этого генератора, установим по прибору 35 амплитуду синусоидального колебания момента, равную 200 Н·м.

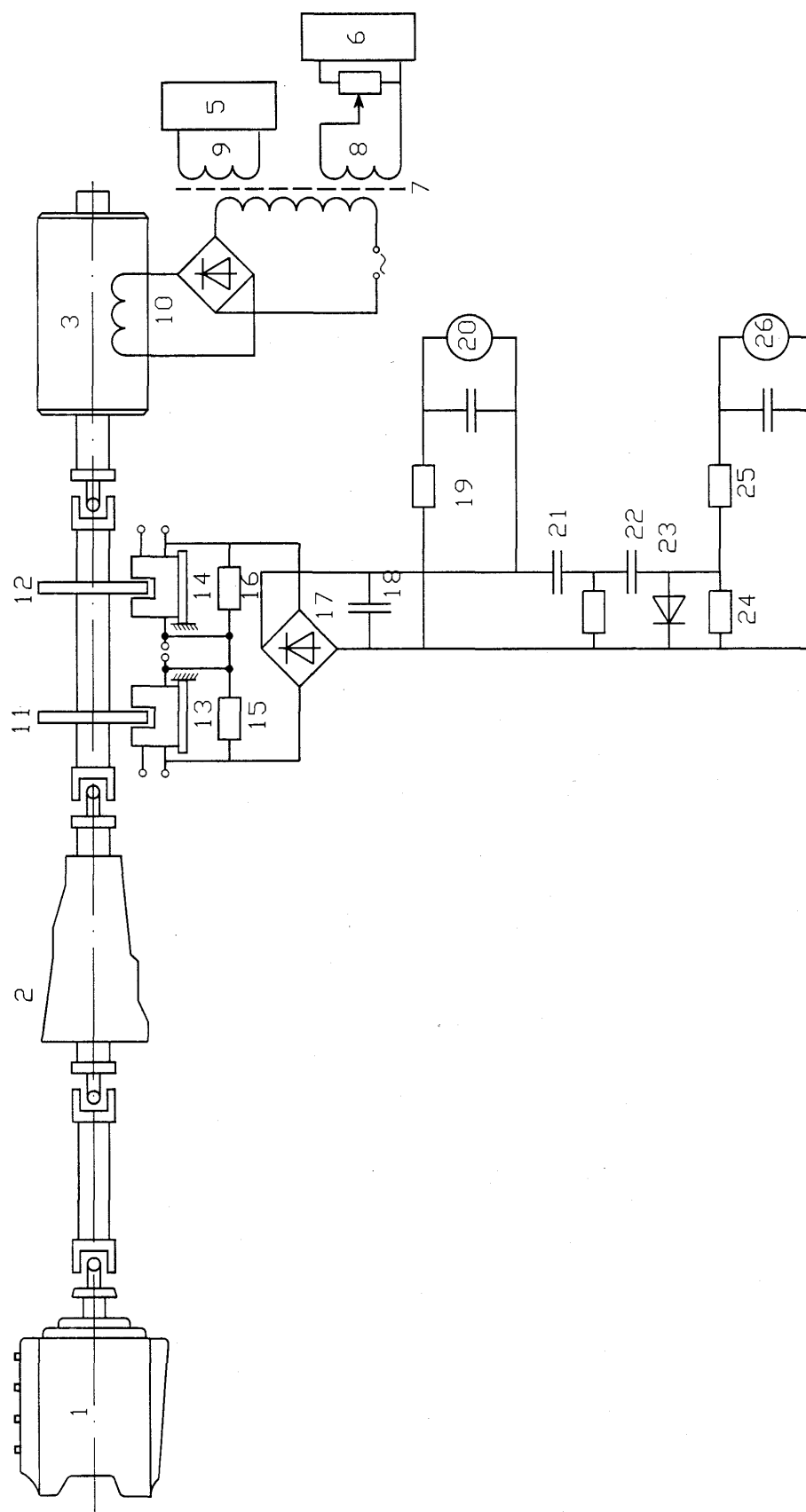


Рисунок 3.40 – Стенд для переменной нагрузки КП

Произведем теперь расчет величины постоянной составляющей напряжения, которую необходимо подать от источника 6 постоянного тока в обмотку 8 магнитного усилителя, принимая, что коэффициент усиления магнитного усилителя равен 10. Обычно коэффициент усиления тормоза равен 40 Н·м/В. Поэтому, чтобы воспроизвести момент, постоянный по величине и равный 1000 Н·м, необходимо от источника 6 подать в обмотку 8 напряжение, которое вычисляется следующим образом:

$$U_1 = 1000 / (10 \cdot 40) = 2,5 \text{ В} . \quad (3.21)$$

Для расчета необходимой амплитуды синусоидального напряжения частотой 2 рад/с, которую необходимо подать от генератора 5 синусоидальных сигналов в обмотку 9 магнитного усилителя 7 примем, что магнитный усилитель является безинерционным звеном, а дифференциальное уравнение электрического тормоза имеет вид:

$$T \frac{dM_T(t)}{dt} + M_T(t) = K_T U_{\text{возб}}(t) . \quad (3.22)$$

Преобразуем это уравнение по Лапласу при нулевых начальных условиях :

$$T \cdot p M_T(p) + M_T(p) = K_T U_{\text{возб}}(p) \quad (3.23)$$

где p – комплексное число, называемое оператором Лапласа, $p = \alpha \pm j\omega$.

Первое слагаемое – это действительная часть комплексного числа, второе слагаемое оператора ω – мнимая часть комплексного числа.

Преобразование Лапласа функции времени $M(t)$ осуществляется в соответствии с уравнением

$$M_T(p) = \int_0^{\infty} M_T(t) e^{-pt} dt . \quad (3.24)$$

Функция $M(t)$ есть функция времени, функциональное преобразование, осуществляемое над этой функцией времени, записывается так:

$$M_T(p) = L[M_T(t)] . \quad (3.25)$$

Эта запись означает, что для получения функции комплексного переменного $M(p)$ надо произвести операцию Лапласа над функцией

времени. Существует еще другой вид этой записи: $M(p) = M(t)$. $M(p)$ является изображением функции $M(t)$, а функция времени $M(t)$ есть оригинал функции $M(p)$.

Преобразование Лапласа имеет смысл в том случае, если несобственный интеграл (интеграл с бесконечностью в верхнем пределе) сходится, т. е. после подстановки пределов интегрирования получается конечное число.

Приведем несколько примеров нахождения изображения функций времени.

Найдем изображение оригинала, равного единице:

$$M_T(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} dt = -\frac{1}{p} \int_0^{\infty} d[e^{-pt}] = -\frac{1}{p} e^{-pt} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{p}. \quad (3.26)$$

Итак, функциональное преобразование по Лапласу единицы запишется следующим образом: $\frac{1}{p} = 1$.

Найдем изображение постоянной величины А:

$$M_T(p) = \int_0^{\infty} A e^{-pt} dt = A \int_0^{\infty} e^{-pt} dt = \frac{A}{p}. \quad (3.27)$$

Пусть функция времени $M(t)$ имеет изображение $M(p)$. Найдем изображение первой производной данной функции при условии, что данная функция равна нулю при $t = 0$:

$$\int_0^{\infty} \frac{dM_T(t)}{dt} e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} dM_T(t) e^{-pt}. \quad (3.28)$$

Возьмём интеграл по частям, приняв $U = e^{-pt}$, $\alpha v = dM_T(t)$:

$$\int_0^{\infty} dM_T(t) e^{-pt} = e^{-pt} M_T(t) \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} d[e^{-pt}] M_T(t). \quad (3.29)$$

Так как

$$e^{-pt} M_T(t) \Big|_0^{\infty} = 0 - M_T(0) = -M_T(0), \quad (3.30)$$

а второй интеграл определяется

$$-\int_0^{\infty} d[e^{-pt}] M_T(t) = p \int_0^{\infty} M_T(t) e^{-pt} dt = p \cdot M_T(p). \quad (3.31)$$

Исходный интеграл по выражению (20) определится следующим образом:

$$\int_0^{\infty} \frac{dM_T(t)}{dt} e^{-pt} dt = pM_T(p) - M_T(0). \quad (3.32)$$

При $M(t) = M(0) = 0$ преобразование Лапласа для производной от функции записывается

$$pM_T(p) = L\left[\frac{dM_T(t)}{dt}\right]. \quad (3.33)$$

Следовательно, преобразование по Лапласу производной равно произведению оператора на изображение самой функции.

Так как в дифференциальном уравнении тормоза (3.22) первый член представляет собой произведение постоянной времени на производную от функции $\frac{dM_T}{dt}$, то в уравнении (3.23) первый член представляет собой произведение постоянной времени T на оператор p и на изображение самой функции $TrM_T(p)$.

Второй член уравнения (3.22), стоящий в правой части уравнения, есть функция времени, поэтому в правой части уравнения (3.23), стоит ее изображение $U_{\text{возб}}$.

Изображения $M_T(p)$, стоящие в левой части уравнения (3.23), являются для электрического тормоза выходными параметрами или так называемыми выходными координатами (величинами). Изображение напряжения, стоящее в правой части уравнения (3.23), является входной величиной для электрического тормоза. Вынесем за скобки в уравнении (3.23) изображение тормозного момента:

$$M_T(p)[Tp + 1] = K_T U_{\text{возб}}(p). \quad (3.34)$$

Разделим $M(p)$ на $U_{\text{возб}}(p)$. Получим передаточную функцию электрического тормоза

$$W_T(p) = \frac{M_T(p)}{U_{\text{возб}}(p)} = \frac{K_T}{Tp + 1}, \quad (3.35)$$

где T – постоянная времени тормоза, для электрических тормозов имеет величину от 0,5 до 2 с.

Таким образом, передаточной функцией электрического тормоза называется отношение изображения по Лапласу тормозного момента на его валу к изображению напряжения, подаваемого на его обмотку возбуждения при нулевых начальных условиях.

Анализ полученного выражения для передаточной функции тормоза показывает, что с точки зрения его динамических свойств он представляется аperiodическим звеном первого порядка.

Выражение для частотной функции электрического тормоза, необходимое для построения его частотных характеристик, получим заменой в выражении оператора комплексного переменного p на мнимое число. Имеем поэтому

$$W(j\omega) = \frac{K_T}{T \cdot j\omega + 1} . \quad (3.36)$$

Получим выражения для построения частотных характеристик. Для построения амплитудно-фазовой частотной характеристики тормоза представим частотную функцию в виде суммы действительной и мнимой ее частей:

$$W(j\omega) = U(\omega) + j\nu(\omega) . \quad (3.37)$$

Умножим числитель и знаменатель частотной функции на сопряженное знаменателю число. В результате получим

$$W(j\omega) = \frac{K_T}{Tj\omega + 1} \cdot \frac{1 - Tj\omega}{1 - Tj\omega} = \frac{K_T - jK_T T\omega}{1 + T^2\omega^2} \quad (3.38)$$

Действительная и мнимая части называются действительной и мнимой частотными характеристиками и соответственно определяются следующими выражениями:

$$U(\omega) = \frac{K_T}{1 + T^2\omega^2}; \quad j\nu(\omega) = -\frac{K_T T\omega}{1 + T^2\omega^2} . \quad (3.39)$$

Выражение для построения амплитудно-частотной характеристики тормоза следующее:

$$|W(j\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + v^2(\omega)} = \frac{K_T}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}}. \quad (3.40)$$

Амплитудно-частотная характеристика тормоза строится в декартовых координатах: по оси абсцисс откладываются значения круговой частоты ω , по оси ординат – значения модуля частотной характеристики тормоза. Согласно условию задачи для $\omega = 2$ рад/с находим значение модуля. Оно равно 17,8. Амплитуда синусоидального колебания, которую необходимо подать в обмотку возбуждения тормоза, равна

$$U_{\text{возб}} = \frac{200}{17,8} = 11,2 \text{ В}. \quad (3.41)$$

Учитывая коэффициент усиления магнитного усилителя, равный 10, имеем значение амплитуды синусоидального колебания, подаваемого от генератора 5 в обмотку усилителя: $U = 1,12 \text{ В}$.

4 Повышение проходимости транспортных средств

4.1 Устройство повышения проходимости

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

Объясняется это тем, что при увеличении момента сопротивления движению на ведущих колесах транспортного средства в процессе его эксплуатации увеличивается и приведенный момент сопротивления на валу двигателя внутреннего сгорания по отношению к вращающему моменту двигателя внутреннего сгорания, вследствие чего снижается его частота вращения. Известно, что снижение частоты вращения $n_{\text{дн}}$ двигателя происходит по апериодической кривой первого порядка, т. е. с задержкой во времени, равной Δt_1 (рисунок 4.1).

В процессе снижения частоты вращения увеличивается количество подаваемого топлива $h_{\text{дн}}$ в цилиндры двигателя, но из-за медленного снижения частоты вращения двигателя это происходит за время, также равное Δt_1 (рисунок 4.2), т. е. медленно. Поэтому вращающий момент на валу двигателя возрастает медленно. Транспортное средство очень медленно преодолевает возросшее сопротивление движению, при этом снижаются его производительность и проходимость. Возникает необходимость в совершенствовании известной системы автоматического регулирования путем увеличения ее быстродействия.

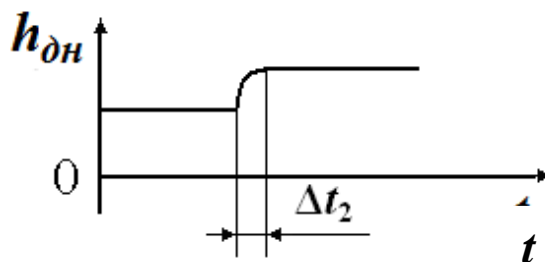


Рисунок 4.1 – Увеличение количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению в традиционных системах управления

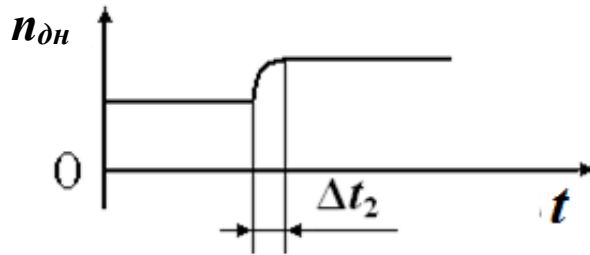


Рисунок 4.2 – Снижение частоты вращения двигателя при возрастании момента сопротивления движению транспортного средства в известных системах управления

В результате выполнения научно-исследовательских работ для решения данной задачи был разработан метод повышения проходимости и производительности транспортного средства за счет увеличения быстродействия системы автоматического управления двигателем внутреннего сгорания при увеличении момента сопротивления движению и предложена система автоматического управления для его реализации.

Сущность метода заключается в том, что приведенный момент M_{nc} сопротивления на валу двигателя непрерывно измеряют в процессе эксплуатации автомобиля (рисунок 4.3), производят его дифференцирование и при его увеличении получают его производную dM_{nc}/dt со знаком плюс на выходе дифференцирующей цепи (рисунок 4.4) с помощью диода, включенного в прямом направлении. Далее подают эту производную приведенного момента сопротивления положительной гибкой обратной связью на дополнительный вход системы автоматического управления автомобилем, таким образом получая управляющий сигнал, который подается на усилитель.

При наличии напряжения на выходе усилителя электронным блоком управления формируется напряжение в виде прямоугольного импульса с большей длительностью, чем ранее до увеличения момента сопротивления движению транспортного средства. Поэтому с помощью форсунки подается больше топлива $h_{дн}$ (рисунок 4.5), и это происходит быстрее за счет введения в систему управления гибкой положительной обратной связи, т. к. задержка во времени в установке нового значения подачи топлива, равная Δt_2 , в предлагаемой системе управления значительно меньше, чем в известной системе управления.

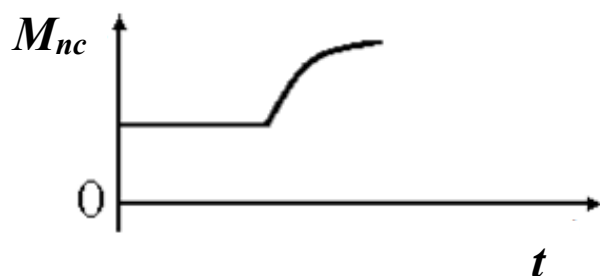


Рисунок 4.3 – Увеличение приведенного к валу двигателя момента M_{nc} сопротивления валу двигателя при увеличении момента сопротивления движению транспортного средства

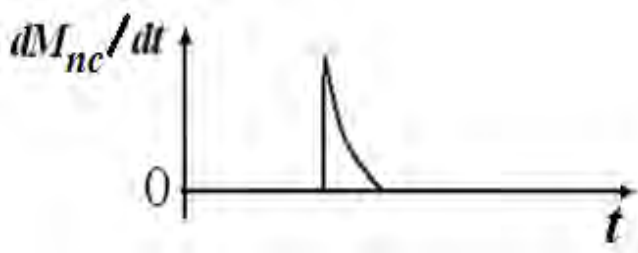


Рисунок 4.4 – Импульс напряжения на выходе дифференцирующей цепи

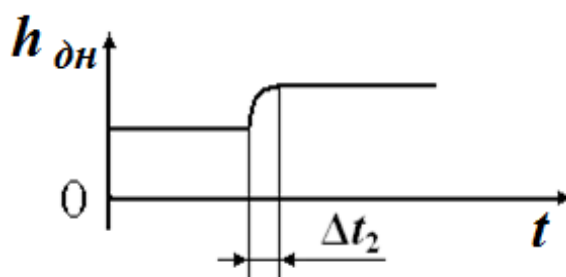


Рисунок 4.5 – Увеличение количества подаваемого топлива $h_{он}$ при возрастании момента сопротивления движению транспортного средства в предлагаемой системе управления

Момент, развиваемый двигателем, возрастает быстрее и становится равным увеличенному приведенному к валу двигателя внутреннего сгорания моменту сопротивления более быстро, а частота вращения $n_{он}$ двигателя внутреннего сгорания, а следовательно, и частота вращения ведущего колеса претерпевают незначительное снижение (рисунок 4.6).

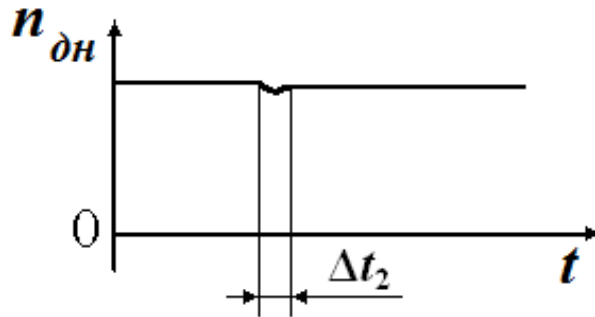


Рисунок 4.6 – Изменение частоты вращения $n_{дн}$ двигателя при возрастании момента сопротивления движению транспортного средства в предлагаемой системе управления

Система автоматического управления содержит (рисунок 4.7) последовательно кинематически соединенные двигатель 1 внутреннего сгорания с педалью 2 управления подачей топлива, коробкой 3 передач, главную передачу 4, ведущее колесо 5, первый сумматор 6 с двумя входами 7 и 8 и выходом 9, датчик 10 перемещения педали 2 управления подачей топлива, выход 11 которого соединен с первым входом 7 первого сумматора 6, датчик 12 частоты вращения двигателя 1 внутреннего сгорания, выход которого соединен со вторым входом 8 первого сумматора 6, образуя при этом соединении жесткую обратную отрицательную связь 13, датчик 14 крутящего момента, установленный на упругом валу 15, соединяющим двигатель 1 внутреннего сгорания с коробкой 3 передач, последовательно соединенные усилитель 16 и электронный блок 17 управления, исполнительный элемент, выполненный в виде электромагнитной форсунки 18, ввернутой в камеру сгорания двигателя 1 внутреннего сгорания, с обмоткой 19, соединенной с выходом электронного блока 17 управления, второй сумматор 20 с двумя входами 21 и 22 и выходом 23, первый вход 21 которого соединен с выходом 9 первого сумматора 6, а выход 23 второго сумматора 20 – с усилителем 16, дифференцирующую цепь 24, включающую в себя конденсатор 25 и резистор 26, последовательно соединенный с дифференцирующей цепью 24, диод 27, включенный в прямом направлении, при этом выход датчика 14 крутящего момента соединен со входом дифференцирующей цепи 24, а выход дифференцирующей цепи 24 с диодом 27, включенном в прямом направлении, – со вторым входом 22 второго сумматора 20, образуя при этом соединении гибкую обратную положительную связь 28.

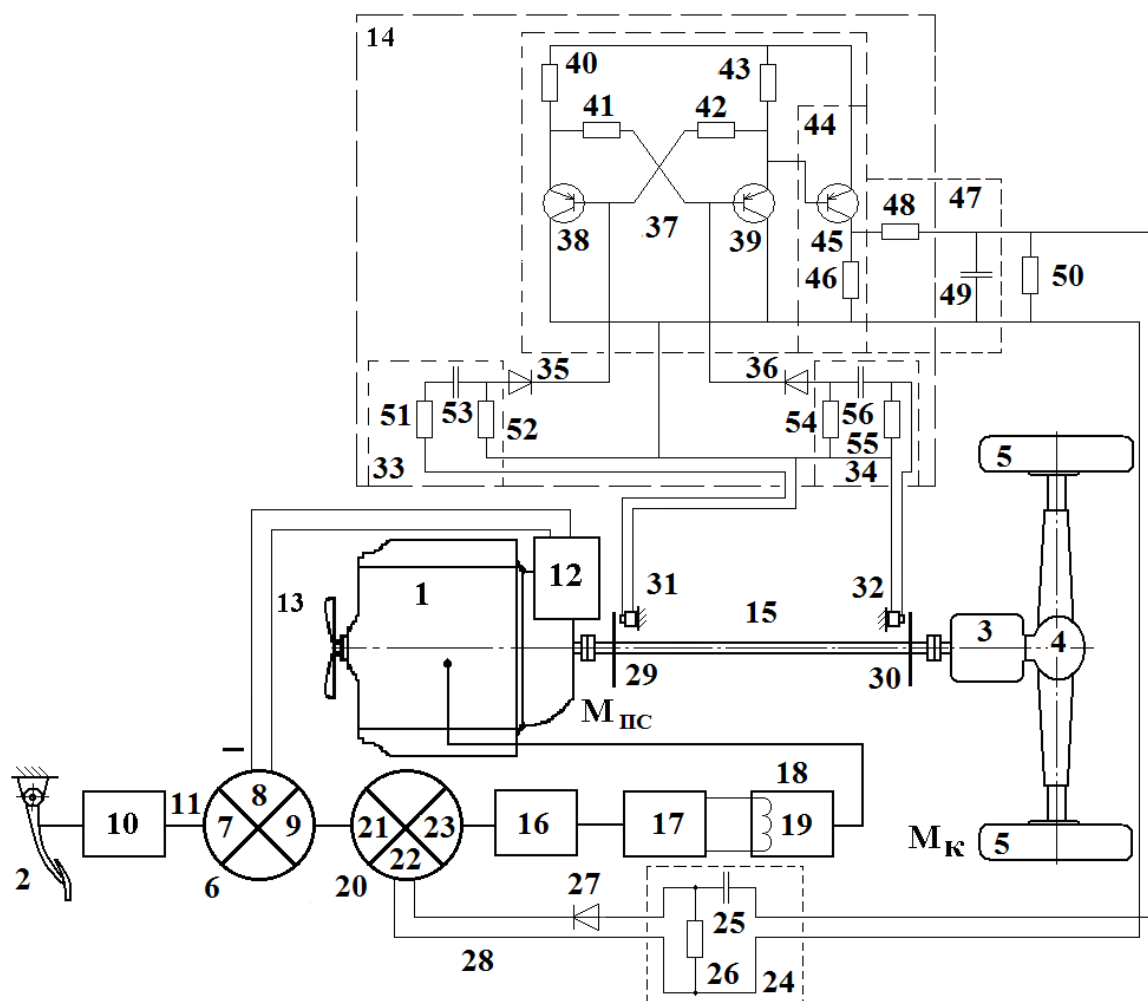


Рисунок 4.7 – Схема системы управления

Датчик 14 крутящего момента включает в себя установленные по концам упругого вала 15 двигателя 1 металлические диски 29, 30 с радиальными прорезями и выступами, преобразователи 31, 32 импульсные, установленные с обеспечением возможности прохождения выступов и прорезей каждого из дисков 29, 30 возле соответствующего преобразователя 31, 32, соединенные с выходами преобразователей 31, 32 дифференцирующие цепи 33, 34 с отсекающими диодами 35, 36, триггер 37, выполненный на первом 38 и втором 39 транзисторах и четырех резисторах 40, 41, 42, 43 (при этом базы транзисторов 38, 39 соединены с выходами дифференцирующих цепей 33, 34), последовательно соединенный эмиттерный повторитель 44, выполненный на транзисторе 45 и резисторе 46, входом соединенный с выходом триггера 37, интегрирующую цепь 47, выполненную на резисторе 48 и конденсаторе 49, выходной резистор 50.

Дифференцирующая цепь 33 включает в себя резисторы 51, 52 и конденсатор 53. Дифференцирующая цепь 34 включает в себя резисторы 54, 55 и конденсатор 56.

Крутящий момент на валу двигателя 1 измеряется следующим образом. В исходном состоянии транзистор 38 триггера 37 закрыт, а транзистор 39 открыт. Поэтому напряжение на коллекторе транзистора 39 равно нулю, а на коллекторе транзистора 38 принимает максимальное значение. При вращении вала 15 и нагружении его моментом диск 29 проходит выступом возле преобразователя 31, и на выходе преобразователя 31 появляется первый импульс. Он дифференцируется цепью 33, на выходе которой образуются два разнополярных импульса. Выходной сигнал цепи 33 выпрямляется диодом 35, образуя положительный импульс, который подается на базу транзистора 38. Транзистор 38 открывается, а транзистор 39 закрывается, поэтому на коллекторе транзистора 39 появляется положительное напряжение.

При нагружении моментом вал 15 закручивается на угол пропорционально приложенному моменту. Поэтому диск 30 закручивается относительно диска 29 и на выходе преобразователя 32 образуется импульс, имеющий фазовое смещение относительно первого импульса, сформированного преобразователем 31.

Этот импульс дифференцируется цепью 34, выходной сигнал цепи 34 выпрямляется диодом 36, образуя положительный импульс, который подается на базу транзистора 39. Транзистор 39 открывается, а транзистор 38 закрывается. На коллекторе транзистора 39 опять устанавливается напряжение, равное нулю. В результате происходит формирование на коллекторе второго транзистора 39 прямоугольного импульса, длительность которого пропорциональна величине крутящего момента в данный момент времени. Далее образование прямоугольных импульсов на выходе второго транзистора 39 происходит аналогично описанному выше. Полученные прямоугольные импульсы подаются на вход интегрирующей цепи 47 посредством эмиттерного повторителя 44, с помощью которого выполняется согласование высокого сопротивления на выходе триггера 37 с низким сопротивлением интегрирующей цепи 47. На выходе интегрирующей цепи 47 и на выходном резисторе 50 формируется напряжение, уровень которого пропорционален крутящему моменту на валу двигателя 1.

При движении транспортного средства с помощью датчика 10 перемещения педали управления подачей топлива задается скоростной режим двигателя 1, с помощью датчика 12 частоты вращения двигателя измеряется его частота вращения. При сравнении напряжений на выходе датчика 10 и датчика 12 первым сумматором 6 формируется управляющее напряжение на его выходе в виде разности этих напряжений.

При равенстве напряжения с выхода датчика 10 перемещения педали и напряжения с выхода датчика 12 частоты вращения двигателя, подаваемых на входы 7 и 8 первого сумматора 6, напряжение на выходе 9 первого сумматора 6 равно нулю, транспортное средство при этом движется с постоянной скоростью, т. к. прямоугольные импульсы напряжения, формируемые электронным блоком 17 управления и подаваемые на обмотку 19 электромагнитной форсунки 18, имеют одинаковую длительность, и этим обеспечивается постоянная по величине подача топлива в цилиндры двигателя.

При увеличении момента M_k сопротивления движению транспортного средства от внешней среды, а следовательно, и увеличении приведенного момента сопротивления на упругом валу 15 по отношению к вращающему моменту двигателя частота вращения двигателя внутреннего сгорания начинает снижаться. На выходе датчика 12 частоты вращения двигателя 1 внутреннего сгорания начинает уменьшаться напряжение, а на выходе 9 первого сумматора 6 появляется напряжение.

Одновременно на выходе датчика момента, установленного на валу двигателя внутреннего сгорания, напряжение увеличивается, оно дифференцируется цепью 24, вследствие чего на ее выходе формируется положительное напряжение, пропорциональное производной от увеличения момента сопротивления на валу двигателя внутреннего сгорания.

Посредством диода 27, включенного в прямом направлении, полученное положительное напряжение подается на второй вход 22 второго сумматора 20 по цепи обратной положительной гибкой связи 28, содержащей дифференцирующую цепь 24 и диод 27. Далее производится сложение его с выходным напряжением первого сумматора 6. Результат в виде положительного напряжения с выхода 23 второго сумматора 20 подается на усилитель 16.

На выходе электронного блока 17 управления увеличится длительность формируемого им прямоугольного импульса, подача топлива $h_{\text{дн}}$ (см. рисунок 4.5) повысится, момент двигателя возрастет и станет равным новому увеличенному моменту сопротивления, а частота вращения двигателя прекратит снижаться. За счет оперативного, почти без замедления, увеличения вращающего момента двигателя по цепи положительной гибкой обратной связи 28 повышаются проходимость и производительность транспортного средства с предлагаемой системой управления.

При уменьшении момента сопротивления движению транспортного средства, а следовательно, и уменьшении приведенного момента сопротивления на упругом валу 15 по отношению к вращающему моменту двигателя внутреннего сгорания на выходе датчика 14 момента напряжение снижается, оно дифференцируется цепью 24, на ее выходе формируется

отрицательное напряжение, пропорциональное производной от снижения момента сопротивления упругом валу 15.

Однако посредством диода 27, включенного в прямом направлении, полученное отрицательное напряжение не подается на второй вход 22 второго сумматора 20. Поэтому коррекции подаваемого количества топлива не происходит.

Экономический эффект получается за счет повышения производительности и проходимости транспортного средства путем использования для управления двигателем внутреннего сгорания такого информационного параметра, как производная от увеличения момента сопротивления на валу двигателя при повышении момента сопротивления движению транспортного средства.

4.2 Устройство управления скоростью движения

Используемые системы автоматического управления скоростью движения автомобиля включают в себя, как правило, датчик перемещения 2 (рисунок 4.8), 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 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.

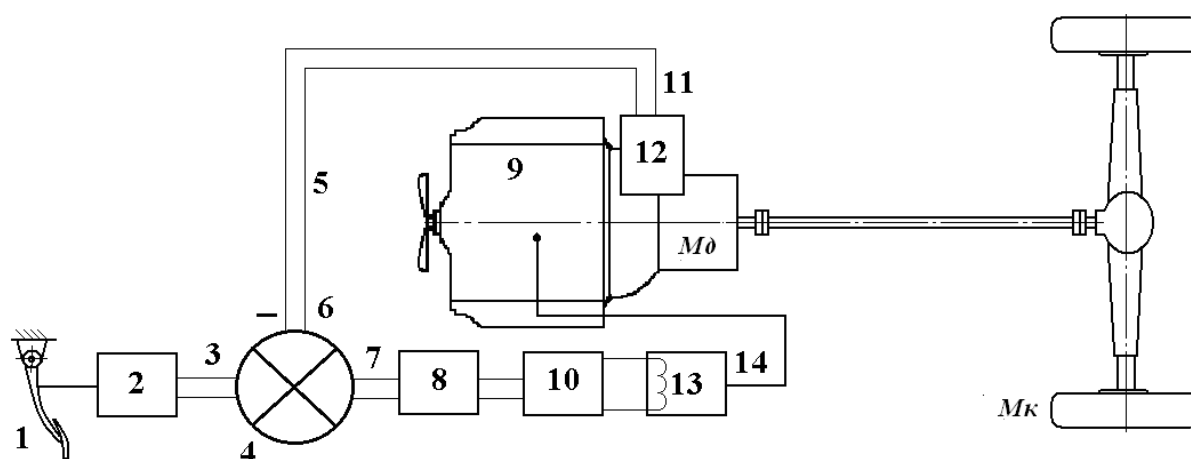


Рисунок 4.8 – Схема системы управления скоростью движения автомобиля

Эти системы отличаются тем, что обеспечивают требуемый уровень таких эксплуатационных свойств, как проходимость и производительность,

только при постоянном нагрузочном режиме эксплуатации автомобиля. В то же время момент сопротивления движению автомобиля M_k является динамическим, и 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 – 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 т. к. 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 ΔU . Поэтому при постоянном скоростном режиме работы автомобиля управляющее напряжение на выходе сумматора и входное напряжение, поступающее на усилитель, равны нулю. Электронным блоком управления формируются прямоугольные импульсы постоянной длительности, и количество топлива подается в цилиндры двигателя одинаковым.

При увеличении момента M_k сопротивления движению автомобиля увеличивается и момент M_∂ сопротивления на валу двигателя внутреннего сгорания по отношению к имеющемуся на валу двигателя вращающему моменту, вследствие чего происходит снижение частоты вращения двигателя. Известно, что снижение частоты вращения $n_{\partial n}$ двигателя происходит по апериодической кривой первого порядка, т. е. с задержкой во времени, равной Δt_1 (рисунок 4.9).

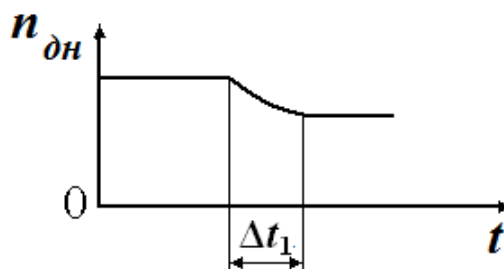


Рисунок 4.9 – Изменение частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в используемой системе управления

В процессе снижения частоты вращения вала двигателя происходит увеличение количества подаваемого топлива $h_{\text{дн}}$ в его цилиндры. Но это из-за медленного снижения частоты вращения происходит за такое же время Δt_1 (рисунок 4.10), 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. На выходе сумматора появляется управляющее напряжение, равное разности поступающих напряжений на входы сумматора, которое передается посредством усилителя на вход электронного блока управления.

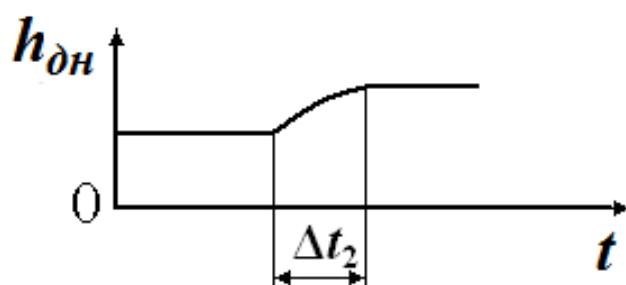


Рисунок 4.10 — Зависимость увеличения количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в используемой системе управления

На выходе блока управления появляются прямоугольные импульсы с увеличенной длительностью. Топлива подается больше, и 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, что снижает быстродействие системы. Автомобиль медленно преодолевает сопротивление движению, при этом ухудшаются его производительность и проходимость. Может даже возникать необходимость в переключении передачи на более низшую по отношению к исходной, что дополнительно снижает быстродействие.

Таким образом, требуется совершенствование системы автоматического регулирования путем повышения ее быстродействия.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований с существующими автомобильными системами управления авторами разработана усовершенствованная система. В ней при увеличении момента сопротивления движению автомобиля производится дифференцирование (рисунок 4.11) снижающейся частоты вращения двигателя

и результат дифференцирования (рисунок 4.12) подается посредством диода, включенного в обратном направлении, на второй вход второго сумматора, а первый вход второго сумматора соединен с выходом первого сумматора, при этом выход второго сумматора соединен со входом усилителя. Таким образом, в систему управления скоростью движения автомобиля необходимо ввести вторую гибкую отрицательную связь, повышающую быстродействие системы управления при увеличении момента сопротивления движению автомобиля.

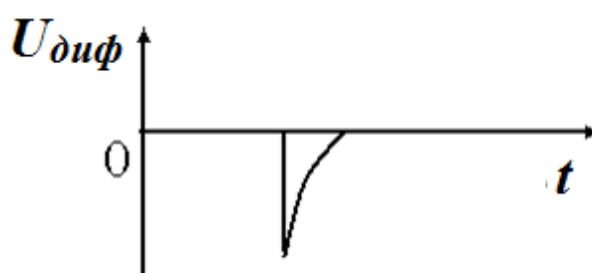


Рисунок 4.11 – Напряжение на выходе дифференцирующей цепи в усовершенствованной системе при увеличении момента сопротивления движению автомобиля

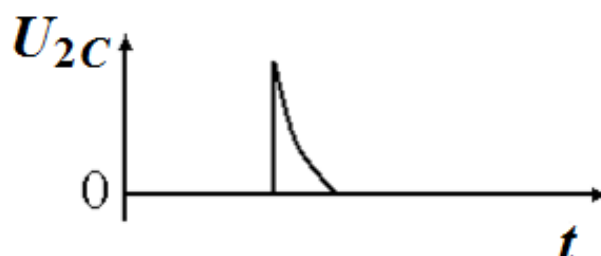


Рисунок 4.12 – Напряжение на выходе второго сумматора в усовершенствованной системе управления при увеличении момента сопротивления движению автомобиля

Электронным блоком управления формируется напряжение в виде прямоугольных импульсов с большей длительностью, чем ранее до увеличения момента сопротивления движению автомобиля. Поэтому с помощью форсунки подается больше топлива $h_{\text{он}}$ (рисунок 4.13), и это происходит быстрее за счет введения в систему управления гибкой отрицательной обратной связи. Это приводит к уменьшению задержки во времени в установке нового значения подачи топлива, равной Δt_2 в усовершенствованной системе управления, в сравнении со временем в известной системе управления, равной Δt_1 . Изменение частоты вращения вала при этом (рисунок 4.14) незначительно.

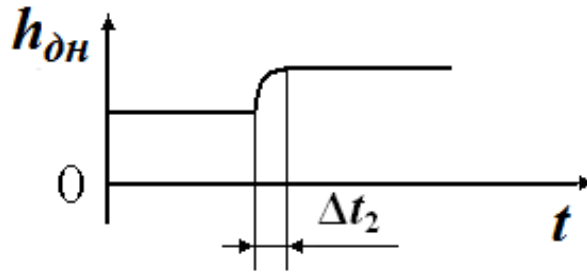


Рисунок 4.13 – Процесс быстрого увеличения количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в усовершенствованной системе управления

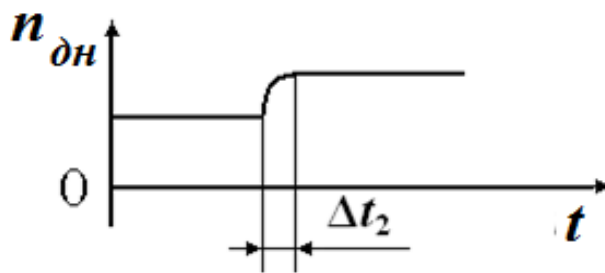


Рисунок 4.14 – Изменение частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в усовершенствованной системе управления

Усовершенствованная система содержит (рисунок 4.15) последовательно кинематически соединенные двигатель внутреннего сгорания 4 с педалью управления подачей топлива 2, коробку передач 32, главную передачу 49, ведущее колесо 48, первый сумматор 5 с первым 7 и вторым 8 входами и выходом 9, датчик 1 перемещения педали 2 управления подачей топлива, выход 6 которого соединен с первым входом 7 первого сумматора 5, датчик 47 частоты вращения двигателя внутреннего сгорания 4, выход которого соединен со вторым 8 входом первого сумматора 5, образуя при этом соединении жесткую обратную отрицательную связь 3, последовательно соединенные усилитель 33, электронный блок управления 34, электромагнитную форсунку 36, ввернутую в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания 4, с обмоткой 35, соединенной с выходом электронного блока управления 34, второй сумматор 10 с первым входом 11, соединенным с выходом 9 первого сумматора 5, и выходом 12, соединенным с усилителем 33, первую дифференцирующую цепь 41, включающую в себя резистор 40 и конденсатор 38, и последовательно соединенный с ней диод 37, включенный в обратном направлении.

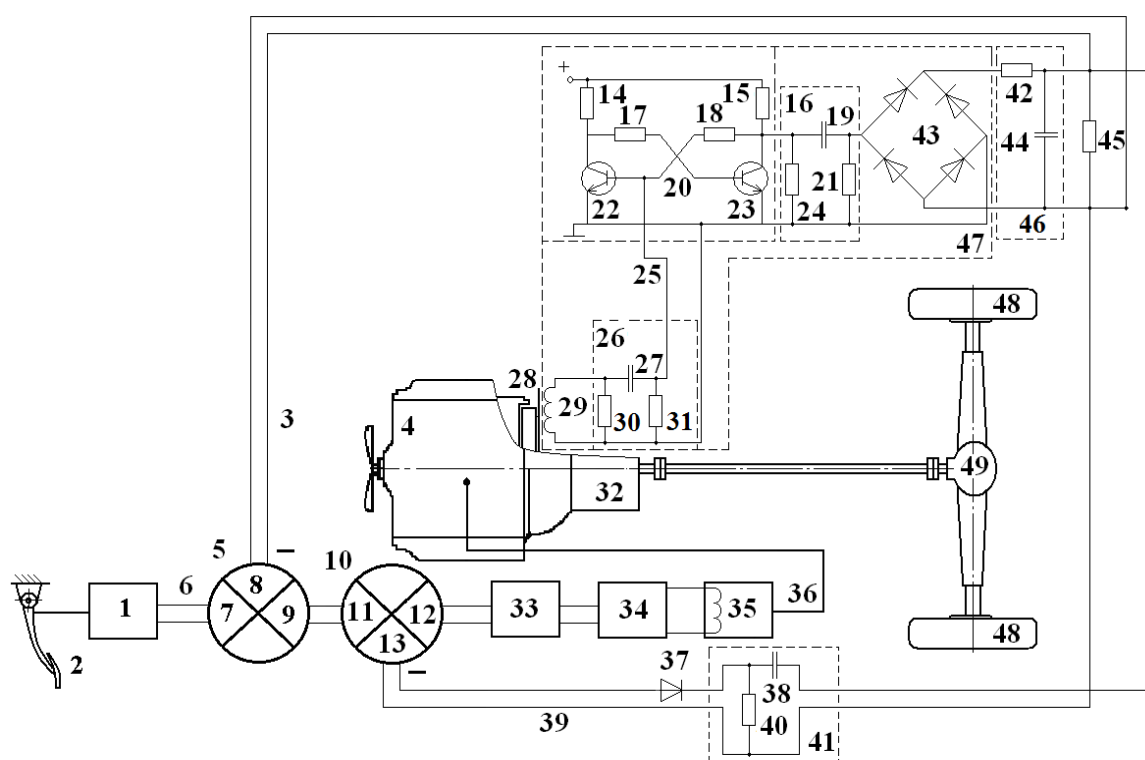


Рисунок 4.15 – Функциональная схема усовершенствованной системы управления скоростью движения автомобиля

Выход датчика 47 частоты вращения дополнительно соединен со входом первой дифференцирующей цепи 21, а выход первой дифференцирующей цепи 41 с диодом 37, включенным в обратном направлении, – со вторым входом 13 второго сумматора 10, образуя при этом соединении гибкую обратную отрицательную связь 39.

Датчик 47 частоты вращения двигателя внутреннего сгорания содержит металлический диск 28 с выступами и прорезями, установленный на валу двигателя внутреннего сгорания, катушку 29 индуктивности с магнитным сердечником, установленную возле металлического диска 28, последовательно соединенные вторую дифференцирующую цепь 26, выполненную на резисторах 30, 31 и конденсаторе 27, триггер 20 с одним входом 25, выполненный на первом 22 и втором 23 транзисторах и четырех резисторах 14, 17, 18, 15, третью дифференцирующую цепь 16, выполненную на двух резисторах 24, 21 и конденсаторе 19, выпрямитель 43, интегрирующую цепь 46, выполненную на резисторе 42 и конденсаторе 44, выходной резистор 45.

Датчик 47 частоты вращения двигателя работает следующим образом. При работе двигателя выступы и прорези металлического диска 28 проходят возле катушки индуктивности 29 с магнитным сердечником, на выходе которой возникает разнополярная периодическая последовательность импульсов,

которая формируется второй дифференцирующей цепью 26 и подается входом 25 на базу транзистора 22 триггера 20.

На выходе триггера 20 образуются положительные прямоугольные импульсы различной длительности при изменении частоты вращения двигателя внутреннего сгорания. Для формирования одинаковых импульсов при различной частоте вращения двигателя внутреннего сгорания с выхода триггера последовательность импульсов подается на третью дифференцирующую цепь 16, на выходе которой образуются экспоненциальные разнополярные одинаковые по площади импульсы. Они выпрямляются выпрямителем 43 и сглаживаются интегрирующей цепью 46.

На выходе резистора 49 формируется уровень напряжения, пропорциональный частоте вращения двигателя внутреннего сгорания.

При эксплуатации автомобиля с помощью датчика 1 перемещения педали управления подачей топлива задается скоростной режим двигателя внутреннего сгорания, а с помощью датчика 47 измеряется его частота вращения. Так как обратная связь отрицательная, то непрерывно с помощью сумматора 5 происходит вычитание напряжения на выходе датчика 47 из напряжения на выходе датчика 1 и на выходе 9 сумматора 5 формируется управляющее напряжение в виде разности указанных напряжений.

При равенстве напряжения с выхода датчика 1 перемещения педали и напряжения с выхода датчика 47 частоты вращения двигателя, подаваемых соответственно на входы 7 и 8 первого сумматора 5, напряжение на выходе 9 первого сумматора 5 и одновременно на первом входе 11 второго сумматора 10 равно нулю. А так как момент сопротивления движению автомобиля при постоянном скоростном режиме его работы не изменяется, то на выходе первой дифференцирующей цепи 41 и одновременно на втором входе 13 второго сумматора 10 напряжение также равно нулю. Поэтому на выходе 12 второго сумматора 10 и одновременно на входе электронного усилителя 33 управляющее напряжение отсутствует. Автомобиль при этом движется с постоянной скоростью, т. к. прямоугольные импульсы напряжения, формируемые электронным блоком управления 34 и подаваемые на обмотку 35 электромагнитной форсунки 36, имеют постоянную длительность, а этим обеспечивается одинаковая подача топлива в цилиндры двигателя внутреннего сгорания.

При увеличении момента сопротивления движению M_k автомобиля от внешней среды, а следовательно, и увеличении момента M_o сопротивления на валу двигателя внутреннего сгорания по отношению к вращающему моменту двигателя внутреннего сгорания частота вращения двигателя начинает снижаться.

На выходе датчика 47 частоты вращения двигателя внутреннего сгорания начинает уменьшаться напряжение. Оно дифференцируется первой дифференцирующей цепью 41.

На выходе дифференцирующей цепи 41 формируется отрицательное напряжение, пропорциональное производной от снижения частоты вращения двигателя внутреннего сгорания.

Посредством диода 37, включенного в обратном направлении, полученное отрицательное напряжение подается на второй вход 13 второго сумматора 10 по цепи обратной отрицательной гибкой связи 39, содержащей дифференцирующую цепь 41 и диод 37. Далее производится вычитание его из выходного напряжения первого сумматора 5, которое до увеличения момента сопротивления движению автомобиля равно нулю. Вычитание сумматором 10 из нуля отрицательного импульса напряжения, поступающего на второй вход 13 второго сумматора 10, дает результат в виде положительного импульса напряжения, которое подается на усилитель 33.

На выходе электронного блока управления 34 увеличивается длительность формируемого им прямоугольного импульса, и подача топлива быстро повышается. Вращающий момент на валу двигателя возрастает до тех пор, пока не станет равным новому, увеличенному приведенному к валу двигателя моменту сопротивления, а частота вращения вала двигателя внутреннего сгорания прекратит снижаться. За счет оперативного, почти без замедления, регулирования вращающего момента двигателя внутреннего сгорания по цепи отрицательной гибкой обратной связи 39 повышаются проходимость и производительность автомобиля с усовершенствованной системой управления.

При уменьшении момента сопротивления движению автомобиля от внешней среды, а следовательно, и уменьшении момента сопротивления на валу двигателя по отношению к вращающему моменту частота вращения двигателя начинает увеличиваться.

На выходе датчика 47 частоты вращения двигателя внутреннего сгорания начинает увеличиваться напряжение. Оно дифференцируется первой дифференцирующей цепью 41, на выходе которой формируется пропорциональное производной от увеличения частоты вращения двигателя внутреннего сгорания положительное напряжение, которое не подается на второй вход сумматора 10, и коррекции величины подаваемого топлива при снижении момента сопротивления движению автомобиля не происходит.

Экономический эффект достигается повышением производительности и проходимости автомобиля путем увеличения быстродействия за счет использования для управления двигателем внутреннего сгорания такого

информационного параметра, как производная от снижения частоты вращения двигателя при повышении момента сопротивления движению автомобиля.

4.3 Система автоматического управления скоростью автомобиля в зависимости от сопротивления движению

Основным недостатком известной и широко применяемой на автомобилях замкнутой автоматической системы управления скоростью автомобиля является ее недостаточное быстродействие, что в условиях эксплуатации отражается на уровне таких эксплуатационных свойств как проходимость и производительность.

Объясняется это тем, что при увеличении момента сопротивления движению автомобиля, а, следовательно, и приведенного момента к валу двигателя внутреннего сгорания (рисунок 4.16 [5]) происходит снижение угловой скорости вала двигателя внутреннего сгорания в соответствии с дифференциальным уравнением 1-го порядка:

$$I_{\text{пр}} \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} = M_{\text{д}} - M_{\text{пс}} \quad (4.1)$$

где $I_{\text{пр}}$ – приведенный к валу двигателя внутреннего сгорания момент инерции всех движущихся и вращающихся масс автомобиля;

$\frac{d\omega_{\text{д}}}{dt}$ – производная от угловой скорости вала двигателя внутреннего сгорания;

$M_{\text{д}}$ – вращающий момент двигателя внутреннего сгорания;

$M_{\text{пс}}$ – приведенный к валу двигателя внутреннего сгорания момент сопротивления движению автомобиля.

На рисунке 4.17 приведен график снижения угловой скорости вращения вала двигателя внутреннего сгорания, которое происходит за достаточно длительное время Δt_1 по апериодической кривой первого порядка. В процессе этого снижения угловой скорости вала двигателя системой автоматического управления увеличивается подача топлива $h_{\text{ди}}$ за такое же время Δt_1 (рисунок 4.18), в течение которого происходит и увеличение вращающего момента двигателя внутреннего сгорания до нового уровня приведенного к валу двигателя момента сопротивления $M_{\text{пс}}$. Таким образом, из-за большого времени Δt_1 возникает необходимость в снижении этого времени задержки в подаче топлива в системе автоматики.

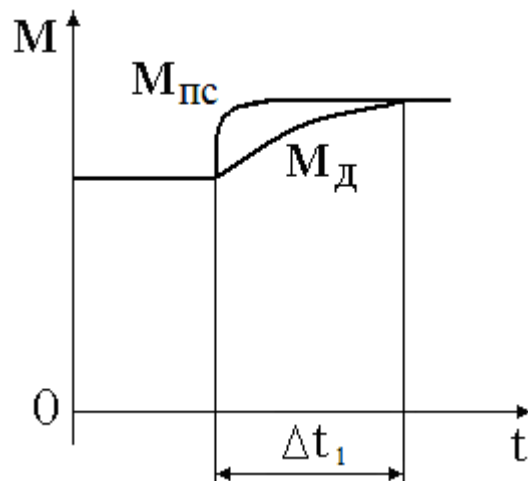


Рисунок 4.16 – Зависимость изменения моментов во времени при увеличении сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

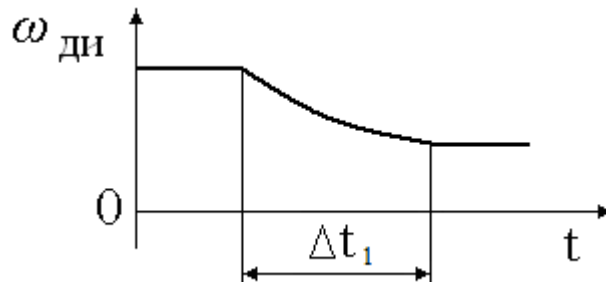


Рисунок 4.17 – Изменение частоты вращения двигателя внутреннего сгорания во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

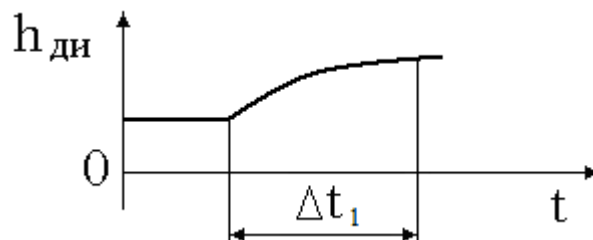


Рисунок 4.18 – Зависимость увеличения количества подаваемого топлива при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в известной системе управления

Это особенно проявляется при увеличении момента сопротивления, когда из-за низкого быстродействия применяемой системы автоматического управления, снижение частоты вращения вала двигателя происходит по аperiodической кривой первого порядка, то есть с большой задержкой во

времени. В результате чего подача топлива также возрастает медленно. Следовательно, и вращающий момент двигателя увеличивается медленно до уровня нового, приведенного к валу двигателя момента сопротивления. Проходимость и производительность снижаются. Это происходит из-за конструктивных особенностей применяемой на автомобилях системы автоматического управления с использованием датчика частоты вращения вала двигателя [5].

Для повышения быстродействия системы управления авторами предлагается использовать такой информационный параметр, как приведенный к валу двигателя момент сопротивления движению, величина которого может измеряться датчиком момента [4]. В зависимости от значения этого момента и формируются управляющие сигналы на изменение скорости движения.

Система управления содержит (рисунок 4.19) последовательно кинематически соединенные двигатель 10 внутреннего сгорания с педалью 1 управления подачей топлива, коробку 47 передач, главную передачу 48, ведущее колесо 46, сумматор 13 с двумя входами 11 и 14 и выходом 12, датчик 2 перемещения педали управления подачей топлива, выход 3 которого соединен с первым входом 11 сумматора 13; датчик 4 крутящего момента, установленный на упругом валу 31, соединяющем двигатель внутреннего сгорания с коробкой передач; последовательно соединенные усилитель 15 и электронный блок 22 управления; исполнительный элемент, выполненный в виде электромагнитной форсунки 32, ввернутой в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания, с обмоткой 33, соединенной с выходом электронного блока 22 управления; инвертор 23, выполненный на транзисторном усилителе 25 и резисторе 24 по схеме с общим эмиттером. При этом вход транзисторного усилителя 25 соединен с выходом датчика 4 крутящего момента, выход транзисторного усилителя 25 соединен со вторым входом 14 сумматора 13, а выход 12 сумматора 13 соединен с усилителем 15, образуя при этом соединении отрицательную жесткую обратную связь по моменту.

Датчик 4 крутящего момента состоит из установленных по концам упругого вала 31 двигателя внутреннего сгорания металлических дисков 21, 42 с радиальными прорезями и выступами; преобразователей 20, 41 импульсных, установленных с обеспечением возможности прохождения выступов и прорезей каждого из дисков 21, 42 возле соответствующего преобразователя 20, 41; дифференцирующих цепей 9, 40 с отсекающими диодами 8, 29, соединенных с выходами преобразователей 20, 41; триггера 19, выполненного на первом 18 и втором 28 транзисторах и четырех резисторах 16, 17, 26, 27, при этом базы транзисторов 18, 28 соединены с выходами дифференцирующих цепей 9, 40; последовательно соединенных эмиттерного повторителя 34, выполненного на транзисторе 35 и резисторе 37, входом соединенного с

выходом триггера 19; интегрирующей цепи 43, выполненной на резисторе 36 и конденсаторе 44, выходного резистора 45.

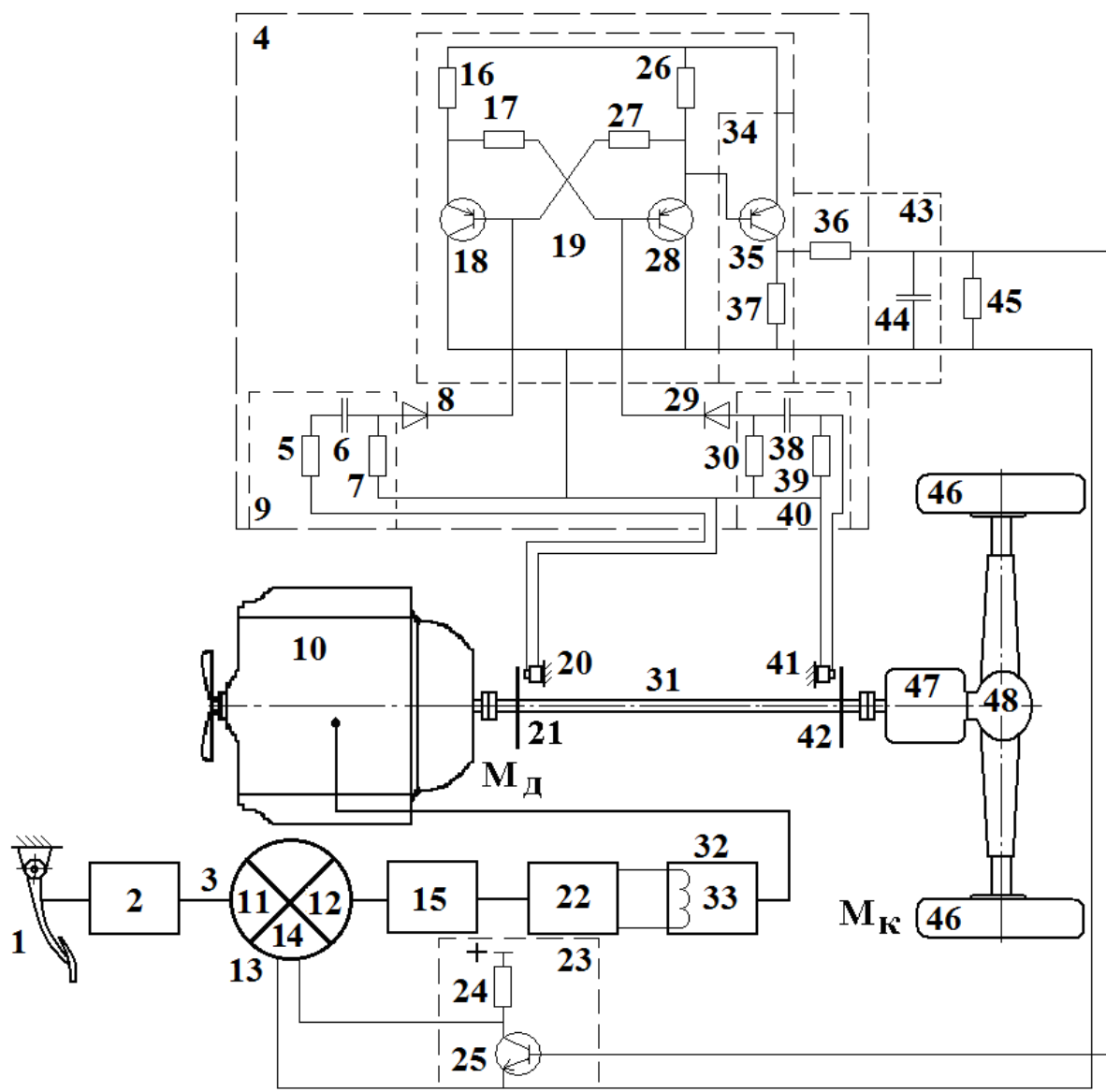


Рисунок 4.19 – Функциональная схема усовершенствованной автоматической системы управления скоростью движения автомобиля по моменту сопротивления движению:

Дифференцирующая цепь 9 включает в себя резисторы 5, 7 и конденсатор 6. Дифференцирующая цепь 40 включает в себя резисторы 30, 39 и конденсатор 38.

Крутящий момент на упругом валу 31 двигателя внутреннего сгорания измеряется следующим образом. В исходном состоянии транзистор 18 триггера 19 закрыт, а транзистор 28 открыт. Поэтому напряжение на коллекторе транзистора 28 равно нулю, а на коллекторе транзистора 18 принимает максимальное значение. При вращении вала 31 и нагружении его моментом

диск 21 проходит выступом возле преобразователя 20 и на его выходе появляется первый импульс. Он дифференцируется цепью 9, на выходе которой образуются два разнополярных импульса. Выходной сигнал цепи 9 выпрямляется диодом 8, образуя положительный импульс, который подается на базу транзистора 18. Транзистор 18 открывается, а транзистор 28 закрывается, поэтому на коллекторе транзистора 28 появляется положительное напряжение.

При нагружении моментом упругий вал 31 закручивается на угол, пропорционально приложенному моменту. Поэтому диск 42 поворачивается относительно диска 21 и на выходе преобразователя 41 формируется импульс, имеющий фазовое смещение относительно первого импульса, сформированного преобразователем 20, он дифференцируется цепью 40, на выходе которой появляются два разнополярных импульса напряжения. Далее полученное напряжение выпрямляется диодом 29, образуя после диода положительный импульс, который подается на базу транзистора 28. Транзистор 28 открывается, а транзистор 18 закрывается. В результате происходит формирование на коллекторе транзистора 28 прямоугольного импульса, длительность которого пропорциональна величине крутящего момента в данный момент времени. Далее формирование прямоугольных импульсов (рисунок 4.20) на выходе триггера 19 происходит аналогично описанному выше.

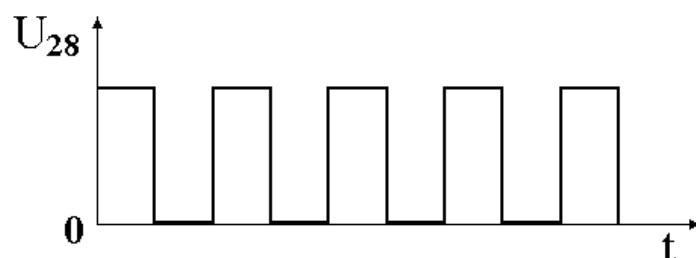


Рисунок 4.20 – Напряжение на выходе транзистора 28 триггера 19

Полученные прямоугольные импульсы подаются на вход интегрирующей цепи 43 посредством эмиттерного повторителя 34, с помощью которого выполняется согласование высокого сопротивления на выходе триггера 19 с низким сопротивлением интегрирующей цепи 43. На выходе интегрирующей цепи 43 и на выходном резисторе 45 формируется напряжение (рисунок 4.21), уровень которого пропорционален крутящему моменту на валу двигателя 1 внутреннего сгорания.

С помощью датчика 4 крутящего момента, установленного на упругом валу 31, измеряется крутящий момент. А с помощью сумматора 13 непрерывно происходит операция вычитания напряжения с выхода датчика 2 перемещения педали из напряжения, подаваемого посредством транзисторного усилителя 25

на вход 14 сумматора 13. На выходе сумматора формируется управляющее напряжение рассогласования в виде разности этих напряжений.

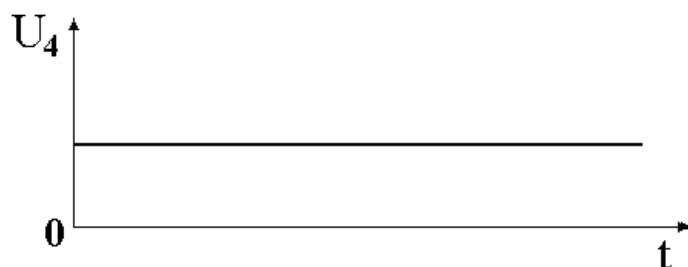


Рисунок 4.21 – Напряжение на выходе датчика момента

При равенстве напряжения с выхода датчика 2 перемещения педали, подаваемого на вход 11 сумматора и напряжения с выхода транзисторного усилителя 25 на вход 14 сумматора, напряжение на выходе 12 сумматора равно нулю. Автомобиль при этом движется с постоянной скоростью, соответствующей частоте вращения двигателя n_d (рисунок 4.22 прямая 1), так как прямоугольные импульсы напряжения, формируемые электронным блоком управления и подаваемые на обмотку 33 электромагнитной форсунки 32 имеют одинаковую длительность и этим обеспечивается постоянная по величине подача топлива h_d (рисунок 4.23, прямая 1) в цилиндры двигателя. При этом вращающий момент M_d двигателя равен приведенному к валу двигателя моменту M_{pc} сопротивления (рисунок 4.24, прямая 1).

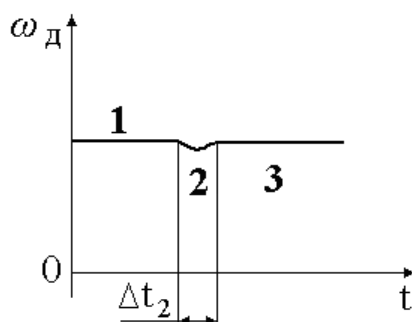


Рисунок 4.22 – Изменение угловой скорости вала двигателя при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в предлагаемой системе управления

При увеличении момента M_k (рисунок 4.16) сопротивления движению автомобиля от внешних факторов, а, следовательно, и увеличении приведенного момента сопротивления M_{pc} (рисунок 4.24, кривая 2) на упругом валу 31 по отношению к вращающему моменту двигателя 10, на выходе датчика момента увеличивается напряжение. Оно прикладывается к входу транзисторного усилителя 25 инвертора 23. Поэтому на выходе транзисторного

усилителя напряжение снижается, оно подается на вход 14 сумматора и вычитается из напряжения, подаваемого на вход 11 сумматора. На выходе сумматора появляется положительное напряжение, равное разности подаваемых на входы 11 и 14 напряжений, которое подается на усилитель 15.

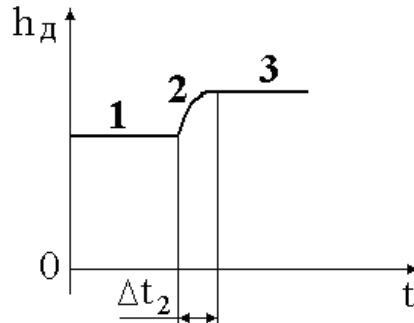


Рисунок 4.23 – Зависимость увеличения количества подаваемого топлива во времени при возрастании момента сопротивления движению автомобиля в предлагаемой системе управления

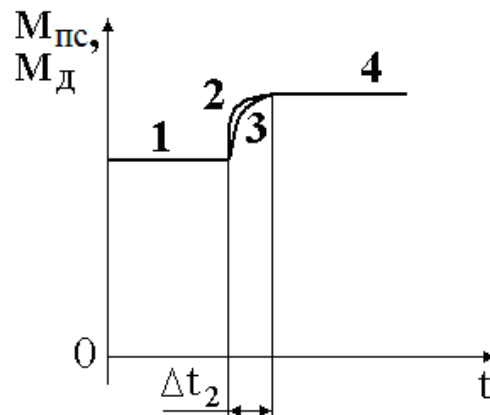


Рисунок 4.24 – Зависимость изменения моментов во времени при увеличении сопротивления движению автомобиля в предлагаемой системе управления

На выходе электронного блока управления 22 увеличится длительность формируемого им прямоугольного импульса, подача топлива h_d (рисунок 4.23, кривая 2) увеличивается за время Δt_2 , значительно меньшее, чем в известной системе управления автомобилем. По истечении этого времени вращающий момент M_d двигателя возрастает (рисунок 4.24, кривая 3) и становится равным новому увеличенному моменту сопротивления (рисунок 4.24, прямая 4). Угловая скорость вращения вала двигателя практически не снижается (рисунок 4.22, кривая 2) и далее становится постоянной (рисунок 4.22, прямая 3).

Таким образом, за счет оперативного практически без замедления увеличения вращающего момента двигателя при увеличении приведенного к его валу момента сопротивления движению автомобиля с применением

отрицательной жесткой обратной связи, содержащей инвертор, повышается проходимость и производительность автомобиля с предлагаемой системой управления.

Экономический эффект получается за счет повышения производительности и проходимости автомобиля путем увеличения быстродействия системы управления за счет использования для управления двигателем внутреннего сгорания такого информационного параметра как приведенный момент сопротивления к валу двигателя.

4.4 Устройство для автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала грузовых автомобилей

Трансмиссия современных грузовых автомобилей с колесной формулой 6х4, как правило, содержат сцепление, раздаточную коробку, межосевой дифференциал, муфту блокировки дифференциала, приводные валы среднего и заднего мостов, сами ведущие мосты и устройство ручного управления блокировкой межосевого дифференциала [8, 10].

Такие автомобили отличаются недостаточной проходимостью, повышенным износом шин, деталей трансмиссии из-за циркуляции мощности в ней, а также повышенным расходом топлива. Объясняется это тем, что устройство для блокирования межосевого дифференциала управляется водителем, который интуитивно выбирает момент времени для включения и выключения межосевого дифференциала. Водитель может запаздывать в принятии этого решения и осуществлять блокирование при достижении большой разности частот вращения валов. Поэтому происходит повышенный износ шин, трансмиссия испытывает повышенные нагрузки, расход топлива повышается.

Для повышения проходимости, снижение износа шин и деталей трансмиссии, а также расхода топлива авторами было разработано устройство для автоматической блокировки межосевого дифференциала, применение которого на грузовых автомобилях позволяет устранить или снизить недостатки, обусловленные применением ручной блокировки межосевого дифференциала.

Устройство автоматической блокировки состоит (рисунок 4.25) из чашки 3 с венцом 4 и с установленных внутри четырех конических шестерен-сателлитов 5 и двух конических шестерен 6, 7, приводных валов 8, 9 среднего 2 и заднего 10 мостов соответственно, механизма блокировки, включающего в себя кран 11 ручного управления, подвижной муфты 12 с осевым перемещением, соединенной вилкой 13 и стержнем 14 с диафрагмой пневмокамеры 15 с пружиной, муфты 16 привода среднего моста, пневмобаллона 17, электромагнитных клапанов 18, 19, установленных на пневмомагистралях к пневмокамере 15, переключателя 20 выбора ручного или автоматического режима управления блокировкой дифференциала 1, крана 21 автоматической блокировки с обмоткой 22, первого датчика 23 частоты

вращения, установленного на первом карданном валу привода среднего моста 2, второго датчика 24 частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего моста 10, сумматора 25 с двумя входами и выходом, выполненного на двух встречно включенных резисторах 26, 27, первым входом соединенного с выходом первого датчика 23 частоты вращения, вторым входом – с выходом второго датчика 24 частоты вращения, транзисторного усилителя 28, выполненного на первом 29 и втором 30 последовательно соединенных транзисторах и трех резисторах 31, 32 и 33, входом соединенного посредством выпрямителя 34, выполненного на четырех диодах, с выходом сумматора 25. При этом обмотка 22 крана 21 автоматической блокировки дифференциала 1 соединена с выходом транзисторного усилителя 28.

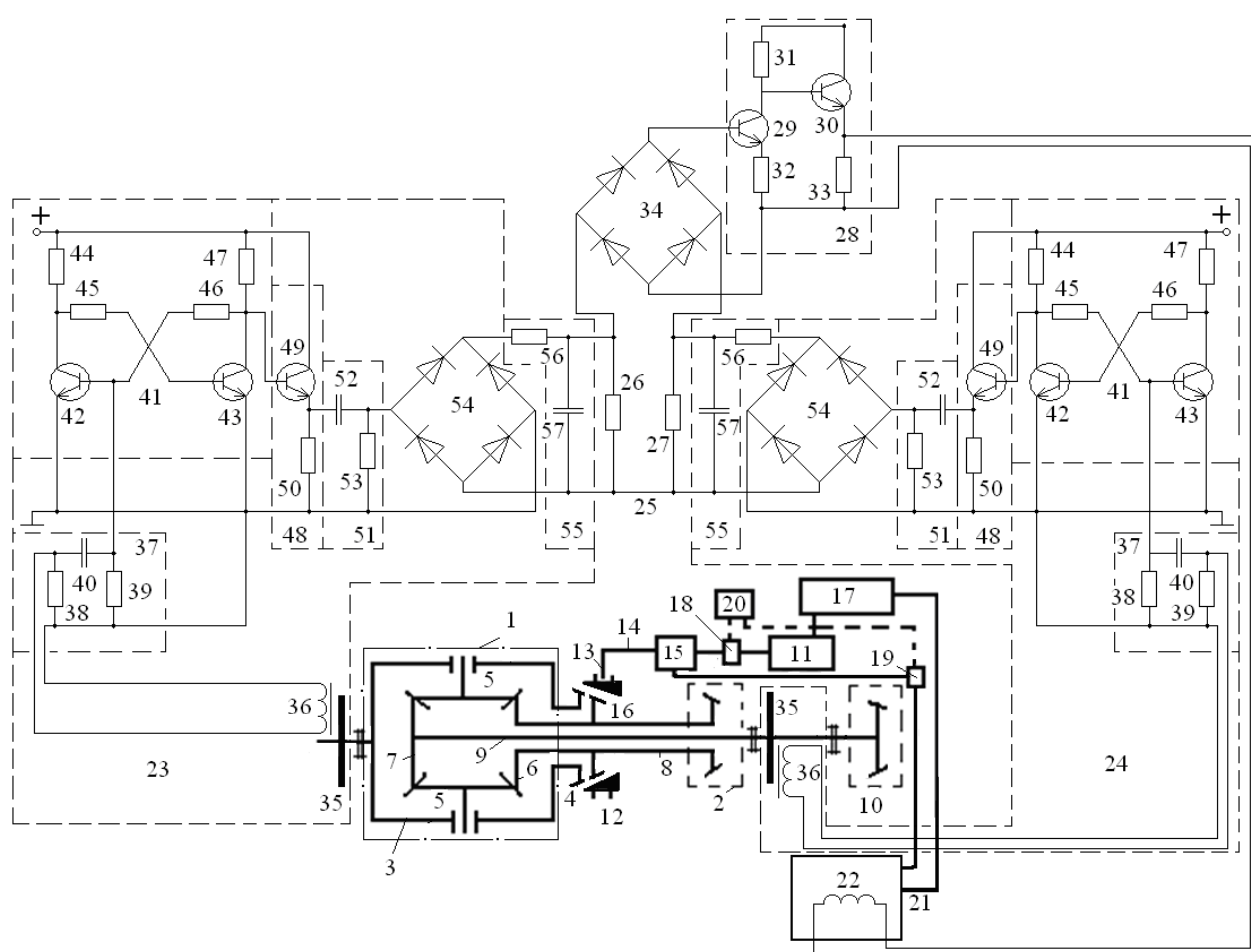


Рисунок 4.25 – Схема устройства для автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала

Каждый из датчиков 23 и 24 содержит металлический диск 35 с выступами и прорезями, катушку 36 индуктивности с магнитным сердечником, установленную возле металлического диска 35, первую дифференцирующую цепь 37, входом соединенную с выходом катушки 36 индуктивности и выполненную на резисторах 38, 39 и конденсаторе 40, триггер 41 с одним входом, выполненный на транзисторах 42, 43 и резисторах 44, 45, 46, 47, при

этом база транзистора 42 соединена с выходом первой дифференцирующей цепи 37, последовательно соединенные согласующий усилитель 48, выполненный на транзисторе 49 и резисторе 50, вторая дифференцирующая цепь 51, выполненная на конденсаторе 52 и резисторе 53, выпрямитель 54, выполненный на четырех диодах, интегрирующая цепь 55, выполненная на резисторе 56 и конденсаторе 57, при этом вход согласующего усилителя 48 соединен с выходом триггера 41 с одним входом.

Кран 21 (рисунок 4.25) автоматической блокировки состоит из корпуса 1 (рисунок 4.26) с перегородками 2 и 3, которые образуют камеры А, Б, В. Камера А высокого давления имеет два отверстия: верхнее – для подвода сжатого воздуха из пневмобаллона 17 (рисунок 4.25), нижнее – в перегородке 2, закрываемое клапаном 4 с пружиной 5, для сообщения с камерой Б, которая имеет перегородку 3 с отверстием для полого штока 6, являющегося одновременно атмосферным клапаном, и боковое отверстие для подвода сжатого воздуха в пневмокамеру 15 механизма блокировки дифференциала. Шток 6 имеет упор 7 для пружины 8 и ограничивает ход штока вниз. В камере В размещен электромагнит с обмоткой 9, а шток 6 является одновременно и сердечником этого электромагнита.

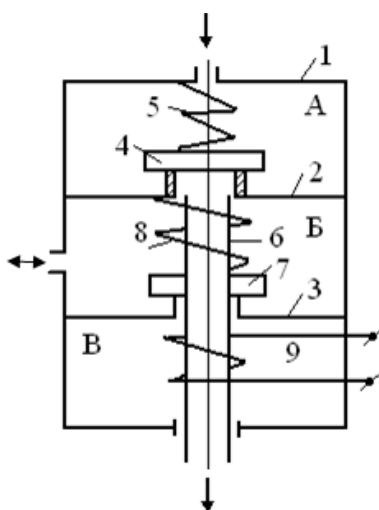


Рисунок 4.26 – Схема крана автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала с его обмоткой

Наличие устройства автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала, состоящего из электромагнитных клапанов, установленных на пневмомагистралях к пневмокамере, переключателя выбора ручного или автоматического режима блокировки и разблокировки дифференциала позволяет обеспечить возможность выбора с помощью переключателя режимов ручного или автоматического блокирования и разблокирования дифференциала.

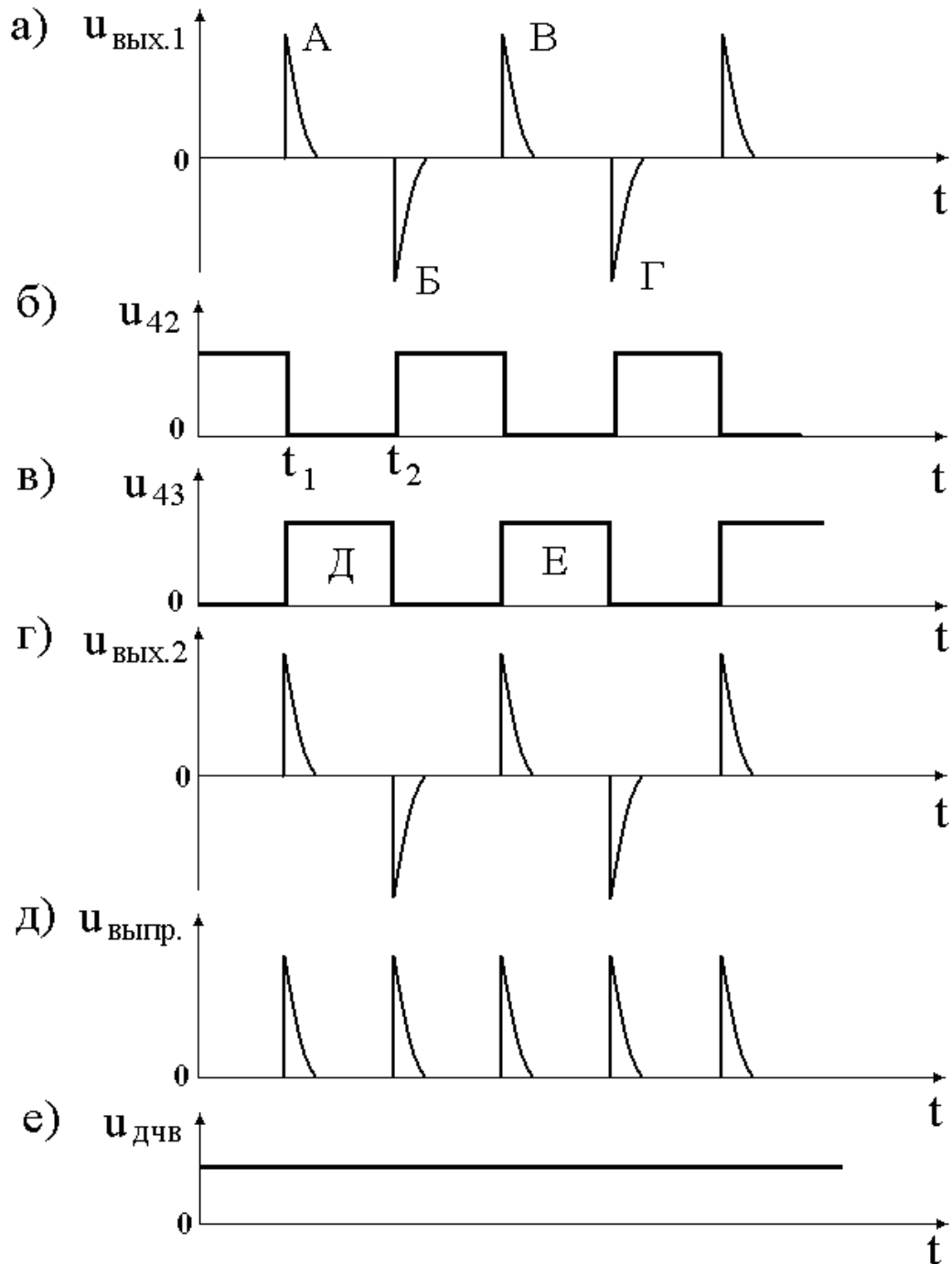
Наличие крана автоматической блокировки и разблокировки с обмоткой позволяет обеспечить автоматическое блокирование межосевого дифференциала по сигналу измерительной системы, оценивающей разность

частот вращения карданных валов приводов среднего и заднего мостов соответственно.

Наличие первого датчика частоты вращения, установленного на первом карданном валу привода среднего моста, второго датчика частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего мостов, сумматора с двумя входами и выходом, выполненного на двух встречно включенных резисторах, первым входом соединенного с выходом первого датчика частоты вращения, вторым входом – с выходом второго датчика частоты вращения, транзисторного усилителя, выполненного на первом и втором последовательно соединенных транзисторах и трех резисторах, входом соединенного посредством выпрямителя, выполненного на четырех диодах, с выходом сумматора, крана автоматической блокировки, обмотка которого соединена с выходом транзисторного усилителя, позволяет получить на выходе первого датчика частоты вращения напряжение, пропорциональное частоте вращения первого карданного вала привода среднего моста. Наличие второго датчика частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего моста, позволяет получить на выходе второго датчика частоты вращения напряжение, пропорциональное частоте вращения второго карданного вала привода заднего моста. Сумматор с двумя входами, первый из которых соединен с выходом первого датчика частоты вращения, а второй – с выходом второго датчика частоты вращения, позволяет непрерывно получать на выходе сумматора разность напряжений, подаваемых на его входы. Эту разность напряжений подается через выпрямитель, выполненный на четырех диодах, на вход усилителя. Полученное усиленное напряжение на выходе усилителя далее подается на обмотку крана автоматической блокировки дифференциала.

Каждый из датчиков 23, 24 частоты вращения валов [5] работает следующим образом. При вращении вала с металлическим диском 35 с выступами и прорезями на выходах катушки индуктивности 36 формируются разнополярные импульсы, которые дифференцируются первой дифференцирующей цепью 37. На рис. 3а представлена осциллограмма остроконечных импульсов, пригодных для запуска триггера 41.

В исходном состоянии триггера 41 считается, что транзистор 42 триггера 41 закрыт, тогда транзистор 43 триггера 41 – открыт. При вращении вала 8 и поступлении на базу транзистора 42 положительного импульса А в момент времени t_1 (рисунок 4.27 а, б) транзистор 42 открывается, а транзистор 43 закрывается (рисунок 4.27 б, в). При последующем поступлении в момент времени t_2 отрицательного импульса Б (рисунок 4.27 а) на базу транзистора 42, этот транзистор закрывается, а транзистор 43 открывается. В результате этого на выходе транзистора 43 триггера 41 формируется прямоугольный импульс Д (рисунок 4.27 в).



а – остроконечные импульсы на выходе первой дифференцирующей цепи;
 б – напряжение на коллекторе транзистора 42; в – напряжение на коллекторе транзистора 43; г – напряжение на выходе второй дифференцирующей цепи;
 д – напряжение после выпрямления; е – напряжение на выходе датчика частоты вращения

Рисунок 4.27 – Электрические сигналы в цепях устройства:

При поступлении от первой дифференцирующей цепи 37 остроконечных импульсов В и Г (рисунок 4.27 а) на базу транзистора 42 происходит

формирование прямоугольного импульса Е на выходе триггера 41 (рисунок 4.27 в).

Далее формирование прямоугольных импульсов на выходе транзистора 43 (рисунок 4.25) триггера 41 происходит аналогично описанному выше. Так как при изменении частоты вращения вала изменяется длительность полученных прямоугольных импульсов, а, следовательно, и их площадь, то с помощью второй дифференцирующей цепи 51 (рисунок 4.25), соединенной с выходом триггера 41 согласующим усилителем 48 (рисунок 4.25), из прямоугольных импульсов формируются одинаковые по площади разнополярные экспоненциальные импульсы (рисунок 4.27 г), что обеспечивает возможность применения операции их интегрирования цепью 55 (рисунок 4.25) после выполнения операции выпрямления (рисунок 4.27 д). На выходе цепи 55 формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения валов (рисунок 4.27 е).

При равных частотах вращения n_1 и n_2 (рисунок 4.28), промежуток времени от 0 до t_1) приводных валов 7, 8 среднего 2 и заднего 10 мостов (рисунок 4.25), и включенном автоматическом режиме блокировки, который задается переключателем 20 электромагнитный клапан 18 закрыт, а электромагнитный клапан 19 открыт. В верхнее отверстие камеры А крана 21 автоматической блокировки поступает сжатый воздух из баллона 17. Камера Б сообщается с атмосферой через полый шток 6 (рисунок 4.26) и с пневмокамерой 15, в результате чего вилка 13 перемещается в крайнее правое положение под действием пружины пневмокамеры 15. Венец 4 чашки 3 и муфта привода среднего моста разведены, а значит дифференциал разблокирован.

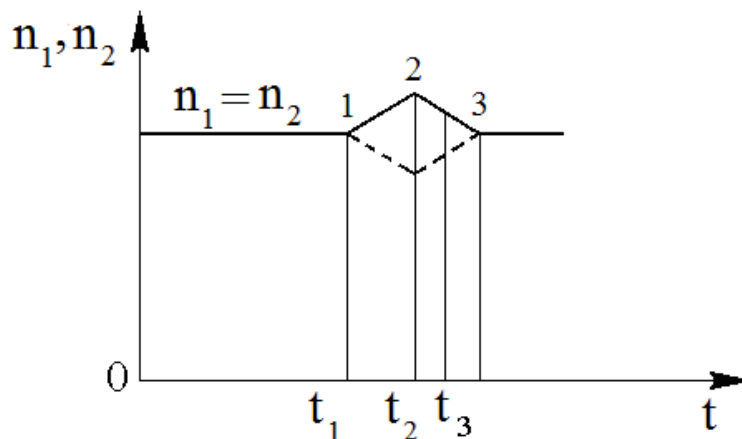


Рисунок 4.28 – Изменения частот вращения карданных валов среднего и заднего мостов

Если появляется разность частот вращения приводных валов 8 и 9, то на выходе сумматора появляется управляющее напряжение, пропорциональное разности частот вращения валов 8 и 9, это напряжение усиливается транзисторным усилителем 28 и подается на обмотку 22 (рисунок 4.25) крана

21 автоматической блокировки. При достижении разностью частот вращения валов 8 и 9 заданной предельной величины (рисунок 4.28, момент времени t_2) напряжение на выходе усилителя (рисунок 4.29, момент времени t_2) становится равным напряжению срабатывания $u_{ср}$ (рисунок 4.30) электромагнита крана 21 (рисунок 4.25). Кран срабатывает и шток 6 (рисунок 4.26) перемещается вверх на величину $h_{шт}$, закрывая атмосферный клапан и открывая воздушный клапан. Сжатый воздух из камеры А (рисунок 4.26) крана 21 (рисунок 4.25) поступает в камеру Б (рисунок 4.26) и далее через ее боковое отверстие в пневмокамеру 15 (рисунок 4.25). Вилка 13 под действием силы сжатого воздуха, действующего на диафрагму пневмокамеры 15, перемещается влево с подвижной муфтой 12, соединяя венец 4 чашки 3 муфты привода, с муфтой 16 привода среднего моста 2, тем самым блокируя дифференциал независимо от водителя.

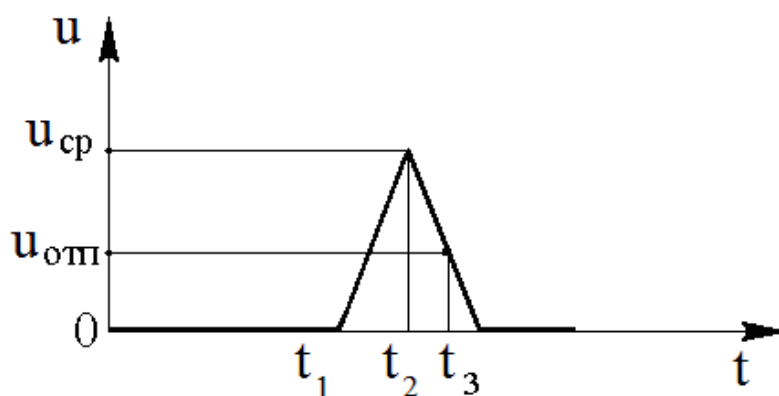


Рисунок 4.29 – Напряжение на выходе транзисторного усилителя устройства автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала

При снижении разности частот вращения n_1 и n_2 приводных валов 8 и 9 до определенной величины (момент времени t_3 , рисунок 4.28) напряжение на выходе (рисунок 4.29, момент времени t_3) сумматора снижается, а, следовательно, снижается и напряжение на выходе усилителя 28 (рисунок 4.25). Когда напряжение на выходе усилителя становится равным напряжению $u_{отп}$ (рисунок 4.29 и рисунок 4.30) электромагнита крана 21 в исходное состояние (рисунок 4.25), шток 6 (рисунок 4.26) опускается вниз на величину перемещения $h_{шт}$, открывая атмосферный клапан и закрывая воздушный клапан 4 под действием пружины 9 (рисунок 4.26). В камеру Б крана 21 автоматической блокировки не поступает сжатый воздух из баллона 17, а камера Б сообщается с атмосферой через полый шток 6 (рисунок 4.26) и с пневмокамерой 15 (рисунок 4.25), в результате чего вилка 13 перемещается в крайнее правое положение с подвижной муфтой 12 под действием пружины пневмокамеры 15. Венец 4 чашки 3 и муфта 16 привода среднего моста разведены, а значит дифференциал разблокирован.

На рисунке 4.31 приведена компоновочная схема устройства, включающая средний 1 и задний 2 мосты грузового автомобиля с колесной

формулой 6х4, с указанием мест установки первого 3 и второго 4 датчиков частоты вращения соответствующих карданных валов. На ней также представлена функциональная схема разработанного устройства автоматического управления блокировкой дифференциала, включающая в себя последовательно соединенные сумматор 5, выпрямитель 6, транзисторный усилитель 7, электромагнитный кран 8 с обмоткой 9, пневмокамера 10, подвижная муфта 11, муфта привода 12.

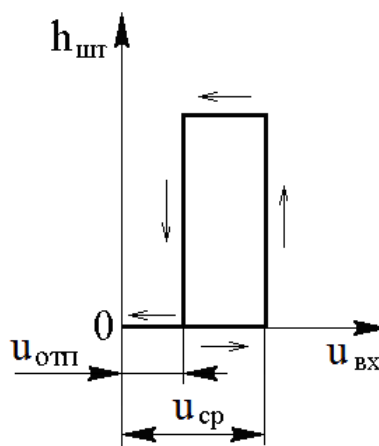


Рисунок 4.30 – Нелинейная статическая характеристика крана автоматической блокировки межосевого дифференциала

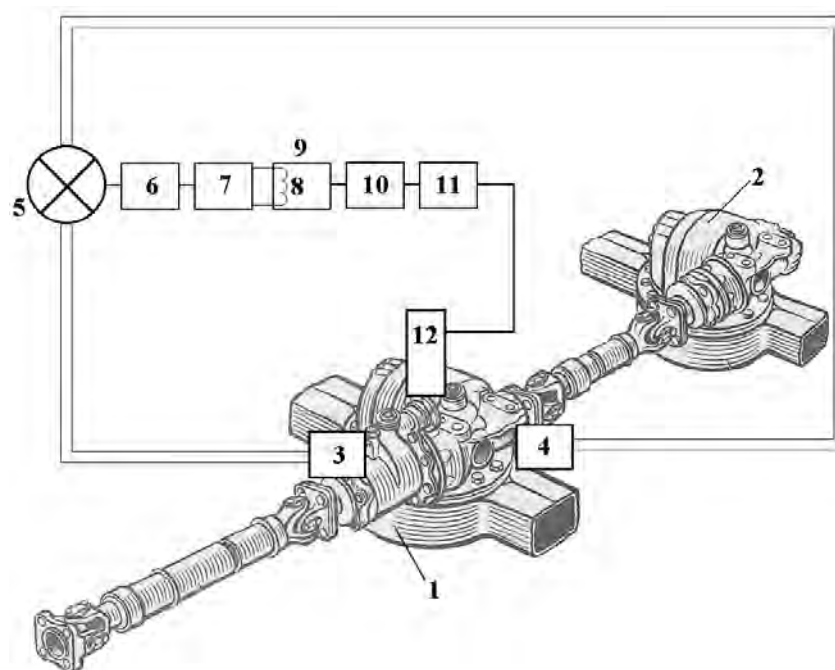


Рисунок 4.31 – Компоновочная схема устройства автоматической блокировки межосевого дифференциала грузового автомобиля

Экономический эффект при установке предлагаемого устройства на автомобиль достигается путем снижения затрат на его эксплуатацию за счет улучшения проходимости, уменьшения износа шин и деталей трансмиссии, снижения расхода топлива благодаря своевременному блокированию межосевого дифференциала, что снижает уровень циркуляции мощности в трансмиссии.

4.5 Устройство автоматической блокировки межколесного дифференциала колесного трактора

Эффективная работы колесного трактора во многом определяется таким эксплуатационным свойством, как проходимость. Для ее повышения используются системы автоматической блокировки межколесного дифференциала, которые блокируют его только при выполнении поворота колесным трактором, а при прямолинейном движении дифференциал находится в разблокированном состоянии. Это снижает проходимость колесного трактора в тяжелых дорожных условиях при его прямолинейном движении. Авторами предлагается автоматическое устройство блокировки и разблокировки межколесного дифференциала, работающее на основе обобщенного информационного параметра – разности частот вращения ведущих колес одной оси при движении трактора как при прямолинейном движении, так и при поворотах. Оно состоит из включателя устройства, муфты с фрикционными дисками для блокировки дифференциала; гидропривода ее срабатывания, состоящего из бака, насоса, редукционного клапана, электромагнитного двухпозиционного золотника с обмоткой; двух датчиков частоты вращения первого и второго ведущих колес; сумматора с двумя входами и выходом, входами соединенного с первым и вторым датчиками частоты вращения; усилителя, выходом соединенного с обмоткой золотника. При достижении установленной разности частот вращения колес ведущей оси, формируется управляющее напряжение, которое усиливается и подается на обмотку золотника. Перемещаясь, он обеспечивает включение муфты блокировки дифференциала. При снижении разности частот вращения ведущих колес до нуля, происходит автоматическое разблокирование межколесного дифференциала.

Для повышения проходимости колесного трактора он, как правило, оборудуется устройством для блокировки и разблокировки межколесного дифференциала. При этом в качестве информационного параметра для работы устройства для управления блокировкой используется не обобщенный информационный параметр, каким является разность частот вращения ведущих колес трактора, а угол поворота рулевого колеса трактора [7]. Из-за этого работа устройства блокировки и разблокировки отличается погрешностями, а проходимость трактора повышается недостаточно. Авторами предлагается устройство, в котором в качестве обобщенного информационного параметра выступает разность частот вращения ведущих колес. Это позволяет при

формировании управляющего сигнала на блокирование и разблокирование межколесного дифференциала учесть не только угол поворота колес, но и появление разности частот вращения колес из-за неравных сопротивлений движению каждого колеса в случае прямолинейного движения трактора.

Устройство (рисунок 4.32) автоматического блокирования и разблокирования дифференциала 1, установленное на заднем мосту 2 трактора, включает в себя корпус 3 дифференциала, с установленными внутри корпуса 3 на крестовине 4 коническими шестернями – сателлитами 5 и двумя полуосевыми коническими шестернями 6 и 7 приводных пологов первого вала 8 первого и цельного вала 9 второго колес, включатель 10 устройства для автоматической блокировки, муфту сцепления 11 с фрикционными ведущими дисками 12 с внутренними зубьями, соединенными через вал 13 с крестовиной 4, и фрикционными ведомыми дисками 14 с наружными зубьями, соединенными через полый вал 8 с полуосевой шестерней 6 и ведущей шестерней 15 колесной передачи первого колеса, вал 8 с полуосевой шестерней 7 и ведущей шестерней 16 колесной передачи второго колеса, последовательно соединенные трубопроводом 17 бак 18, насос 19, редукционный клапан 20, золотник 21, выполненный электромагнитным двухпозиционным, подвижный нажимной диск 22 муфты сцепления 11, обмотка 23, золотника 21. При автоматизации процесса блокировки-разблокировки введены первый датчик 24 частоты вращения, установленный на ведущей шестерне колесной передачи полого вала привода первого колеса, второй датчик 25 частоты вращения, установленный на ведущей шестерне колесной передачи вала привода второго колеса заднего моста, сумматор 26 с двумя входами и выходом, выполненный на двух встречно включенных резисторах 27 и 28, первым входом соединенный с выходом первого датчика 24 частоты вращения, вторым входом – с выходом второго датчика 25 частоты вращения, усилитель 29, выполненный на первом 30 и втором 31 последовательно соединенных транзисторах и трех (32, 33, 34) резисторах, входом подсоединенный к выходу сумматора 26 посредством выпрямителя 35, выполненного на четырех диодах, при этом обмотка 23 электромагнитного золотника 21 соединена с выходом усилителя 29.

Каждый из датчиков 24 и 25 [2, 3, 5] содержит катушку 36 индуктивности с магнитным сердечником, установленную возле зубьев шестерни (рисунок 4.33), первую дифференцирующую цепь 37, входом соединенную с выходом катушки 36 индуктивности и выполненную на резисторах 38, 39 и конденсаторе 40, триггер 41 с одним входом, выполненный на транзисторах 42, 43 и резисторах 44, 45, 46, 47. При этом база транзистора 42 соединена с выходом первой дифференцирующей цепи 37, последовательно соединенные согласующий усилитель 48, выполненный на транзисторе 49 и резисторе 50, вторая дифференцирующая цепь 51, выполненная на конденсаторе 52 и резисторе 53, выпрямитель 54, выполненный на четырех диодах, интегрирующая цепь 55, выполненная на резисторе 56 и конденсаторе 57, при этом вход согласующего усилителя 48 соединен с выходом триггера 41 с одним входом.

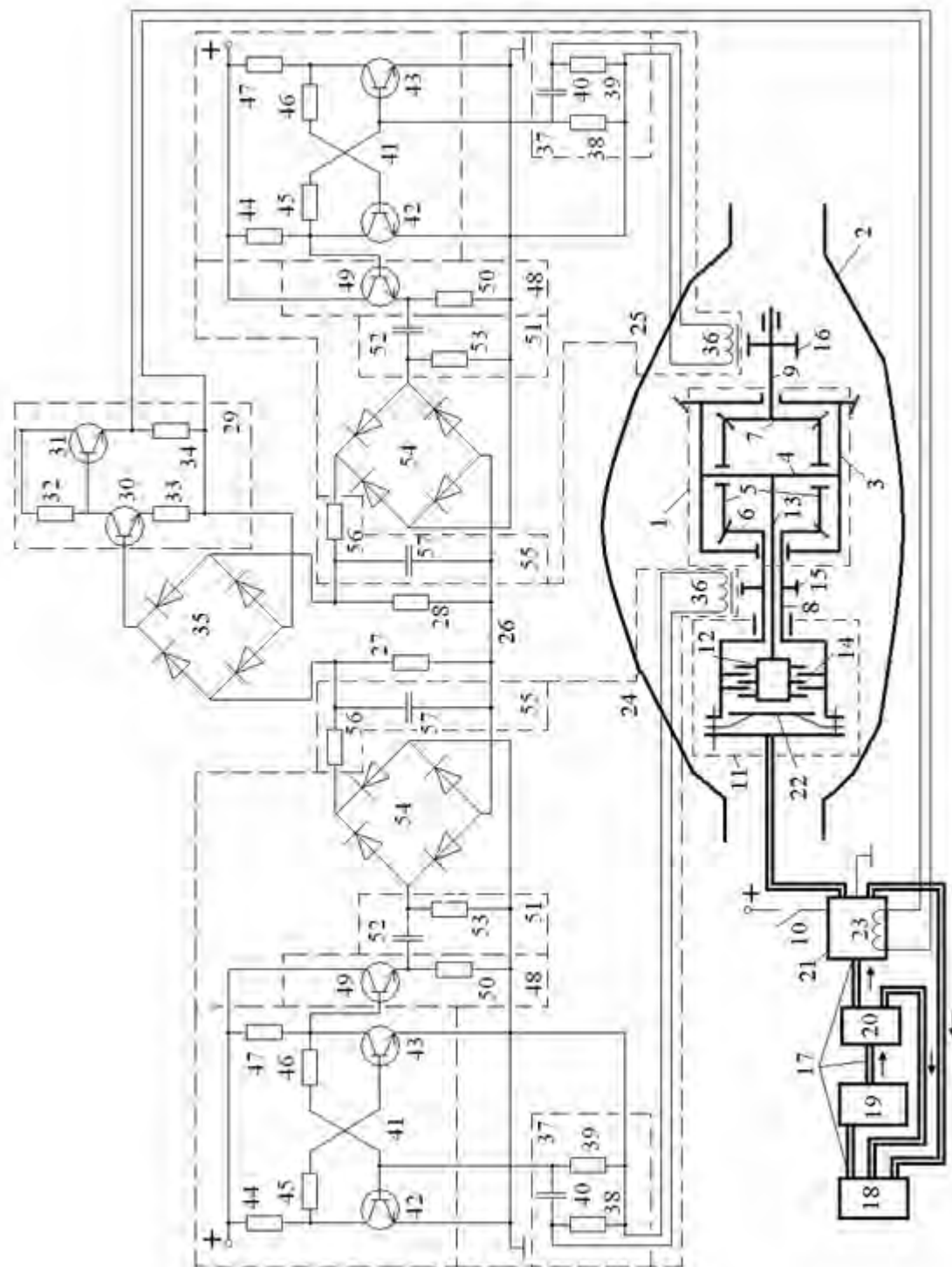


Рисунок 4.32 – Общая схема устройства блокировки дифференциала

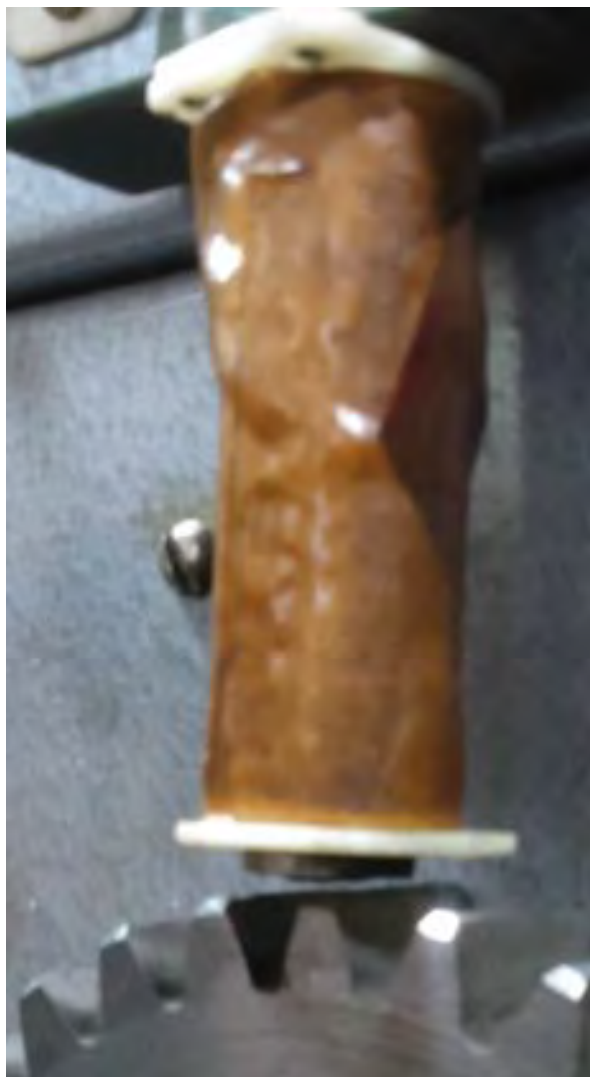


Рисунок 4.33 – Общая вид датчика частоты вращения шестерни колесной передачи

Выполнение золотника двухпозиционным электромагнитным с обмоткой позволяет использовать его в качестве исполнительного элемента в автоматической системе управления блокировкой и разблокировкой межколесного дифференциала.

Введение в предлагаемое устройство датчиков частоты вращения 24, 25, выполненных на перечисленных выше электронных узлах, позволяет получить на их выходах напряжения, пропорциональные частотам вращения колес (рисунок 4.34 е). Посредством сумматора и усилителя, разность напряжений датчиков частоты вращения подают на обмотку двухпозиционного электромагнитного золотника автоматической системы управления блокировкой и разблокировкой дифференциала.

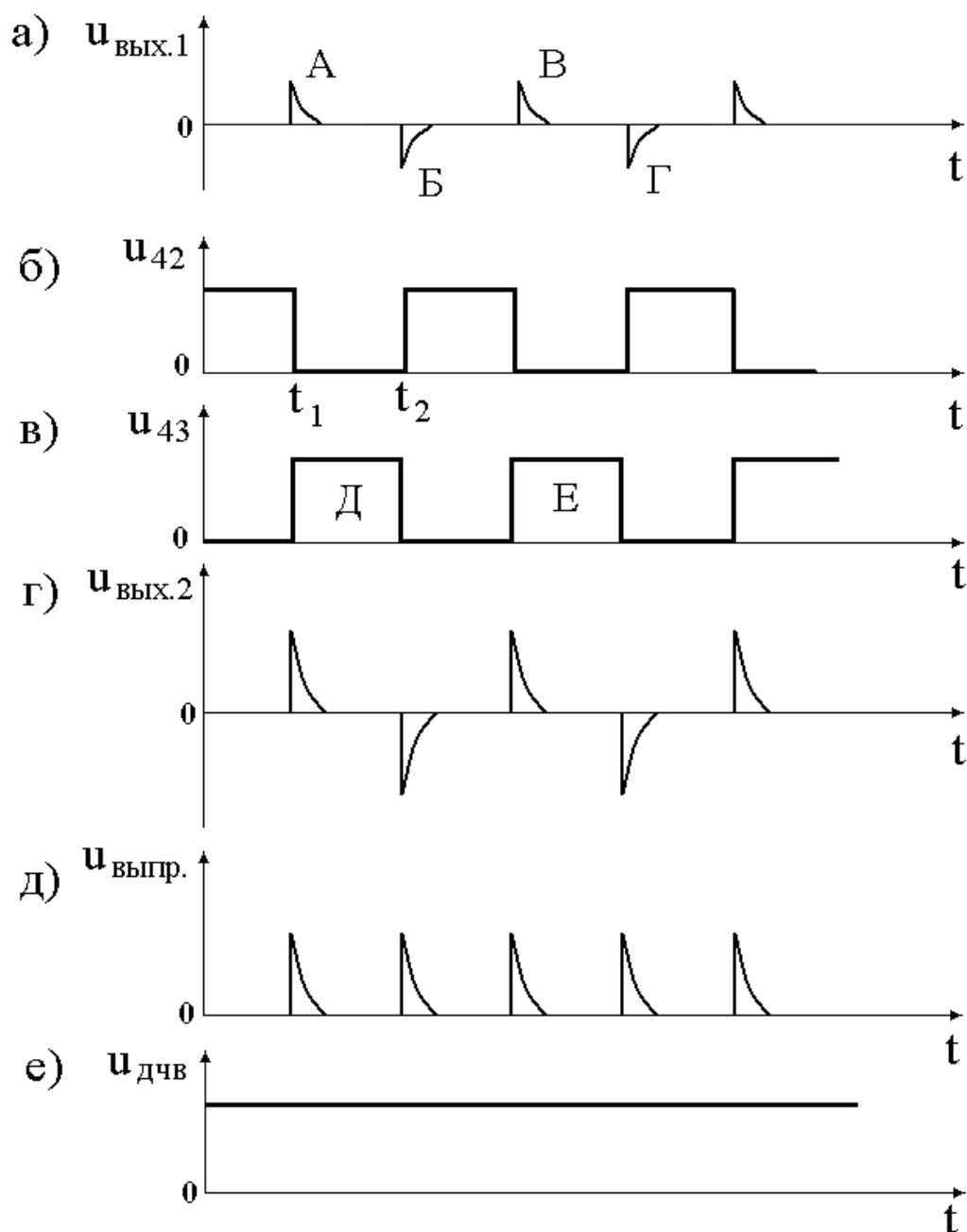


Рисунок 4.34 – Изменение напряжения в электрических цепях

Каждый из датчиков 24 и 25 частоты вращения валов работает следующим образом [2, 3, 4]. При вращении шестерни 15 или 16 на выводах катушки индуктивности 36 формируются разнополярные импульсы, которые дифференцируются первой дифференцирующей цепью 37. На рисунке 4.34а представлен график остроконечных импульсов напряжения на выходе первой дифференцирующей цепи 37, пригодных для запуска триггера 41.

В исходном состоянии триггера 41 транзистор 42 триггера закрыт, тогда транзистор 43 триггера открыт. При вращении валов и поступлении на базу транзистора 42 положительного импульса А в момент времени t_1 (рисунки 4.34а и 4.34б) транзистор 42 открывается, а транзистор 43 закрывается (рисунки 4.34в

и 3.34в). При последующем поступлении в момент времени t_2 отрицательного импульса Б (рисунок 4.34а) на базу транзистора 42, этот транзистор закрывается, а транзистор 43 открывается. В результате этого на выходе транзистора 43 триггера 41 формируется прямоугольный импульс Д (рисунок 4.34в).

При поступлении от первой дифференцирующей цепи 37 остроконечных импульсов В и Г (рисунок 4.34а) на базу транзистора 42 происходит формирование прямоугольного импульса Е на выходе триггера 41 (рисунок 4.34в). Далее формирование прямоугольных импульсов на выходе триггера 41 происходит аналогично описанному выше. Так как при изменении частоты вращения валов изменяется длительность полученных прямоугольных импульсов, а, следовательно, и их площадь, то с помощью второй дифференцирующей цепи 51, соединенной с выходом триггера согласующим усилителем 48, из прямоугольных импульсов формируются одинаковые по площади разнополярные экспоненциальные импульсы (рисунок 4.34г), что обеспечивает возможность применения операции их интегрирования цепью 55 после выполнения операции выпрямления (рисунок 4.34д). На выходе цепи 55 формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения валов (рисунок 4.34е).

При равных частотах вращения n_1 и n_2 шестерен 15 и 16 приводных валов 8, 9 (рисунок 4.32), дифференциал разблокирован (рисунок 4.35, промежуток времени от 0 до t_1).

Если появляется разность частот вращения (рисунок 4.35) приводных валов 8 и 9, то на выходе сумматора появляется управляющее напряжение, пропорциональное разности частот вращения валов 8 и 9. Это напряжение усиливается транзисторным усилителем 29 (рисунок 4.36) и подается на обмотку 23 (рисунок 4.32) золотника 21. При достижении разностью частот вращения валов 8 и 9 заданной предельной величины (рисунок 4.35, момент времени t_2) напряжение на выходе усилителя (рис. 3.36, момент времени t_2) становится равным напряжению срабатывания $u_{ср}$ (рисунок 4.37). Электромагнитный золотник 21 (рисунок 4.32), перемещается, тем самым, блокируя дифференциал независимо от водителя.

При снижении разности частот вращения n_1 и n_2 приводных валов 8 и 9 до величины $u_{отп}$ в момент времени t_3 (рисунок 4.36) напряжение на выходе (рисунок 4.37) в момент времени t_3 сумматора снижается, а следовательно, снижается напряжение на выходе усилителя 29 (рисунок 4.32). Когда напряжение на выходе усилителя становится равным напряжению $u_{отп}$ (рисунки 4.36 и 4.37) электромагнитный золотник приходит в исходное состояние, а значит дифференциал разблокирован.

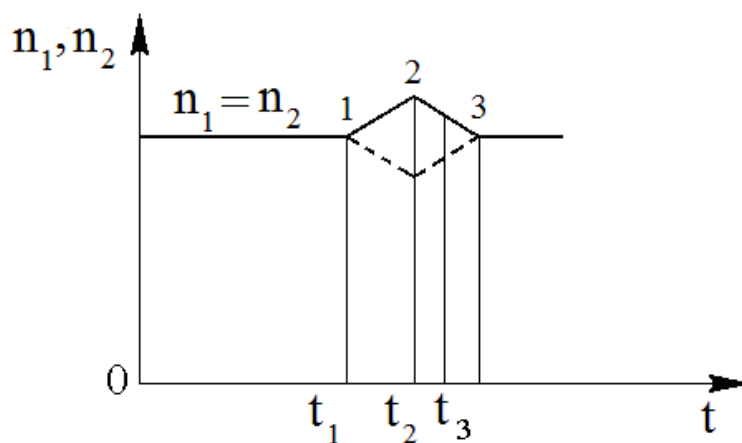


Рисунок 4.35 – Изменение частот вращения валов

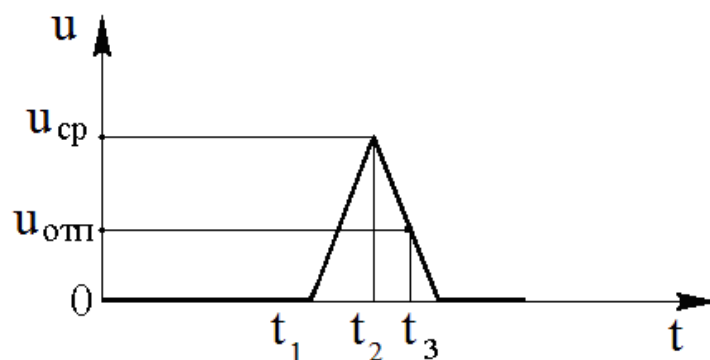


Рисунок 4.36 – Изменение напряжения на выходе усилителя

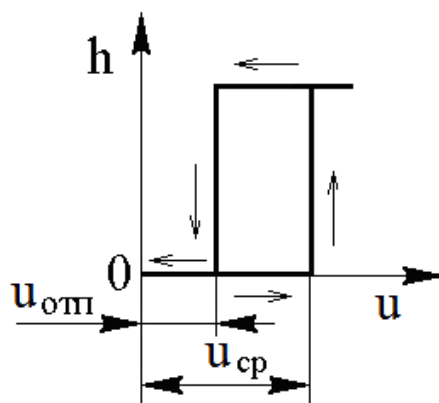


Рисунок 4.37 – Зависимость перемещения золотника от подаваемого на его обмотку напряжения от усилителя

Экономический эффект при установке предлагаемого устройства на трактор достигается путем снижения затрат на эксплуатацию за счет улучшения его проходимости, из-за своевременного блокирования и разблокирования межколесного дифференциала.

4.6 Догружатель автопоезда

Существующие автопоезда [9], содержащие автомобиль и прицеп, обладает недостаточной проходимостью, что приводит к снижению их производительности, ухудшению топливной экономичности и увеличению затрат на их эксплуатацию. Объясняется это тем, что при ухудшении дорожных условий может происходить буксование задних ведущих колес из-за недостаточного сцепного веса.

Авторами предлагается устройство автоматического догружения задних ведущих колес с электропневматической системой управления им с использованием такого информационного параметра как разность частот вращения задних ведущих колес и передних управляемых колес автомобиля (далее догружатель автопоезда), которое позволит снизить затраты на эксплуатацию автопоезда за счет повышения его производительности, топливной экономичности и проходимости.

Автопоезд содержит автомобиль 1 и прицеп 2 (рисунок 4.38), соединенные между собой дышлом 3 прицепа и тягово-сцепным устройством 4 автомобиля, раму 5 автомобиля, раму 6 прицепа, рессоры 7, соединяющие мосты 8, 9 автомобиля и мосты 10, 11 прицепа с их рамами 5, 6, передние управляемые колеса 12 и задние ведущие колеса 13 автомобиля, коробку передач 14, карданную передачу 15, главную передачу 16 привода задних ведущих колес автомобиля, кронштейн 17 на раме прицепа, стойку 18, одним концом установленную посредством первого пальца 19 на раме автомобиля, на втором конце которой установлен на оси 20 ролик 21 с помещенным на нем тросом 22, соединяющим кронштейн 17 рамы 6 прицепа с рамой автомобиля, пневмоцилиндр 23 с электромагнитным двухпозиционным золотником 24 с обмоткой 25 и штоком 26, соединенный пальцем 27 с рамой автомобиля, а шток 26 установлен с обеспечением возможности оказывать воздействие на стойку 18 при своем перемещении, датчик 28 частоты вращения карданной передачи 15 [4, 6], датчик 29 частоты вращения передних управляемых колес 12 автомобиля 1, при этом каждый из датчиков 28 и 29 содержит металлический диск 30 с прорезями и выступами, установленные на валу карданной передачи 15 и на валу переднего колеса 12 соответственно, импульсный щелевой преобразователь 31, установленный вблизи дисков 30 с обеспечением возможности вхождения выступов диска 30 в щель преобразователя 31, соединенный с дифференцирующей цепью 32, выполненную на резисторах 33 и 34 и конденсаторе 35, соединенной с выпрямителем 36 на четырех импульсных диодах 37, 38, 39, 40, соединенным с интегрирующей цепью 41, выполненную на резисторе 42 и конденсаторе 43, при этом датчик 29 частоты вращения передних управляемых колес дополнительно содержит выходной резистор 44 подсоединенный параллельно конденсатору 43, делитель напряжения 45, выполненный на соединенных последовательно первом 46 и втором выходным 47 резисторах с коэффициентом деления, равным передаточному числу главной передачи 16 автомобиля, входом соединенный с выходом датчика 28 частоты

вращения карданной передачи 16, сумматор 48, выполненный на встречно включенных выходном резисторе 47 делителя 45 напряжения и выходном резисторе 44 датчика 29 частоты вращения передних управляемых колес 12, при этом первый 49 и второй 50 выводы выходных резисторов 44, 47 соединены между собой, усилитель 51, выполненный на первом 52 и втором 53 последовательно соединенных транзисторах и четырех резисторах 54, 55, 56, 57, при этом база 58 первого транзистора 52 усилителя 51 соединена с третьим выводом 59 выходного резистора 44 датчика 29 частоты вращения передних управляемых колес, а эмиттер 60 первого транзистора 52 усилителя 51 соединен с четвертым выводом 61 выходного резистора 47 делителя 45, при этом обмотка 25 электромагнитного двухпозиционного золотника 24 соединена с выходом усилителя 51.

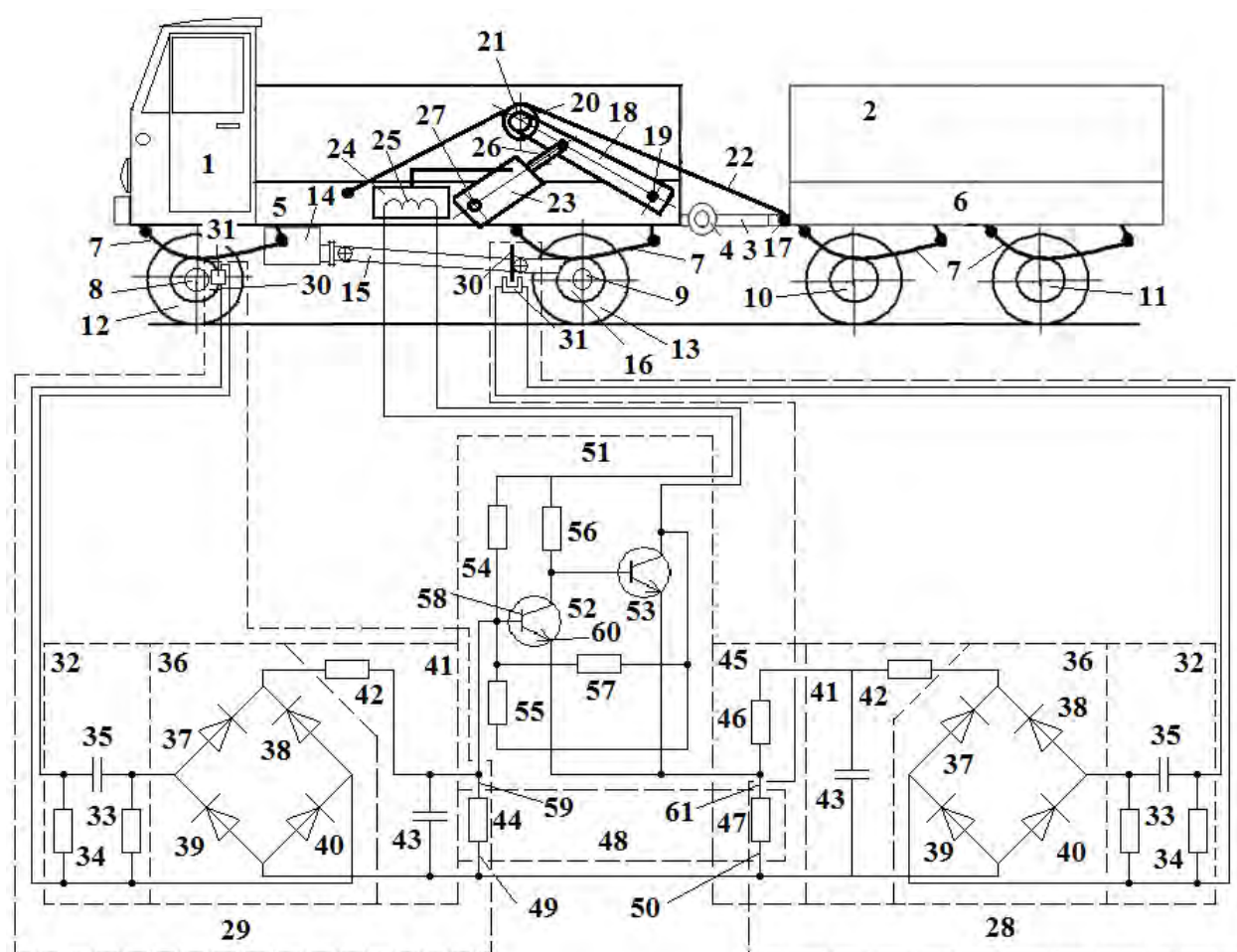


Рисунок 4.38 – Схема устройства для автоматического увеличения сцепного веса автомобиля

Установка на раме автомобиля-тягача догрузателя позволяет при появлении буксования ведущих колес автомобиля и снижении частоты вращения передних управляемых колес по отношению к частоте вращения задних ведущих колес (появляется разность частот вращения передних управляемых и задних ведущих колес автомобиля – рисунок 4.39), получить на

выходе сумматора управляющее напряжение, пропорциональное разности частот вращения передних управляемых и задних ведущих колес.

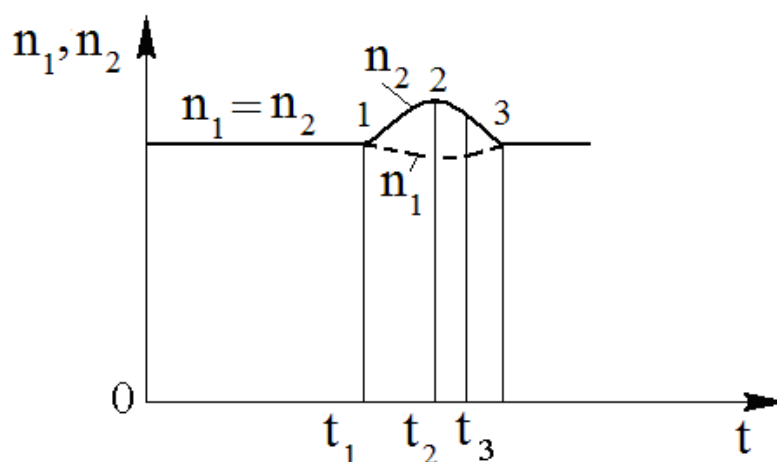


Рисунок 4.39 – Изменения частот вращения передних управляемых и задних ведущих колес автомобиля

При этом на третьем выводе выходного резистора датчика частоты вращения передних управляемых колес появляется минус управляющего напряжения, а на четвертом выводе выходного резистора делителя появляется плюс. При появлении отрицательного напряжения, приложенного к базе первого транзистора усилителя, первый транзистор закрывается, а второй открывается, и в коллекторной цепи второго транзистора появляется ток, протекающий по обмотке электромагнитного двухпозиционного золотника, который создает падение напряжения на его обмотке. При достижении разностью частот вращения передних управляемых и задних ведущих колес автомобиля заданной предельной величины (рисунок 4.39, момент времени t_2) это напряжение (рисунок 4.40, момент времени t_2) становится равным напряжению срабатывания $u_{ср}$ электромагнитного двухпозиционного золотника (рисунок 4.41). Электромагнитный двухпозиционный золотник перемещается, сжатый воздух подается в пневмоцилиндр и выталкивает его шток.

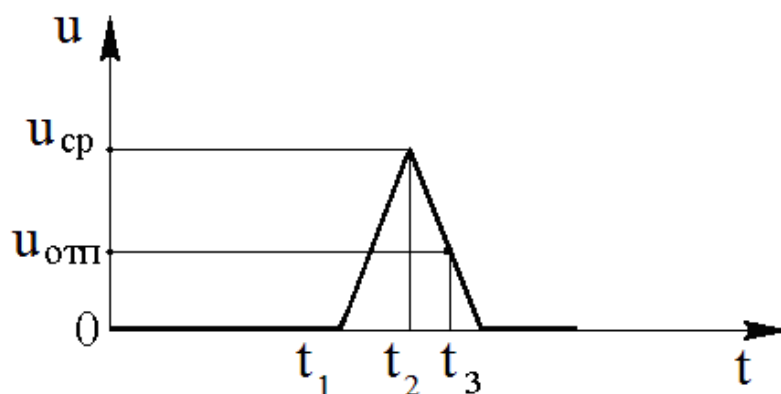


Рисунок 4.40 – Напряжение на выходе транзисторного усилителя устройства автоматического управления увеличением сцепного веса автомобиля

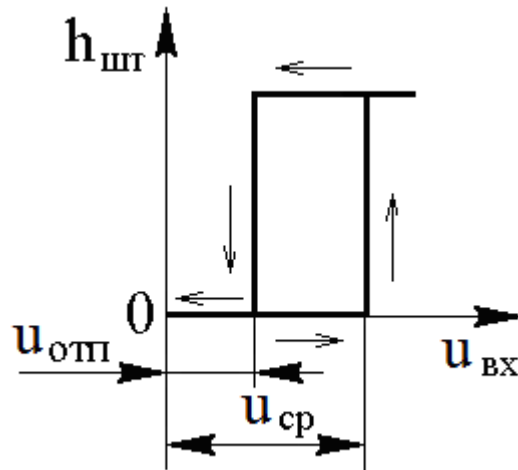


Рисунок 4.41 – Нелинейная статическая характеристика электромагнитного двухпозиционного золотника устройства автоматического управления увеличением сцепного веса автомобиля

В результате появляется сила, воздействующая на стойку. Стойка поворачивается и через ролик тросом осуществляет подъем прицепа, догружая, таким образом, задние ведущие колеса автомобиля и тем самым увеличивая его сцепной вес. Так как при снижении буксования разность частот вращения передних управляемых и задних ведущих колес снижается и при достижении на выходе усилителя напряжения отпущения электромагнитного двухпозиционного золотника он возвращается в исходное положение (рисунок 4.41), а, следовательно, сжатый воздух выходит из пневмоцилиндра и его шток перемещается в исходное положение. Стойка поворачивается, трос освобождается и опускает прицеп, тем самым, восстанавливая первоначальный сцепной вес автомобиля.

Догружатель автопоезда работает следующим образом. В процессе движения автопоезда, оснащенного догружателем, вращаются задние ведущие колеса 13 и вал карданной передачи 15, а также передние управляемые колеса 12 автомобиля. Частоты вращения вала карданной передачи 15 и передних управляемых колес 12 измеряются датчиками 28 и 29 следующим образом. При вращения вала карданной передачи 15 и передних управляемых колес 12 выступы диска 30 проходят через щели преобразователя 31 и на резисторе 34 возникают прямоугольные импульсы напряжения (рисунок 4.42а), которые дифференцируются дифференцирующей цепью 32. На резисторе 34 возникают разнополярные экспоненциальные импульсы напряжения (рисунок 4.42б) одинаковой формы и площади, при этом количество этих импульсов будет больше за одинаковый промежуток времени, и меньше, если частота вращения вала карданной передачи 15 или переднего управляемого колеса 12 снижаются.

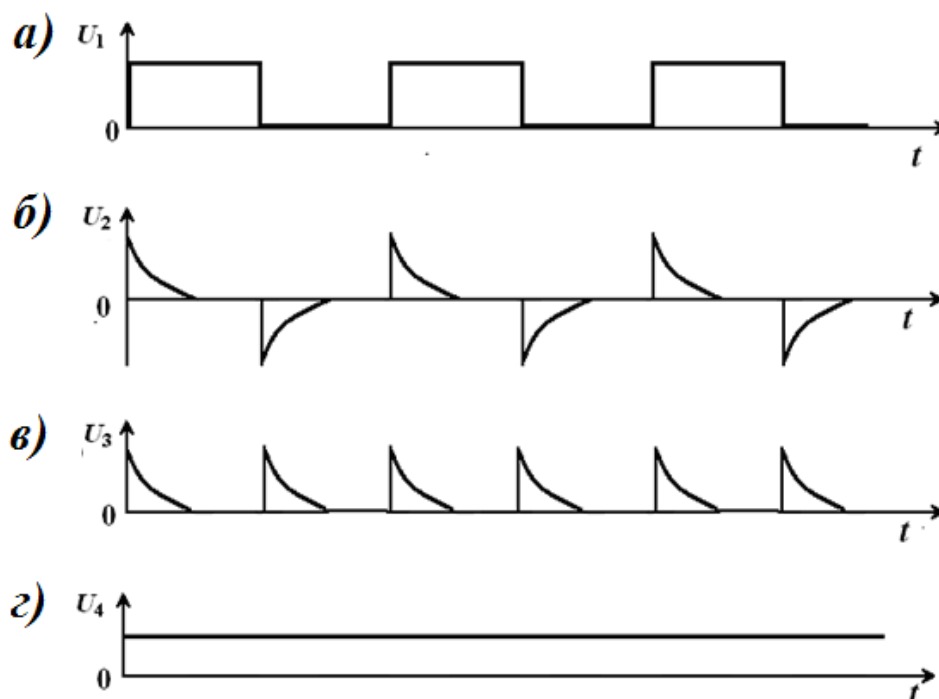


Рисунок 4.42 – Электрические сигналы в цепях устройства

С помощью выпрямителя 36, выполненного на четырех импульсных диодах 37, 38, 39, 40, осуществляется выпрямление, на выходе выпрямителя 36 при этом появляется положительная последовательность экспоненциальных импульсов напряжения (рисунок 4.42в). С помощью интегрирующей цепи 41, выполненной на резисторе 42 и конденсаторе 43, осуществляется интегрирование поступающих на вход интегрирующей цепи 41 положительных экспоненциальных импульсов напряжения, и на выходе выходного резистора 44 формируется напряжение (рисунок 4.42г), уровень которого в любой момент времени пропорционален частотам вращения передних управляемых колес 12, а на входе делителя 45 напряжения формируется уровень напряжения (рисунок 4.42г) пропорциональный частоте вращения вала карданной передачи 15.

Напряжение с выхода датчика 28 частоты вращения вала карданной передачи 15 непрерывно делится делителем напряжения 45 на передаточное число главной передачи и результат деления в виде уровня напряжения формируется на выходном резисторе 47 делителя 45. Этот уровень напряжения пропорционален частоте вращения задних ведущих колес 13 автомобиля.

При равенстве частот вращения n_1 передних управляемых и n_2 задних ведущих колес автомобиля (буксование отсутствует) напряжение на выходе датчика 29 частоты вращения передних колес 12 равно напряжению на выходе делителя 45 напряжения. Эти напряжения подаются на соответствующие входы сумматора 48, на выходе которого устанавливается напряжение, равное нулю. При этом первый транзистор 52 усилителя 51 открыт, а второй транзистор 53 усилителя закрыт. По обмотке 25 электромагнитного двухпозиционного золотника 24 ток не протекает, поэтому напряжения на выходе усилителя 51 и

на обмотке 25 золотника 24 равны нулю, шток 26 пневмоцилиндра 23 не перемещается, сила, действующая от штока на стойку 18 равна нулю.

При появлении буксования задних ведущих колес 13 автомобиля частота вращения передних управляемых колес 12 снижается по отношению к частоте вращения задних ведущих колес 13, появляется разность частот вращения (рисунок 4.39) передних управляемых колес 12 и задних ведущих колес 13 автомобиля 1. На выходе сумматора 48 появляется управляющее напряжение, пропорциональное разности частот вращения передних управляемых колес 12 и задних ведущих колес 13, при этом на третьем выводе 59 выходного резистора 44 датчика 29 частоты вращения передних управляемых колес 12 появляется управляющее напряжение со знаком минус, а на четвертом выводе 61 выходного резистора 47 делителя напряжения 45 появляется управляющее напряжение со знаком плюс. При появлении отрицательного напряжения, приложенного к базе первого транзистора 52 усилителя 51, первый транзистор 52 закрывается, а второй транзистор 53 усилителя – открывается. В коллекторной цепи второго транзистора 53 усилителя появляется ток, протекающей по обмотке 25 электромагнитного двухпозиционного золотника 24, которое создает падение напряжения на его обмотке. При достижении разностью частот вращения передних управляемых колес 12 и задних ведущих колес 13 автомобиля заданной предельной величины (рисунок 4.39, момент времени t_2) это напряжение (рисунок 4.40, момент времени t_2) становится равным напряжению срабатывания $U_{ср}$ электромагнитного двухпозиционного золотника 24 (рисунок 4.41). Электромагнитный двухпозиционный золотник 24 перемещается, воздух под давлением подается в пневмоцилиндр 23 и перемещает шток 26 пневмоцилиндра 23. В результате появляется сила, действующая на стойку 18. Стойка поворачивается и через ролик 21 тросом 22 осуществляет подъем прицепа 2, догружая задние ведущие колеса 13 автомобиля. Их буксование снижается.

При снижении буксования, а, следовательно, и разности частот вращения n_1 и n_2 передних управляемых колес 12 и задних ведущих колес 13 автомобиля до величины, соответствующей моменту времени, равному t_3 (рисунок 4.39), напряжение на выходе сумматора 48 снижается, на базу первого транзистора 52 усилителя 51 подаваемое напряжение со знаком минус снижается. Первый транзистор 52 усилителя 51 открывается, а второй транзистор 53 усилителя 51 – закрывается. По обмотке 25 электромагнитного двухпозиционного золотника ток не протекает, и золотник возвращается в первоначальное состояние. Сжатый воздух выходит из пневмоцилиндра 23 и шток 26, под действием силы троса, приходит в первоначальное состояние, догружающая сила становится равной нулю.

Экономический эффект при установке предлагаемого устройства на автопоезд достигается путем снижения затрат на его эксплуатацию за счет повышения его проходимости и производительности, уменьшения износа шин и деталей трансмиссии, снижения расхода топлива благодаря своевременному увеличению сцепного веса на ведущие колеса, снижающему их буксование.

Список литературы

1 **Вахламов, В. К.** Подвижной состав автомобильного транспорта: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.К. Вахламов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 480 с.

2 **Геращенко, В. В.** Стенд для определения статической характеристики датчика крутящего момента / В.В. Геращенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2007. – № 12. – С. 40-41.

3 **Геращенко, В. В.** Оперативная оценка буксования сцепления тягово-транспортных машин./ В.В. Геращенко, М.Я. Яскевич, К.Д. Миронов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2012. – № 1. – С. 22-24.

4 **Геращенко, В. В.** Экологическое и топливосберегающее технологическое оборудование автомобильного транспорта: [монография] / В. В. Геращенко, В. И. Гуменюк, А. В. Щур, К. Д. Миронов.- СПб.: Из- во Политехн. ун- та, 2016.- 146с.

5 **Геращенко, В. В.** Усовершенствованная система автоматического управления скоростью движения. / В.В. Геращенко и [др.] // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 2. – С. 11-13.

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

7 **Гуревич, А. М.** Тракторы и автомобили: учебник / А.М. Гуревич, Е.М. Сорокин. – М.: Колос, 1974. – 400 с.

8 **Передерий, В. П.** Устройство автомобиля: учеб. пособие / В.П. Передерий. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005. – 288 с.

9 **Пузанков, А. Г.** Автомобили: учеб. пособие / А.Г. Пузанков. – М.: Академия, 2004. – С. 513.

10 **Роговцев, В. Л.** Устройство и эксплуатация транспортных средств: учеб. пособие / В.Л. Роговцев. – М.: Транспорт, 2000. – 430 с.

11 Устройство бортового диагностирования тормозной системы транспортного средства : пат. 2626421 С2 РФ, МПК 51 В 60Т 17/22 (2006.01). / В. М. Фридкин, Н. А. Коваленко, В. В. Геращенко, В. Н. Башаримова. – Опубл 27.07.2017.

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