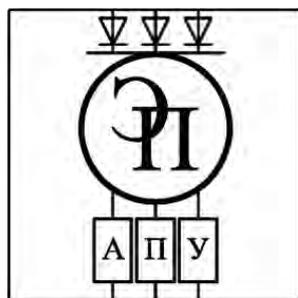


ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОТРАКТОРНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов направления подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 629.114.2:621.3
ББК 39.34:32.85
Т 33

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «20» апреля 2018 г.,
протокол № 11

Составитель ст. преподаватель Г. В. Бочкарёв

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для
студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротех-
ника» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОТРАКТОРНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Технический редактор	А. А. Подошеvко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие № 1. Расчёт систем контроля автомобилей и тракторов.....	5
2 Практическое занятие № 2. Баланс электроэнергии на борту автомобиля.....	9
3 Практическое занятие № 3. Поверочный расчёт индукторного генератора.....	18
4 Практическое занятие № 4. Теория, конструкция и расчёт систем пуска.....	23
5 Практическое занятие № 5. Теория, конструкция и расчёт систем зажигания.....	27
Список литературы.....	31



Введение

Развитие и совершенствование автомобилестроения и тракторостроения неразрывно связано с широким применением электротехнического оборудования, автоматических устройств и систем, объединённых в единый комплекс.

Электрооборудование современного автомобиля и трактора – сложная система, обеспечивающая автоматизацию рабочих процессов, безопасность движения и улучшение условий труда водителей. От надёжности электрооборудования в большей степени зависит эффективность эксплуатации автомобилей и тракторов.

Применение электрической энергии для освещения, пуска двигателя и питания различных аппаратов и приборов привело к образованию систем электропитания, пуска и освещения.

Система электропитания, обеспечивающая питание приёмников электрической энергией, состоит из электрического генератора, регулятора напряжения, аккумуляторной батареи и элементов защиты. Причём аккумуляторная батарея из основного источника перешла во вспомогательный, необходимый для питания потребителей во время останова двигателя. Основным источником электрической энергии на автомобиле и тракторе является генератор постоянного или переменного тока.

Развитие генераторных установок идёт по пути возрастания мощности в связи с ростом числа и мощности потребителей электрической энергии, увеличения срока службы и повышения удельных показателей использования активных материалов.

Для контроля состояния и работоспособности агрегатов и систем автомобилей и тракторов широко применяются контрольно-измерительные приборы, которые позволяют облегчить работу водителя, контролировать состояние и работоспособность агрегатов и систем, стоимость которых во много раз превышает стоимость самих приборов.

По способу отображения информации контрольно-измерительные приборы можно подразделить на две группы: указывающие и сигнализирующие. Современное развитие контрольно-измерительных приборов характеризуется тенденцией к увеличению количества сигнализирующих приборов.

1 Практическое занятие № 1. Расчёт систем контроля автомобилей и тракторов

Подлежащие измерению параметры, по которым можно оценить состояние различных систем и агрегатов автомобилей и тракторов, можно разделить на электрические и неэлектрические. В большинстве случаев измеряемые величины преобразовывают в электрические сигналы, поскольку наиболее просто выполнять передачу, регистрацию, математическую обработку полученных данных.

Основными требованиями к автомобильным контрольно-измерительным приборам являются простота конструкции, высокая надёжность, способность работать при значительных колебаниях напряжения электросети.

Приборы для электрических измерений неэлектрических величин состоят из двух устройств: датчика и приёмника, которые соединены между собой линиями связи. В состав датчика входят чувствительный элемент и преобразователь электрического сигнала. В качестве приёмника может быть использовано измерительно-регистрирующее устройство либо устройство контроля и обработки информации.

Совокупность контрольно-измерительных приборов определяет информационно-диагностическую систему автомобиля, основными характеристиками которой являются быстродействие, точность воспроизведения и считывания информации, время считывания информации и так далее. Быстродействие измерительного прибора определяют как интервал времени с момента измерения значения контролируемого параметра до фиксации этого измерения на указательной части прибора. Быстродействие зависит от технических характеристик приборов, в основном от инертности используемых датчиков.

Точность воспроизведения информации (точность прибора) характеризует степень соответствия результата измерения действительному значению измеряемого показателя. Точность измерительного прибора определяется его основной погрешностью. Погрешность прибора непосредственно связана с его чувствительностью, которая определяется как отношение изменения показаний прибора к соответствующему изменению измеряемого показателя.

Если погрешность прибора γ_0 не зависит от измеряемого показателя (такая погрешность называется аддитивной или погрешностью нуля), то разрешающая способность прибора

$$R = 0,5 \cdot \left(\frac{1}{\gamma_0} - 1 \right). \quad (1.1)$$

Если погрешность прибора γ_0 прямо пропорциональна измеряемому показателю (такая погрешность называется мультипликативной или погрешностью чувствительности), то разрешающая способность



$$R = 1,15 \cdot \log \left(\frac{D}{\gamma_0} \right), \quad (1.2)$$

где D – относительное значение рабочего диапазона прибора, определяемое как отношение наибольшего значения измеряемого показателя к наименьшему.

При наличии у прибора одновременно двух типов погрешностей (аддитивной и мультипликативной) разрешающая способность

$$R = \frac{1,15}{\gamma_c} \cdot \log \left(\frac{\frac{\gamma_0 + 1}{\gamma_c}}{\frac{\gamma_0}{\gamma_c} + \frac{1}{D}} \right). \quad (1.3)$$

Проектирование и расчёт систем контроля автомобилей выполняются в следующей последовательности:

- 1) производится выбор типа измерительно-регистрирующего устройства, либо устройства контроля и обработки информации;
- 2) в соответствии с типом измерительно-регистрирующего устройства определяются вид представляемой информации и способ её передачи от датчика;
- 3) производится выбор типа датчика в соответствии с видом представляемой информации для измерительно-регистрирующего устройства;
- 4) при необходимости разрабатывается устройство согласования информации между датчиком и измерительно-регистрирующим устройством.

В определённых случаях реализация представленной последовательности может быть невыполнима по пп. 1 или 4 из-за конструктивных особенностей приборной панели транспортного средства или регистрирующего устройства.

Одним из важных контролируемых параметров транспортных средств являются скорость движения и частота вращения вала двигателя. Для регистрации данных параметров во многих случаях используют скоростные узлы с индукционным преобразователем. Конструкция скоростного узла представлена на рисунке 1.1.

Основу скоростного узла составляет индукционный преобразователь. При вращении постоянного магнита 1, закреплённого на приводном валике 2, относительно карусельки 3, выполненной из алюминия, в последней наводятся вихревые токи. Создаваемое ими поле взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. В результате создаётся момент M_1 , приложенный к карусельке в направлении вращения постоянного магнита. Этот момент является вращающим. Чтобы через карусельку проходила большая часть магнитного потока, снаружи её с некоторым зазором расположен экран 4 из магнитомягкой стали (сталь 10). Пружина-волосок 5, закреплённая на оси 6, создаёт противодействующий момент M_2 .

Повороту подвижной системы также противодействуют момент M_3 от сил трения в опорах, момент дисбаланса M_4 . При постоянной круговой частоте

магнита вращающий момент уравнивается моментами пружины, трения и дисбаланса:

$$M_1 = M_2 \pm M_3 \pm M_4. \quad (1.4)$$

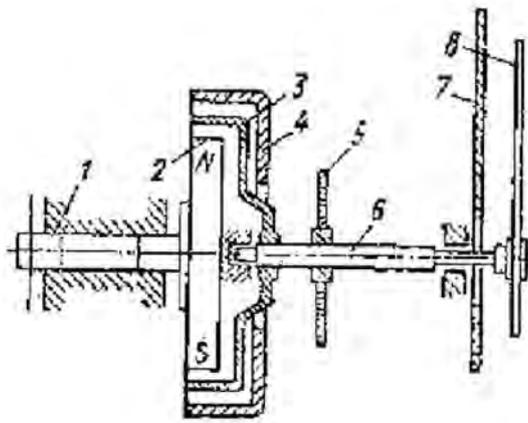


Рисунок 1.1 – Скоростной узел спидометра (тахометра)

При постоянной круговой частоте магнита, когда подвижная система привода находится в состоянии равновесия, $M_3 = 0$. При правильной балансировке $M_4 = 0$. С учётом принятых допущений

$$M_1 = M_2. \quad (1.5)$$

Вращающий момент пропорционален круговой частоте магнита и может быть определён по формуле

$$M_1 = K \cdot \frac{l^2 \cdot D^2 \cdot p \cdot \delta}{\rho} \cdot B^2 \cdot \omega, \quad (1.6)$$

где K – коэффициент, учитывающий единицы измерения;

l – длина полюсов магнита, см;

D – диаметр магнита, см;

p – число пар полюсов магнита;

δ – толщина стенки карусельки, см;

ρ – удельное сопротивление карусельки, Ом·см;

B – величина индукции магнита, Тл;

ω – круговая частота магнита, рад/см.

Учитывая, что все величины, кроме круговой частоты, для каждого скоростного узла постоянны, выражение для вращательного момента можно записать в следующем виде:

$$M_1 = K_2 \cdot \omega, \quad (1.7)$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности.

Противодействующий момент, создаваемый пружиной-волоском, определяется по формуле

$$M_1 = \frac{E \cdot h_1 \cdot b_1^3 \cdot \varphi}{12 \cdot l_1} = C_{пруж} \cdot \varphi, \quad (1.8)$$

где E – модуль упругости пружины;

h_1, b_1, l_1 – ширина, толщина и длина ленты, из которой навита пружина;

φ – угол закрутки пружины;

$C_{пруж}$ – жёсткость пружины.

При установившемся положении подвесной системы спидометра, состоящей из пружины и стрелки,

$$K_2 \cdot \omega = C_{пруж} \cdot \varphi. \quad (1.9)$$

Откуда

$$\omega = \frac{C_{пруж} \cdot \varphi}{K_2} = k_{пр} \cdot \varphi. \quad (1.10)$$

Таким образом, зависимость угла поворота подвижной системы φ от круговой частоты является линейной.

Скоростной узел спидометра рассчитывают при изменениях в его конструкции. Расчёт приводят для устойчивого положения стрелки относительно шкалы под воздействием вибрации, возникающей во время работы спидометра.

Согласно опытным данным, достаточная устойчивость обеспечивается при определённом соотношении вращающего момента и момента инерции подвижной системы прибора, называемого показателем добротности:

$$\Omega = \frac{M_y}{J}, \quad (1.11)$$

где M_y – удельный вращающий момент, т. е. момент, отнесённый к соответствующему значению скорости автомобиля;

J – момент инерции подвижной системы.

При $\Omega = 0,5 \dots 1,5$ устойчивость обеспечивается; при меньших значениях Ω спидометр чувствителен к вибрации кузова; при больших значениях – к неравномерности вращения привода.

Расчёты выполняют согласно следующей методике [3].

1 Определяют массу и момент инерции подвижной системы.

2 Устанавливают необходимое значение удельного вращающего момента $M_y = \Omega \cdot J$. Показатель $\Omega = 0,5$ для спидометров, работающих с гибким валом;



$\Omega = 1,5$ для спидометров, работающих в условиях повышенной вибрации. Для остальных случаев $\Omega = 1$.

3 Находят $M_1 = M_y \cdot v$ и $M_1 = f(\alpha_{cmp})$. Далее строят кривую, описанную зависимостью

$$M_1 = M_y \cdot v_{\max} \cdot \frac{\alpha_{cmp}}{\alpha_{us}}, \quad (1.12)$$

где α_{us} – угол размаха шкалы.

4 Определяют необходимую жёсткость пружины-волоска:

$$C_{пруж} = \frac{M_1}{\alpha_{cmp}}. \quad (1.13)$$

По жёсткости подбирают пружину-волосок.

5 Из формулы (1.3) находят параметры индукционного преобразователя, например, индукцию, необходимую для измерения максимальной скорости движения автомобиля:

$$B = \sqrt{\frac{M_1}{K_1 \cdot \omega}}, \quad (1.14)$$

где K_1 – постоянная величина.

Затем по значению B подбирают материал и форму магнита.

Современные спидометры имеют подвижную систему массой 4,5...6,5 г, вращающий момент 6...13 Н·см при угле поворота подвижной системы на 90°. Магниты имеют кольцевую форму и, как правило, одну пару полюсов. Магнитный поток равен $3 \cdot 10^{-5}$ Вб при магнитной индукции 0,12...0,2 Тл. При расчёте привода спидометра необходимо задаваться крутящим моментом 1 Н·м на входном валу.

Задания к практическим занятиям выдаются преподавателем.

2 Практическое занятие № 2. Баланс электроэнергии на борту автомобиля

Анализ совместной работы двух источников электроэнергии автомобиля показал, что существуют режимы, когда аккумуляторная батарея отдаёт накопленную энергию потребителям; в то же время она восстанавливает её, когда генератор обеспечивает подзаряд батареи.

Интенсивность подзаряда зависит от частоты вращения генератора и тока нагрузки. При этом мощность установленного генератора должна быть такой,



чтобы был обеспечен положительный зарядный баланс аккумуляторной батареи, то есть количество электричества, полученное при заряде, должно полностью компенсировать количество электричества, отданное при разряде.

Все возможные условия эксплуатации автомобиля можно свести к типовым режимам работы, которые принимаются при расчёте баланса электроэнергии.

Для автомобилей и автобусов общего назначения, не имеющих установки кондиционирования воздуха:

- 1) режим движения по шоссе ночью зимой;
- 2) режим движения по шоссе днём зимой;
- 3) режим движения в городе ночью зимой;
- 4) режим движения в городе днём зимой.

Для автомобилей и автобусов, оборудованных установками для кондиционирования воздуха, режимы 1–4 проверяются для условий движения летом (с работающим кондиционером).

Для типовых режимов работы автомобиля совокупности случайных значений тока потребителей оказываются статически устойчивыми и вполне закономерными. Эта закономерность может быть выражена коэффициентом времени работы потребителя по отношению ко времени работы ДВС K_t и коэффициентом нагрузки K_n для потребителей, имеющих несколько ступеней включения, соответствующих работе с разменной нагрузкой.

На основании статического анализа режимов работы потребителей определены значения коэффициентов K_t и K_n [1].

Расчётный ток нагрузки определяется суммированием эквивалентных токов, одновременно функционирующих электропотребителей в рассматриваемом режиме работы автомобиля:

$$I_n = \sum I_{\text{экв}} = \sum (I_{\text{номр}} \cdot K_t \cdot K_n), \quad (2.1)$$

где $I_{\text{экв}}$ – эквивалентный ток потребителя, А;

$I_{\text{номр}}$ – номинальный ток потребителя, определяемый по техническим характеристикам, А.

Произведение коэффициентов K_t и K_n является коэффициентом спроса на электроэнергию.

Ток потребителей электроэнергии определяется при напряжении питания 13,5 или 27 В соответственно для электрооборудования с номинальным напряжением 12 или 24 В. Ток, потребляемый лампами накаливания осветительных и светосигнальных приборов, можно найти по формуле

$$I_n = \frac{P_p}{U_p}, \quad (2.2)$$

где P_p – мощность лампы при расчётном напряжении, Вт;



U_p – расчётное напряжение лампы, В.

Проверка правильности выбора мощности генератора проводится для режима максимальной электрической нагрузки, когда одновременно длительно включаются приёмники электрической энергии на автомобиле, которые потребляют от генератора максимальный ток. Расчётный ток потребителей в режиме максимальной электрической нагрузки определяется по формуле (2.1).

Минимально необходимая мощность генератора должна быть такой, чтобы в режиме максимальной электрической нагрузки был практически нулевой баланс электроэнергии и обеспечивался подзаряд аккумуляторной батареи установившимся зарядным током.

Требуемый максимальный ток генератора определяется по формулам:

– для легковых автомобилей

$$I_{z \max} = 1,15 \cdot I_{n \max} ; \quad (2.3)$$

– для грузовых автомобилей

$$I_{z \max} = 1,25 \cdot I_{n \max} , \quad (2.4)$$

где 1,15 и 1,25 – коэффициенты, учитывающие установившийся ток заряда батареи.

Требуемая мощность генератора

$$P_{z \min} = U_{ном} \cdot I_{z \max} , \quad (2.5)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение генератора (принимается равным 14 или 28 В соответственно для электрооборудования с номинальным напряжением 12 или 24 В).

Скоростной режим работы генератора, как и режим работы электропотребителей, характеризуется широким диапазоном и случайным характером. Однако для типовых режимов работы автомобиля скоростной режим работы генератора является статически устойчивым и может быть описан функцией вероятности распределения или функцией плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора (рисунок 2.1).

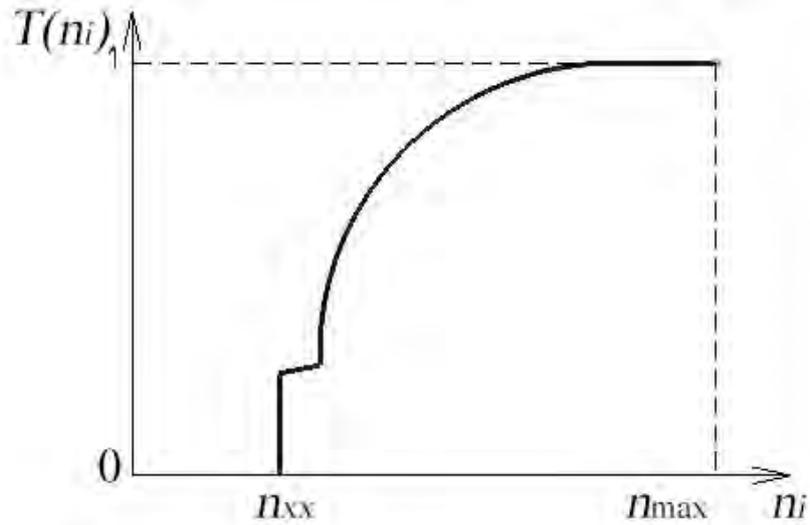
Функция вероятности распределения частоты вращения ротора генератора $T(n_2)$ является монотонно возрастающей в пределах изменения величины n_2 , изменяется от 0 до 1. Функция плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора $t(n_2)$ получается путём дифференцирования функции вероятности распределения:

$$t(n_2) = \frac{dT(n_2)}{dn_2} \quad (2.6)$$

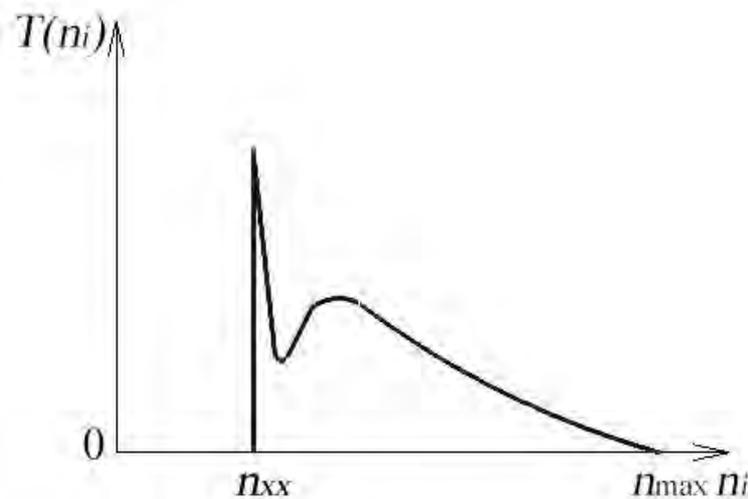


и характеризует частоту повторений данного значения величины n_2 .

а)



б)



а – функция вероятности распределения; б – функция плотности вероятности распределения

Рисунок 2.1 – Характеристики скоростного режима работы генератора

Скоростной режим работы генератора характеризуется коэффициентом оборотности K_2 , ч/(мин·км),

$$K_2 = \frac{n_2}{V_a}, \quad (2.7)$$

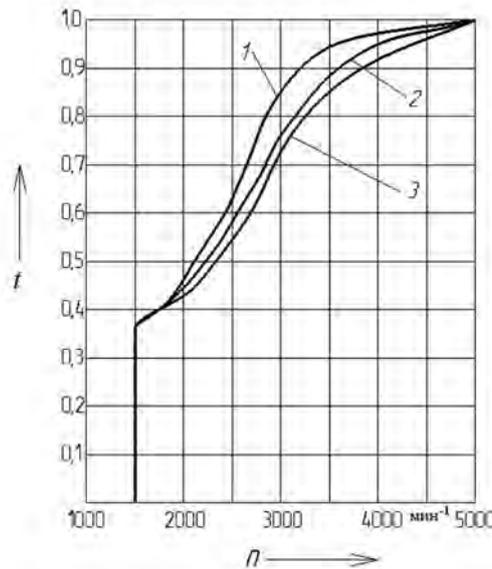
где n_2 – частота вращения ротора генератора, мин⁻¹;

V_a – скорость автомобиля, км/ч.

Для сопоставления скоростных режимов генераторов разных марок автомобилей их приводят к единому (типовому) коэффициенту оборотности генератора $K_z = 60 \text{ ч}/(\text{мин} \cdot \text{км})$.

Тогда, несмотря на многообразие марок автомобилей, скоростные режимы генераторов могут быть сведены с несколькими типовыми кривыми.

При расчёте рассматривается наиболее неблагоприятный (с точки зрения обеспечения зарядного баланса) рабочий режим автомобиля – режим движения в крупном городе (минимальная скорость движения с частыми остановками, а следовательно, низкая частота вращения ротора генератора). На рисунке 2.2 представлены типовые кривые скоростного режима генераторов в виде интегральных кривых распределения, то есть зависимостей относительного времени работы генератора с частотой вращения ротора ниже данного значения [1]. Для расчёта баланса электроэнергии легкового автомобиля приняты рекомендации [2], согласно которым относительное время работы двигателя в режиме холостого хода $t_x = 0,35$.



1 – легковые автомобили среднего класса; 2 – легковые микро- и малометражные автомобили; 3 – легковые автомобили с автоматической трансмиссией

Рисунок 2.2 – Типовые кривые скоростного режима генераторов для расчёта баланса электроэнергии легковых автомобилей

При расчёте выбранная типовая кривая скоростного режима пересчитывается на фактический коэффициент оборотности генератора по формуле

$$K_z = 2660 \cdot \frac{i_z \cdot i_{кп} \cdot i_{зн}}{R_k}, \quad (2.8)$$

где $i_{кп}$ – передаточное отношение коробки перемены передач на высшей передаче при движении в городе;

i_{3H} – передаточное отношение главной передачи (заднего моста);

R_k – статический радиус ведущих колёс (с учётом смятия шин), мм.

Пересчёт типовой кривой скоростного режима генератора производится перемещением абсцисс кривой на отношение $K_2/60$ по формуле

$$n_2 = n'_2 \cdot \frac{K_2}{60}, \quad (2.9)$$

где n'_2 – абсцисса кривой, соответствующая $K_2 = 60$;

n_2 – пересчитанная абсцисса, соответствующая фактическому значению K_2 .

При пересчёте типовых кривых скоростного режима на фактический коэффициент оборотности генератора абсцисса начальной части кривой должна быть определена по формуле

$$n_{2x} = n_{\text{дв.х}} \cdot i_2, \quad (2.10)$$

где $n_{\text{дв.х}}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода.

Баланс электроэнергии на автомобиле определяется разностью между количеством электричества, которое отдаёт генератор в сеть электрооборудования, и количеством электричества, которое необходимо для питания включённых на автомобиле электропотребителей.

Количество электричества, которое может отдать генератор, определяется токоскоростной характеристикой $I_2(n_2)$ при $U_2 = \text{const}$. Для генераторов со встроенным интегральным регулятором напряжения токоскоростная характеристика определяется при напряжении 13...13,5 или 26...27 В.

В технических условиях на генератор указывают следующие параметры его токоскоростной характеристики:

- частота вращения ротора начала отдачи n_0 ;
- расчётная частота вращения ротора n_p ;
- расчётный ток ожидания I_p ;
- максимальный ток отдачи $I_{2\text{max}}$;
- максимальная частота вращения ротора $n_{2\text{max}}$.

Токоскоростная характеристика автомобильного генератора может быть аппроксимирована выражением

$$I_2 = I_{2\text{max}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{n_0 - n_2}{E}} \right), \quad (2.11)$$



где E – постоянная времени экспоненты, аппроксимирующей кривую токоскоростной характеристики.

Постоянная времени τ определяется из выражения (2.11):

$$E = \frac{n_0 - n_\tau}{\ln \left(1 - \frac{I_p}{I_{z \max}} \right)}. \quad (2.12)$$

Количество электричества, отдаваемое генератором в сеть электрооборудования автомобиля, можно охарактеризовать относительной величиной этого параметра – часовой отдачей q_z , то есть количеством электричества, отдаваемого генератором за один час движения автомобиля. При этом предполагается, что генератор работает при неизменной токоскоростной характеристике $I_z(n_z)$ и в определённом скоростном режиме (езда в большом городе).

В общем виде часовая отдача генератора определяется значением определённого интеграла:

$$q_z = \int_{n_{z \min}}^{n_{z \max}} (I_z(n_z) \cdot t(n_z)) \cdot dn_z, \quad (2.13)$$

где $I_z(n_z)$ – токоскоростная характеристика генератора;

$t(n_z)$ – функция плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора.

Значения определённого интеграла (2.13) определяют графоаналитическим методом. Для этого графически совмещают токоскоростную характеристику генератора $I_z(n_z)$ с интегральной кривой распределения $T(n_z)$ для фактического коэффициента оборотности K_z (рисунок 2.3).

Рабочий диапазон частоты вращения ротора генератора разбивается на m интервалов. Причём ширина интервала Δn_z выбирается такой, чтобы участки токоскоростной характеристики и кривой скоростного режима мало отличались от прямолинейных отрезков. Для каждого интервала частоты вращения ротора по кривой $T(n_z)$ определяется относительное время работы генератора Δt_i в каждом интервале, а по характеристике $I_z(n_z)$ – ток отдачи генератора $I_{z \text{ cpi}}$, соответствующий середине каждого интервала Δn_{zi} . При этом значение определяемого интеграла (2.13) можно найти методом приближённого интегрирования:

$$q_z = \sum_{i=1}^m I_{z \text{ cpi}} \cdot \Delta t_i, \quad (2.14)$$

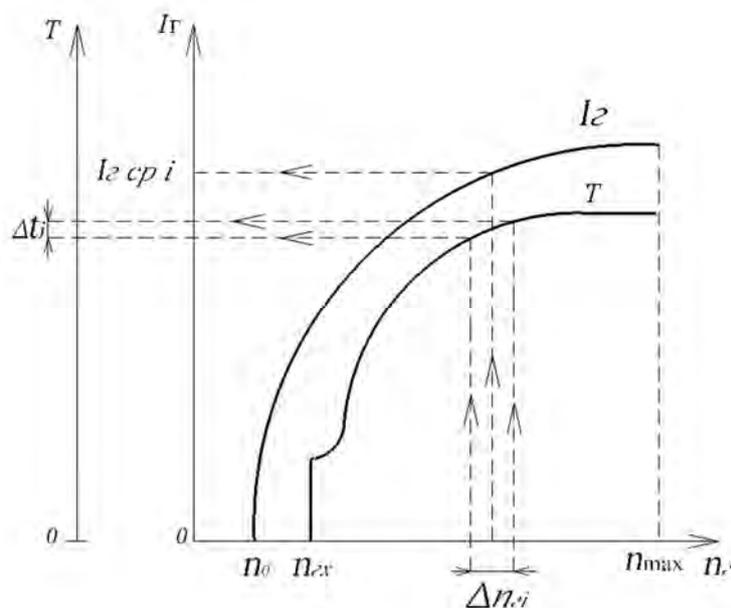


где m – количество интервалов;

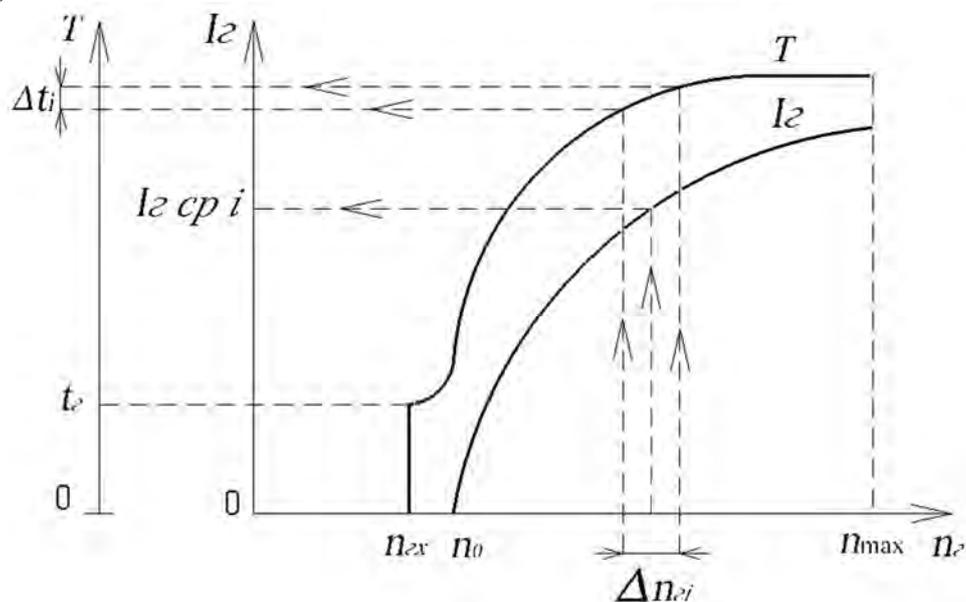
$I_{2cp i}$ – среднее значение тока генератора в i -м интервале;

Δt_i – относительное время работы генератора в i -м интервале.

a)



б)



$$a - n_0 < n_{2x}; \quad б - n_0 > n_{2x}$$

Рисунок 2.3 – Совмещённые токоскоростные характеристики генератора $I_2(n_2)$ с интегральной кривой распределения $T(n_2)$ для фактического коэффициента оборотности K_2

Количество электричества, необходимое для питания электропотребителей, также характеризуется относительной величиной, т. е. количеством элек-

тричества, требуемым для питания электропотребителей в течение 1 ч работы автомобиля q_n .

Величина q_n равна расчётному току нагрузки I_n , т. к. $t_1 = 1$ ч:

$$q_n = I_n \cdot t_1 = I_n . \quad (2.15)$$

В тех случаях, когда частота вращения начала отдачи генератора n_0 больше частоты вращения ротора, соответствующей частоте вращения вала двигателя в режиме холостого хода n_{2x} (см. рисунок 2.3, б), и не происходит отключения обмотки возбуждения генератора, необходимо учитывать потребление тока цепью обмотки возбуждения:

$$q_n = I_n + I_{em} \cdot t_x , \quad (2.16)$$

где I_{em} – значение максимального тока возбуждения генератора при $U_c = U_{ном}$;

t_x – значение относительного времени работы генератора при частоте вращения n_{2x} , определяемого по кривой $T(n_2)$.

Разность между часовой отдачей генератора и количеством электричества, необходимым для питания электропотребителей, за 1 ч работы автомобиля определяет часовой баланс электроэнергии:

$$q_B = q_2 - q_n . \quad (2.17)$$

Если значение q_B , вычисленное по формуле (2.17), равно нулю, то есть $q_2 = q_n$, то имеет место нулевой баланс электроэнергии; если $q_2 > 0$ – положительный часовой баланс; если $q_2 < 0$ – отрицательный.

Суточный баланс электроэнергии рассчитывается по формуле

$$Q_{сут} = q_{БД} \cdot t_D + q_{БН} \cdot t_H - Q_{см} - Q_0 , \quad (2.18)$$

где $q_{БД}$, $q_{БН}$ – количество электричества, полученное «+» или отданное «-» аккумуляторной батареей за 1 ч соответственно дневной и ночной эксплуатации автомобиля в рассматриваемом режиме;

t_D , t_H – число часов движения автомобиля за сутки соответственно при дневной и ночной эксплуатации;

$Q_{см}$ – расход ёмкости батареи на пуски двигателя за сутки;

Q_0 – расход ёмкости батареи на потребление нагрузками, включаемыми на стоянках с неработающим двигателем.

При отсутствии особых указаний принимаются:



– зимой

$$t_D = t_H = 5 \text{ ч};$$

– летом

$$t_D = 8 \text{ ч}; \quad t_H = 2 \text{ ч}.$$

Суточный расход ёмкости батареи на пуски двигателя стартером принимается равным:

– для автомобилей с бензиновым двигателем

$$Q_{cm} = 0,03 \cdot C_{20}; \quad (2.19)$$

– для автомобилей с дизельным двигателем

$$Q_{cm} = 0,1 \cdot C_{20}; \quad (2.20)$$

где C_{20} – номинальная ёмкость батареи.

Задания к практическим занятиям выдаются преподавателем.

3 Практическое занятие № 3. Поверочный расчёт индукторного генератора

Расчет электромеханической машины проводится в два этапа:

- 1) выбор этапа генератора и расчет размеров активной части;
- 2) поверочный расчет.

При выполнении поверочного расчета генератора предполагается, что известны все размеры, обмоточные данные и материалы активной части. Для поверочного расчета может быть разработана методика, позволяющая с необходимой точностью предопределить все необходимые характеристики. Если получающееся в результате поверочного расчета та или иная характеристика не соответствует требованиям технического задания, следует изменить размеры активной части или обмоточные данные. После поверочного расчета обычно нетрудно установить характер необходимых изменений [1].

В качестве примера рассматривается расчет активных характеристик индукторного генератора с постоянным током. Одной из основных характеристик является характеристика холостого хода.

Активная часть рассматриваемого генератора изображена на рисунках 3.1 и 3.2.

Методика расчета характеристики холостого хода.

1 Задаются значениями индукций в зазоре B_{δ_0} : 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2 Тл.



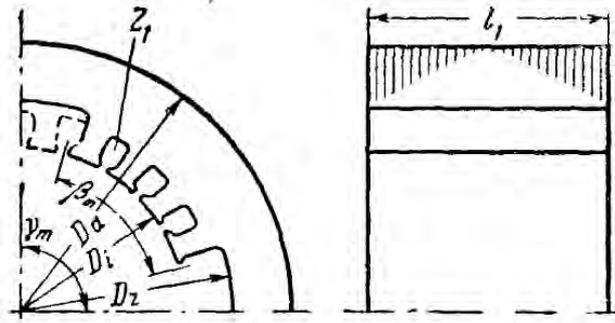


Рисунок 3.1 – Активная часть статора

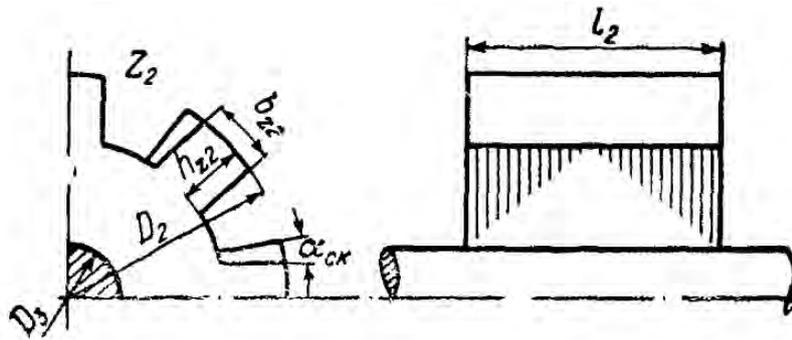


Рисунок 3.2 – Активная часть ротора

2 Магнитное напряжение зазора F_{δ_0} , А,

$$F_{\delta_0} = \frac{B_{\delta_0} \cdot \delta \cdot k_{\delta}}{4 \cdot \pi} \cdot 10^7, \quad (3.1)$$

где δ – воздушный зазор, м;

k_{δ} – коэффициент воздушного зазора.

3 Индукция в зубцах статора:

– при $Z_1 > 2 \cdot Z_2$

$$B_{Z_{10}} = \frac{t_1}{b_{Z_1} \cdot k_{Fe}} \cdot B_{\delta_0}, \quad (3.2)$$

где Z_1 – число пазов статора, равномерно распределённых по расточке с шагом t_1 ;

Z_2 – число зубцов ротора (число пар полюсов);

b_{Z_1} – расчетная ширина зубца, м;

t_1 – зубцовое деление статора, м;

k_{Fe} – коэффициент заполнения пакета сталью;

– при $Z_1 = 2 \cdot Z_2$ и $t_1 - b_{1n} \leq b_{Z_2}$

$$B_{Z_{10}} = 1,05 \cdot \frac{t_1 - b_{1n}}{b_{Z_1} \cdot k_{Fe}} \cdot B_{\delta_0}, \quad (3.3)$$

где b_{1n} – раскрытие паза статора, м;

– при $Z_1 = 2 \cdot Z_2$ и $t_1 - b_{1n} > b_{Z_2}$

$$B_{Z_{10}} = 1,1 \cdot \frac{b_{Z_2}}{b_{Z_1} \cdot k_{Fe}} \cdot B_{\delta_0}. \quad (3.4)$$

4 Магнитное напряжение зубцов статора F_{Z_0} , А,

$$F_{Z_0} = h_{Z_1} \cdot H_{Z_1}, \quad (3.5)$$

где h_{Z_1} – расчетная высота зубца статора, м;

H_{Z_1} – напряженность магнитного поля зубцов статора при расчетной индукции, А/м.

5 Индукция в зубцах ротора $B_{Z_{20}}$, Тл,

$$B_{Z_{20}} = \frac{B_{\delta_0}}{k_{Fe}} \cdot \frac{2 + k_m}{3 \cdot k_m} \cdot \frac{b_Z}{b_{Z_{2p}}} \cdot \frac{4 \cdot l_1}{3 \cdot l_1 + l_2}, \quad (3.6)$$

где b_Z – ширина зубца по диаметру расточки, м;

l_1 – длина пакета статора, м;

l_2 – длина пакета ротора, м;

$b_{Z_{2p}}$ – ширина зубца ротора на 1/3 высоты от узкой части, м.

k_m определяется в зависимости от b_{Z_0} и $\delta_0 \cdot k_\delta$ (без учёта насыщения).

6 Магнитное напряжение зубцов ротора $F_{Z_{20}}$, А,

$$F_{Z_{20}} = h_{Z_2} \cdot H_{Z_2}, \quad (3.7)$$

где h_{Z_2} – расчетная высота зубца ротора, м;

H_{Z_2} – напряженность магнитного поля зубцов ротора при расчетной индукции, А/м.

7 Коэффициент насыщения зубцов зоны $k_{\mu Z}$.



8 Расчетный эквивалентный зазор с учетом насыщения в зубцовой зоне $\delta_{\text{экв}}$ определяется при расчете магнитной системы.

9 Коэффициенты магнитного поля для режима холостого хода k_1 и k_m определяются по градусам в зависимости от B_{Z_0} и $\delta_{0\text{экв}} = \delta_{\text{экв}} / \tau$.

10 Поток двойного полюсного деления $\Phi_{2\tau}$, Вб,

$$\Phi_{2\tau} = \frac{B_{\delta_0} \cdot b_Z \cdot l_i}{k_m}, \quad (3.8)$$

где l_i – расчетная длина активной части, м,

$$l_i = l_1 + 2 \cdot \delta. \quad (3.9)$$

11 Электродвижущая сила холостого хода E , В,

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \omega_9 \cdot \frac{\Phi_{2\tau 0}}{k_1}, \quad (3.10)$$

где ω_9 – эффективное число витков, $\omega_9 = \omega \cdot k_{0\text{ск}}$;

ω – число последовательно соединенных витков обмотки якоря;

$k_{0\text{ск}}$ – обмоточный коэффициент скоса.

12 Поток в списке ротора Φ_{j20} , Вб,

$$\Phi_{j20} = \frac{p \cdot \alpha}{4 \cdot p_m} \cdot \Phi_{2\tau 0}, \quad (3.11)$$

где p – число пар полюсов;

α – относительная длина полюсной дуги по возбуждению,

$$\alpha = \frac{\beta_m}{\gamma_m};$$

p_m – число пар полюсов возбуждения.

13 Индукция в списке ротора B_{j20} , Тл,

$$B_{j20} = \frac{2 \cdot \Phi_{j20}}{h_{j2} \cdot (l_1 + l_2) \cdot k_{Fe}}, \quad (3.12)$$

где h_{j2} – расчетная высота спинки ротора, м.

14 Магнитное напряжение спинки ротора F_{j20} , А,



$$F_{j20} = (H'_{j2} \cdot \alpha + H''_{j2} \cdot (1 - \alpha)) \cdot l_{j2}, \quad (3.13)$$

где H'_{j2a} , H''_{ja} – напряженности магнитного поля, определяются по кривой намагничивания спинки и основной кривой намагничивания соответственно в зависимости от расчетной индукции, А/м;

l_{j2} – расчетная длина линии магнитной индукции в спинке ротора, м.

15 Поток рассеяния обмотки возбуждения $\Phi_{\sigma 0}$, Тл,

$$\Phi_{\sigma 0} = 2 \cdot (F_{\delta 0} + F_{Z_{10}} + F_{Z_{20}} + F_{j20}) \cdot \lambda_{\sigma}, \quad (3.14)$$

где λ_{σ} – проводимость рассеяния обмотки возбуждения, А/м.

16 Расчетная индукция в спинке статора над пазами обмотки якоря B'_{j10} , Тл,

$$B'_{j10} = \frac{\Phi_{j20} + \Phi_{\sigma 0}}{h'_{j1} \cdot l_1 \cdot k_{Fe}}, \quad (3.15)$$

где h'_{j1} – расчетная высота спинки над пазами обмотки якоря, м.

17 Расчетная индукция в спинке над пазом обмотки возбуждения B''_{j10} , Тл,

$$B''_{j10} = \frac{\Phi_{j20} + \Phi_{\sigma 0}}{h''_{j1} \cdot l_1 \cdot k_{Fe}}, \quad (3.16)$$

где h''_{j1} – высота спинки над пазом обмотки возбуждения, м.

18 Магнитное напряжение спинки статора F_{j10} , А,

$$F_{j10} = (H'_{j1} \cdot \alpha + H''_{j1} \cdot (1 - \alpha)) \cdot l_{j1}, \quad (3.17)$$

где H'_{j1} , H''_{j1} – напряженности магнитного поля, определяются по кривой намагничивания спинки и основной кривой намагничивания в зависимости от B'_{j10} и B''_{j10} соответственно, А/м;

l_{j1} – расчетная длина линии магнитной индукции в спинке статора, м.

19 Намагничивающая сила обмотки возбуждения при холостом ходе

$$\sum F_0 = F_{\delta 0} + F_{Z_{10}} + F_{Z_{20}} + F_{j20} + F_{j10}. \quad (3.18)$$

20 Ток возбуждения i_{m0} , А,



$$i_{m0} = \frac{\sum F_0}{\omega_m}, \quad (3.19)$$

где ω_m – число витков обмотки возбуждения.

21 По результатам расчета тока возбуждения строится характеристика холостого хода $E = f(i_{m0})$.

Задания к практическим занятиям выдаются преподавателем.

4 Практическое занятие № 4. Теория, конструкция и расчёт систем пуска

Функциональное назначение систем электростартерного пуска – вывод двигателя внутреннего сгорания на устойчивый режим работы в широком диапазоне условий пуска, оговоренных в техническом задании [2].

При расчёте и выборе систем электростартерного пуска используют два метода: выбор по рабочим характеристиками; выбор по сопротивлению стартера.

Для выбора системы электростартерного пуска по характеристикам стартера необходимо рассчитать: вращающий момент стартера M_2 ; силу тока якоря в рабочих режимах I_2 ; номинальную ёмкость аккумуляторной батареи C_{20} ; номинальную мощность P_n .

Мощность стартера, необходимая для пуска двигателя в заданных условиях, рассчитывается по формуле

$$P_2 = \frac{\pi \cdot n_{\min} \cdot M_c}{30 \cdot \eta_{nep}}, \quad (4.1)$$

где P_2 – мощность стартера, необходимая для прокручивания коленчатого вала двигателя с частотой n_{\min} , Вт;

n_{\min} – минимальная пусковая частота вращения, мин⁻¹;

M_c – момент сопротивления при частоте n_{\min} , Н·м;

η_{nep} – КПД передачи от стартера к двигателю, $\eta_{nep} = 0,85$.

Минимальная частота n_{\min} и момент сопротивления определяются в соответствии с параметрами двигателя внутреннего сгорания.

Необходимая частота вращения якоря стартера в рабочем режиме

$$n_2 = n_{\min} \cdot i. \quad (4.2)$$

Вращающий момент стартера



$$M_2 = \frac{M_c}{i \cdot \eta_{пер}}, \quad (4.3)$$

где i – передаточное отношение редуктора.

Являясь пятью значениями кратности рабочего тока $K(0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7)$, рассчитывают ЭДС якоря $E_я$ и частоту вращения $n_м$:

$$E_я = (U_n - \Delta U_{щ}) \cdot (1 - K), \quad (4.4)$$

где U_n – номинальное напряжение, В;

$\Delta U_{щ}$ – падение напряжения над щётками, В;

K – кратность рабочего тока $I_я$ току торможения $I_к$, $K = I_я/I_к$;

$$n_м = \frac{0,5 \cdot n}{1 - K}. \quad (4.5)$$

Результаты расчёта $E_я$, $n_м$ и других параметров, зависящих от кратности тока K , сводят в таблицу.

Электромагнитная мощность в расчётных рабочих режимах по кратности тока $\rho_э$, Вт,

$$\rho_э = \frac{P_2}{\eta_{эм}}, \quad (4.6)$$

где $\eta_{эм}$ – электромагнитный КПД, принимается равным 0,85...0,95 при изменении кратности тока K в пределах 0,5...0,7.

Сила тока якоря в рабочих режимах I_2 , А,

$$I_2 = \frac{P}{E_я}, \quad (4.7)$$

где P – расчётная мощность, Вт.

Суммарное сопротивление цепи якоря $R_{я\Sigma}$, Ом,

$$R_{я\Sigma} = \frac{(U_n - \Delta U_{щ}) \cdot (1 - K)}{P}. \quad (4.8)$$

Сопротивление аккумуляторной батареи из условия минимизации массы системы электростартерного пуска $R_б$, Ом,



$$R_{\sigma} = (0,6 \dots 0,7) \cdot R_{\Sigma} \quad (4.9)$$

Большие значения R_{σ} выбирают для большей расчётной мощности P , кратности тока K и меньшей температуры t_{\min} .

Номинальная ёмкость аккумуляторной батареи C_{20} , А·ч,

$$C_{20} = \frac{U_n \cdot \Delta C_{20}}{I_+ \cdot R_{\sigma}}, \quad (4.10)$$

где ΔC_{20} – номинальная ёмкость аккумуляторной батареи, отнесённая к одной положительной пластине аккумулятора, $\Delta C_{20} = 13,5 \dots 16,5$;

I_+ – сила тока короткого замыкания.

Силу тока короткого замыкания I_+ при подборе системы электростартерного пуска можно определять по упрощённой формуле

$$I_+ = (a_n + b_n \cdot t_{\text{эл}} - c_n \cdot \Delta C_p) \cdot (1 - K_n (Z_n - 1)), \quad (4.11)$$

где a_n , b_n , c_n – коэффициенты, приведённые в таблице 4.1;

K_n – коэффициент, учитывающий падение I_+ с каждой попыткой пуска ($K_n = 0,0165$ для $\Delta C_p = 0$ % и $K_n = 0,0225$ для $\Delta C_p = 25$ %);

Z_n – порядковый номер попытки старта.

Таблица 4.1 – Значения коэффициентов a_n , b_n , c_n

Тип операции	Температура электролита, °С	a_n	b_n	c_n
Одинарная	0...+20	224	1,75	0,4
	-40...0	224	4	0,4
Двойная	0...+40	205	2,1	0,4
	-40...0	205	3,4	0,4

Из существующих аккумуляторных батарей выбирают две-три батареи с номинальными ёмкостями, близкими (большими или меньшими) к рассчитанным по формуле (4.10).

Уточняют сопротивление выбранных аккумуляторных батарей по формуле

$$R_{\sigma} = \frac{U_n \cdot \Delta C_{20}}{I_+ \cdot C_{20}} = \frac{U_n}{I_+ \cdot n_+} \quad (4.12)$$

Сопротивление обмоток стартерного электродвигателя при расчётной температуре $R_{ст}$, Ом,



$$R_{cm} = R_2 + R_c = R_{я\Sigma} - R_{\bar{o}} - R_{np}. \quad (4.13)$$

Сопротивление обмоток стартерного электродвигателя, приведённое к номинальным условиям (плюс 25 °С),

$$R_{cmн} = \frac{R_{cm}}{K_t}, \quad (4.14)$$

где K_t – температурный коэффициент сопротивления меди, $K_t = 1 + 0,004 \cdot (t_{\min} - 25)$.

Суммарное сопротивление цепи якоря при снятии номинальных рабочих характеристик (сопротивление стартерной сети $R_{np} = 0$)

$$R_{я\Sigma} = U_{\bar{o}} \cdot \frac{U_n}{C_{20}} + R_{cm}. \quad (4.15)$$

Максимальная электромагнитная мощность при номинальных условиях

$$P_{mn} = \frac{(U_n - \Delta U_{щ})^2}{4 \cdot R_{я\Sigma}}. \quad (4.16)$$

Номинальная мощность

$$P_n \approx P_{mn} \cdot \eta_{эм}. \quad (4.17)$$

По расчётным значениям C_{20} , P_n , I_2 , M_2 , используя номинальные рабочие характеристики стартеров, подбирают систему электростартерного пуска. Характеристики стартеров с аккумуляторными батареями $U(I_{cm})$, $n(I_{cm})$, $M(I_{cm})$, $P(I_{cm})$ приведены в [2].

После выбора системы электростартерного пуска оценивается её пригодность для двигателя по условию $n_n > n_{\min}$ при расчётной температуре t_{\min} .

Из подобранных систем электростартерного пуска, удовлетворяющих требованиям надёжного пуска двигателя, выбирают систему, имеющую минимальную суммарную массу стартера и аккумуляторной батареи.



5 Практическое занятие № 5. Теория, конструкция и расчёт систем зажигания

По принципу действия и виду разряда электрические системы зажигания делят на системы: накаливаемого действия, искровые, электродуговые, комбинированные (искродуговые), поверхностного разряда.

В автотракторном электрооборудовании применяют систему зажигания от магнето и батарейную систему зажигания с искрой высокого напряжения [3].

В батарейных системах зажигания используется катушка (или несколько катушек) зажигания в качестве источника импульсов высокого напряжения. Системы зажигания подразделены по шести основным показателям: способу управления (синхронизации) системы зажигания; способу регулирования угла опережения зажигания; способу накопления энергии; способу коммутации первичной цепи катушки зажигания; способу распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя; типу защиты от радиопомех [4].

В настоящее время наибольшее распространение получили бесконтактные системы зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два: аналоговый и цифровой.

Для воспламенения топливовоздушной смеси искра должна иметь определённую энергию. Энергия искры современных систем зажигания достигает 20...100 мДж.

Повышение надёжности системы зажигания автомобиля неразрывно связано с созданием необходимого запаса вторичного напряжения, который оценивают коэффициентом запаса [1]

$$k_3 = \frac{U_{2m}}{U_{np}}, \quad (5.1)$$

где U_{2m} – максимум вторичного напряжения, создаваемого системой зажигания, В;

U_{np} – напряжение пробоя, В.

С целью обеспечения надёжной работы принимают коэффициент запаса равным 1,4...1,6.

Одним из важнейших элементов системы зажигания является катушка зажигания. Правильно спроектированная катушка зажигания должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать достаточное для пробоя искрового промежутка высокое напряжение с определённым запасом;
- создавать искровой разряд в свече необходимой энергии и длительности [4].

В задании на проектирование катушки зажигания обычно указаны следующие параметры: число цилиндров двигателя Z ; напряжение пробоя U_{np} , соответствующее различной рабочей и пусковой частоте вращения вала распреде-



лителя; коэффициенты запаса вторичного напряжения для рабочего $k_{зр}$ и пускового $k_{зн}$ режимов; напряжение электроснабжения системы зажигания в рабочем U_{σ} и пусковом $U_{\sigma n}$ режимах батареи; температура обмоток для рабочего θ_p и пускового θ_n режимов.

Целью расчёта катушки зажигания является определение электромагнитных параметров, геометрии её элементов и обмоточных данных, рабочих характеристик.

Основной расчётной формулой является формула коэффициента тока

$$k_I = \frac{U_{2m}}{I_p} = k_m \cdot k_{mp} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_3}} \cdot e^{-\frac{\tan^{-1} \sqrt{\frac{4R_3^2 \cdot C_3 - 1}{L_1}}}{\sqrt{\frac{4R_3^2 \cdot C_3 - 1}{L_1}}}}, \quad (5.2)$$

где k_m – коэффициент магнитной связи;

L_1 – индуктивность первичной цепи, Гн;

R_3 – эквивалентное сопротивление потерь системы зажигания к первичной цепи, Ом,

$$R_3 = \frac{R_n \cdot R_{ш}}{R_n + R_{ш}} \cdot \frac{1}{k_{mp}^2}; \quad (5.3)$$

C_3 – эквивалентная ёмкость,

$$C_3 = C_1 + C_2 \cdot k_{mp}^2; \quad (5.4)$$

k_{mp} – коэффициент трансформации.

Чем лучше подобраны параметры катушки, тем выше коэффициент тока k_I .

Расчёт проводят в следующей последовательности.

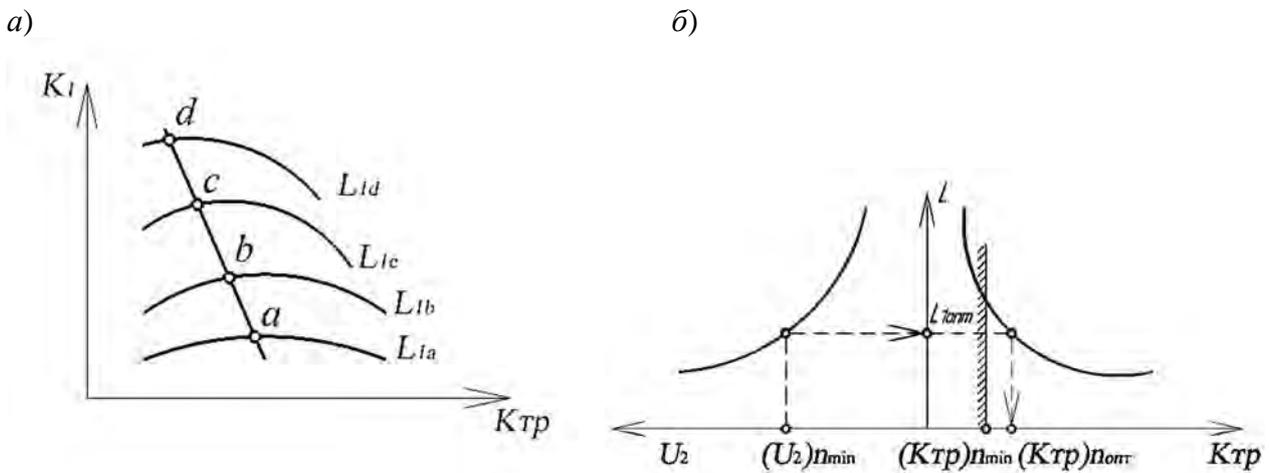
1 По формуле (5.2) рассчитывают, а затем строят зависимости коэффициента тока от коэффициента трансформации $k_I = f(k_{mp})$ для различных индуктивностей L_1 , например, 6, 8, 10, 12 мГн. Коэффициент магнитной связи для катушек с разомкнутой магнитной цепью можно принять 0,85...0,9.

Суммарную эквивалентную ёмкость рассчитывают по формуле (5.4). Обычно ёмкость первичного конденсатора находится в пределах 0,2...0,35 мкФ. Ёмкость C_2 вторичной цепи состоит из собственной ёмкости C_k вторичной обмотки катушки зажигания и ёмкости $C_{ш}$, шунтирующей вторичный контур. Если ёмкость C_k неизвестна, то её можно принять равной 30..50 пФ.



На рисунке 5.1 показано семейство кривых характеристик $k_I = f(k_{mp})$ для различных индуктивностей. Для каждой индуктивности имеется максимальное значение коэффициента тока при определённом коэффициенте трансформации катушки зажигания (точки a, b, c, d на рисунке 5.1, a). Это позволяет установить зависимость $L_1 = f(k_I)$, когда коэффициент тока имеет максимальное значение (линия ad). Минимально допустимое значение k_{mp} возможно при ограничении максимального напряжения на ключе до максимального первичного напряжения:

$$U_{1\text{дон}} = \frac{U_{2m}}{k_{mp}} \quad (5.5)$$



$$a - k_I = f(k_{mp}); \quad б - L_1 = f(k_{mp})$$

Рисунок 5.1 – Зависимости

2 В соответствии с линией ad кривые $L_1 = f(k_{mp0})$ (см. рисунок 5.1, б) и линией ограничения $k_{mp \min}$.

3 Для нормальной работы системы зажигания необходимо, чтобы развиваемое катушкой напряжение U_{2m} на всём диапазоне скоростного режима приблизительно соответствовало расчётному U_2 . Достаточно, если кривые будут совпадать в крайних точках скоростного режима $n_{pm \min}$, $n_{pm \max}$. Кривая $U_{2m} = f(n_{pm})$ будет пересекать кривую $U_2 = f(n_{pm})$ в том случае, если входящую в расчётную формулу постоянную времени $T_1 = L_1/R_1$ определяют из выражения

$$T_1 = \frac{t_{3c}}{\ln \left(1 - \frac{U_{2n\max} \cdot k_{\partial n\min}}{U_{2n\min}} \right)}, \quad (5.6)$$

где $k_{\partial n_{\min}}$ – коэффициент дуги, учитывающий снижение силы тока разрыва в результате потерь на искрообразование при $n_{mp \min}$.

4 По известной величине T_1 определяют ряд значений R_1 , соответствующих различным L_1 , принятым при расчётах k_{mp} :

$$R_1 = \frac{L_1}{T_1}, \quad (5.7)$$

а также силу тока разрыва $I_{p n_{\min}}$ при $n_{mp \min}$. Приближённо считать

$$I_{p n_{\min}} = \frac{U_{\delta}}{R_1} \cdot k_{\partial n_{\min}} = U_{\delta} \cdot \frac{I_1}{L_1} \cdot k_{\partial n_{\min}}. \quad (5.8)$$

5 Умножая полученные значения I_p на соответствующие коэффициенты k_I , находят следующее:

$$U_{2m n_{\min}} = k_I \cdot I_{p n_{\min}}. \quad (5.9)$$

Преобразуя формулы (5.8) и (5.9), получают зависимость

$$U_{2m n_{\min}} = U_{\delta} \cdot \frac{T_1}{L_1} \cdot k_I \cdot k_{\partial n_{\min}}. \quad (5.10)$$

По вычисленным значениям U_{2m} для различных L_1 строят зависимость $U_{2m n_{\min}} = f(L_1)$ (см. рисунок 5.1, б). Отложив по оси абсцисс значение $U_{2m n_{\min}}$, равное расчётному $U_{2m n_{\min}}$, графически определяют L_1 и k_{mp0} (см. рисунок 5.1, б), а также k_I . При найденных параметрах обеспечиваются необходимые величины и закон изменения U_{2m} при максимальном использовании катушек зажигания.

6 Значения R_1 и $L_{1 p n_{\min}}$, соответствующие найденным параметрам, определяют по формулам (5.8) и (5.9).

Полученное значение I_p (при $k_{\partial} = 1$) не должно превышать допустимой силы тока разрыва.

Найденная величина R_1 является суммой сопротивлений первичной обмотки $R_{\omega z}$ в горячем состоянии и добавочного резистора R_{δ} .

$$R_{\omega z} = \frac{2/3 \cdot U_{\delta} \cdot k_I \cdot k_{\partial n}}{U_{2n}}, \quad (5.11)$$



где $k_{\text{дн}}$ – коэффициент дуги при пусковой частоте вращения;

U_{2n} – расчётное напряжение при пусковой частоте вращения вала распределителя, В.

7 Проверяют мощность потерь в катушке $P = I_p^2 \cdot R_{\omega\epsilon} \leq 30$ Вт.

8 В конце расчёта экспериментальных параметров катушки строят расчётную характеристику $U_{2m} = f(n_{mp})$.

Задания к практическим занятиям выдаются преподавателем.

Список литературы

1 **Альпер, Н. Я.** Индукторные генераторы / Н. Я. Альпер, А. А. Терзян. – Москва : Энергия, 1970. – 192 с.

2 Расчёт системы электростартерного пуска : методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Системы электропитания, зажигания и пуска» для студентов специальности 0618 / Сост. Б. С. Филатов, Ю. П. Чижиков. – Москва : МАМИ, 1984. – 202 с.

3 Теория, конструкция и расчёт автотракторного электрооборудования : учебник для машиностроительных техникумов по специальности «Автотракторное электрооборудование» / Л. В. Копылова [и др.] ; под ред. М. Н. Фесенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1979. – 344 с.

4 **Ютт, В. Е.** Электрооборудование автомобилей : учебник / В. Е. Ютт. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2016. – 440 с.

