



## Аннотация

Целью бакалаврской работы является модернизация стенда для испытания автомобильного генератора и стартера.

В работе рассмотрены особенности конструкции автомобильного генератора и стартера, методы их испытаний и контролируемые параметры. Проведен анализ серийно выпускаемых испытательных стендов, по результатам которого предложена модернизация электропривода стенда.

Разработана структурная и функциональная схема стенда после модернизации, произведен расчет и выбор приводного электродвигателя, преобразователя частоты, системы защиты электропривода, электронного тахометра. Составлены рекомендации по подготовке и использованию стенда при проведении испытаний.

Содержание графической части бакалаврской работы: чертежи генератора и стенда, функциональная схема стенда, функциональная схема преобразователя частоты, принципиальная электрическая схема, характеристики и нагрузочная диаграмма генератора.

Пояснительная записка содержит 45 страниц, 21 рисунок, 8 таблиц.

## Abstract

The aim of the bachelor's work is the modernization of the stand for testing the automobile generator and the starter.

In this paper, the design features of an automobile generator and a starter, their test methods and controlled parameters are considered. The analysis of serially produced test benches was carried out, according to the results of which the modernization of the electric drive of the stand was proposed. The structural and functional scheme of the stand was developed after modernization, the drive motor, the frequency converter, the electric drive protection system, the electronic tachometer were calculated and selected. The recommendations on the preparation and use of the test bench were made.

The project was carried out in accordance with the requirements of methodological and guidance materials on the design of the electric drive, reference, regulatory and methodological literature.

In the graphical part of the work on six A1 formats, the drawings of the generator and the stand, the functional diagram of the stand, the functional scheme of the frequency converter, the circuit diagram, the characteristics and the load diagram of the generator are presented.

## Содержание

Введение.....	5
1 Краткие теоретические сведения об автомобильных генераторах, стартерах и методах их контроля .....	7
1.1 Устройство стартеров и генераторов .....	7
1.2 Обзор стендов для испытания автомобильных генераторов и стартеров ..	17
1.3 Постановка задачи исследования .....	23
2 Разработка схемы испытательного стенда .....	24
3 Разработка конструкции стенда.....	26
3.1 Выбор и расчет приводного электродвигателя .....	26
3.2 Выбор и расчет преобразователя частоты .....	30
3.4 Выбор тахометра .....	34
4 Подготовка и порядок работы стенда .....	37
Заключение .....	41
Список используемых источников.....	42

## Введение

Технический уровень современных автомобилей постоянно совершенствуется, на автомобилях появляются новые, разнообразные узлы, детали и системы, возрастают предъявляемые требования к их надежности и эксплуатационной безопасности. Многочисленные информационные источники показывают, что значительный вклад в общую надежность электрооборудования автомобилей вносят генератор и стартер. [1]

Под надежностью электрооборудования автомобилей понимается в первую очередь эксплуатационная надежность, которая в отличие от конструкторской или производственной связана с этапом эксплуатации автомобиля, его обслуживанием и ремонтом [2].

Структурно электрооборудование автомобилей можно разделить на шесть систем: электроснабжения, пуска, зажигания, освещения и световой сигнализации, контрольно-измерительные приборы и вспомогательное электрооборудование. [3]

Автомобильный генератор предназначен для питания всех бортовых потребителей электроэнергии при работе двигателя автомобиля и восполнения энергии аккумуляторной батареи, затраченной на запуск двигателя.

Автомобильный стартер совместно с аккумуляторной батареей предназначен для запуска двигателя внутреннего сгорания, т.е. его перехода из состояния покоя на самостоятельную работу.

Качественная работа автомобильного генератора, как и всей системы электроснабжения автомобиля, существенно влияет на работу и срок службы других приборов бортового электрооборудования. Например, колебание напряжения в пределах  $\pm 5\%$  от расчетного значения (14,2 В) приводит к изменению светового потока на  $\pm 20\%$ , и срок службы ламп уменьшается в 2 раза. Повышенное потребление энергии стартером во время пуска, возможное при его неисправной работе, значительно сокращает срок службы аккумуляторной батареи.

Поэтому, качественная и своевременная диагностики технического состояния автомобильных стартера и генератора, является актуальной задачей.

Неисправности, как генератора, так и стартера не всегда сразу проявляются критическим образом – не завелся двигатель или нет заряда аккумуляторной батареи. Часто сначала возникают незначительные отклонения от нормы, признаки которых можно определить визуально. Например, стал менее ярким свет фар, или двигатель не так быстро прокручивается стартером как обычно. В этом случае рекомендуется снять стартер или генератор с автомобиля и выполнить его полную проверку на специализированных стендах, позволяющих, в том числе, выявить и так называемые «плавающие» (скрытые) дефекты.

Целью бакалаврской работы является модернизация электропривода специализированного стенда для проверки автомобильных генератора и стартера.

# 1 Краткие теоретические сведения об автомобильных генераторах, стартерах и методах их контроля

## 1.1 Устройство стартеров и генераторов

Автомобильный стартер (см. рисунок 1.1 и 1.2) выполнен на базе двигателя постоянного тока.

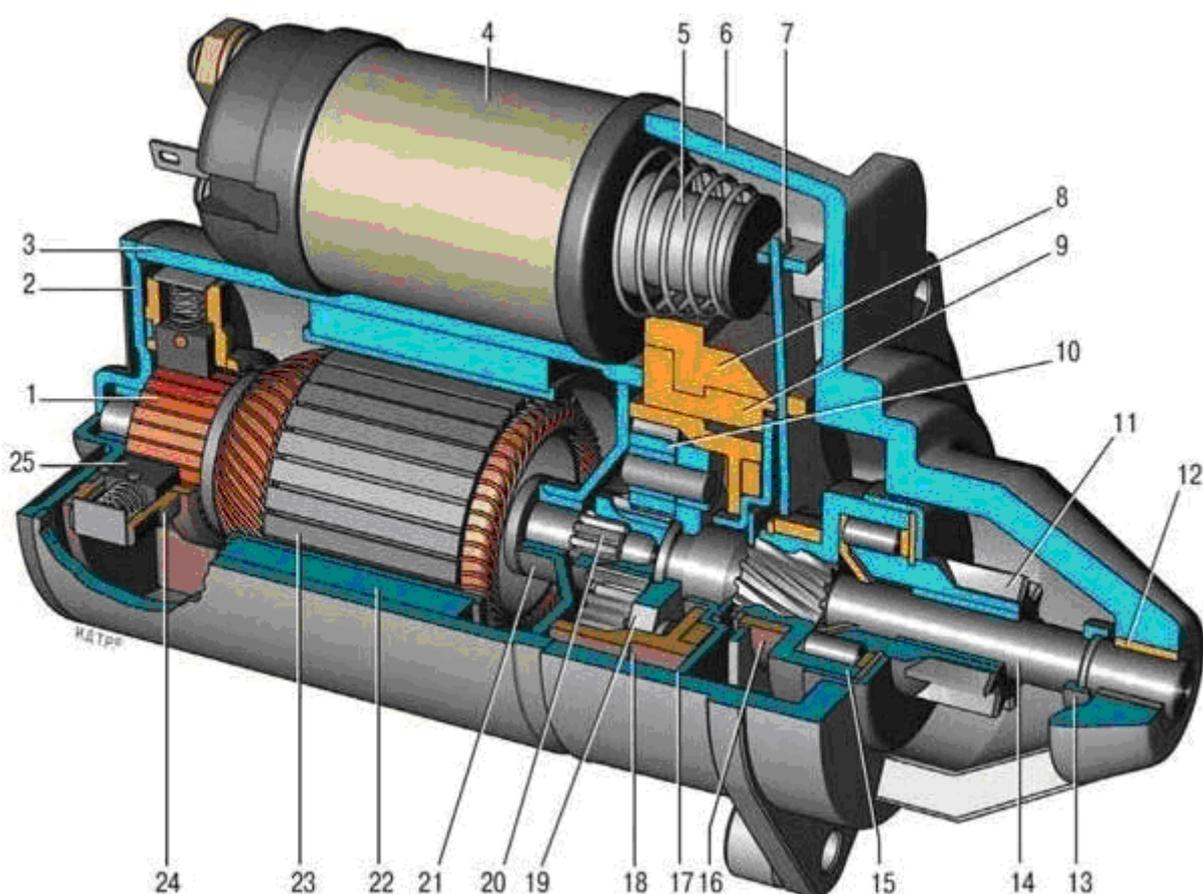


Рисунок 1.1- Автомобильный стартер

Стартер состоит из следующих основных элементов:

- корпус с полюсами из постоянных магнитов;
- якорь с коллектором и обмоткой;
- тяговое (втягивающее) реле;
- понижающий редуктор планетарного типа;

- механизм привода (рычаг, поводковое кольцо, обгонная муфта и шестерня);
- передняя и задняя крышки.



Рисунок 1.2- Детали автомобильного стартера

Основные характеристики стартера представлены в таблице 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1- Основные характеристики автомобильных стартеров

Параметр	Модели стартеров			
	29.3708	2170.3708010 – 01	21902- 3708010-00	42.3708-11 (ГАЗель)
1	2	3	4	5
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Номинальная мощность, кВт	1,3	1,2	1,2	1,75
Направление вращения (со стороны шестерни привода)	Левое	Правое	Правое	Правое
Возбуждение	Смешанное	От постоянных магнитов	От постоянных магнитов	От постоянных магнитов
Масса, кг	6	2,8	2,64	3,8

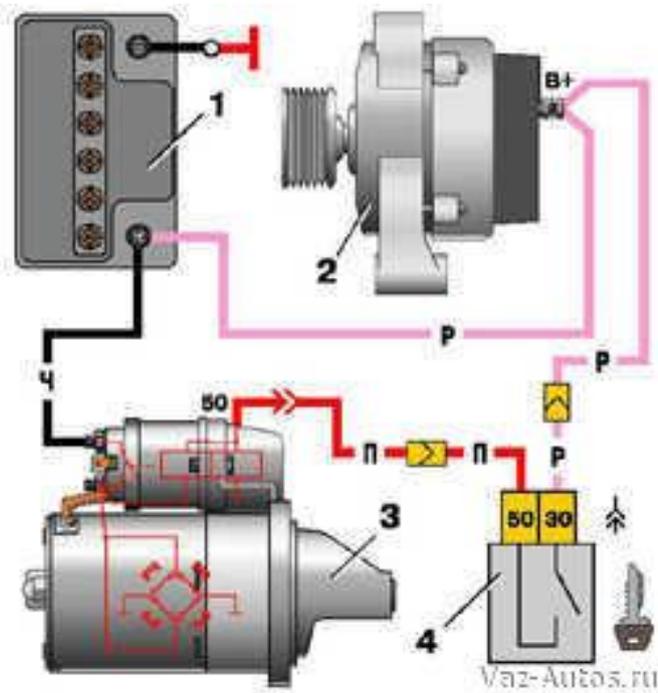
Таблица 1.2- Режимы работы стартера

Режимы работы		Модели стартеров			
		29.3708	2170.37080 10- 01	21902- 3708010-00	42.3708- 11 (ГАЗель)
1	2	3	4	5	6
Режим номинальной мощности	Крутящий момент на валу стартера, Н-м	7,6	8,3	8,2	11,2
	Частота вращения вала стартера, об/мин	1650	1300	1775	1650
	Сила тока, А	280	375	294	365

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
Режим холостого хода	Крутящий момент на валу стартера, Н-м	-	-	-	-
	Частота вращения вала стартера, об/мин	5000 <sup>+500</sup> <sub>-800</sub>	Не менее 4000	Не менее 4000	4000
	Сила тока, А	75	80	80	Не более 85
Режим полного торможения	Крутящий момент на валу стартера, Н-м	14	13,5	13,5	20
	Частота вращения вала стартера, об/мин	0	0	0	0
	Сила тока, А	500	700	Не более 750	550

Схема соединений автомобильного стартера 2170.3708010–01 представлена на рисунке 1.3, рабочие характеристики стартера типа 2501.3708-11 – на рисунке 1.4.



1- аккумуляторная батарея; 2- генератор; 3- стартер; 4- выключатель зажигания

Рисунок 1.3- Схема соединений стартера 2170.3708010– 01

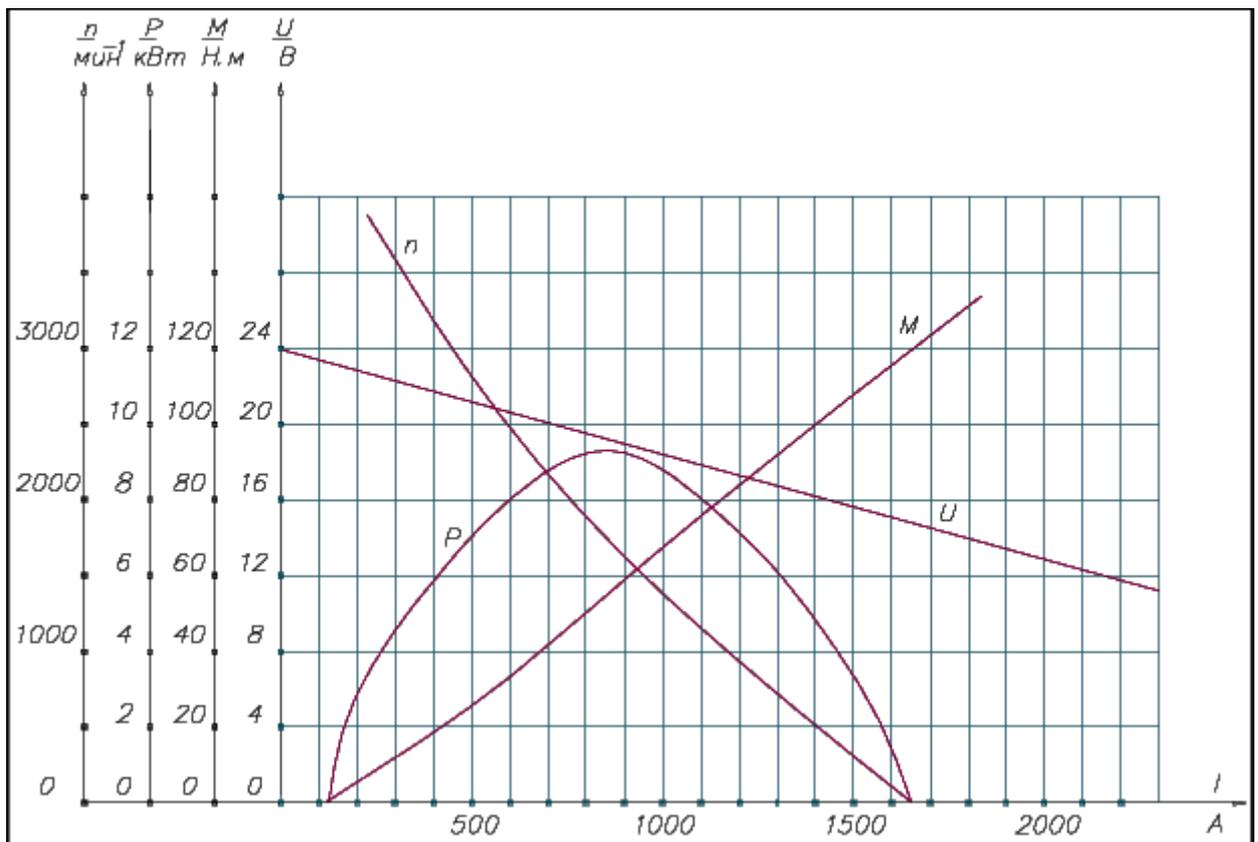


Рисунок 1.4- Рабочие характеристики стартера типа 2501.3708-11

Генератор - это машина, которая применяет принцип электромагнитной индукции для преобразования механической энергии, подаваемую двигателем, в электрическую энергию [с. 20-21, 23]. Генератор восстанавливает в батарее энергию, израсходованную при проворачивании коленвала двигателя. Поставляется ли энергия для остальной электрической системы автомобиля непосредственно генератором, батареей или их комбинацией, зависит от условий, при которых работает генератор. Существуют два типа генераторов: генератор постоянного тока, подающий электрическую энергию непосредственно на батарею и/или электрический генератор, подающий энергию через различные регулирующие устройства.

Генератор переменного тока имеет ту же функцию, что и генератор постоянного тока, но, поскольку для зарядки батареи можно использовать только постоянный ток, необходим элемент, называемый выпрямителем, для преобразования переменного тока в постоянный.

На рисунке 1.5 показана блок-схема, поясняющая действие регулятора [с. 250, 24]. Из рисунка видно, как отключается ток возбуждения при увеличении выходного напряжения, а затем снова включится при падении напряжения на выходе. Резкое переключение тока возбуждения не вызывает резких изменений выходного напряжения из-за высокой индуктивности обмотки возбуждения (ротора). Кроме того, весь процесс коммутации занимает всего несколько миллисекунд. Многие регуляторы напряжения также содержат температурную компенсацию для обеспечения более высокой скорости заряда в холодных условиях и снижения скорости в жарких условиях.

Конструкция современных автомобильных генераторов примерно одинаковая – так называемая компактная конструкция (см. рисунок 1.6). Различия в присоединительных размерах и максимальной токоотдаче (см. таблица 1.3) [4].

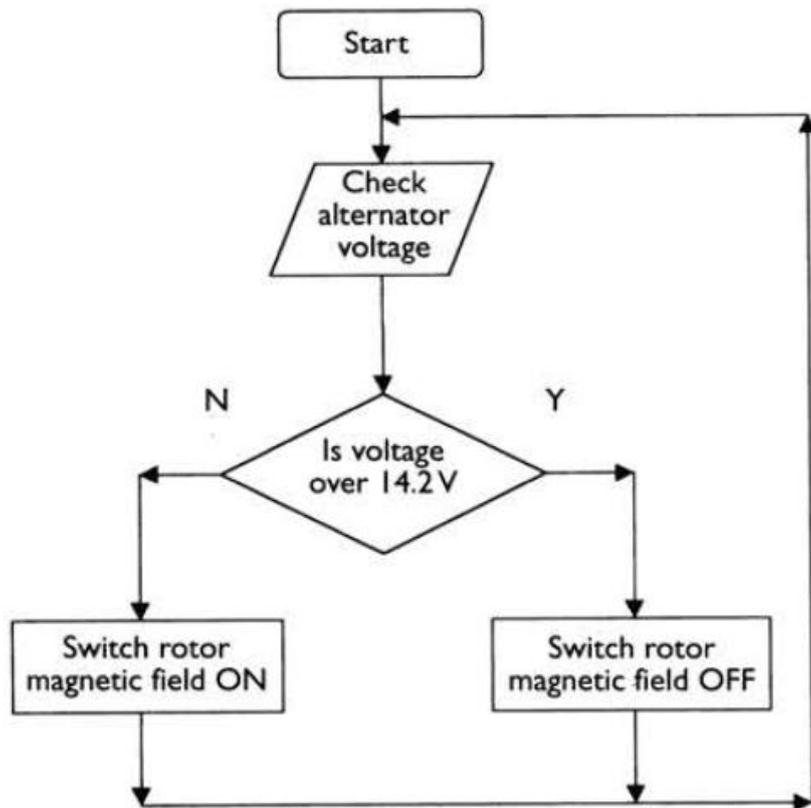


Рисунок 1.5- Алгоритм регулирования выходного напряжения генератора

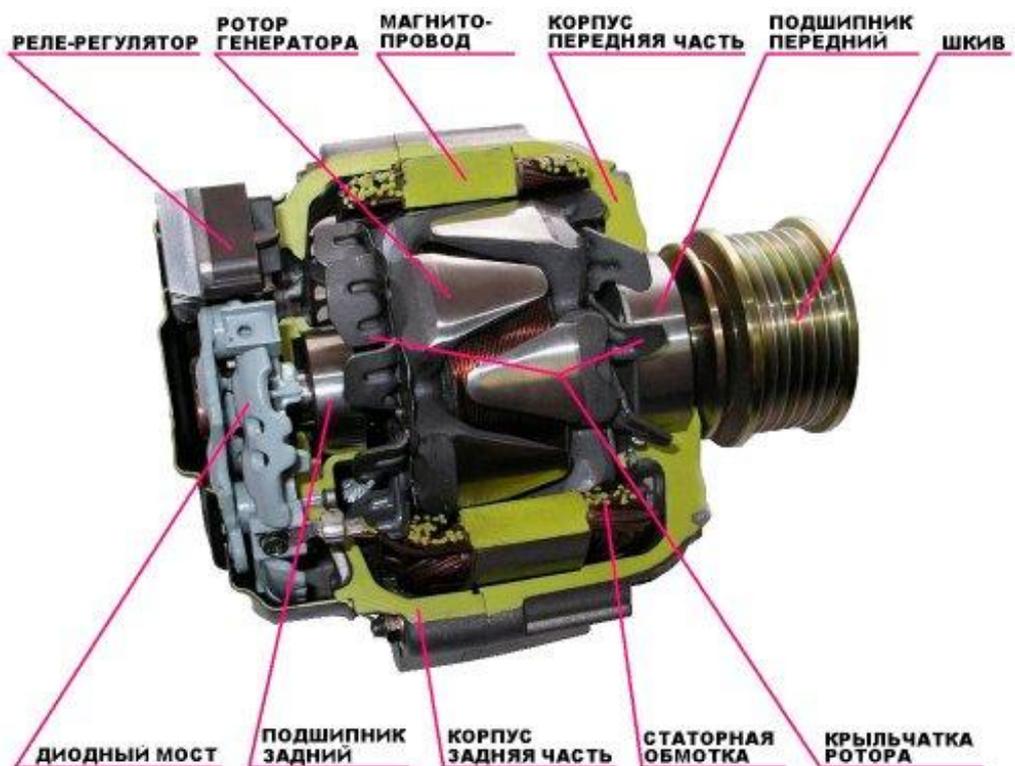


Рисунок 1.6- Генератор компактной конструкции

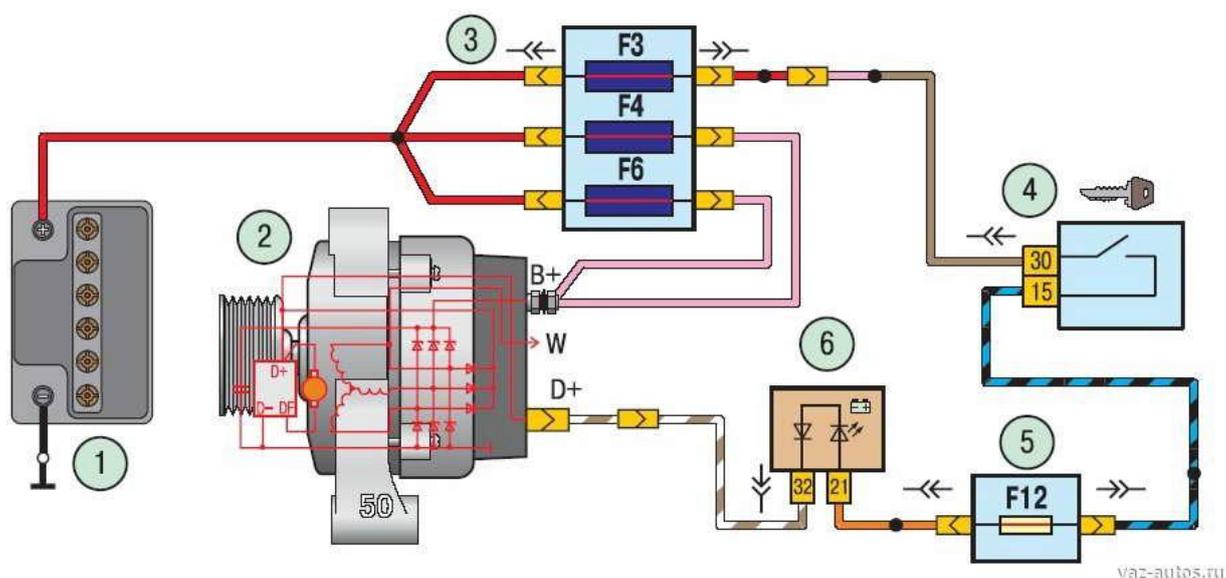
Таблица 1.3- Параметры автомобильных генераторов

Параметр	Модель генераторов		
			
	3202.3771 (14В, 90А)	5102.3771-10 (14В, 100А)	9402.3771 (14В, 120А)
1	2	3	4
Масса, кг	5,14	5,31	5,22
Габариты (длина x диаметр), мм	192x133	183x132	194x133
Ток отдачи в холодном состоянии при частоте вращения ротора, об/мин:			
1700	47	52	64
2200	73	78	94
3000	94	99	118
3500	96	104	126
Ток отдачи в нагретом состоянии при частоте вращения ротора, об/мин:			
1800	44	52	61
3000	80	88	103
4000	88	95	113
5000	92	100	119

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
6000	94	102	122
Выходное напряжение при частоте вращения ротора 6000 об\мин и токе нагрузки 5 А	14,1	14,4	14,6

Схема включения автомобильного генератора в бортовую сеть автомобиля показана на рисунке 1.7 [5]



1- аккумуляторная батарея; 2- генератор; 3, 5- предохранители в монтажном блоке; 4- выключатель зажигания; 6- контрольная лампа заряда аккумуляторной батареи

Рисунок 1.7- Схема включения автомобильного генератора в бортовую сеть автомобиля ВАЗ-2190 Лада Приора

При возникновении неисправностей в системе электроснабжения автомобиля, необходимо провести его диагностику – процесс, начинающийся с появлением проблемы, и заканчивающийся с подтверждением выявленной неисправности [с.3, 21]. Кратко, данный процесс можно описать, используя три вопроса, на которые необходимо дать ответы.

1. Каковы симптомы? То есть это то, что вы наблюдали (видели, слышали, чувствовали или обоняли) и что указывает на возникшую проблему.

2. Что вызвало симптомы? Это включает в себя использование диагностических процедур для определения основной причины возникшей проблемы.

3. Как мы это исправим? Обычно это связано с необходимостью отрегулировать, отремонтировать или заменить какую-либо деталь или детали.

Одной из таких диагностических процедур является проверка выходного напряжения генератора (см. рисунок 1.8).

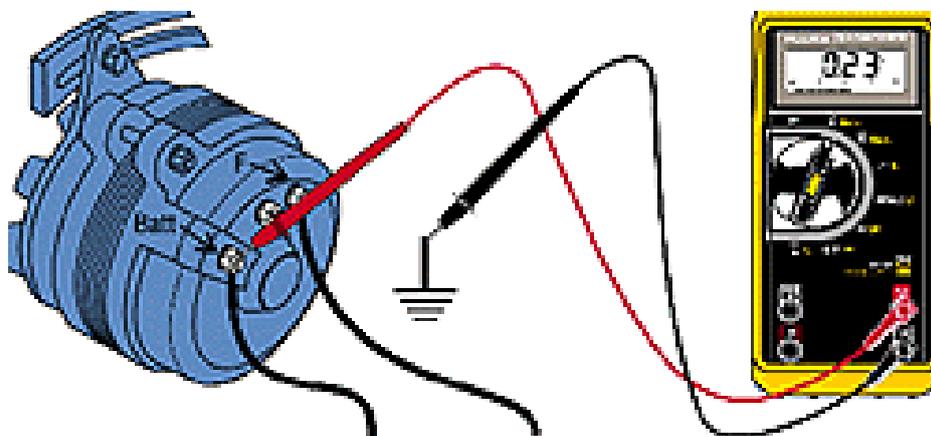


Рисунок 1.8- Проверка пульсации напряжения генератора

Напряжение пульсации выходного напряжения генератора можно измерить, переключив DMM тестера на переменный ток и подключив черный провод к проводнику заземления, а красный - к контакту «BAT» на задней панели генератора (не на аккумуляторной батарее) [с. 2, 22].



Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7
Мощность проверяемых генераторов, кВт	3	4,5	6,5	4,0	4,0	3,0
Мощность проверяемых стартеров, кВт	9	11	12	9	9	10
Диапазон изменения частоты вращения привода, об\мин	500-8000	500-6000	0-10000	0-8000	0-8000	500-10000
Снятие токоскоростной характеристики (ТСХ) генератора	-	-	+	+	+	-
Проверка регуляторов напряжения генераторов	+	+	+	+	+	+
Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) генератора	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7
Проверка выпрямительного блока генератора	+	+	+	+	+	+
Проверка на максимальную частоту вращения генератора	-	-	+	-	+	+
Проверка электрической прочности изоляции обмоток	+	+	+	+	-	+
Мощность привода, кВт	4,2	4,5	4,5	2,8	2,6	4,5
Частотный преобразователь	-	-	+	+	+	-
Размеры: длина х ширина х высота, мм	565х 750х 525	1200х 850х 1600	1200х 850х 1600	1200х 700х 1150	1200х 700х 1150	1200х 850х 1600
Масса, кг	50	245	297	88	90	198
Цена, т.р	85	219	410	320	560	480

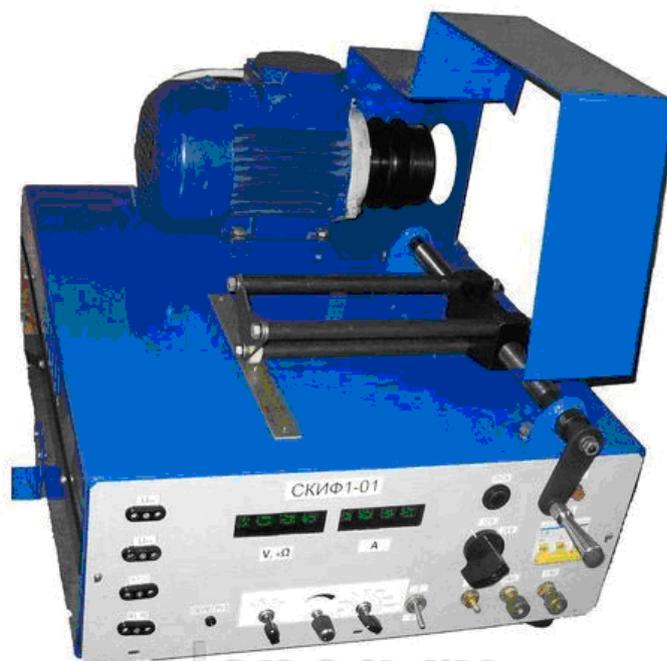


Рисунок 1.9- Стенд Скиф 1-01

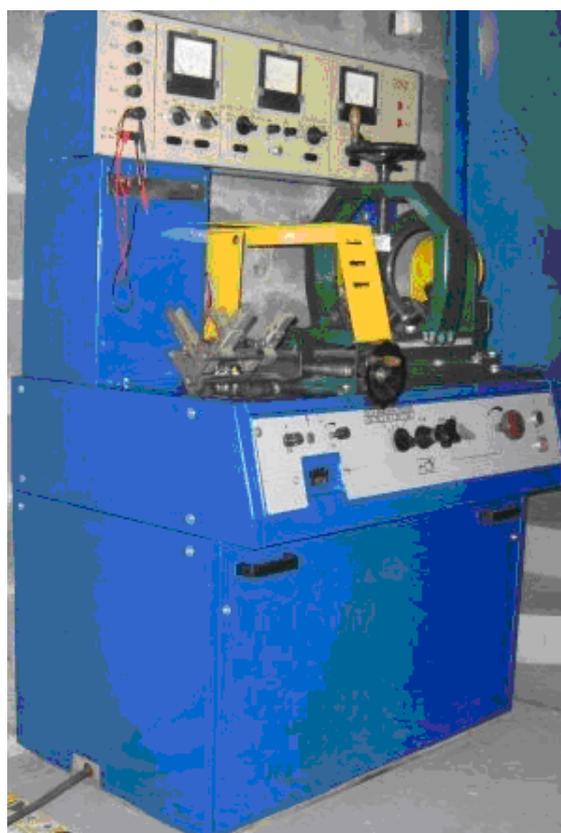


Рисунок 1.10- Стенд Э-250



Рисунок 1.11- Стенд Э-250-2М



Рисунок 1.12- Стенд СГ-2500



Рисунок 1.13- Стенд JUNIOR



Рисунок 1.14- Стенд BANCHETTO «PLUS» 02.004.01

Малый испытательный стенд JUNIOR, настольная версия [с. 1-7, 25], служит для проверки генератора и стартера (12В/24В). Настольное исполнение позволяет предложить потребителям оптимальное соотношение цены и производительности стенда. Стенд подходит для проверки электромеханических изделий в широком диапазоне частот вращения.

### 1.3 Постановка задачи исследования

Проанализировав стенды для испытания автомобильных генераторов, были выявлены следующие недостатки серийно выпускаемых моделей:

- некоторые модели стендов не имеют регулируемый по частоте вращения электропривод (например, модель Э-250);
- некоторые модели стендов, которые содержат регулируемый электропривод, не поддерживают постоянной частоту вращения при изменении нагрузки, либо предлагают это делать испытателю вручную (например, модели Э-250-02, Скиф-1-04А)
- большое энергопотребление стендов в режиме испытания генераторов;
- высокая стоимость стендов.

Целью данной работы является модернизация электропривода стендов, находящихся в эксплуатации, но не имеющих возможность регулирования частоты вращения. К таким стендам относятся модели Э-250, Э-242, Скиф-1, СГС-11 и др.

В качестве объекта модернизации выбрали стенд модели Э-250, как один из самых массовых серийно выпускаемых стендов.

## 2 Разработка схемы испытательного стенда

Назначение стенда – проверка автомобильных электрических машин (стартера и генератора).

Исходные данные:

- диапазон скоростей вращения: 1000....6500 об/мин;
- диапазон нагрузки по току: 0....120 А;
- источник питания для проверки стартера  $U_H=12В$   $I_H=0....1000$  А;
- аппаратуру контроля, защиты и индикации.
- источник питания  $U_H=12В$   $I_H=0....10А$ .

На рисунке 2.1 показаны механические характеристики АД при  $M_c = const$ , на рисунке 2.2- для  $P_c = const$ .

Функциональная схема электромашинного узла стенда для проверки автомобильных генераторов и стартеров показана на рисунке 2.3.

Для создания регулируемого электрического привода используем преобразователь частоты ЭПВ-ТТПТ-16 и АД [10].

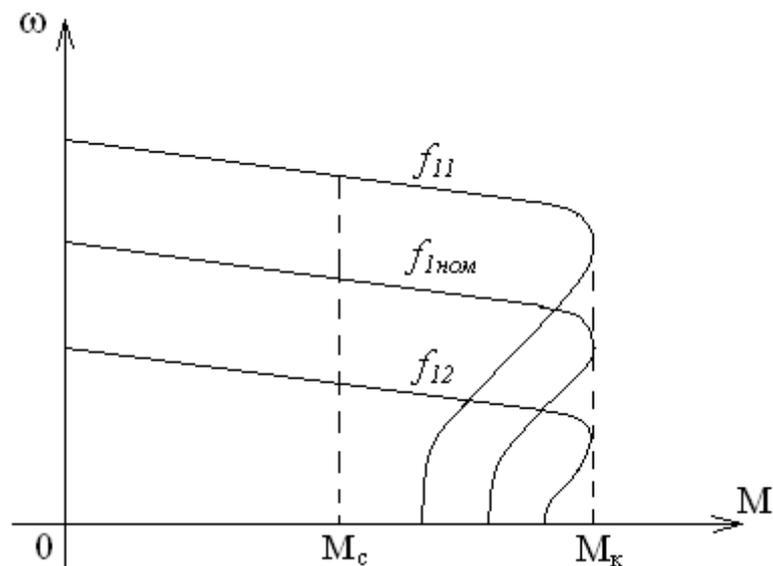


Рисунок 2.1- Механические характеристики АД при частотном регулировании скорости при  $M_c = const$

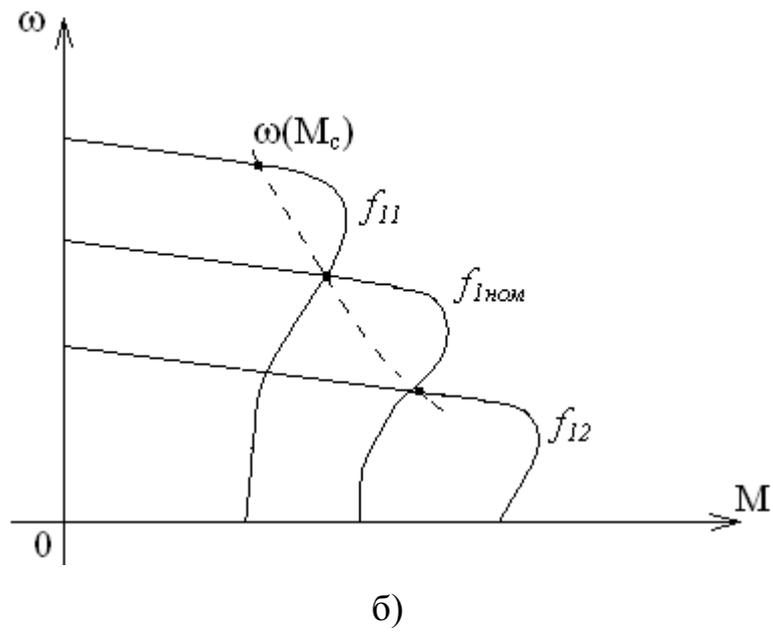


Рисунок 2.2 - Механические характеристики АД при частотном регулировании скорости при  $P_c = \text{const}$

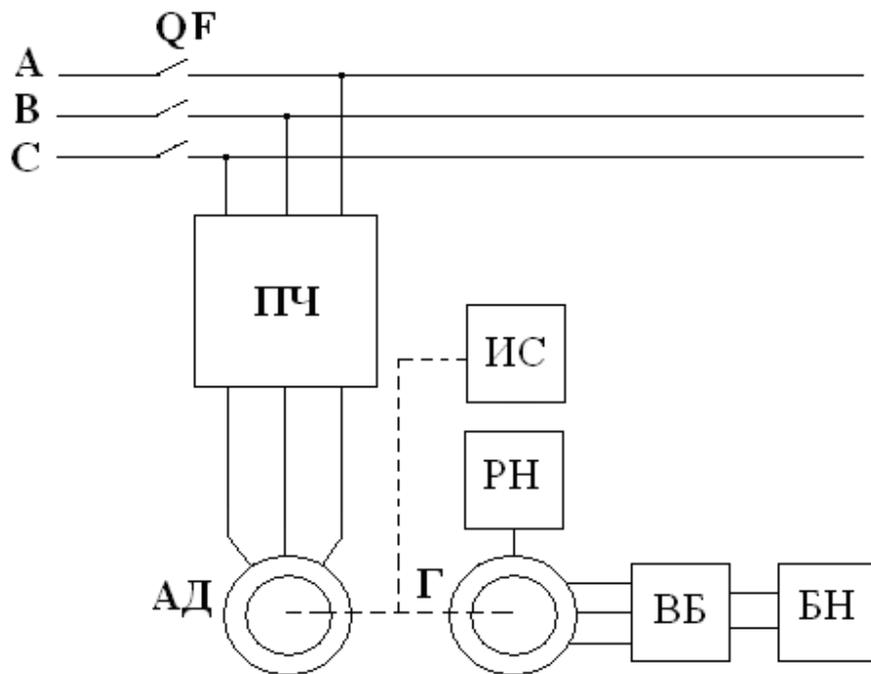


Рисунок 2.3- Функциональная схема электромашинного узла стенда для проверки автомобильных генераторов и стартеров

### 3 Разработка конструкции стенда

#### 3.1 Выбор и расчет приводного электродвигателя

Принимаем для расчета номинальную мощность автомобильного генератора  $P_{ном}=1120$  Вт. Определим момент соответствующий номинальной мощности. В данном случае этот момент будет также моментом сопротивления для АД (3.1)

$$M_{ген} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{1120}{628} = 1,78 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность генератора.

$\omega_{ном}$  – угловая частота вращения (3.2)

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6000}{30} = 628 \text{ с}^{-1} \quad (3.2)$$

где  $n_{ном}$  – номинальная частота вращения генератора.

Рассмотрим известную нагрузочную диаграмму автомобильных генераторов (см. рисунок 3.1, таблица 3.1).

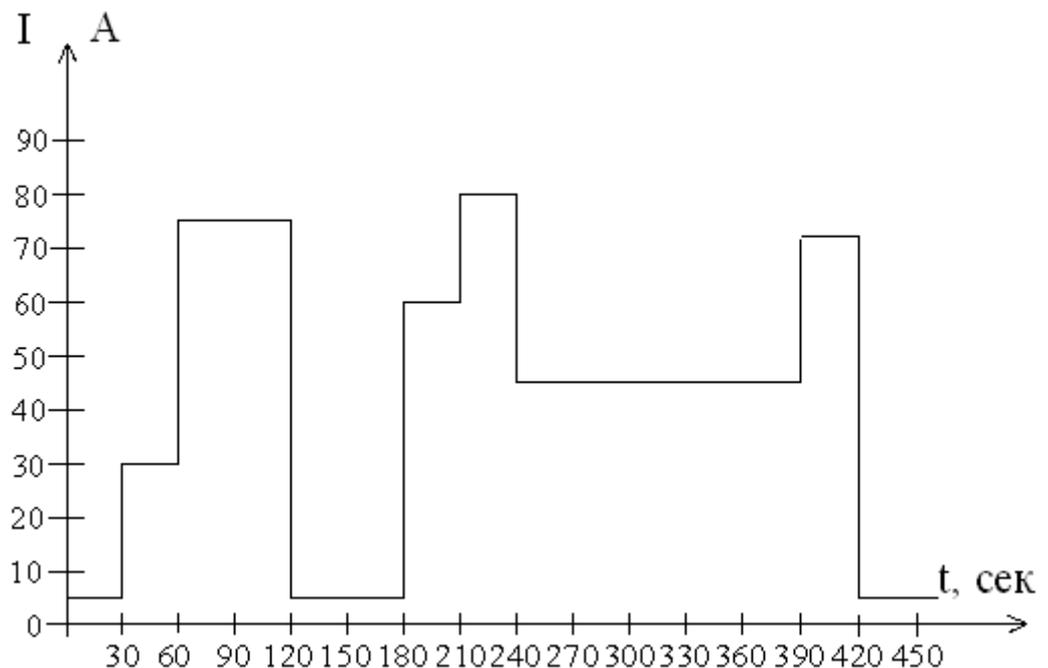


Рисунок 3.1- Диаграмма изменения тока нагрузки во времени

Таблица 3.1- Данные об изменении нагрузки генератора

$I_{ген}, А$	6	31	73	6	6	61	81	46	46	46	73
$R_H, Ом$	2,5	0,42	0,17	2,5	2,5	0,21	0,15	0,28	0,28	0,28	0,17
$U_{ген}, В$	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
$P_H, Вт$	66	391	937	66	66	781	1041	586	586	586	937

Для выбора электродвигателя приблизительно рассчитаем его мощность по формуле (3.3)

$$P_{\text{дв}} = \beta \cdot \omega_{n \max} \cdot I_n \cdot \varepsilon_{n \max} + M_c \cdot \omega_{n \max} = 3,3 \cdot 680 \cdot 1,78 = 3986 \text{ Вт} \quad (3.3)$$

где  $\beta=3,3$ , если  $M_c \geq I_n \varepsilon_{n \max}$

$I_n \varepsilon_{n \max}$  пренебрегаем ввиду его малой величины

$\omega_{n \max} = 678 \text{ рад/с}$  при  $n = 6510 \text{ об/мин}$

Из справочной литературы подбираем АД (асинхронный двигатель) серии АИР100S2 с  $n_{\text{ном}} = 3000 \text{ об/мин}$  (таблица 3.2) [12].

Таблица 3.2- Характеристики двигателя серии АИР100S2

Р, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_n}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_n}{I_{\text{ном}}}$
	Скольжение	КПД, %	cos φ				
4.0	5	87	0,88	2	2,4	1,6	7,5

Момент номинальный равен:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{4000}{314} = 12,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.4)$$

Момент пусковой и минимальный определяются по формуле:

$$M_{\text{max}} = 2,2 \cdot M_{\text{ном}} = 2,2 \cdot 12,5 = 27,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.5)$$

$$M_{\text{пуск}} = 2,0 \cdot M_{\text{ном}} = 2,0 \cdot 12,5 = 25 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.6)$$

Так как,  $M_c = 1,78 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{пуск}} = 25 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , выбор приводного электрического двигателя произведен верно.

Далее необходимо подобранный электрический двигатель проверить на условие нагрева методом эквивалентного тока, которое должно соответствовать формуле (3.7):

$$I_{\text{э}} \leq I_{\text{ном}} \quad (3.7)$$

Определим отклонение тока нагрузки  $I_3$ :

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 \cdot t_i}{T_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{5^2 \cdot 30 + 30^2 \cdot 30 + 72^2 \cdot 30 + 5^2 \cdot 30 + 5^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 30 + 80^2 \cdot 30 + 45^2 \cdot 30 + 45^2 \cdot 30 + 45^2 \cdot 30 + 72^2 \cdot 30}{420}} = 47,4 \text{ А} \quad (3.8)$$

Приняв, что ток генератора равен  $I_{\text{ном}} = 80 \text{ А}$ , проверим выполнение условия по нагреву:

$$I_{\text{э}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$47,4 \leq 80 \text{ А},$$

Условие выполняется, выбор приводного электрического двигателя верен.

Определим размеры приводного шкива.

Начальные условия:

- диаметр шкива генератора  $d_1 = 50 \text{ мм}$ ;
- скорость вращения вала генератора  $n_{\text{ген}} = 6500 \text{ об/мин}$ .

Найдем угловую скорость  $\omega_{\text{ген}}$ , рад/сек,

$$\omega_{\text{ген}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ген}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6500}{30} = 628 \text{ рад/сек}, \quad (3.9)$$

Найдем угловую скорость АД  $\omega_{\text{дв}}$ , рад/сек, используя формулу (3.10)

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/сек}, \quad (3.10)$$

где  $n_{дв}$  – скорость вращения АД. Принимаем  $n_{дв} = 3000$  об/мин.

Для определения передаточного отношения составим пропорцию между частотами вращения и диаметрами шкивов

$$\frac{n_{ген}}{n_{дв}} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3.11)$$

где  $d_2$  – диаметр шкива АД.

$$d_2 = \frac{n_{ген} \cdot d_1}{n_{дв}} = \frac{6500 \cdot 50}{3000} = 111 \text{ мм}$$

Принимаем  $d_2 = 111$  мм.

Инерционный момент у шкива АД:

$$J_2 = m_2 \cdot R_2^2, \quad (3.12)$$

где  $m_2$  – масса шкива АД (рассчитывается далее);

$R_2$  – радиус шкива АД.

Рассчитаем объем шкива АД  $V_2$ ,  $\text{м}^3$ , по формуле (3.13)

$$V_2 = V_{2\text{полн}} - V_{2\text{выр}}, \quad (3.13)$$

где  $V_{2\text{полн}}$  – полный объем цилиндра (3.14);

$V_{2\text{выр}}$  – объем вырезанной части цилиндра (3.15).

$$V_{2\text{полн}} = \pi \cdot R_{2\text{полн}}^2 \cdot H_{2\text{полн}}, \quad (3.14)$$

где  $R_{2\text{полн}}$  – радиус полного цилиндра, м;

$H_{2\text{полн}}$  – высота полного цилиндра, м.

$$V_{2\text{полн}} = 3,14 \cdot (7,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$V_{2\text{выр}} = \pi \cdot R_{2\text{выр}}^2 \cdot H_{2\text{выр}}, \quad (3.15)$$

где  $R_{2\text{выр}}$  – радиус вырезанной части цилиндра, м;

$H_{2\text{выр}}$  – высота вырезанной части цилиндра.

$$V_{2\text{выр}} = 3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$V_2 = V_{2\text{полн}} - V_{2\text{выр}} = 4,3 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$m_2 = \rho \cdot V_2 = 7700 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 0,201 \text{ кг}, \quad (3.16)$$

где  $\rho$  - удельный вес железа

Теперь находим момент инерции шкива у двигателя:

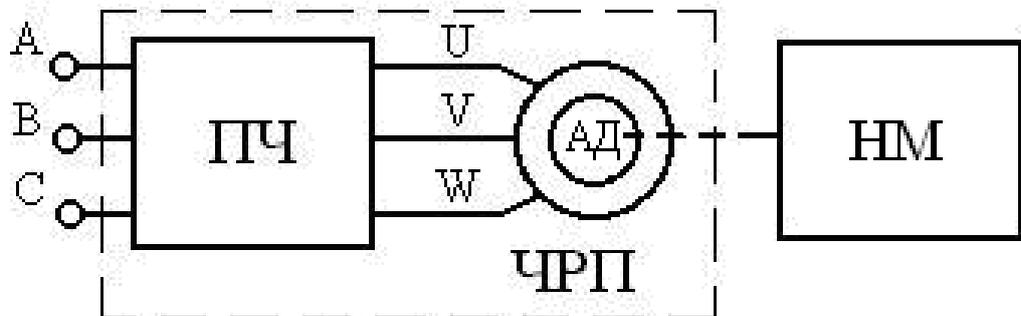
$$J_2 = 0,231 \cdot \left( 7,5 \cdot 10^{-3} \right)^2 = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^3$$

Рассчитаем передаточное отношение между валами генератора и двигателя  $i_2$ , по формуле (3.17)

$$i_2 = \frac{\omega_{ген}}{\omega_{дв}} = \frac{680}{314} = 2,2 \quad (3.17)$$

### 3.2 Выбор и расчет преобразователя частоты

Для нашего случая оказался более приемлемым четвертый метод – это регулирование частоты вращения поля статора путем регулирования частоты питающего напряжения (см. рисунок 3.2).



ПЧ – преобразователь частоты; НМ – нагрузочная машина; ЧРП – частотно-регулируемый привод

Рисунок 3.2- Частотно-регулируемый привод

Максимальный момент, развиваемый двигателем, определяется зависимостью (3.20)

$$M_{\text{max.}} = k \frac{U^2}{f^2}, \quad (3.20)$$

где  $k$  - постоянный коэффициент.

Поэтому зависимость напряжения питания от частоты определяется характером нагрузки на валу электрического двигателя.

Переменное напряжение питающей сети ( $U_{\text{вх.}}$ ) с постоянной амплитудой и частотой ( $U_{\text{вх.}} = \text{const}, f_{\text{вх.}} = \text{const}$ ) поступает на управляемый или неуправляемый выпрямитель (1) (см. рисунок 3.4).

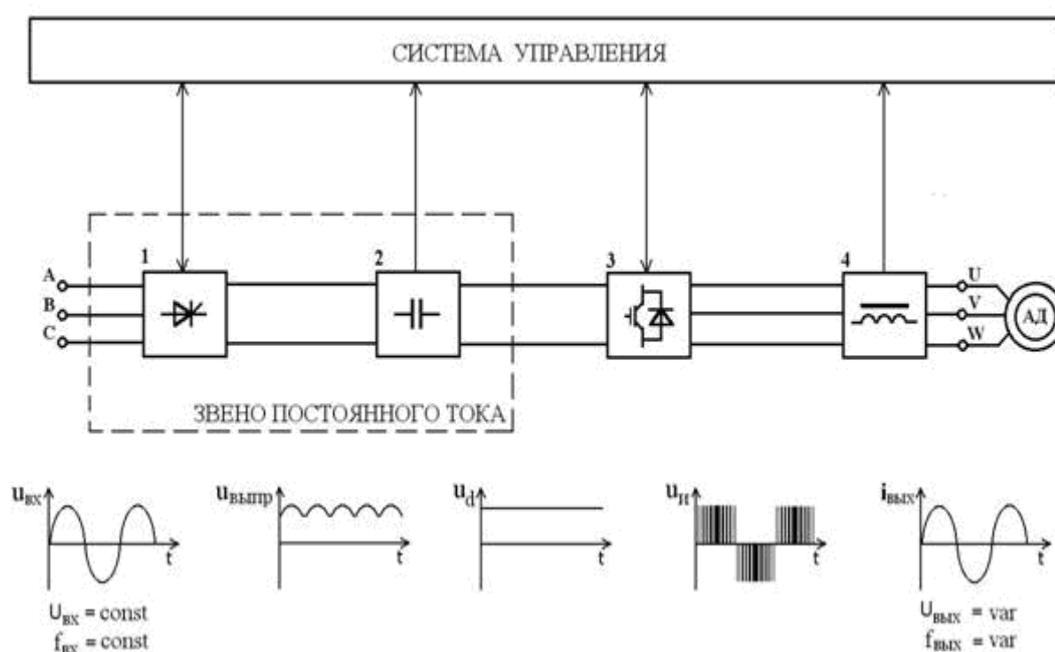


Рисунок 3.4- Типовая схема низковольтного преобразователя частоты и графики напряжений и токов на выходе каждого элемента преобразователя

Для нашего стенда возьмем преобразователь частоты ЭПВ-ТТПТ-16 (исполнение 1), так как он подходит нам по своим техническим характеристикам, напряжению питания, а также выполняются условия:

$$P_{\text{пч}} \geq P_{\text{дв}}$$

$$I_{\text{ном вых. пч}} \geq I_{\text{ном дв}}$$

Электропривод с преобразователем частоты серии ЭПВ (см. рисунок 3.5) исполнения 1 представляет собой электромеханическую систему, включающую асинхронный двигатель и преобразователь частоты типа «неуправляемый выпрямитель - инвертор напряжения» с микропроцессорной системой управления.



Рисунок 3.5- Внешний вид преобразователя

Электропривод обеспечивает работу в режиме стабилизации частоты вращения двигателя или в режиме автоматического регулирования технологической переменной в замкнутом контуре с использованием встроенного ПИД-регулятора и сигнала датчика обратной связи.

В таблице 3.3 сведены параметры преобразователя ЭПВ-ТТПТ-10.

Таблица 3.3- Параметры преобразователя ЭПВ-ТТПТ-10

Параметр	Значение параметра	Ед. измерения
1	2	3
Габаритные размеры (Ш ×В×Г)	195×278×180	мм
Номинальная выходная мощность	10,5	кВт
Типовая мощность двигателя	7,5	кВт
Напряжение питания	380+10/-15%	В
Частота напряжения питания	48..63	Гц

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
Выходное напряжение	0...входное напряжение	В
Выходная частота	0...400	Гц
Частота модуляции	2500...16000	Гц
Номинальный выходной ток $I_{ном}$ (действ.)	16	А
Максимальный выходной ток $I_{max}$ (действ.)	21	А
Ток срабатывания защиты $I_{МТЗ}$ (абс. знач.)	40	А
Максимальный ток торможения	23	А
Мин. сопротивление балласт, резистора	27	Ом
Мощность потерь в номинальном режиме	165	Вт
Максимальная температура радиатора	+85	°С
Рабочий диапазон температур окружающей среды	0..+40	°С

Электропривод выполнен на базе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователя частоты с неуправляемым выпрямителем и инвертором напряжения.

Структура, параметры и алгоритмы работы регуляторов системы управления синтезированы на основе принципов частотного управления и векторной ориентации, переменных с учетом дискретного характера процессов.



устройству и принципу действия тахометры могут быть:

- стробоскопическими;
- электрическими;
- электронными.

Стробоскопический эффект основан на совпадении частоты вращения стробоскопической лампы с частотой появления в освещаемой точке метки, расположенной на вращающейся части. Когда метка становится визуально неподвижной, значит, их частоты совпадают, и частота мигания лампы в данный момент является частотой вращения вала. Основным недостатком такого метода измерения частоты вращения является низкая точность.

Электрические тахометры вырабатывают напряжение (обычно небольшое) пропорциональное частоте вращения. Для преобразования скорости вращения в электрический сигнал используются различные преобразователи, например, тахогенераторы, датчики Холла и другие преобразователи. Если преобразование сигнала осуществляется электронными элементами, то такие тахометры принято называть электронными.

Электронные тахометры обладают наилучшей точностью и наиболее удобны с точки зрения дальнейшей обработки выработанного сигнала. По-этому для стенда выбрали электронный тахометр модели ТЭ-6К-ТК-2 (см. рисунок 3.7).



Рисунок 3.7- Электронный тахометр ТЭ-6К-ТК-2

### Основные технические характеристики ТЭ-6К-ТК-2:

- датчик индукционного типа;
- один основной и два дополнительных входа;
- количество реле – четыре;
- для питания датчиков положения используется встроенный источник питания на  $18\text{В} \pm 15\%$ .

#### 4 Подготовка и порядок работы стенда

Меры безопасности.

Корпус стенда должен быть надежно подключён к общему заземляющему контуру.

К работе со стендом допускается персонал, изучивший устройство и принцип работы стенда, прошедший инструктаж и имеющий квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей.

Не допускается работа на стенде при снятых или открытых стенках (крышках), защитных кожухах.

Генераторы и стартеры при их проверках должны быть надежно закреплены.

При контроле изоляции электрооборудования используйте только безопасные провода с подпружиненными щупами из комплекта принадлежностей.

Запрещается производить ремонт стенда, подключенного к сети,

При перерыве в работе стенд должен быть отключен от сети.

В остальном, при эксплуатации стенда, руководствуйтесь «Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий».

Действия перед вводом стенда в эксплуатацию.

Пред вводом стенда в эксплуатацию произведите следующие работы:

- установите входящую в комплект поставки розетку на месте установки стенда и подключите к питающей сети;

- удалите консервационную смазку и пыль с поверхностей стенда;

- несмотря на то, что стенд через питающий кабель имеет зануление, подсоедините корпус стенда отдельным медным проводником сечением не менее 4 мм<sup>2</sup> или стальной проволокой диаметром не менее 5 мм к общему заземляющему контуру.

Болт заземления расположен рядом с вводом сетевого кабеля.

Установите все органы управления в исходные положения:

- все переключатели в положение 1 (левое крайнее положение);
- рукоятку реостата нагрузки R6 и регулятора выходного напряжения источника питания RJ2 в левое крайнее положение;
- ползун реостата R3, служащий для ограничения тока при проверке стартеров, в левое крайнее положение;
- автоматический выключатель Q в положение «Выключено».
- проверку исправности стенда произведите методом опробования.

Особенности проверки генераторов.

Отличительной особенностью методики проверки генераторов на стенде является то, что они по своим техническим характеристикам проверяются на фиксированных частотах вращения. В справочной литературе параметры, определяющие техническое состояние генераторов, приводятся для частот вращения, отличающихся от частот вращения при проверке на стенде, поэтому оценка технического состояния генераторов по выходным характеристикам, осуществляются посредством дополнительного параметра — напряжения на обмотке возбуждения проверяемого генератора.

Как известно, вырабатываемая генератором Э.Д.С. описывается уравнением:

$$E = C * n * \Phi = C_1 * n * I_B = C_2 * n * U_B \quad (4.1)$$

где E- Э.Д.С. генератора;

C, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> - постоянные коэффициенты для каждого типа генератора;

n - частота вращения ротора (якоря) генератора;

Φ - магнитный поток;

I<sub>B</sub> - ток возбуждения;

U<sub>B</sub> - напряжение на обмотке возбуждения.

Из этого уравнения следует, что проверить исправность генератора на холостом ходу можно двумя способами:

- изменяя частоту вращения ротора (якоря) генератора при постоянном токе возбуждения;

- изменяя напряжение (ток) при неизменной частоте вращения;  
Последний способ и реализован в данном стенде.

При проверке генераторов постоянного тока при номинальном выходном напряжении и номинальной нагрузке напряжение, подаваемое на обмотку возбуждения, определяется по формуле:

$$U_B = U_H \frac{n_H}{n_d} \quad (4.2)$$

где  $U_B$  - напряжение на обмотке возбуждения;

$U_H$  - номинальное выходное напряжение;

$n_H$  - номинальная частота вращения якоря генератора (справочное значение) при номинальной нагрузке;

$n_d$  - фактическая частота вращения якоря генератора при проверке на стенде.

При проверке генераторов переменного тока под нагрузкой при номинальном выходном напряжении расчетный ток нагрузки определяется по формуле:

$$I_p = I_{max} \left(1 - e^{-\frac{n_d}{n_0}}\right) \quad (4.3)$$

где  $I_p$  — расчетный ток нагрузки;

$I_{max}$  — максимальный ток нагрузки (для генераторов переменного тона - ток самоограничения при частоте вращения ротора генератора 5000 об/мин);

$n_d$  — фактическая частота вращения ротора генератора при проверке на стенде; по  $n_0$  — начальная частота вращения ротора генератора (справочное значение).

Привод генераторов от первой ступени шкива промежуточного привода стенда позволяет осуществить проверку генераторов, как в режиме холостого хода, так и под нагрузкой.

При проверке регуляторов напряжения, особенно вибрационных, рекомендуется осуществлять привод генераторов, как от первой, так и от второй ступени шкива.

Проверка генераторов переменного тока.

Техническое состояние генераторов переменного тока характеризуется

следующими параметрами:

— минимальной частотой вращения, при которой генератор развивает номинальное напряжение (начальная частота вращения без нагрузки);

— номинальной частотой вращения, при которой генератор отдает номинальный ток нагрузки (начальная частота вращения под нагрузкой).

При проверке современных генераторов переменного тока с самовозбуждением и поликлиновым приводом достаточно испытаний под нагрузкой на одной максимальной частоте вращения, поэтому привод стенда оснащен только одним поликлиновым ручьем шкива.

## Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы разработан проект модернизации испытательного стенда автомобильных генераторов.

В работе рассмотрены особенности конструкции автомобильного генератора и стартера, методы их испытаний и контролируемые параметры. Проведен анализ серийно выпускаемых испытательных стендов, по результатам которого предложена модернизация электропривода стенда.

Разработана структурная и функциональная схема стенда после модернизации, произведен расчет и выбор приводного электродвигателя, преобразователя частоты, системы защиты электропривода, электронного тахометра. Составлены рекомендации по подготовке и использованию стенда при проведении испытаний.

## Список используемых источников

1. Эксплуатационная надежность электрооборудования автомобилей. Автомобильный сайт Car-Website [Электронный ресурс]. - URL <http://car-website.ru/interesnoe-ob-avto/sovety/21793-nadezhnost-sistem-avtomobilej> (дата обращения: 20.04.2017)
2. Чубарев, К.С. Анализ факторов, влияющих на эксплуатационную надежность электрооборудования автомобилей / К.С. Чубарев // Технико-технологические проблемы сервиса №2(24) 2013. Электронное СМИ CyberLeninka. [Электронный ресурс].- URL <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliayuschih-na-ekspluatatsionnuyu-nadezhnost-elektrooborudovaniya-avtomobilya> (дата обращения: 29.04.2017)
3. Неисправности электрооборудования автомобилей. [Электронный ресурс]. – URL <http://mirznanii.com/a/194118/neispravnosti-elektrooborudovaniya-avtomobiley> (дата обращения: 11.04.2017)
4. Генератор иногда поднимает напряжение [Электронный ресурс]. – URL <http://elvismeb.ru/manikyur-i-instrumenty/generator-inogda-podnimaet-napryajenie> (дата обращения: 10.04.2017)
5. Lada Priora. Руководство по эксплуатации, обслуживанию и ремонту. М.: Изд-во «Третий Рим», 2012.- 230 с.
6. Стенды для проверки генераторов и стартеров [Электронный ресурс]. – URL <http://portall.zp.ua/uc> (дата обращения: 20.04.2017)
7. Технология производства электрооборудования автомобилей и тракторов: учеб. для студентов вузов, обуч. по специальности "Назем. транспортно-технол. средства" (специализация "Автомобил. техника в транспорт. технологиях" и направлению подготовки бакалавров и магистров "Эксплуатация транспортно-технол. машин и комплексов" / В. М. Приходько [и др.] ; под ред. В. М. Приходько. - Гриф УМО. - Москва : ИНФРА-М, 2015. – 376 с.

8. Набоких, В.А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Набоких. - 2-е изд. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2015. - 288 с.

9. Электроприводы переменного тока с частотным управлением : лаб. практикум / ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электрооборудование автомобилей и электромеханика" ; сост. В. А. Денисов. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 74 с. : ил. - Библиогр.: с. 73. с. 22-25.

10. Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии : IV Междунар. науч.-техн. конференция (Тольятти, 24-25 апр. 2012 г.) : сб. трудов . В 2 ч. Ч. 1 / ТГУ ; [отв. за вып. А. А. Шевцов]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 278 с. : ил. - Библиогр. в конце ст. – с. 29-31.

11. Епифанов, А.П. Электропривод [Электронный ресурс] : учебник / А. П. Епифанов, Л. М. Малайчук, А. Г. Гуцинский ; под ред. А. П. Епифанова. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 400 с. : ил.

12. Денисов, В.А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением : учеб. пособие для вузов / В. А. Денисов. - Старый Оскол : ТНТ, 2013. - 163 с. : ил. - Библиогр.: с. 163.

13. Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов : учеб. пособие для студентов вузов / Г. В. Никитенко. - Изд. 2-е, испр. и доп. ; гриф УМО. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2013. - 224 с. : ил.

14. Дементьев, Ю.Н. Электрический привод [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев ; Томский политехнический университет. - 2-е изд. - Томск : ТПУ, 2013. - 223 с.

15. Фролов, Ю.М. Проектирование электропривода промышленных механизмов : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 446 с. : ил.

16. Бекишев, Р.Ф. Общий курс электропривода [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р. Ф. Бекишев, Ю. Н. Дементьев ; Томский политехнический университет. - 2-е изд. - Томск : ТПУ, 2014. - 301 с.

17. Управление электроприводами [Электронный ресурс] : метод. указания к курсовой работе для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и очно-заочной форм обучения / сост. П. Н. Левин. - Липецк: Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2014. - 80 с. : ил.

18. Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. - 416 с.

19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Изд-во ЭНАС, 2013.-87с.

20. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Обязательны для всех потребителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности. 4-е издание, переработанное и дополненное, с изменениями. Источник: URL <http://www.gosthelp.ru/text/PPBSPravilatexnikibezopas.html> (дата обращения: 05.05.2017)

21. Электромонтажные работы [Электронный ресурс] справочная энциклопедия.– режим доступа: URL <http://www.electro-sila.ru/st8.htm> (дата обращения: 25.04.2017)

22. Заземление и зануление электроустановок [Электронный ресурс] электрон. дан. – URL <http://remont220.ru/zazemleniye-i-zanuleniye-elektrostanovok.php> (дата обращения: 25.04.2017)

23. Diagnostic Procedures Manual. Delco Remy. [Электронный ресурс].- URL <http://www.delcoremy.com/Documents/diagnostic-manual.aspx> (дата обращения: 20.04.2017)

24. Testing Electrical Systems with a Digital Multimeter. [Электронный ресурс].- URL <http://assets.fluke.com/appnotes/automotive/beatbook.pdf> (дата обращения: 20.05.2017)

25. Automotive Electrical Circuits And Wiring [Электронный ресурс].- URL

[http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act\\_lect/SIAUT/Material%20Auxiliar/Automotive%20electrical%20systems.pdf](http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Material%20Auxiliar/Automotive%20electrical%20systems.pdf) (дата обращения: 10.05.2017)

26. Tom Denton. Automobile Electrical and Electronic Systems. Fourth Edition. Vehicle Maintenance and Repair. Typeset in Helvetica by RefineCatch Limited, Bungay, Suffolk. 2012

27. Banchetto Junior [Электронный ресурс].- URL file:///G:/%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80/%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB%20%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B4/BA NCHI\_PROVA.pdf (дата обращения: 12.04.2017)