

ГОУВПО «Воронежский государственный технический
университет»

В.А. Кондусов

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2009

УДК 621.313

Кондусов В.А. Физические процессы электромеханических систем электронных средств: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.А. Кондусов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. 151 с.

Учебное пособие включает в себя описание лабораторных работ, необходимые теоретические пояснения, лабораторные задания, порядок выполнения, контрольные вопросы.

Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 210200 «Проектирование и технология электронных средств», специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», дисциплине «Физические процессы электромеханических систем электронных средств».

Учебное пособие предназначено для студентов очной, заочной форм обучения.

Табл. 29. Ил. 64. Библиогр.: 15 назв.

Рецензенты: кафедра физики Воронежского института МВД РФ (нач. кафедры д-р хим. наук, проф. Ю.В. Спичкин);
д-р техн. наук, проф. В.М. Питолин

© Кондусов В.А., 2009
© Оформление. ГОУВПО
«Воронежский государственный
технический университет», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие является руководством к лабораторным работам по курсу «Физические процессы электромеханических систем электронных средств» для студентов радиотехнического факультета ВГТУ специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

Пособие охватывает группу из лабораторных работ, содержание которых способствует углублению понимания вопросов, составляющих информационное ядро дисциплины.

К каждой лабораторной работе даются довольно подробные теоретические пояснения, порядок выполнения и контрольные вопросы.

Целью данной группы лабораторных работ является приобретение практических навыков в воспроизведении и анализе кинематических схем реальных электромеханических систем РЭС, определения их основных характеристик, знакомство с конструкциями и изучение основных элементов этих систем – электродвигателей, которые зачастую определяют основные параметры этих систем, например, такие как точность поддержания постоянства скорости вращения диска проигрывателя компакт-дисков, дисковод компьютера, нестабильность скорости движения магнитной ленты в лентопротяжных механизмах магнитофонов и др.

При выполнении лабораторных работ необходимо руководствоваться общими правилами техники безопасности при работах в лаборатории и требованиями по оформлению отчёта [1].

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

1.1. Основные понятия

Во всех электромеханических системах (ЭМС) происходит взаимодействие электрических и механических систем, т.е. процессы преобразования энергии - электрической в механическую или наоборот - механической в электрическую. (Некоторые авторы ЭМС как устройства, осуществляющие такие преобразования называют электромеханическими преобразователями (ЭМП), так что термин ЭМС и ЭМП можно считать эквивалентными).

Математические «процессы» преобразования описываются уравнениями электрических цепей и законов механики. Однако процесс преобразования невозможен без участия магнитного поля как промежуточного вида энергии, т.е. электромеханическое преобразование энергии, предоставляется взаимосвязанными электрическими, магнитными и механическими явлениями.

Наиболее общий подход к решению задач электромеханического преобразования состоит в использовании уравнений электромагнитного поля (Максвелла), однако их анализ достаточно сложен при изучении и понимании физических основ электромеханического преобразования энергии. Наиболее практичным и в то же время достаточно точным методом решения таких задач электромеханики является метод анализа электрических и магнитных цепей с сосредоточенными параметрами, которые, в свою очередь, могут зависеть от механических координат - перемещения, скорости. При этом сам ЭМП (или ЭМС) рассматривается как совокупность токо- и магнитопроводов, т.е. электрических и магнитных цепей.

1.2. Основные физические законы электромеханического преобразования энергии

Основными физическими законами, устанавливающими связи между электрическими, магнитными и механическими величинами, являются законы электромагнитной индукции и электромагнитного взаимодействия.

1.2.1. Закон электромагнитной индукции

Но перед рассмотрением этого закона, видимо необходимо вспомнить опыты английского физика М. Фарадея открывшего этот закон (1831 г.) и основные понятия и определения, имеющие непосредственное отношение к этому закону.

М.Фарадей предположил, что электрические и магнитные явления тесно взаимосвязаны: и если вокруг проводника с током возникает магнитное поле, то естественно ожидать, что должно иметь место и обратное явление – возникновения электрического тока в замкнутом проводнике под действием магнитного поля.

Схема опытов Фарадея:

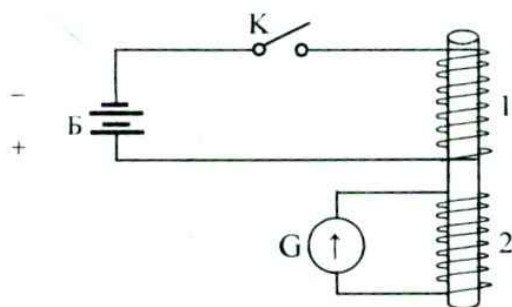


Рис.1.1

Катушка 1 и катушка 2 из медного изолированного провода намотаны на немагнитный стержень М. Концы катушки 1 через ключ К подсоединены к батарее Б. Концы катушки 2 подсоединены к гальванометру Г. При замыкании и размыкании ключа К стрелка гальванометра отклоняется: при замыкании в одну сторону, при размыкании в другую. Т.е в катушке 2 возникает индукционный ток (названный Фарадеем). Если ключ заменить реостатом в катушке 2 также наводится индукционный ток при изменении силы тока в катушке 1. Направлением индукционного тока I_2 также зависит от того уменьшится или увеличится ток I_1 . Возникновение индукционного тока проявлялось в опыте (рис.1.2) при удалении или приближении постоянного магнита к катушке:

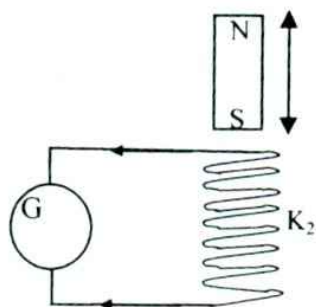


Рис.1.2

Причем при удалении или приближении менялось направление индукционного тока. Опыты Фарадея ясно показали, что причиной возникновения индукционного тока I_2 является изменение магнитного поля, пронизывающего катушку 2.

Открытие Фарадея имело огромное значение для дальнейшего развития физики и техники и явилось основной, на базе которой в последующие годы были созданы электрические двигатели, генераторы, трансформаторы.

Фарадей заслужено считается одним из основателей электротехники.

В дальнейшем рассмотрение этого явления привело к мысли, что индукционный ток проводимости в замкнутой цепи может возникнуть только под действием сторонних сил. Соответствующая им ЭДС называется электродвижущей силой e (или $e_{\text{инд}}$). ЭДС электромагнитной индукции в контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, натянутую на этот контур:

$$e = K \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

где k - коэффициент пропорциональности.

Причем ЭДС электромагнитной индукции не зависит от того, чем именно вызвано изменение магнитного потока - деформацией контура, его перемещением в магнитном поле или изменением самого поля.

Профессор Петербургского университета Э.Х. Ленц исследовал связь между направлением индукционного тока и характером вызвавшего его изменения магнитного потока. Он установил следующий закон – правило Ленца: при всяком изменении магнитного потока сквозь поверхность, натянутую на замкнутый проводящий контур, в последнем возникает индукционный ток такого направления, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Например, при приближении полосового магнита к замкнутой на гальванометр катушке (рис. 1.2) в ней наводится индукционный ток, который своим магнитным действием препятствует приближению магнита. При удалении магнита от катушки в ней наводится ток противоположного направления, который своим магнитным действием также препятствует движению магнита.

Легко проверить, что внутри катушки векторы магнитной индукции поля магнита и поля индукционного тока в первом случае направлены в противоположные стороны, а во втором - в одну и ту же сторону.

Согласно правилу Ленца коэффициенту K в формуле (1.1) для ЭДС электромагнитной индукции приписывают значения: $K = -1$. т.е. знак минус для ЭДС электромагнитной индукции соответствует правилу Ленца:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2)$$

Формула 1.1, объединяющая в себе закон Фарадея и правило Ленца, является математическим выражением основного закона электромагнитной индукции. В современном виде основной закон электромагнитной индукции записывается через потокосцепление Ψ :

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} \quad (1.3)$$

Для более глубокого понимания закона необходимо вспомнить так же некоторые понятия и определения. Они просты с точки зрения того, что они собой представляют, хотя несколько труднее объяснить «почему они таковы». Но принятые однажды как таковые, они могут использоваться в качестве основных строительных блоков для развития изучаемой дисциплины. В то же время они служат ориентирами при попытке объяснить наблюдаемые явления.

Во первых, есть такое понятие как **электрон**. Электрон представляет собой объект с ничтожной массой, несущий отрицательный электрический заряд и вращающийся вокруг

своей оси с некоторой постоянной скоростью. Одним из проявлений движения электрона являются электрические токи.

Во вторых – есть такое понятие **поле**, которое можно использовать для передачи силы через то, что в других отношениях является пустым пространством. В данном смысле существуют поля трех основных типов - гравитационное, электрическое и магнитное.

В третьих, согласно представлениям Ампера любой движущийся электрон окружен **магнитным полем**. Поскольку электроны с собственным вращением – это движущиеся электроны, вокруг каждого электрона, обладающего спином, создается магнитное поле. Вследствие этого каждый электрон действует как миниатюрный магнит.

В четвертых, согласно представлением Лоренца на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, действует определенная сила. Она является результатом взаимодействия внешнего поля и поля Ампера.

Наконец, вещество сохраняет свою целостность в пространстве, благодаря силам притяжения между частицами, электрическое поле которых порождается их электрическим зарядом, а магнитное – их спином.

Дадим более подробно определение некоторым из указанных явлений. Если два объекта находятся в пустом пространстве и разделены некоторым расстоянием, то каждый из них может воздействовать на другой с определенной силой. Например, тело лишенное опоры, падает на землю; электроны, находящиеся в непосредственной близости один от другого, взаимно отталкиваются; стержневые магниты взаимно отталкиваются или притягиваются в зависимости от их относительной ориентации в пространстве.

Поле – это механизм передачи силы через пространство. Любой объект, который может создавать на расстоянии силу, приложенную к другому объекту, окружен полем определенного типа. Поле простирается во всем пространстве,

хотя для практических целей всегда можно считать, что область существования поля не слишком велика. Поле может быть определено только в виде соотношения, между какими - либо двумя объектами. Два объекта не могут воздействовать один на другой силой, если каждый из них не окружен собственным полем. Таким образом, возникновение силы в точках открытого пространства обусловлено взаимодействием двух полей.

Существуют поля трех различных типов - электрическое, магнитное и гравитационное. Передача силы возможна только при взаимодействии полей одного и того же типа. Для описания поля указывают величину и направление силы, которую оно может создавать в любой точке пространства. Один из способов представления поля – векторы, изображения в виде стрелок и указывающие как абсолютную величину, так и направление силы. Совокупность таких стрелок, распределенных в области, где существует поле, может использоваться для описания его формы. Хотя все объекты окружены собственными, характерными для них полями, эти поля не сохраняют постоянную неизменную форму, поскольку взаимодействие между ними искажает форму каждого поля.

Магнитное поле – имеется два различных определения.

1. Магнитное поле – это область, в окрестности движущихся электрических зарядов, где проявляются магнитные силы.

2. Любая область в которой электрически заряженное тело испытывает действие силы при своем движении содержит магнитное поле.

Закон электромагнитной индукции определяет процесс наведения ЭДС в контурах или проводниках, находящихся в магнитном поле. Индуцированная (наведенная) ЭДС количественно равна скорости изменения потокосцепления

$$e = - \frac{d\psi}{dt} \quad (1.4)$$

ЭДС может возникать как в неподвижном контуре при изменении во времени сцепленного с ним потока (рис.1.3а), так и при движении контура (или проводника) в магнитном поле (рис.1.3б)

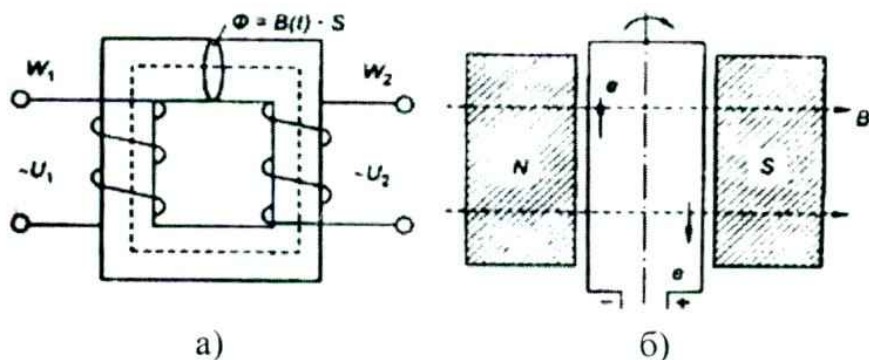


Рис.1.3. К закону электромагнитной индукции

В общем случае могут иметь оба вида изменения потоко-сцепления:

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial t} dt + \frac{\partial \psi}{\partial x} dx \quad (1.5)$$

а наведенная ЭДС

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -\left(\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{dx}{dt}\right) = -\left(\frac{d\psi}{dt} + \mathcal{G} \frac{d\psi}{dx}\right) \quad (1.6)$$

где $\mathcal{G} = \frac{dx}{dt}$ - относительная скорость движения контура в магнитном поле.

Первый член (1.6), $d\Psi/dt$, представляет ЭДС пульсации (или трансформации), второй, $\mathcal{G} \frac{d\psi}{dx}$ – ЭДС движения (или вращения). В трансформаторах встречается только ЭДС трансформации (рис.1.3а), а в электрических машинах, главным образом, ЭДС движения (рис.1.3б).

Для трансформатора ($\mathcal{G}=0$), если поток в сердечнике $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$, то мгновенное значение ЭДС

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -d(\Phi \cdot w)/dt = \omega \cdot w \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t = E_m \cos \omega t \quad (1.7)$$

где $E_m = 2\pi f \cdot w \cdot \Phi_m$ – амплитудное значение.

Действующее значение

$$E = E_m / \sqrt{2} = 4.44 \cdot f \cdot w \cdot \Phi_m \quad (1.8)$$

где $\Phi = B_m \cdot S$; B_m – амплитудное значение магнитной индукции в сердечнике, $B_m = 1.4 \div 1.6$ Тл; S – площадь поперечного сечения; w – число витков обмотки.

Для электрических машин, когда стороны катушек находятся под разными полюсами N и S ЭДС катушки при $w=1$

$$e = d\Phi/dt = 2B \cdot l \cdot \mathcal{G} \quad (1.9)$$

где $d\Phi = B l dx = B l \mathcal{G} dt$.

Для одного проводника, движущегося в магнитном поле при взаимно перпендикулярных направлениях B , l , \mathcal{G} закон электромагнитной индукции:

$$e = Bl\mathcal{G} \quad (1.10)$$

Эту ЭДС можно представить как результат пересечения

проводником линий магнитного поля, а ее направление определяется по правилу правой руки (рис.1.4).

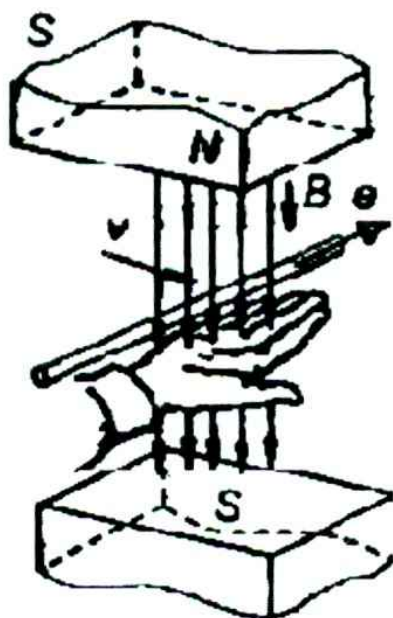


Рис.1.4.Определение направления ЭДС для проводника, движущегося в магнитном поле (правило правой руки)

1.2.2. Закон электромагнитного взаимодействия

Закон электромагнитных сил (закон Ампера) выражает связь между магнитным полем B , током I в проводнике длиной l и действующей на проводник силой $F_{эм}$.

$$d\vec{F}_{эм} = I [d\vec{l} \vec{B}], \quad \vec{F}_{эм} = \int_l I [d\vec{l} \vec{B}] \quad (1.11)$$

В случае однородного поля и взаимной перпендикулярности B и $d\vec{l}$

$$F_{\text{эл}} = B \cdot I \cdot l \quad (1.12)$$

Направление силы определяется по правилу левой руки (рис.1.5а) или, исходя из физических представлений о взаимодействии магнитных полей (рис.1.5б)

При этом в результате наложения двух магнитных полей – внешнего B и поля проводника суммарное поле деформируется так, что с одной стороны от проводника оно ослабляется, а с другой усиливается. Сила будет действовать (рис.1.5) налево так, что она стремится вытолкнуть проводник, а поле сделать однородным (стяжение магнитных линий, разность магнитных давлений). Умножим (1.9) на I , а (1.11) на V , получим

$$\left. \begin{aligned} eI &= B \cdot l \cdot V \cdot I \\ F \cdot V &= B \cdot l \cdot I \cdot V \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Видно, что электрическая (eI) и механическая (FV) мощности определяются через одни и те же величины – B , l , V , I . Эти соотношения и определяют физическую сущность электромеханического преобразования энергии, т.е взаимное влияние электрической (eI), магнитной (B) и механической (FV) частей системы. При этом магнитное поле выступает в качестве энергоносителя, т.е посредника (или «рабочего тела») подобно пару в паросиловых установках, а само значение индукции (магнитного поля) определяет эффективность преобразования.

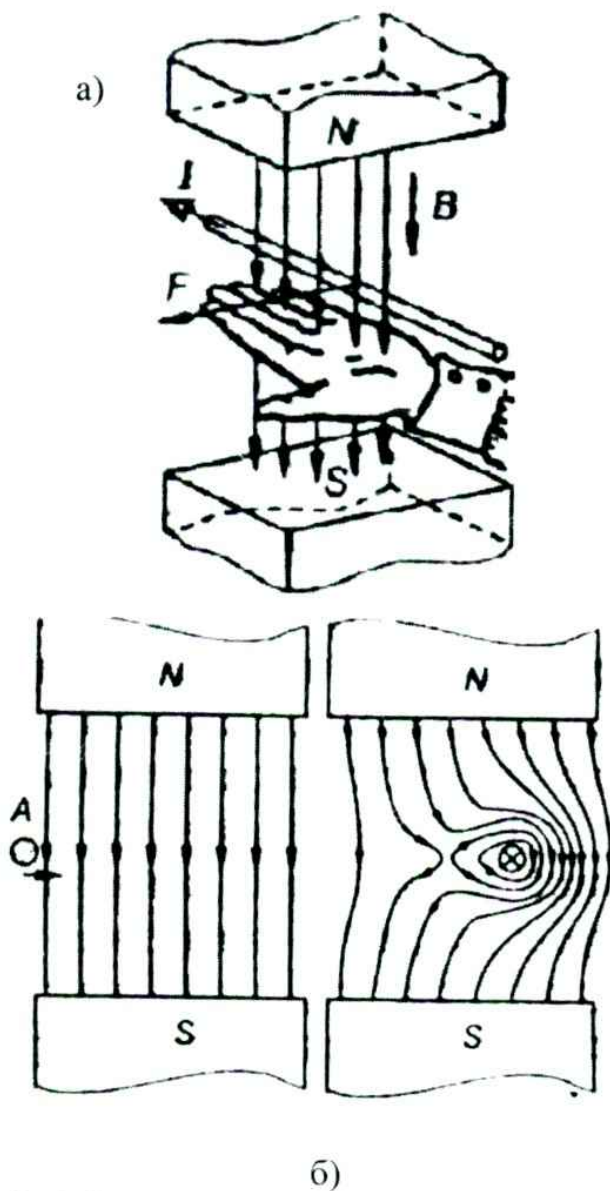


Рис.1.5 а) Определение силы на проводник с током, помещённым в магнитное поле (правило левой руки); б) – картина взаимодействия магнитного поля и проводника с током

2. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Цель работы

Приобретение практических навыков в воспроизведении кинематических схем и определении основных кинематических параметров реальных электромеханических систем РЭС.

2.2. Общие указания

Основным содержанием практической части работы является воспроизведение кинематической схемы конкретной электромеханической системы, определение типов передаточных звеньев, используемых в системе, анализ их функций и определение основных кинематических параметров: общего передаточного отношения, величины линейного или углового перемещения, передаточного отношения по ступеням и др.

Для выполнения лабораторного задания студентам выдаются образцы электромеханических систем: лентопротяжный механизм магнитофона, узел электромеханической настройки радиостанции, электромеханический привод антенны и т.д.

При выполнении работы необходимо руководствоваться общими правилами техники безопасности при работах в лаборатории и требованиями по оформлению отчёта [1].

Время на выполнение домашнего задания – 1 час, общее время на выполнение лабораторного задания, включая собеседование и отчёт по лабораторной работе, 4 часа.

2.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению

Для выполнения домашнего задания следует повторить материал соответствующей лекции, проработать теоретический материал [2, с. 382-407], а также содержание настоящего раздела.

При изучении типовых кинематических схем обратить внимание на условные изображения элементов электромеханических систем (ЭМС): электродвигателей, зубчатых колёс, червячных и винтовых передач, шкал и указателей отсчётных устройств и т.п. Согласно стандартов, указанных в разделе 2.3, а также на примеры изображения кинематических схем.

В заготовку отчёта занести назначение рассматриваемой ЭМС и перечислить основные кинематические параметры, характеризующие данную ЭМС.

2.4. Вопросы к домашнему заданию

1. Что такое кинематическая схема механизма? Для чего она нужна?
2. Какие типы кинематических схем существуют? Дать краткое назначение каждого типа.
3. Правила выполнения кинематических схем.
4. Какие параметры и характеристики могут быть определены из кинематического анализа механизма?
5. Дать определение функции положения, передаточного отношения, передаточного числа. Передаточное отношение группы соединённых механизмов.
6. Какими параметрами определяется передаточное отношение червячной передачи?
7. Что такое «паразитное» колесо? Для чего оно служит? Как оно влияет на передаточное отношение

механизма?

8. Приведите примеры условного изображения на кинематической схеме элементов: зубчатого зацепления, червячной передачи, винтовой передачи, шарнирного и жёсткого закрепления, отсчетного ³⁷ устройства.

9. Каким свойством обладают начальные окружности зубчатых колёс?

10. Что такое многоступенчатая передача? Как вычислить передаточное отношение многоступенчатой передачи? Как определить знак передаточного отношения?

11. Назовите основные типы ЭМС и дайте перечень кинематических параметров для каждого класса.

12. В каком случае применяется последовательный ряд колёс, а в каком ступенчатый?

2.5. Теоретические сведения

2. Кинематические схемы в зависимости от основного назначения подразделяют на структурные, функциональные и принципиальные.

Правила выполнения кинематических схем устанавливают стандарты: 2.701—84 (СТСЭВ 651—77), 2.70В-68 (СТ СЭВ 1187—78), 2.770—68, 2.721—74 (СТСЭВ 1984—79).

На структурной кинематической схеме изображают в виде простых геометрических фигур все основные функциональные части изделия и основные взаимосвязи между ними. Внутри геометрических фигур указывают наименование функциональных частей изделия. Допускается (при применении ЭВМ) графическое изображение функциональных частей и связей между ними заменять аналитической надписью. Для обозначения функциональных частей применяют буквенные коды (табл. 1).

На функциональной кинематической схеме изображают в

виде простых геометрических фигур все функциональные части изделия, участвующие в процессе, иллюстрируемом данной схемой, и связи между ними.

Внутри каждой геометрической фигуры указывают соответствующее обозначение или надпись. Обозначения функциональных частей располагают в последовательности их функциональной связи. Допускается, если это не нарушает наглядности представления процессов, учитывать действительное расположение функциональных частей.

Для обозначения функциональных частей применяют буквенные коды (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Буквенные коды наиболее распространенных групп элементов механизмов

Буквенный код	Группы элементов механизмов	Примеры элементов
А	Механизмы, общее обозначение	—
В	Валы	—
С	Элементы кулачковых механизмов	Кулачок, толкатель
Е	Разные элементы	—
Н	Элементы механизмов с гибкими звеньями	Ремень, цепь
К	Элементы рычажных механизмов	Коромысло, кривошип, кулиса, шатун

Продолжение табл. 2.1

М	Источник движения	Двигатель
Р	Элементы мальтийских и храповых механизмов	—
Т	Элементы зубчатых и фрикционных	Зубчатое колесо, зубчатая рейка, зубчатый
Х	Муфты, тормоза	—

Правила выполнения кинематической структурной и функциональной схем соответствуют правилам выполнения аналогичных электрических схем (см. рис. 2.1,2.2)

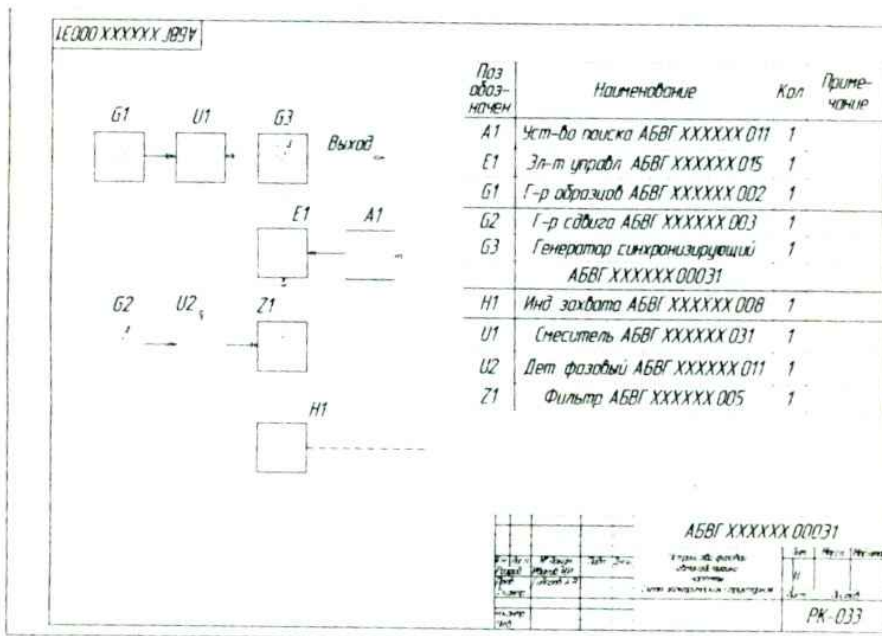


Рис. 2.1. Схема электрическая структурная (в рабочей документации сокращения не допускаются)

На рис. 2.1 показана структурная схема, которая определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. На рис. 2.2 приведён пример функциональной схемы, которая разъясняет определённые процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Эти схемы используются при изучении принципов работы изделий, при их наладке, контроле и ремонте. На рис. 2.3 представлена принципиальная, в данном случае электрическая схема. Она определяет полный состав элементов и связи, между ними и, как правило, даёт детальное представление о принципах работы изделия. Принципиальная схема служит исходным документом для разработки других конструкторских документов, в том числе чертежей. Эти схемы также используются для изучения принципов работы изделий при их наладке, контроле и ремонте.

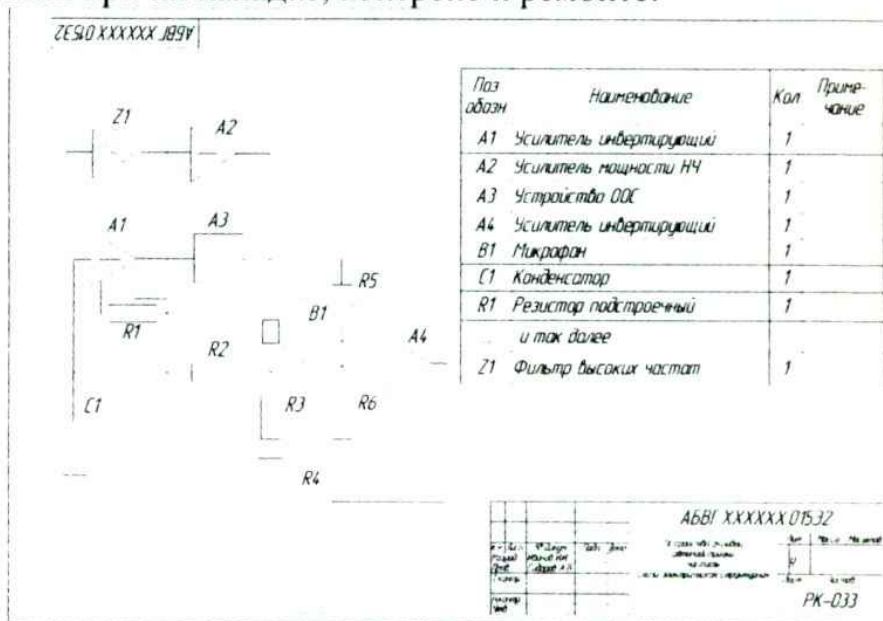


Рис. 2.2.Схема электрическая функциональная

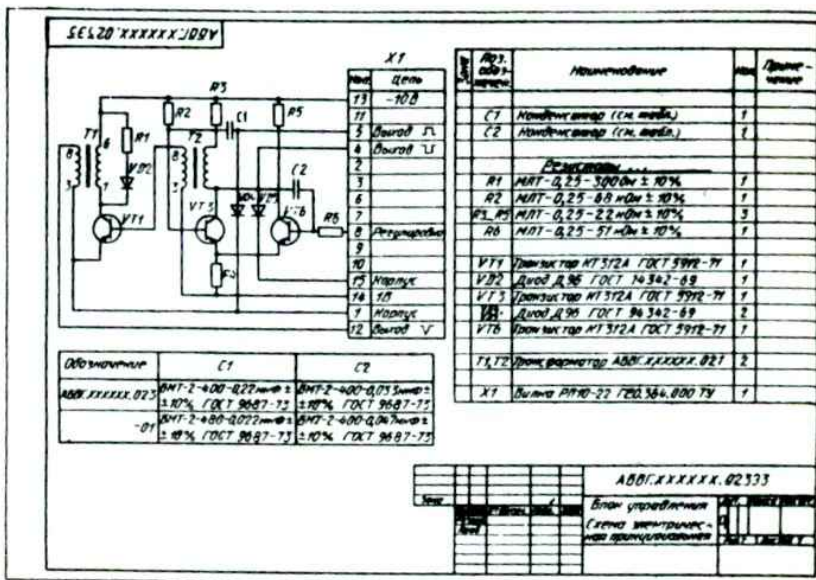


Рис. 2.3. Схема электрическая принципиальная

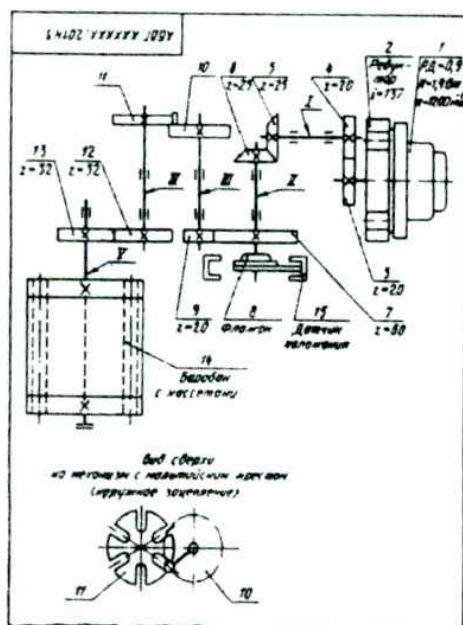


Рис. 2.4. Схема кинематическая принципиальная

Кинематическая принципиальная схема механизма представлена на рис. 2.4 её шифр — КЗ. С помощью условных графических обозначений или упрощенных контурных очертаний показана совокупность кинематических элементов и их соединений. Схема показывает, как осуществляется регулирование, управление и контроль заданных движений исполнительного органа. Схему строят без применения масштаба, но соотношение размеров изображаемых элементов должно приблизительно отражаться на схеме.

Как правило, кинематическую принципиальную схему выполняют в виде развертки (см. рис. 2.4). Допускается вписывать ее для наглядности в контур изделия (рис. 2.5; толщина линий контура изделия равна $s/3$, элементов — $s/2$) или строить в аксонометрии.

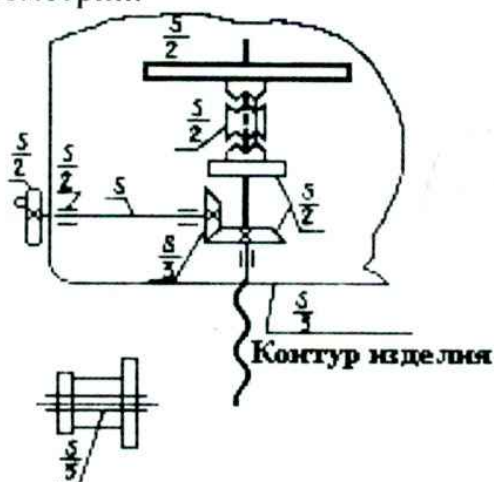


Рис. 2.5. Толщины линий, применяемые для изображения различных элементов

На рис. 2.6 приведена кинематическая схема магнитофона «Электроника М 327».

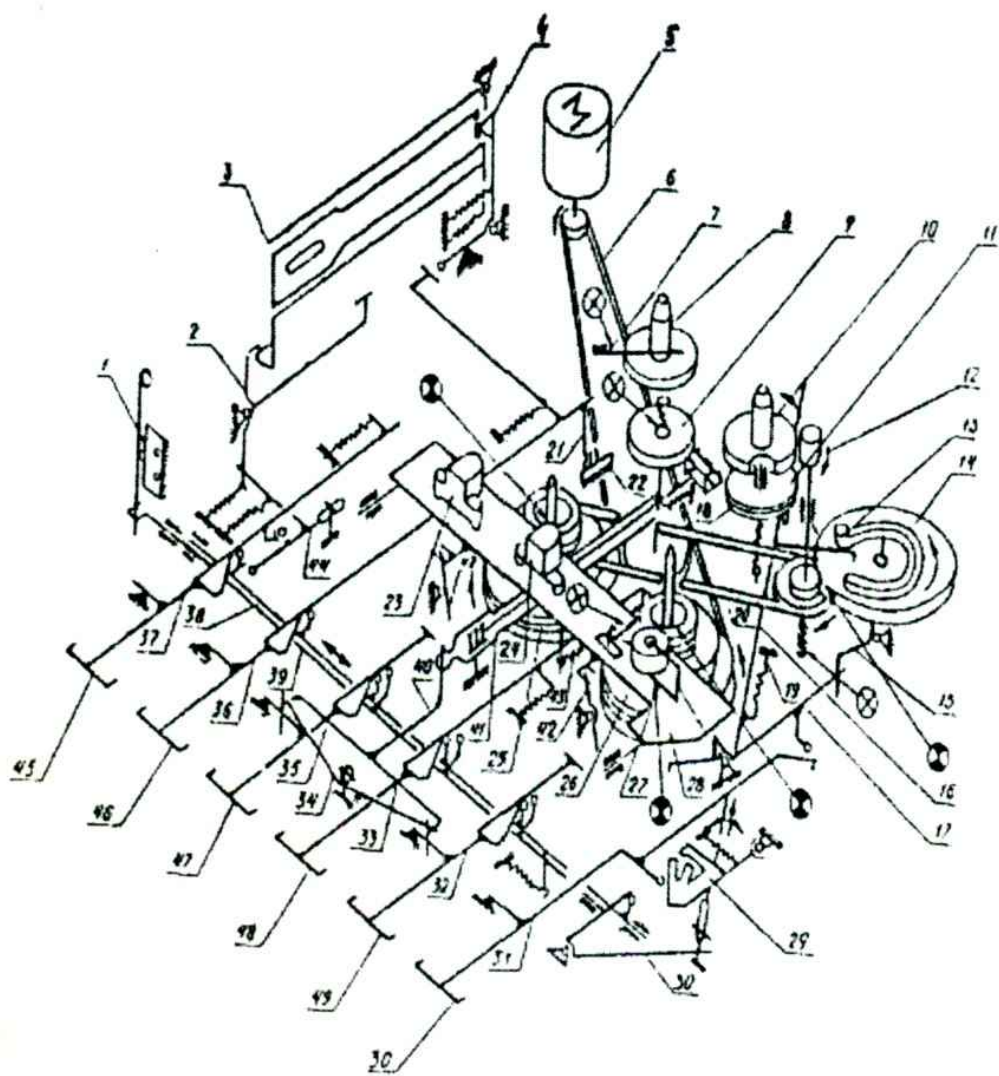




Рис. 2.6. Кинематическая схема магнитофона
«Электроника М 327»

1. Микропереключатель.
2. Защелка кассетного отсека.
3. Кассетный отсек.
4. Рычаг блокировки записи.
5. Электродвигатель.
6. Ремень приводной электродвигателя.
7. Пружина подтормаживания
8. Подающий подкассетный узел
9. Узел перемотки
10. Приемный подкассетный узел
11. Диск.
12. Ролик подмотки.
13. Шкив подмотки.
14. Шкив узла автостопа.
15. Рычаг узла подмотки.
16. Рычаг узла автостопа.
17. Рычаг отвода прижимного ролика.
18. Кулачок.
19. Пружина рычага автостопа.
20. Ремень приводной узла подмотки.
21. Пружина толкателя записи.
22. Переключатель режима «Запись».
23. Стирающая головка.
24. Универсальная головка.
25. Маховичок.
26. Вал ведущий с маховиком.
27. Рычаг прижимного ролика.
28. Ползун.
29. Фиксатор.
30. Рычаг сброса защелки.
31. Толкатель режима «Пауза».
32. Толкатель режима «Перемотка вперед».
33. Толкатель режима «Воспроизведение».
34. Пружина рычага перемотки.
35. Толкатель режима «Перемотка назад».
36. Толкатель режима «Запись».
37. Толкатель режима «Остановка».
38. Защелка.
39. Планка включения питания.
40. Рычаг перемотки.
41. Пружина компенсатора перемотки.
42. Рычаг отвода ползуна.
43. Пружина коменсатора.
44. Рычаг выброса кассеты.
45. Кнопка выключения магнитофона и выброса кассеты.
46. Кнопка включения режима «Запись».
47. Кнопка включения режима «Перемотка назад».
48. Кнопка включения магнитофона в режим «Воспроизведение магнитной фонограммы».
49. Кнопка включения режима «Перемотка вперед».
50. Кнопка временной остановки движения ленты (Пауза).



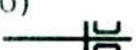






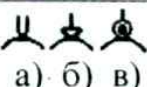







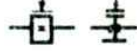







В табл. 2.2 даны наиболее употребительные обозначения, применяемые в схемах-развёртках.

Таблица 2.2

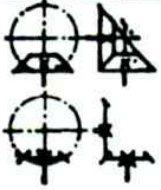
Графические обозначения для кинематических схем

Обозначение	Наименование	Обозначение	Наименование
1	2	3	4
	Вал, валик, ось, стержень, шатун и т.п.	а) 	Подшипники качения: а) радиальные шариковые
а)  б) 	Опора для стержня: а) неподвижная б) подвижная	б)  в) 	б) радиальные роликовые в) радиальные упорные односторонние
а)  б)  в)  	Соединение стержней: а) жесткое б) шарнирное в) шаровым шарниром	а)  б)  в)  г) 	Соединение деталей с валом: а) свободное при вращении б) свободное без вращении в) с помощью вытяжной шпонки г) глухое
а)  б) 	Подшипники скольжения и качения на валу без уточнения типа: а) радиальные б) радиальные упорные односторонние	а)  б)  в) 	Соединение двух валов: а) глухое б) эластичное в) шарнирное

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4
а) 	Подшипники скольжения: а) радиальные шариковые		Кулачки плоские продольного перемещения
б) 	б) радиальные упорные односторонние	а)  б) 	Кулачки барабанные: а) цилиндрические б) конические
а)  б)  в)  г) 	Муфты сцепления: а) кулачковые односторонние б) фрикционные (без обозначения типа) самовключающиеся в) обгона односторонние г) центробежные	а) б) в) 	Толкатели для кулачковых механизмов: а) пальцевые б) тарельчатые в) роликовые
а)  б)  в) 	Тормоза: а) конусные б) колодочные в) ленточные	а)  б) 	Цилиндры с поршнями: а) неподвижные с шатуном б) неподвижные со штоком
а)  б)  в) 	Соединение кривошипа шатуном переменным радиусом	а)  б) 	Соединение кривошипа с шатуном с постоянным радиусом
 	Соединение кривошипа шатуном переменным радиусом	а)  б)  в) 	Передача ремнем: а) плоским, открытым б) клиновидным

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4
	<p>Соединение коленчатого вала с шатуном с одним коленом</p>		
	<p>Мальтийские механизмы с радиальным расположением пазов у мальтийского креста с наружным зацеплением</p>		<p>Передача цепью</p>
	<p>Шкив ступенчатый закрепленный на валу</p>		<p>Передача червячная с цилиндрическим червяком</p>
<p>а)</p> 	<p>Передачи зубчатые цилиндрические: а) внешнее зацепление без уточнения типа зубьев</p>		<p>Передача коническая</p>
<p>б)</p> 	<p>б) с прямыми зубьями</p>		<p>Передача винтовая</p>
<p>в)</p> 	<p>в) с косыми зубьями</p>		<p>Передача реечная</p>
<p>г)</p> 	<p>г) с шевронными зубьями</p>		<p>Электродвигатель</p>
<p>д)</p> 	<p>д) внутреннее зацепление</p>		<p>ль</p>


Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4
	Винт, передающий движение		
а)  б) 	Гайка на винте: а) неразъемная б) разъемная	а)  б) 	Пружины листовые: а) одинарные б) рессора
а)  б)  в) 	Пружины: а) цилиндрическая сжатия б) цилиндрическая растяжения в) спиральная	б)  	Эксцентрик
	Конец вала под съемную рукоятку	 	Рукоятка
		 	Маховичок

Таблица содержит некоторые условные обозначения направлений движения

Таблица 2.3

Условные обозначения направлений движения

Обозначение	Наименование	Обозначение	Наименование
1	2	3	4
а) 	Движение прямолинейное: а) в одном направлении (вправо)	а) 	Вращение вала: а) в одном направлении (по часовой стрелке)

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4
б) 	б) в обоих направлениях	б) 	б) в обоих направлениях
а) 	Движение вращательное: а) в одном направлении (по часовой стрелке)		Качательное
б) 	б) в обоих направлениях		Винтовое

Толщина линий, изображающих валы, оси, стержни, шатуны, кривошпиды, равна s (см. рис. 2.5). Разрыв в местах пересечения валов не допускается (рис. 2.7).

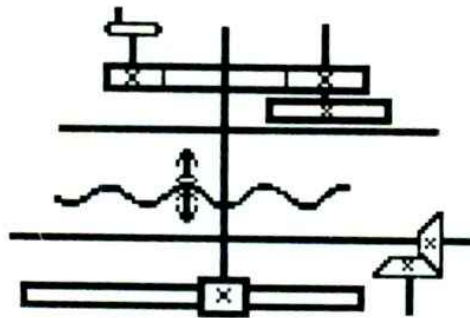


Рис. 2.7. Изображение валов, осей, стержней, ходовых винтов на кинематической принципиальной схеме

Разрешается условно повертывать валы, оси (рис. 2.8).

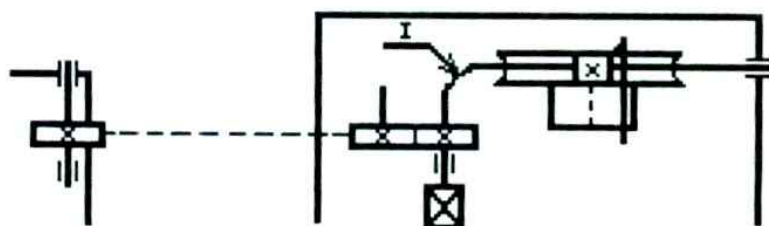


Рис. 2.8. Связь сопряжённых элементов, вычерченных отдельно

Невидимый участок вала изображают штриховой линией $s/2$ (рис. 2.9).

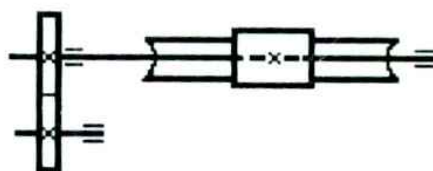


Рис. 2.9. Изображение невидимых на схеме частей вала, оси

Толщина линий, изображающих контуры зубчатых колес, червяков, звездочек, кулачков и других элементов (см. рис. 2.5), равна $s/2$. На проекциях, перпендикулярных их оси вращения, эти элементы изображают штрихпунктирной линией (рис. 2.10).

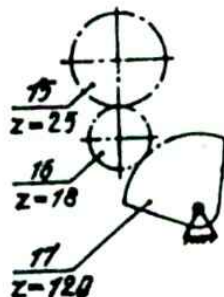


Рис. 2.10. Изображение зубчатых колес на неглавном виде

На рис. 2.11 показано упрощенное изображение механизма привода, собираемого отдельно и регулируемого самостоятельно. Контур такого механизма обведен сплошной тонкой линией $s/3$. Схема его изображена как выносной элемент I. Такую схему можно выполнить отдельным документом со ссылкой на него в основной схеме.



Рис.2.11. Изображение отдельно собираемых и самостоятельно регулируемых механизмов

На рис. 2.12 показано, как при наличии одинаковых механизмов можно выполнить схему только для одного из них. Выбран случай глухого соединения зубчатого колеса с пустотелой осью — крестик находится на образующей этой оси.

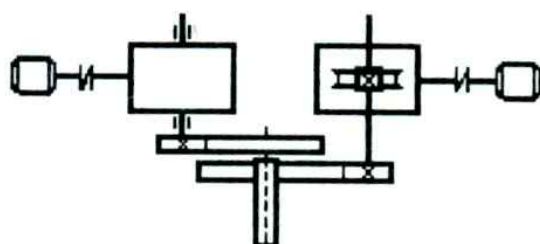


Рис. 2.12. Изображение одинаковых механизмов в изделии

Расположение механизмов на принципиальной схеме соответствует положению исполнительных органов — исходному, среднему или рабочему. Можно применять поясняющие надписи (рис. 2.13), а также изображать крайнее положение элемента штрихпунктирной линией (рис. 2.14).

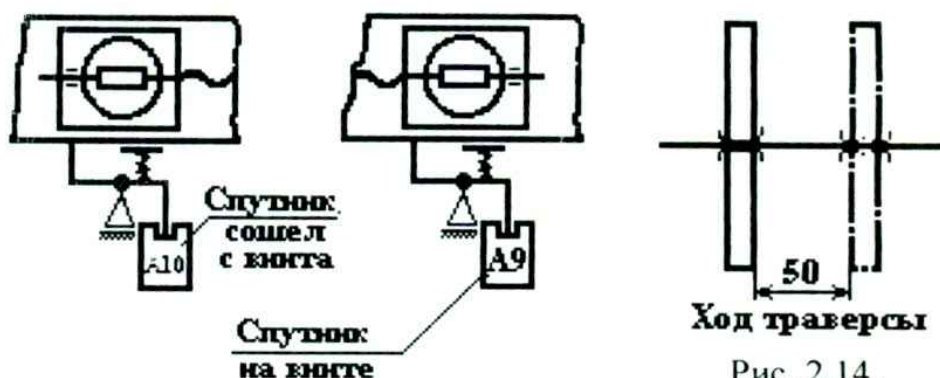


Рис. 2.13. Поясняющие надписи на чертеже

Рис. 2.14.
Изображение элемента меняющего свое положение

Для упрощения чтения схем допускается перемещать элементы механизма за пределы его контура и поворачивать элементы вместе с валом (см. рис. 2.8). При переносе сопряженные элементы соединяют штриховой линией $s/2$. Если

связь проходит через некинематические (энергетические), участки, проводят двойную штриховую линию, а для указания расчетной связи – тройную.

Каждому кинематическому элементу схемы присваивают порядковый номер, начиная от источника движения, и буквенно-цифровые позиционные обозначения (см табл. 2.1 и рис. 2.4). Покупной или заимствованный механизм (редуктор, вариатор и др.) нумеруют одним номером, без разбивки на элементы. Валы нумеруют римскими цифрами. Основные характеристики и параметры элемента указывают согласно рис. 2.15.



Рис. 2.15. Обозначение характеристик элементов на схеме

При наличии в схеме изображения кинематических элементов групп настройки их изображают отдельно (см. рис. 2.10) и нумеруют сменные элементы латинскими строчными буквами. Порядковые номера таким элементам не присваивают. Характеристики всего набора сменных элементов указывают в таблице, которую помещают на схеме или выполняют на отдельных листах.

Таким образом, на схеме (см. рис. 2.4) указывают:

для каждой кинематической группы (например, 2.2 и 2.14) ее наименование;

для кинематических элементов - основные характеристики определяющие в конечном счете исполнительные движения рабочих органов.

Согласно ГОСТ 2.703-68 (СТ СЭВ 1187-78) в табл. 2.4 приведена информация, помещаемая на схеме. Характеристики и параметры допускается вносить в перечень элементов. Перечень элементов содержит следующие графы: «Зона», «Позиционное обозначение» « Наименование», «Количество», «Примечание»; размеры граф стандартом не регламентированы. Если схема содержит точные механизмы и пары (отсчетные, делительные и др.), указывают все данные по кинематической точности:

степень точности передачи; допустимые относительные хищения; повороты; наличие «мертвых ходов» между основными ведущими и исполнительными элементами.

Для динамического анализа кинематическая принципиальная схема должна содержать необходимые размеры и характеристики элементов и наибольшие нагрузки для основных ведущих элементов. Должен быть выявлен характер опор в зависимости от их функционального назначения.

Принципиальные кинематические схемы в аксонометрических проекциях выполняют в соответствии с ГОСТ 2.317-69 (рис. 2.16) с указанием на линиях-выносках сведения, перечисленных выше. Например, число зубьев зубчатых пар, точность, номер стандарта, цена делений шкал и др. Применяется также табличная форма.

Цилиндрические зубчатые колеса и другие элементы механизмов машин, имеющих окружности, выполняют эллипсами, расположение осей которых указано в ГОСТ 2.317-69. Рекомендуются вместо эллипсов вычерчивать овалы, причем валы, оси, стержни и валики располагать параллельно оси X изометрической проекции. Таблица 2.5 содержит наиболее

употребительные графические обозначения (ГОСТ 2.770–68) (СТСЭВ 2519 80) применительно к схемам, выполненным в изометрии.

Таблица 2.4

Основные характеристики и параметры кинематических
Элементов

Наименование	Данные помещаемые на схеме
1	2
Источник движения (двигатель)	
Механизм, кинематическая группа	Характеристика основных исполнительных движений, диапазон регулирования и т. д. Передаточные отношения основных элементов. Размеры, определяющие пределы перемещений: длину перемещения или угол поворота исполнительного органа. Направление вращения или перемещения элементов, от которых зависит получение заданных движений

Продолжение табл.2.4

	и их согласованность. Допускается помещать надписи с указанием режимов работы изделия или механизма, которым соответствуют указанные направления движения. Примечание. Для групп механизмов, показанных на схеме условно, без внутренних связей, приводят передаточные отношения и характеристики основных движений
Отсчетное устройство, кинематические звенья:	Предел измерения или цена деления
а) шкивы ременной передачи	Диаметр (для сменных шкивов – отношение диаметров ведущих шкивов к диаметру ведомых шкивов)
б) зубчатое колесо	Число зубьев (для зубчатых секторов – число зубьев на полной окружности и фактическое число зубьев)
в) зубчатая рейка	Модуль, для косозубых реек – направление и угол наклона зубьев
г) червяк	Модуль осевой, число заходов, тип червяка (если он не архимедов), направление витка и диаметр червяка
д) ходовой винт	Ход винтовой линии, число заходов, надпись «лев.» – для левых резьб
е) звездочка цепной передачи	Число зубьев, шаг цепи
ж) кулачок	Параметры кривых, определяющих скорость и пределы перемещения поводка (толкателя)

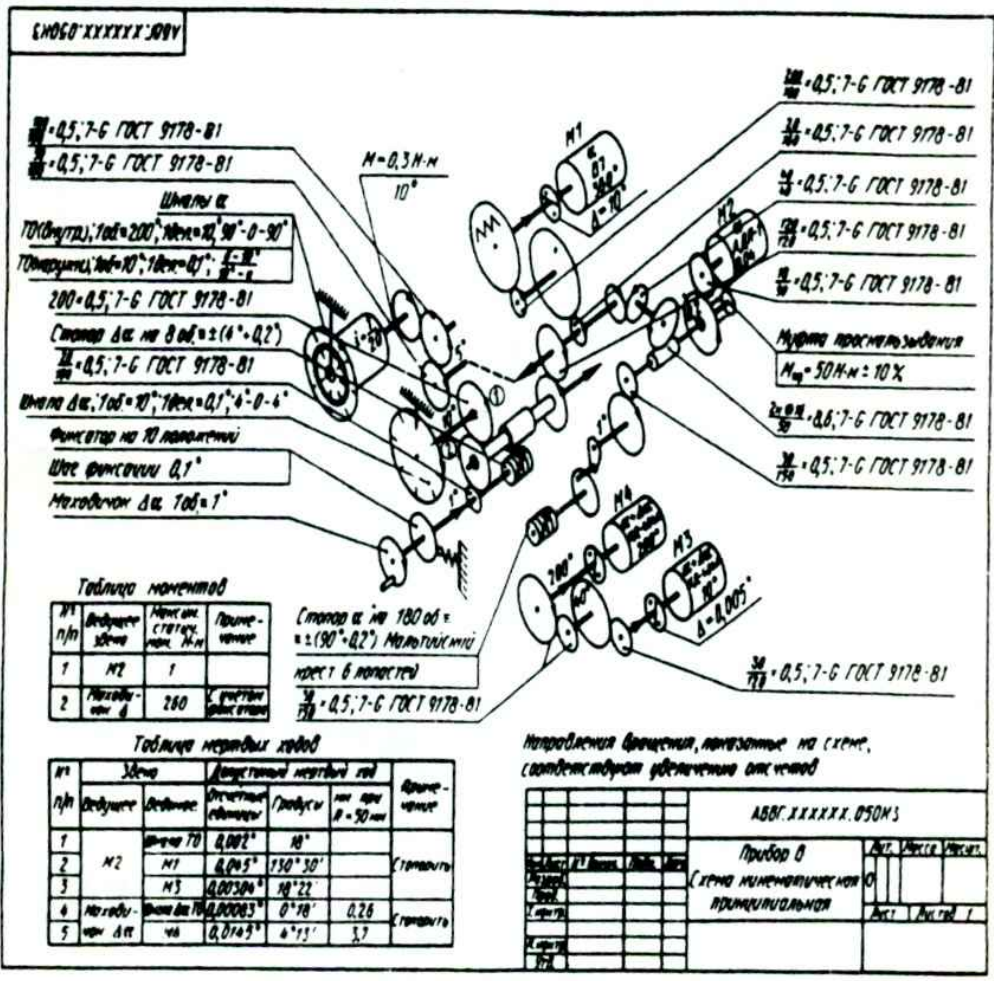


Рис. 2.16. Кинематическая схема прибора В

Таблица 2.5

Графические обозначения элементов для принципиальных кинематических схем в изометрии

Обозначение	Наименование	Обозначение	Наименование
1	2	3	4
	Вал, валик, ось, стержень		Передача червячная
			Передача зубчатая, реечная
	Знак, характеризующий неподвижность элемента		Передача винтовыми зубчатыми колесами
	Подшипник вала или направляющая для прямолинейного движения		Передача коническими или фрикционными колесами
	Передача цилиндрическим и зубчатыми или фрикционными колесами внешнего и внутреннего зацепления		Колесо зубчатое с выборкой мертвого хода
			Маховичок
	Тормоз		Шкала неподвижная с неподвижным указателем

Продолжение табл. 2.5

1	2	3	4
	Муфта предохранительная		Шкала неподвижная с подвижным указателем: а) дисковая б) линейная
	Рукоятка		Устройство шкальное — шкала двухотсчетная
	Поводок		Кнопка
	Муфта-поводок		Счетчик механический
	Шкала подвижная с неподвижным указателем: а) дисковая б) барабанная		Фиксатор

Кинематический анализ ЭМС.

Кинематика – это раздел механики в котором изучаются геометрические свойства движения тел, без учета их масс и действующих на них сил. *Кинематика механизмов* – раздел теории машин и механизмов, в котором изучаются движения звеньев механизма независимо от приложенных к ним сил.

При кинематическом анализе механизмов движение ведущих звеньев обычно известно.

Механизм представляет собой связанную систему тел, движущихся как единое целое.

Каждое такое тело называется звеном. Звено может быть

простым (выполнено без сборочных операций) и сложным (составное). Простые звенья могут быть деталями механизма. Формирование механизма (т.е. соединение его отдельных частей) осуществляется с помощью кинематических пар.

Кинематическая пара - соединение 2-х соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение. Поверхности, линии, точки, которыми звено может соприкасаться с другим звеном, называется *элементом звена*. Кинематические пары делятся на:

- низшие (соприкосновения поверхностями);
- высшими (соприкосновение линиями и точками).

Движение звена характеризуется:

1) видом движения: вращательным, поступательным, плоско-параллельным и сложным пространственным;

2) наибольшей величиной угла поворота звена Φ_{\max} или наибольшей величиной линейного перемещения S_{\max} заданной точки;

3) угловым перемещением Φ , рад; скоростью ω , рад/с; ускорением ε , рад/с² звена;

4) линейными перемещениями S , м; скоростями V , м/с; ускорениями a , м/с² точек звеньев.

Движение механизмов может быть:

а) периодическим (циклическим), при котором положения, скорости и ускорения точек звеньев изменяются периодически и;

б) аperiodическим, при котором положения, скорости и ускорения точек звеньев изменяются неperiodически.

Время T , по истечении которого относительное положение всех звеньев механизма периодически повторяется, называется *периодом кинематического цикла механизма*. Обычно $T=60/n_1$, с, (n_1 - частота вращения ведущего звена, об/мин).

При кинематическом анализе по движению ведущих

звеньев определяются:

- угловые и линейные перемещения ведомых звеньев;
- линейные перемещения, скорости и ускорения точек звеньев;
- передаточные отношения механизма.

Результаты кинематических исследований используются для оценки соответствия кинематических свойств механизма заданным условиям, а также для последующих динамических и прочностных расчетов. (Например, по найденным значениям ускорений определяются инерционные нагрузки на звенья, а установленные зависимости изменения скорости позволяют рассчитать инерционные характеристики механизма к каждому его положению).

Кинематический анализ может быть выполнен различными методами:

- аналитический (точен, универсален, сложен);
- графоаналитический (менее сложен, более нагляден);
- графический (тоже самое);
- экспериментальный (с использованием датчиков, преобразующих параметры движения звена в электрический сигнал);
- комбинированный.

Аналитический метод исследования кинематических характеристик наиболее мощный, позволяет определить функциональные зависимости между параметрами движения ведущих и ведомых звеньев с определением:

- функций положения;
- передаточных функций;
- передаточных отношений.

5 { *Функцией положения* (перемещения) ведомого звена называется функциональная зависимость между перемещениями ведомого и ведущих звеньев механизма.

Например: $\varphi_2 = f(\varphi_1)$, $S_2 = f(\varphi_1)$, $S_2 = f(S_1)$.

Передаточной функцией механизма называется первая

производная от функции положения по углу поворота φ_1 или линейному перемещению S_1 ведущего звена. Мгновенное значение передаточной функции определяет отношения мгновенной угловой скорости ω_m (или линейной скорости V_N точки N) ведомого звена m к угловой скорости ω_k (или линейной скорости V_A точки A) ведущего звена k .

Если звенья механизма только вращаются, то вместо передаточной функции рассматривают *передаточное отношение*.

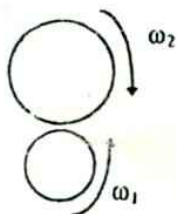
Передаточным отношением называется отношение мгновенных угловых скоростей (или угловых перемещений, частот вращения) ведущего k и ведомого m звеньев. Например, передаточная отношение от ведущего k к ведомому m звену:

$$i_{km} = \omega_k / \omega_m = d\varphi_k / d\varphi_m = n_k / n_m \quad (2.1)$$

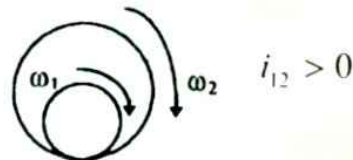
Угловая скорость ведомого звена:

$$\omega_m = \omega_k / i_{km} \quad (2.2)$$

Индексы указывают порядковый номер звеньев, между которыми определяется передаточное отношение.



$$i_{12} = -\frac{\omega_1}{\omega_2} < 0$$



$$i_{12} > 0$$

внешнее зацепление

внутреннее зацепление

Передаточному отношению

i_{km} приписывается

положительный знак, если движение звеньев, относительно параллельных осей, совпадают и отрицательный, если не совпадает.

Механизмы могут быть разделены на 2 группы:

$i = \text{const}$ (зубчатые передачи с круглыми колесами);

$i = \text{var}$ (варианты, зубчатые передачи с некруглыми колесами).

Механизмы ЭМС с постоянными передаточными отношениями не выполняют функционального преобразования движения, а лишь изменяют в определенной пропорции угловую скорость и крутящий (вращающий) момент.

Если абсолютное значение передаточного отношения > 1 , то такой механизм уменьшает угловую скорость ведомого звена и его называют РЕДУКТОР.

$$|i_{km}| > 1 - \text{редуктор} \quad (2.3)$$

Это наиболее распространенная передача, т.к. в среднем угловая скорость двигателя $\approx 50-500$ рад./сек, а рабочего органа $0,5-25$ рад./сек.

$$|i_{km}| < 1 - \text{мультипликатор} \quad (2.4)$$

применяют реже, в основном в точных механизмах, где необходимо увеличить угловую скорость ведомого звена. Например в приборах: небольшие перемещения датчика преобразуются в большие угловые повороты указателя, стрелок.

Передаточное отношение системы соединенных механизмов:

$$i_{\text{общ}} = i_1 i_2 \dots i_j \dots i_n = \prod_{j=1}^n i_j \quad (2.5)$$

где i_j – передаточное отношение механизма, номер.

k-число внешних зацеплений.

Следует различать понятия:

- передаточное отношение i ;
- передаточное число u .

$$u = \max\left[|i_{12}|; |i_{21}|\right] \geq 1 \quad (2.6)$$

Если передаточное отношение любого механизма зависит от того, какое из звеньев выбрано в качестве ведущего и следовательно характеризует механизм при определенном направлении передачи энергии, то передаточное число не зависит от направления потока энергии и выбора ведущего звена, а показывает лишь во сколько раз механизм способен изменить угловую скорость.

С помощью формул 2.2 – 2.5 в основном решаются задачи кинематики для механизма с постоянным передаточным отношением ($i = \text{const}$).

Наибольшее распространение получили так называемые передачи – механизмы с вращательным движением ведущего и ведомого звеньев. К передачам относятся механизмы: зубчатые, червячные, фрикционные и гибкой связью. Во фрикционных механизмах передача движения осуществляется силами трения, действующими в местах соприкосновения прижатых друг к другу колес (рис. 2.17).

Фрикционные передачи роликами: осуществляют передачу движения между параллельными и пересекающимися валами. Передаточное отношение фрикционной передачи роликами с учетом упругого скольжения:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = D_2 \xi / D_1, \quad (2.7)$$

где $\xi=1,01-1,03$ – коэффициент, учитывающий скольжение и

зависящий от шероховатости поверхности, наличия смазки и условий эксплуатации; D_1 , D_2 – диаметры роликов; θ – сила поджатия.

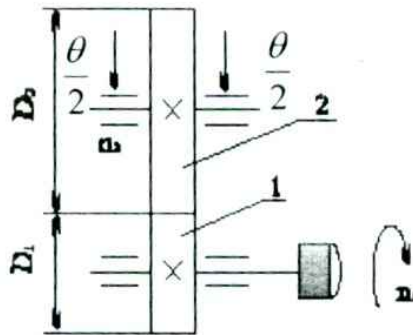


Рис.2.17

Передачи гибкой связью применяют для передачи вращения между валами при относительно больших межосевых расстояниях. Такие передачи используют при любом расположении валов, но особенно между параллельными валами.

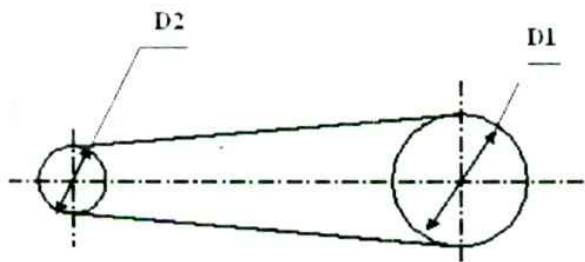


Рис. 2.18. Передача гибкой связью

Передачи гибкой связью состоят из ведущего и ведомого

шківів і гнучкої зв'язі. По характеру сцеплення гнучкої зв'язі со шківівими їх подразделяють на передачі трением

(ремённые передачі), передачі з кріпленням кінців гнучкої зв'язі к шківівим (ленточные передачі) і передачі зубчатим ремнем. Работа ремённой передачі при використанні сил трения (рис.2.18) зв'язана з епругим скольженієм ремня по шківівим, причиною котрого являється змінення усилія по дуге обхвата от значенія F_1 до F_2 на ведущем і от F_2 до F_1 на ведомом шківівим

Змінення усилія вызиваєт проскальзивання гнучкої зв'язі на шківівим, поскольку деформація ремня звисит от величини передаваної им нагрузки. С учетом скольженія ремня по шківівим передаточное отношение:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = D_2 \xi / D_1 \quad (2.8)$$

где $\xi = 1.01 \div 1.03$ – коэффициент, учитывающий скольжение.

В качестве гнучкої зв'язі используют шнуры шелка, капрона, резины, пластмасс, стальные тросики и ленту, а также плоский или клиновий ремень.

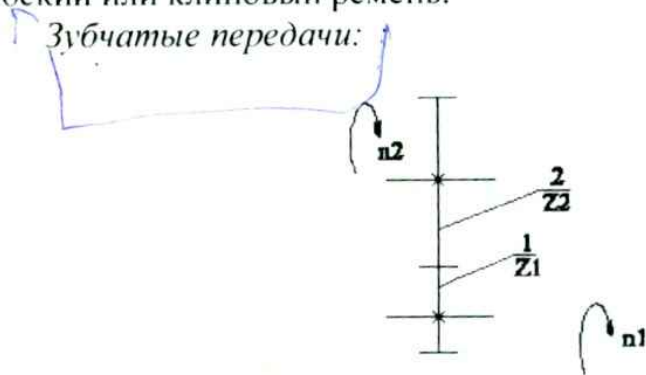


Рис. 2.19

Передаточное отношение от колеса 1 к колесу 2 одноступенчатой зубчатой передачи с внешним зацеплением определяется из соотношения:

$$i_{12} = -\frac{n_1}{n_2} = -\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = -\frac{r_2}{r_1} = -\frac{z_2}{z_1}, \quad (2.9)$$

где n_1 и n_2 , φ_1 и φ_2 , r_1 и r_2 , z_1 и z_2 – числа оборотов, углы поворота, радиусы начальных окружностей, числа зубьев первого и второго колеса соответственно – определяются непосредственным замером.

Червячные передачи:

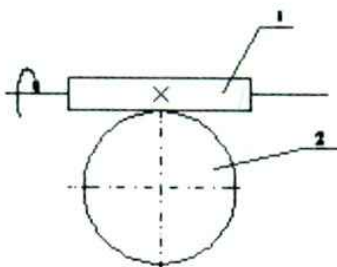


Рис. 2.20

Передаточное отношение червячной передачи от червяка 1 к колесу 2 определяется соотношением:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} \quad (2.10)$$

где z_1 – число заходов червяка и z_2 – число зубьев колеса – определяются непосредственным подсчётом.

Передаточное отношение передачи *винт – гайка* (рис.2.21):

$$i_{12} = \frac{\pi d_2}{SZ_p} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \quad (2.11)$$

где S - шаг резьбы; z_p - число заходов; d_2 - средний диаметр резьбы; β - угол подъёма резьбы.

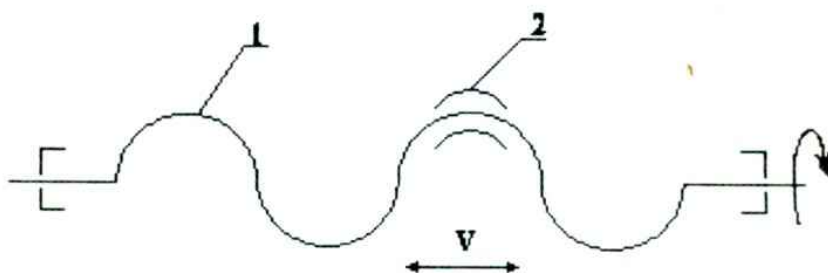


Рис. 2.21. 1 – винт; 2 – гайка

Планетарная передача. Кинематическая схема, передаточное отношение и КПД (рис.2.22):

$$\varepsilon_{1H}^{(3)} = 1 - i_{13}^{(H)} = 1 + \frac{z_3}{z_1} \approx 4 \div 8; \eta \approx 0,98 \quad (2.12)$$

Имеются схемы планетарных механизмов, позволяющие получить $i_{1H}^{(3)} \sim 1/10000$ при $\eta \sim 1\%$

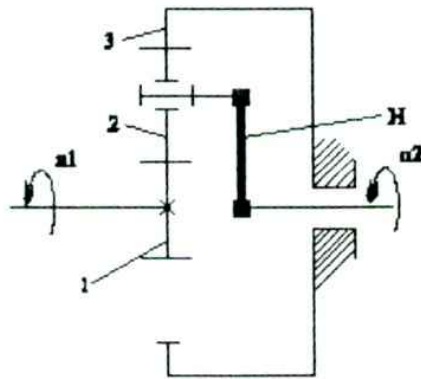


Рис. 2.22

Волновая зубчатая передача. Кинематическая схема, передаточное отношение и КПД.

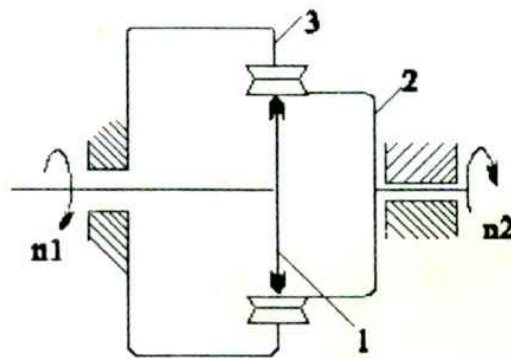


Рис. 2.23

$$i_{12}^{(3)} = \frac{n_1}{n_2} = -\frac{z_2}{z_3 - z_2} \quad (2.13)$$

Для одноступенчатой передачи $i_{12}^{(3)} = 50 \div 250$; $\eta = 0,9$. Для

двухступенчатой передачи $i=2000\div 50000$; $\eta=0,8-0,5$.

2.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению

Задание первое. Воспроизвести, кинематическую схему предложенной ЭМС.

При выполнении задания следует прежде всего установить тип ЭМС, предложенной для кинематического анализа.

1. Определить основные кинематические функции, выполняемые ЭМС (изменение скорости углового и линейного перемещения, преобразование характера перемещения: углового в линейное, вращательного в поступательное и т.д., изменение масштаба перемещения и т.п.).

2. Определить типы всех передаточных звеньев ЭМС.

3. Выяснить взаимодействие всех звеньев ЭМС.

4. Пользуясь условными обозначениями кинематических элементов воспроизвести кинематическую схему ЭМС.

5. Присвоить позиционные обозначения всем элементам ЭМС.

6. Описать принцип действия и взаимодействие всех звеньев по кинематической схеме.

Задание второе. Определить кинематические параметры ЭМС: передаточное отношение ЭМС в целом, передаточные отношения по ступеням.

2.7. Требования к выполнению отчёта

Отчёт выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210·287мм). Отчёт должен включать следующее: назначение рассматриваемой ЭМС; кинематическую схему анализируемой ЭМС; кинематический анализ ЭМС.

2.8. Контрольные вопросы по выполненной работе

1. Какие функции выполняет анализируемая ЭМС?
2. Чем определяется точность ЭМС?
3. Каково назначение каждой детали (звена) ЭМС?
4. Чем обусловлено применение в ЭМС различных передаточных звеньев?
5. Какие функции в анализируемой ЭМС могут быть заменены электронными методами?

3. КОЛЛЕКТОРНЫЙ МИКРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

3.1. Цель работы

Изучение принципа действия и конструкции коллекторного микроэлектродвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

3.2. Общие указания

Основным содержанием практической части работы является выполнение эскизов общего вида, а также основных деталей электродвигателя серии ДПМ с необходимыми разрезами и сечениями.

Для выполнения лабораторного задания студентам выдаются электродвигатели серии ДПМ различного исполнения и измерительный инструмент: штангенциркуль, линейка.

Время на выполнение домашнего задания 1 час, общее время на выполнение лабораторного задания, включая собеседование и отчет по лабораторной работе, 4 часа.

3.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению

Изучить основные понятия, на которых базируется принцип действия двигателя постоянного тока.

Для выполнения домашнего задания следует повторить материал соответствующей лекции, проработать теоретический материал [3, с.241-243; 4, с.127-133; 5, с.21-33], а также содержание настоящего раздела.

3.4. Теоретические сведения

Рассмотрим проводник, изогнутый в виде прямоугольной рамки, помещенный в поле постоянного магнита. Пусть по проводнику течет постоянный ток от источника Э.Д.С. с напряжением U , подключенного к нему через скользящие контакты, образованными кольцами с поджатыми к ним щетками.

В положении, изображенном на рис.3.1а ток I создает магнитное поле, взаимодействующее с полем возбуждения постоянного магнита. При этом возникает сила F , вращающая рамку в направлении против часовой стрелки (направление силы F определяется правилом левой руки).

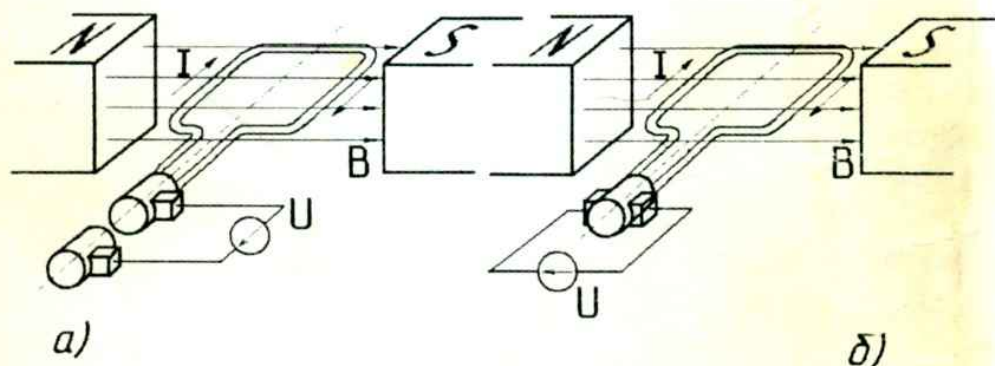


Рис. 3.1

Если рамка может беспрепятственно вращаться вокруг своей оси, то после поворота на угол π она придет в положение, при котором электромагнитный вращающий момент приобретет противоположное направление. После включения источника ЭДС рамка совершит несколько качаний и займет устойчивое положение равновесия. В данном случае ее плоскость будет перпендикулярна линиям вектора магнитной индукции поля магнита, и поле, порожденное током в рамке,

окажется согласованным с полем магнита.

Пусть теперь источник напряжения подключается к концам проводника, соединенным с двумя изолированными друг от друга половинами кольца, через скользящие по нему щетки, как это показано на рис. 3.16.

В таком случае при вертикальном положении рамки происходит переключение концов проводника, и меняется направление тока в нем. Положение теряет устойчивость. Вращаясь в направлении против часовой стрелки, рамка находится под действием вращающего момента, знак которого не изменяется.

Два изолированных друг от друга металлических полукольца с поджатыми к ним щетками представляют собой простейшее коллекторное устройство, играющего роль *механического коммутатора*. *Коммутацией* в данном случае является переключение концов проводника через каждые пол-оборота, которое влечет преобразование тока от источника постоянной ЭДС в переменный ток.

Сила действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле определяется законом Ампера:

$$F = B \cdot L \cdot I, \quad (3.1)$$

где F – сила, Н;

B – магнитная индукция, Тесла;

L – длина проводника, м;

I – сила тока, А.

Электромагнитные силы всех проводников обмотки создают электромагнитный момент двигателя M , вращающий якорь:

$$M = N \cdot I \cdot B \cdot A \cdot \sin \omega t, \quad (3.2)$$

или
$$M = N \cdot I \cdot \Phi \cdot \sin \omega t \quad (3.3)$$

где: $M - N \cdot m$; N – число витков обмотки якоря;
 I – ток якоря, А;
 B – магнитная индукция, Тл;
 A – площадь витка, м²;
 $\omega = 2\pi f$ – угловая скорость вращения якоря, 1/с.

(Для мощности $P = M \cdot \omega$ имеем $P = N \cdot I \cdot B \cdot A \cdot \sin\omega t \cdot \omega$, Вт).

Если этот момент окажется достаточным для преодоления тормозящего момента на валу якоря, обусловленного рабочим механизмом, то якорь придет во вращение, а в проводниках его обмотки, в соответствии с законом электромагнитной индукции, будет индуцироваться ЭДС E . Направление ЭДС оказывается противоположным направлению тока (по правилу правой руки). Эта ЭДС называется противодействующей силой, или обратной ЭДС:

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi, \quad (3.4)$$

где: n – скорость вращения (число оборотов якоря в мин.), 1/мин.;

Φ – магнитный поток, Вб;

C_e – постоянная двигателя:

$$C_e = \frac{N}{a} \cdot \frac{P}{60}, \quad (3.5)$$

где: N – число витков,

P – число пар полюсов,

a – число ветвей.

При полной нагрузке двигателя ЭДС якоря составляет 90-95% приложенного напряжения. Связь между приложенным к якорю напряжением U , обратной ЭДС E и падением напряжения на якоре ($I_a \cdot R_a$) устанавливается применением 2

закона Кирхгофа к цепи якоря: $U + (-E) = I_{я} \cdot R_{я} + 2\Delta U_{щ}$, откуда

$$U = E + I_{я} \cdot R_{я} + 2\Delta U_{щ} \approx E + I_{я} \cdot R_{я}, \quad (3.6)$$

где: $R_{я}$ – суммарное сопротивление цепи якоря,
 $\Delta U_{щ}$ – падение напряжения на щетке.

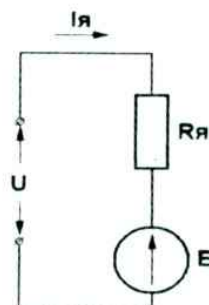


Рис. 3.2. Схема замещения двигателя постоянного тока

Перепишем последнее выражение (3.6) в виде $I_{я} \cdot R_{я} \approx E - U$, откуда

$$I_{я} \approx \frac{U - E}{R_{я}}, \quad (3.7)$$

Из выражения (3.3) для электромагнитного момента якоря видно, что для изменения направления вращения якоря, необходимо изменить направление тока в обмотке якоря ($- I$) (или в обмотке возбуждения ($- \Phi$), если двигатель возбуждается не постоянными магнитами, а обмоткой возбуждения).

Перепишем выражение (3.7) в виде:

$$I_{я} = \frac{U - C_e \cdot n \cdot \Phi}{R_{я}}, \quad (3.8)$$

Из последней формулы можно сделать вывод, что двигатель постоянного тока автоматически изменяет величину тока, потребляемую от источника в соответствии с изменением

механической нагрузки на валу.

Пусть, например, момент сопротивления на валу двигателя увеличивается, тогда скорость двигателя начнет снижаться, это будет сопровождаться уменьшением обратной ЭДС в соответствии с формулой (3.4) и нарастанием тока якоря в соответствии с формулой (3.8) и вращающего момента двигателя в соответствии с формулой (3.3). Возрастет и потребляемая от источника мощность.

Свойства двигателей постоянного тока определяются совокупностью их характеристик: пусковые, рабочие, механические, регулировочные. Важнейшей из которых является механическая характеристика.

По своим рабочим характеристикам двигатели постоянного тока с постоянными магнитами аналогичны двигателям постоянного тока с параллельным (независимым) возбуждением. Двигатели выпускаются как для приводов с регулируемой частотой вращения, так и для приводов, требующих стабилизированной частоты вращения. Частота вращения регулируется с помощью изменения значения напряжения питания, которое иногда достигается за счет включения последовательно с якорем дополнительного сопротивления.

Стабилизация частоты вращения достигается с помощью центробежных регуляторов, путем периодического замыкания и размыкания цепи якоря. Точность стабилизации зависит от качества центробежного регулятора и обычно составляет $\pm (3...5)\%$. В последнее время для более точной стабилизации стали применять специальные электронные блоки, с помощью которых осуществляется питание двигателя. Блоки получают сигналы от датчиков, которые часто встраиваются в двигатели.

Применение электронных блоков позволяет путем широтно-импульсного способа регулирования получать высокую стабильность частоты вращения микродвигателей (до 0,01% и выше).

Суть широтно-импульсного напряжения состоит в том, что двигатель питается импульсами напряжения, частота и скважность которых определяют частоту вращения якоря двигателя.

3.5 . Конструкция и технические данные электродвигателей постоянного тока серии ДПМ

Микроэлектродвигатели постоянного тока серии ДПМ являются двухполюсными электрическими машинами закрытого исполнения с возбуждением от постоянных магнитов. Серия микроэлектродвигателей ДПМ включают четыре габарита. В качестве исходной величины для построения серии принят наружный диаметр корпусов электродвигателей. Двигатели различных габаритов геометрически подобны друг другу, то есть все их основные размеры относятся друг к другу, как их наружные диаметры.

Микроэлектродвигатели серии ДПМ имеют следующие конструктивные исполнения:

Н1 – с одним выходным концом вала;

Н2 – с двумя выходными концами вала;

Н3 – с одним выходным концом вала и встроенным центробежным контактным стабилизатором скорости вращения.

В каждом конструктивном исполнении есть электродвигатели с различными номинальными данными (напряжением питания, моментом нагрузки и скоростью вращения).

Схематические чертежи электродвигателей исполнения Н1, Н2 и Н3 приведены на рис. 3.3, 3.4, 3.5 соответственно, их основные геометрические размеры – в таблице 1 (Н1 и Н2) и таблице 2 (Н3).

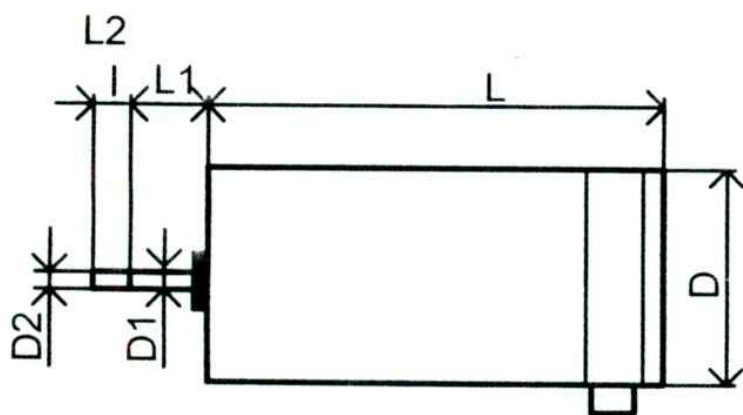


Рис. 3.3

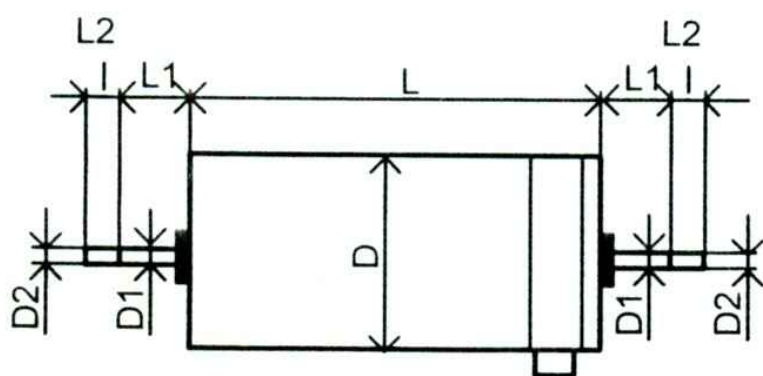


Рис. 3.4

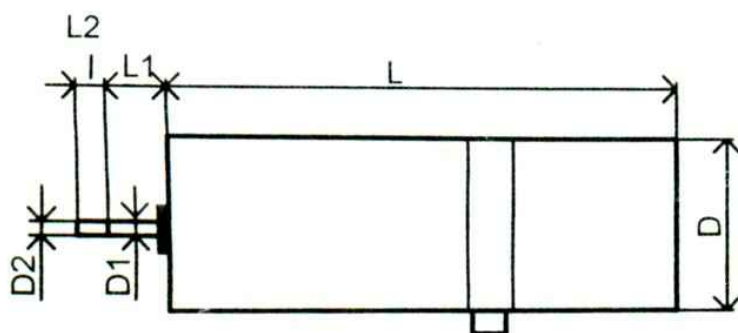


Рис. 3.5

Таблица 3.1

Тип электродвигателя	D	D1	D2	L	L1	L2
ДПМ – 20	20	2	M2x0,25	38	5	3
ДПМ – 25	25	2	M2x0,25	45,5	7	3
ДПМ – 30	30	3	M3x0,35	57	7,5	4,5
ДПМ – 35	35	3	M3x0,35	64,5	9,5	4,5

Таблица 3.2

Тип электродвигателя	D	D1	D2	L	L1	L2
ДПМ – 20 – Н3	20	2	M2x0,25	50	5	3
ДПМ – 25 – Н3	25	2	M2x0,25	59	7	3
ДПМ – 30 – Н3	30	3	M3x0,35	72	7,5	4,5

Крепление микроэлектродвигателей серии ДПМ производится за наружную поверхность магнита (поверхность D на длине l) с помощью охватывающих магнит немагнитных металлических деталей.

Двигатели исполнений Н1, Н2 предназначены для работы при обоих направлениях вращения, причем изменение направления вращения на ходу, без предварительной остановки двигателя, не допускается, за исключением двигателей ДПМ-20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-30-Н1-08Т.

Двигатели одного типа исполнений Н1 и Н2 имеют аналогичные параметры, за исключением двигателя ДПМ-30-Н1-01, аналогом которого является двигатель ДПМ-30-Н2-02, и двигателя ДПМ-30-Н1-02, аналог которого ДПМ-30-Н1-01. Двигатели ДПМ-20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-25-Н1Т-01, ДПМ-30-Н1-03Т и ДПМ-35-Н1-03 имеют один выходной конец вала.

Режим работы двигателей:

ДПМ-20-Н1-08Т, ДПМ-25-Н1-07Т, ДПМ-30-Н1-03Т – работа 3 мин при непрерывном изменении направления

вращения на ходу через каждые 10 с, перерыв 5 мин (1 цикл);
 ДПМ-25-Н3-01, ДПМ-25-Н3-03 – работа 30 мин, перерыв
 5 мин.

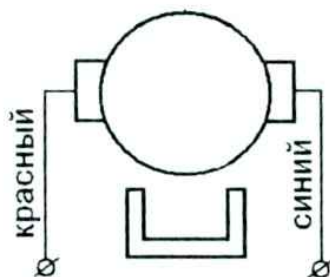


Рис. 3.6

Схема включения микроэлектродвигателей ДПМ исполнений Н1 и Н2 приведена на рис.3.6. При положительной полярности на красном выводном конце. Направление вращения электродвигателей по часовой стрелке со стороны выходного вала противоположного

Для изменения направления вращения электродвигателя полярность выводных концов необходимо изменить на обратную.

Схемы 1, 2, 3 включения электродвигателей исполнения Н3 приведены на рис. 3.7, 3.8, 3.9 соответственно, номиналы элементов этих схем и дополнительные параметры двигателей при их использовании – в табл. 3.3. В этой таблице в скобках дана минимальная мощность резисторов (Вт) и минимальное напряжение конденсаторов (В).

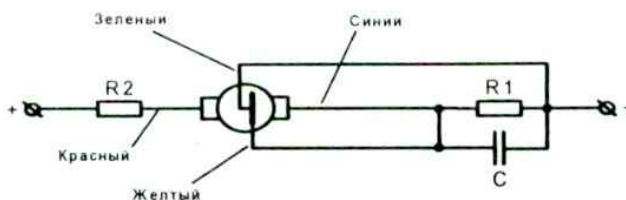


Рис.3.7

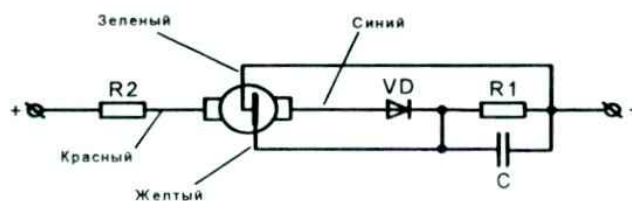


Рис. 3.8

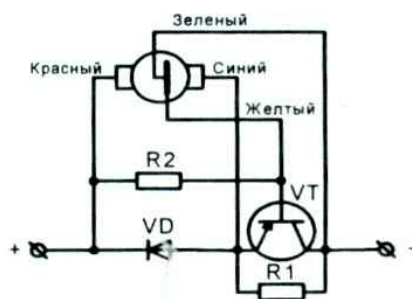


Рис. 3.9

Таблица 3.3

Тип электродвигателя	R2, Ом	R1, Ом	C, мкФ	VD	R3, кОм	VT	Срок службы, часы	Точность стабилизации, %	Направление вращения
ДПМ-20-НЗ-01	-	200 (2)	0.01 (100)	-	-	-	50	±2	Левое
ДПМ-20-НЗ-09	-	200 (2)	0.02 (100)	-	-	-	100	±2	-
ДПМ-20-НЗ-09А	-	200 (2)	0.01 (100)	-	-	-	100	±2	Правое
ДПМ-25-НЗ-01А	-	750 (2)	-	Д226	1.1 (0.5)	ПЗ04	150	±2	Левое
ДПМ-25-НЗ-01Б	-	390 (2)	0.25 (100)	Д226	-	-	100	±2	-
ДПМ-25-НЗ-02А	-	200 (2)	0.01 (100)	Д226	-	-	50	±2.2	Правое
ДПМ-30-НЗ-03Б	-	100 (1)	1.0 (100)	Д226	-	-	50	±2	Левое
ДПМ-30-НЗ-01	3 (4)	100 (4)	0.01 (100)	-	-	-	50	±2	Оба
ДПМ-30-НЗ-02	3 (3)	100 (2)	0.01 (100)	-	-	-	30	±1.5	Правое

Конструкция микроэлектродвигателей серии ДПМ исполнения Н1 приведена на рис. 3.10.

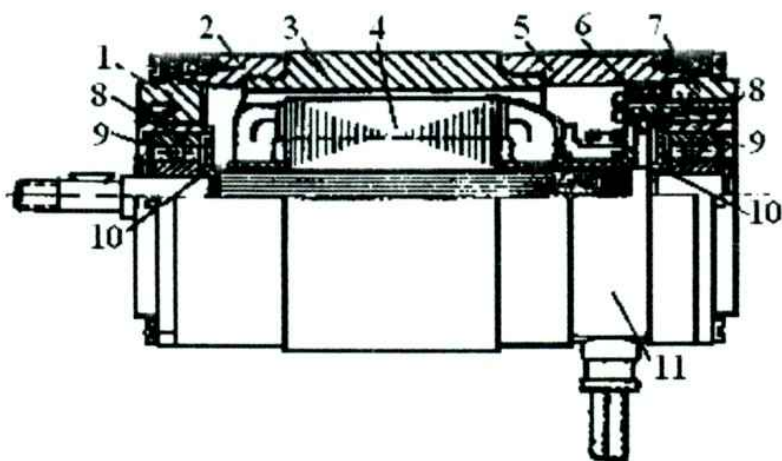


Рис. 3.10. Конструкция микроэлектродвигателя серии ДПМ исполнения Н1

Корпус электродвигателя состоит из литого постоянного магнита 3 цилиндрической формы, к торцевым частям которого прилиты выполненные из цинкового сплава концевые части 2 и 5. В концевом приливе 5 имеются окна для доступа к щеткодержателям, закрытые пружинящей защитной лентой 11. К корпусу винтами крепятся выполненные из цинкового сплава подшипниковые щиты 1 и 7. В подшипниковые щиты залиты стальные втулки, предназначенные для установки шарикоподшипников. Подшипниковый щит 7, к которому жестко крепится суппорт 6 со щеткодержателями, имеет овальные пазы для регулировки положения щеток и установки их на нейтрали. Внешняя поверхность корпуса и подшипниковых щитов для защиты от коррозии, а также в декоративных целях имеет хромовое покрытие. Дополнительная коррозионная устойчивость корпуса и щитов достигается их гидрофобизацией. Внутренние поверхности подшипникового щита 7 и концевой прилива 5 покрыты электроизоляционной эмалью. Якорь электродвигателя 4

состоит из вала, выполненного из нержавеющей стали, на который на накатке напрессован пакет из листов электротехнической стали.

Коллектор, выполненный из меди и спрессованный пластмассой, напрессован на вал также на накатке. Пакет стали якоря имеет семь круглых пазов, в которые уложена шаблонная петлевая обмотка, выполненная из медного обмоточного провода с эмалевой изоляцией.

Пазовая изоляция выполнена из электрокартона. Паза закрыты гетинаксовыми клиньями. Обмотка якоря с целью придания ей монолитности и влагостойкости пропитана электроизоляционным лаком. На валу якоря установлены два радиальных однорядных шарикоподшипника 8. Регулировка величины осевого люфта производится регулировочными шайбами 9. Для предотвращения попадания смазки из шарико-подшипников на коллектор и щеточной пыли в шарикоподшипники на валу якоря установлены маслозащитные шайбы 10. Суппорт 6 выполнен из пластмассы и изолирован дополнительно от подшипникового щита изоляционной прокладкой. Головки винтов, крепящих суппорт к подшипниковому щиту 7, залиты электроизоляционной шпатлевкой. На суппорте на осях установлены щеткодержатели куркового типа, к которым припаяны электрощетки. Марка электрощеток зависит от напряжения питания электродвигателя. Щеточное давление обеспечивается спиральными ленточными пружинами. Оси, щеткодержатели и пружины выполнены из бронзы. Токоподвод к осям от контактных стоек осуществляется через шинки, расположенные в углублениях на торцевой поверхности суппорта, обращенной к подшипниковому щиту. Оси, шинки и контактные стойки для обеспечения надежной пайки посеребрены. К контактным стойкам припаяны выводные концы, выполненные из цветного гибкого монтажного провода. Цвет выводных концов — красный (розовый, малиновый) и

синий (цвет морской волны). Выводные концы выходят из корпуса электродвигателя через латунную посеребренную втулку, которая обеспечивает механическую защиту выводных концов и одновременно может быть использована для присоединения экранирующей оплетки. Выходной конец вала имеет сегментную шпонку, резьбу и упорный буртик, предназначенные для соединения электродвигателя с приводным механизмом.

Конструкция микроэлектродвигателей серии ДПМ исполнения Н2 отличается от приведенной на рис. 10 конструкции исполнения Н1 только наличием второго конца вала со стороны подшипникового щита 7. Второй конец вала по размерам и конструкции полностью аналогичен выходному концу вала со стороны, противоположной коллектору.

Конструкция микроэлектродвигателей серии ДПМ исполнения Н3 приведена на рис.3.11.

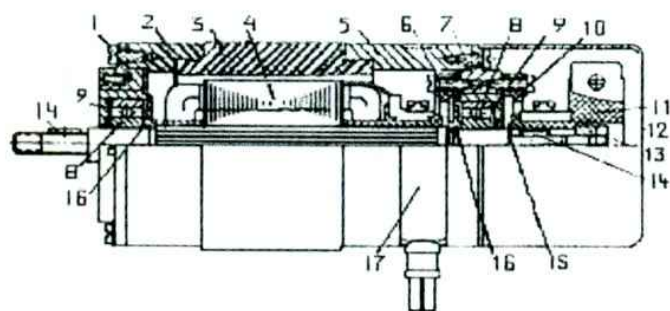


Рис.3.11. Конструкция микроэлектродвигателя серии ДПМ исполнения Н3

Электродвигатель исполнения Н3 построен на базе исполнений Н1 и Н2. Корпус электродвигателя, состоящий из магнита 3 и приливов 2 и 5, подшипниковый щит 1, шарикоподшипники 8, регулировочные шайбы 9, шпонки 14,

маслозащитные шайбы 16 и защитная лента 17 (последним трем на рис. 3.11 соответствуют позиции 12, 10, 11), а также суппорты со щеткодержателями 6 и 10 заимствованы из исполнения Н1, якорь электродвигателя 4 — из исполнения Н2. Суппорт со щеткодержателями 10 отличается от суппорта со щеткодержателями 6 только расцветкой выводных концов (желтый и зеленый или белый). Подшипниковый щит 7 на рис. 3.11 отличается от щита 7 на рис. 3.10 наличием приливов, предназначенных для крепления крышки стабилизатора 12. Крышка стабилизатора выполнена из латуни и имеет хромовое покрытие. Центробежный стабилизатор скорости вращения 11 установлен на выходном конце вала со стороны коллектора. Стабилизатор фиксируется от проворота сегментной шпонкой 14 и крепится на валу гайкой 13. Осевое положение стабилизатора регулируется шайбами 15.

Основой стабилизатора является корпус из пластмассы с запрессованной в него центральной латунной втулкой. В корпус запрессованы два медных полукольца, через которые осуществляется токоподвод от суппорта 10 к двум контактным группам стабилизатора. На корпусе стабилизатора с помощью винтов закреплены пружины с контактами, упоры, ограничивающие ход пружин, и контактные латунные лепестки, к которым припаиваются выводы от полуколец. Пружины стабилизатора выполнены из сплава с высокой температурной стабильностью модуля упругости. Упоры выполнены из стали и для обеспечения надежного токоподвода к пружинам посеребрены. С этой же целью посеребрены и контактные лепестки. В корпус стабилизатора запрессованы латунные резьбовые втулки с припаянными к ним посеребренными латунными лепест-резьбовые втулки ввернуты латунные винты с припаянными к ним контактами. Для обеспечения надежного токоподвода резьбовые втулки и винты посеребрены.

Регулировка величины стабилизируемой скорости

вращения электродвигателя осуществляется перемещением винта с контактом, за счет чего изменяется натяг пружины. В требуемом положении винты с контактами контрятся с помощью специальных гаек.

На корпусах электродвигателей серии ДПМ выгравированы обозначение и заводский номер электродвигателя. Пример расшифровки обозначения электродвигателя ДПМ-20-Н1-01: ДПМ — электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов; 20 — наружный диаметр корпуса, 52мм, Н1 — исполнение с одним выходным концом вала; 01 — порядковый номер исполнения по номинальным данным. Электродвигатель серии ДПМ с аналогичными номинальными данными исполнения Н2 будет иметь обозначение ДПМ-20-Н2-01. Исключение из этого правила составляют следующие электродвигатели:

а) аналогом электродвигателя ДПМ-30-Н1-01 по номинальным данным является электродвигатель ДПМ-30-Н2-02, а не ДПМ-30-Н2-01;

б) аналогом электродвигателя ДПМ-30-Н1-02 является электродвигатель ДПМ-30-Н2-01.

На корпусах электродвигателей выгравированы обозначение и заводской номер двигателя. Пример расшифровки обозначения электродвигателя ДПМ – 20 – Н1 – 01:

ДПМ – электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов;

20 – наружный диаметр корпуса, мм;

Н1 – исполнение с одним выходным концом вала;

01 – порядковый номер исполнения по данным.

Электродвигатель серии ДПМ с аналогичными номинальными данными исполнения Н2 будет иметь обозначение ДПМ – 20 – Н2 – 01. Исключение из этого правила составляют следующие электродвигатели:

1. Аналогом электродвигателя ДПМ – 30 – Н1 – 01 по номинальным данным является электродвигатель ДПМ – 30 – Н2 – 02, а не ДПМ – 30 – Н2 – 01.
2. Аналогом электродвигателя ДПМ – 30 – Н1 – 02 является электродвигатель ДПМ – 30 – Н2 – 01.

Пример обозначения электродвигателя серии ДПМ исполнения НЗ: ДПМ-20-НЗ-01.

Технические данные двигателей ДПМ приведены в табл. 3.4 – 3.6.

Таблица 3.4

Технические данные двигателей ДПМ-Н1, Н2

ТИП ДВИГАТЕЛЯ	U _н , В	P _{2 ном} , Вт	n ном, об/мин	M _{ном} , мН·м	M _п , мН·м	I _{ном} , А	I _п , А	КПД, %	t _р , ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДПМ-20-Н1, Н2-01	29	0,46	9000	0,49	4,9	0,1	0,7	16	200
ДПМ-20-Н1, Н2-02	27	0,41	4000	0,98	1,96	0,11	0,3	14	250
ДПМ-20-Н1, Н2-04	6	0,04	2000	0,196	0,59	0,1	0,3	7	500
ДПМ-20-Н1, Н2-05	14	0,04	2000	0,196	0,98	0,07	0,15	4	500
ДПМ-20-Н1, Н2-08	27	0,92	4500	1,96	3,92	0,2	0,5	17	250
ДПМ-20-Н1-08Т	27	0,92	4500	1,96	3,43	0,25	0,5	14	3000*
ДПМ-20-Н1, Н2-12	12	1,23	6000	1,96	4,9	0,4	1,5	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-12А	14	1,1	6000	1,76	4,9	0,3	1	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-13	12	0,69	4500	1,47	3,92	0,28	0,8	21	250
ДПМ-20-Н1, Н2-16	6	0,91	9000	0,98	5,9	0,65	4,5	24	250

Продолжение табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДПМ-20-Н1, Н2-17	6	0,92	6000	1,47	5,9	0,65	2,5	24	350
ДПМ-25-Н1, Н2-01	29	3,22	9000	3,43	5,9	0,4	2,5	28	100
ДПМ-25-Н1, Н2-02	27	0,46	3800	2,94	9,8	0,13	0,6	13	500
ДПМ-25-Н1, Н2-02А	27	0,46	4500	0,98	4,9	0,1	0,6	17	500
ДПМ-25-Н1, Н2-03	12	2,77	6000	4,41	9,8	0,85	3,5	27	300
ДПМ-25-Н1, Н2-04	27	1,28	2500	4,9	7,85	0,22	0,5	22	1000
ДПМ-25-Н1, Н2-05	27	1,28	2500	4,9	7,85	0,28	0,8	30	800
ДПМ-25-Н1, Н2-07	15	2,31	4500	4,9	11,8	0,28	1	30	500
ДПМ-25-Н1-07Г	27	2,54	4500	5,39	12,3	0,35	1	27	3000*
ДПМ-25-Н1, Н2-10А	14	2,31	4500	4,9	11,8	0,55	2	30	500
ДПМ-25-Н1Г-01	27	1,85	9000	1,96	11,8	0,38	2,3	18	100

*Число циклов.

Таблица 3.5

Технические данные двигателей ДПМ-НЗ

ТИП ДВИГАТЕЛЯ	U, В	P2 ном Вт	пном, об/мин	Мном, мН*м	Мп, мН*м	Іном, А	Іп, А	КПД, %	Тг,	бп, %	Направление вращения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ДПМ-20-НЗ-01	27	0,92	9000	0,98	4,9	0,24	1,5	14	50	+4	Левое

Продолжение табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ДПМ-20-НЗ-09	12	0,92	4500	1,96	3,92	0,55	1,5	14	100	4	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-01	27	0,62	6000	0,98	11,8	0,37	2,5	6	150	3	
ДПМ-25-НЗ-02А	28	2	9000	2,16	11,8	0,8	5	9	50	4	Правое
ДПМ-25-НЗ-02Б	27	3,7	9000	3,92	9,8	0,75	5	18	30000*	5	Левое
ДПМ-25-НЗ-02Г	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	12	50	3	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-03	12	0,62	6000	0,98	11,8	0,6	5	9	150	3	Левое
ДПМ-25-НЗ-03А	14	1,85	6000	2,94	9,8	0,9	6,8	15	150	3	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-04	28	2,47	1200 0	1,96	11,8	0,65	5	14	30	+3 -5	Правое
ДПМ-25-НЗ-05	24	0,92	4500	1,96	9,8	0,4	1,5	10	50	4,5	Правое
ДПМ-25-НЗ-09	24	1,23	6000	1,96	9,8	0,45	3	11	50	4	Левое
ДПМ-25-НЗ-16	27	3	5200	5,49	9,8	0,7	3	16	100	+4 -6	Правое
ДПМ-25-НЗТ-01Б	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	12	50	3}	Правое
ДПМ-25-НЗ-01	27	6,47	9000	6,86	39,2	1	6,5	24	50	4}	Левое
ДПМ-25-НЗ-01А	23	6,47	9000	6,86	29,4	1,25	8,5	23	50	4}	
ДПМ-25-НЗ-02	28	2,47	1200 0	1,96	19,6	1	8	9	30	2	Правое

*Число циклов

Примечание. бп – точность стабилизации частоты вращения

Таблица 3.6

Технические данные двигателей ДПМ-Н6

Тип двигателя	Регулятор скорости	Ином. А	Мп, мН*м	КПД, %	бп, %	n, ч	Направление вращения	Вибрационные нагрузки		Ударные нагрузки м/с ²	Температура окружающей среды, С		Относительная влажность воздуха при температуре 25 С
								Диапазон частот, Гц	ускорение м/с ²		Верхнее значение	Нижнее значение	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04А	0.6	14.7	19	0.5	150	Правое	1 – 2500	150	400	50	-40	98
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-05	0.8 5	9.8	26	1	150	Правое Левое	1 – 2500	300	-	50	-50	98***
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04	0.6	9.8	19	1	150	То же	1 – 2500	300	-	50	-50	98***
ДПМ-30-Н6-02	РС-3-02Д	0.7 5	24.5	15	0.7	100	Правое	1 – 2500	150	400	50	-40	98
ДПМ-30-Н6-02И	РС-3-02	0.7 5	34.3	15	0.5	300	»	1 – 4000	150	-	70* 50* *	-40	98
ДПМ-30-Н6-02И	РС-0-02	0.7 5	34.3	15	-	300	»	1 – 4000	150		70* 50* *	-40	98

* Двигателя.

** Регулятора скорости.

*** При температуре 40 С.

Примечание. Для двигателя ДПМ-30-Н6-02И с РС-0-02 значения бп определяются частотой тока внешней синхронизации.

Конструкция и технические данные электродвигателей постоянного тока серии ДПР

Двигатели ДПР выполняются с возбуждением от постоянных от постоянных магнитов, с полым бескаркасным якорем. Двигатели объединены в несколько серий, отличающихся друг от друга основными параметрами, режимами работы и условиями эксплуатации. Двигатель каждой серии имеет четыре конструктивных исполнения:

Н1, Н4, Н5 – нормальное с одним выходным концом вала;

Н2, Н7, Н8, Н9 – нормальное с двумя выходными концами вала (размеры концов вала одинаковые);

Ф1, Ф4, Ф5 – фланцевое с одним выходным концом вала;

Ф2, Ф7, Ф8, Ф9 – фланцевое с двумя выходными концами вала.

Кроме двигателей, объединенных в серию, имеются модификации, выполненные в одном конструктивном исполнении (ДПР – 32 – Ф1 – 13, ДПР – 42 – Ф1 – 0,5 ДПР – 72 – Н5 – 05), а также двигатели с таходатчиком (ТИ или ТС) и с электронными регуляторами частоты вращения (РС), выполненными в виде отдельного блока.

Регуляторы частоты вращения подразделяются на статические (РС – 3) и астатические (РС – 0). Для двигателей с астатическими регуляторами напряжение внешней синхронизации (40 ± 3) В частотой $(1000 \pm 0,25)$ Гц синусоидальной или прямоугольной формы. Не допускается включение РС на обратную полярность, поскольку это может привести к выходу их из строя.

Режим работы – продолжительный. Двигатели ДПР – Н4, Н7, Ф4, Ф7 могут также работать при повторно-кратковременном реверсивном режиме при питании напряжением синусоидальной формы, амплитудой до 6 В,

частотой для двигателей ДПР – 42, 52 до 6 Гц, ДПР – 62, 72 до 2,5 Гц (продолжительность работы не более 60 мин. С последующим перерывом не менее 60 мин.).

Двигатели ДПР – Н5, Н9, Ф5, Ф9 предназначены для работы также при питании от импульсного модулятора, обеспечивающего среднее значение напряжения на выводных концах двигателя 20 В, частоту импульсов 500 Гц и скважность импульсов 0,2, форма импульса – прямоугольная.

Основные технические данные двигателей ДПР – Н1, Н2, Ф1, Ф2 приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7
Технические данные двигателей ДПР – Н1, Н2, Ф1, Ф2

Тип двигателя	U, В	P _{2ном} , Вт	P _{ном} , мН·м	M _{ном} , мН·м	M _п , мН·м	I _{ном} , А	I _п , А	КПД, %	t _ч , ч
ДПР-2-Н1, Н2, Ф1, Ф2-01	12	0,92	9000	0,98	2,16	0,195	1,1	39	300
ДПР-2-Н1, Н2, Ф1, Ф2-13	6	0,12	6000	0,196	1,57	0,1	0,7	20	300
ДПР-32-Н1, Н2, Ф1, Ф2-07	12	0,92	4500	1,96	5,4	0,21	1,1	36	2000
ДПР-32-Н1, Н2, Ф1, Ф2-08	12	0,64	2500	2,45	4,9	0,18	0,7	29	2000
ДПР-42-Н1, Н2, Ф1, Ф2-02	27	3,1	6000	4,9	19,6	0,24	1,8	48	1000
ДПР-42-Н1, Н2, Ф1, Ф2-03	27	2,3	4500	4,9	12,8	0,2	1,15	43	2500
ДПР-42-Н1, Н2, Ф1, Ф2-06	12	3,1	6000	4,9	19,6	0,55	4,7	47	800
ДПР-42-Н1, Н2, Ф1, Ф2-07А	14	2,3	4500	4,9	14,7	0,345	2,4	48	2000
ДПР-52-Н1, Н2, Ф1, Ф2-02	27	6,15	6000	9,8	68,7	0,5	5,5	46	1000
ДПР-52-Н1, Н2, Ф1, Ф2-03	27	4,6	4500	9,8	54	0,32	3,4	53	2500
ДПР-52-Н1, Н2, Ф1, Ф2-04	27	2,6	2500	9,8	29,4	0,24	1,3	40	4000
ДПР-52-Н1, Н2, Ф1, Ф2-07А	14	4,6	4500	9,8	54	0,62	8,0	53	1500
ДПР-62-Н1, Н2, Ф1, Ф2-02	27	12,3	6000	19,6	137,4	0,82	10,5	56	1000
ДПР-62-Н1, Н2, Ф1, Ф2-03	27	9,25	4500	19,6	118	0,7	7,2	49	1000
ДПР-62-Н1, Н2, Ф1, Ф2-07А	14	9,25	4500	19,6	78,5	1,3	11,0	51	1500

Продолжение табл.3.7

ДПР-72-Н1, Н2, Ф1, Ф2-03	27	18,5	4500	39,2	245	1,3	17,5	53	1000
ДПР-32-Ф1-13*	20	-	8000	-	9,8	0,05	-	-	20
ДПР-42-Ф1-05*	20	-	7500	-	18,5	0,085	-	-	20

*Данные приведены для режима холостого хода
 Основные технические данные двигателей ДПР – Н4, Н7, Ф4, Ф7 приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Технические данные двигателей ДПР – Н4, Н7, Ф4, Ф7
 (напряжение питания 27 В, частота вращения 6000 об/мин)

Тип двигателя	$P_{2ном}$, Вт	$M_{ном}$, мН·м	$M_{п}$, мН·м	$I_{ном}$, А	КПД, %
ДПР-42-Н4, Н7, Ф4, Ф7	2,5	3,92	29,4	0,22	42
ДПР-52-Н4, Н7, Ф4, Ф7	6	9,8	93	0,46	48
ДПР-62-Н4, Н7, Ф4, Ф7	16	25,5	196	1	59
ДПР-72-Н4, Н7, Ф4, Ф7	25	39,2	392	1,45	64

Основные технические данные двигателей ДПР – Н5, Н8, Ф5, Ф8 приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Технические данные двигателей ДПР-Н5, Н8, Ф5, Ф8
 (напряжение питания 27 В)

Тип двигателя	$P_{2ном}$, Вт	$n_{ном}$, об/мин	$M_{ном}$, мН·м	$M_{п}$, мН·м	$I_{ном}$, А	$I_{п}$, А	КПД, %	t_r , ч
ДПР-32-Н5, Н8, Ф5, Ф8-02	1	4000	2,45	7,35	0,11	0,6	34	2000
ДПР-42-Н5, Н8, Ф5, Ф8-01	2,5	6000	3,9	26,6	0,21	2,2	44	1200
ДПР-52-Н5, Н8, Ф5, Ф8-01	6	6000	9,8	86,5	0,43	6,6	56	1200
ДПР-62-Н5, Н8, Ф5, Ф8-01	16	6000	25	177	0,97	14,0	64	1000
ДПР-72-Н5, Н8, Ф5, Ф8-01	25	6000	39	344	1,4	27,0	75	1000
ДПР-72-Н5-05*	27	6000	-	303,8	0,3	-	-	50

*Данные приведены для режима холостого хода
 Основные технические данные двигателей ДПР – Н5, Н9, Ф5, Ф9 приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10
 Технические данные двигателей ДПР-Н5, Н9, Ф5, Ф9
 (напряжение питания 20 В, частота вращения 6000 об/мин)

Тип двигателя	$P_{2ном}$, Вт	$M_{ном}$, мН·м	$M_{пр}$, мН·м	$I_{ном}$, А	$I_{пр}$, А	КПД %	t_r , ч
ДПР-42-Н5, Н9, Ф5, Ф9-21	2,5	3,92	24,5	0,34	4	37	300
ДПР-52-Н5, Н9, Ф5, Ф9-21	6	9,8	63,7	0,67	11	45	300
ДПР-62-Н5, Н9, Ф5, Ф9-21	16	25,5	127,5	1,47	19	55	250
ДПР-72-Н5, Н9, Ф5, Ф9-21	25	39,2	236	2,3	31	55	200

Основные технические данные двигателей ДПР с ТИ (ТС) приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11
 Технические данные двигателей ДПР с таходатчиками ТИ (ТС)

Тип двигателя	Таходатчики	U, В	$P_{2ном}$, Вт	$M_{ном}$, мН·м	$M_{пр}$, мН·м	$M_{т}$, мН·м	$I_{ном}$, А	КПД %	t_r , ч	Частота сигнала таходатчика, Гц	Масса, кг
ДПР-62-Н9-02	ТИ-253	20	6,1	3000	19,6	108	0,6	50	3000	375 при n=300 об/мин	0,55
ДПР-62-Н9-07	ТС-217	36	6,1	3000	19,6	98	0,29	57	3000	1000 при n=3000 об/мин	0,55
ДПР-7	ТИ-293	12	3	1500	19,6	151,9	0,48	52	3000	2400 при n=1500 об/мин	0,95

Таблица 3.12
Технические данные двигателей ДПР с регулятором скорости РС

Тип двигателя	Регулятор скорости	P _{ном} Вт	n _{ном} Об/мин	M _{ном} Н·м	M _п Н·м	I _{ном} А	КПД, %	Срок службы, ч	δ _н , %	Вибрационные нагрузки		Ударные нагрузки, м/с	Температура окружающей среды, С	
										Диапазон частот, Гц	Ускорение, м/с		Верхнее значение	Нижнее значение
ДПР-3	РС-3-06	0,9	3000	2,94	3,92	0,35	22	750	3,5	1-2500	150	350	50	-40
ДПР-3	РС-4-08	0,9	3000	2,94	5,88	0,4	19	500	6,7	1-2000	100	150	50	-40
ДПР-32-Н6-02	РС-3-03-М	1,1	6000	1,67	5,88	0,22	18	150	0,5	1-2500	150	400	40	-10
ДПР-32-Н6-03	РС-4-07	0,15	3000	0,49	1,96	0,1	6	500	2	1-2500	150	400	50	-50
ДПР-32-Н6-02	РС-3-12	1,2	6000	1,96	5,88	0,3	15	1000	0,7	1-2500	150	400	50	-50
ДПР-32-Н6-01	РС-3-13	2	9000	2,16	9,8	0,4	19	300	3	1-2500	150	400	50	-50
ДПР-32-Н6-02*	РС-0-08	1,2	6000	1,96	5,88	0,25	18	1000	-	1-2500	150	400	50	-50
ДПР-42-Н6-03	РС-5-10	1,5	30000	4,9	13,72	0,25	22	2000	3	1-5000	120	400	50	-50
ДПР-52-Н6-03	РС-5-11	3	3000	9,8	34,2	0,35	32	2000	3	1-5000	120	400	50	-50

*- Стабильность частоты вращения определяется стабильностью частоты синхронизации.

Примечания: 1. Напряжение питания двигателей ДПР-3 12 В, остальных – 27 В.

2. Относительная влажность воздуха 98% при температуре 35 °С.

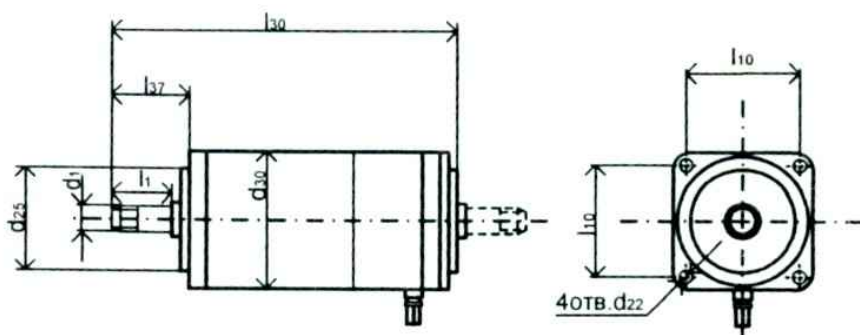


Рис.3.12

Таблица 3.13
Габаритные и установочные размеры, мм, и масса двигателей ДПР, кроме ДПР с ТИ (ТС) и ДПР с РС

Тип двигателя	d_{30}	d_{25}	d_1	d_{22}	l_{30}	l_{37}	l_1	l_{10}	Масса, кг	
ДПР-2-Н1, Н2, Ф1, Ф2	15	12	M2x0,25	1,6	45,6	8,0	7,0	12,4	0,036	
ДПР-32-Н1, Н2, Ф1, Ф2	20	15	M3x0,35	2	56	8,5	7,5	16,6	0,08	
ДПР-32-Н5, Н8, Ф5, Ф8					57				0,09	
ДПР-42-Н1, Н2, Ф1, Ф2	25	17	M3x0,35	2,4	66	10,5	9	21	0,15	
ДПР-42-Н4, Н7, Ф4, Ф7					73				0,18	
ДПР-42-Н5, Н8, Ф5, Ф8					69				0,17	
ДПР-42-Н5, Н9, Ф5, Ф9					69				0,17	
ДПР-52-Н1, Н2, Ф1, Ф2					77,7				25	0,26
ДПР-52-Н4, Н7, Ф4, Ф7					84,5				25,2	0,29
ДПР-52-Н5, Н8, Ф5, Ф8	80,5	0,29								
ДПР-52-Н5, Н9, Ф5, Ф9	80,5	0,29								
ДПР-62-Н1, Н2, Ф1, Ф2	35	22	M4x0,5	3,4	89,7	14	12,5	29,6	0,41	
ДПР-62-Н4, Н7, Ф4, Ф7					96,5				0,45	
ДПР-62-Н5, Н8, Ф5, Ф8					91,5				0,44	
ДПР-62-Н5, Н9, Ф5, Ф9					91,5				0,44	
ДПР-72, Н1, Н2, Ф1, Ф2	40	22	M4x0,5	3,9	104,7	16	14,5	33,6	0,6	
ДПР-72-Н4, Н7, Ф4, Ф7					107,5				0,66	
ДПР-72-Н5, Н8, Ф5, Ф8					103,5				0,67	
ДПР-72-Н5, Н9, Ф5, Ф9					103,5				0,66	

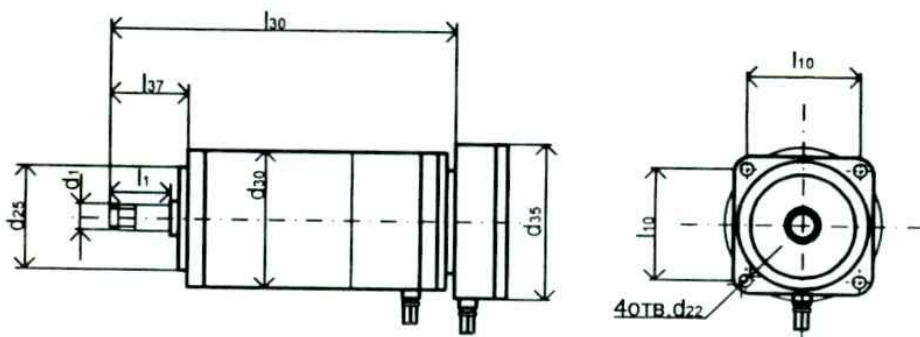


Рис.3.13

Таблица 3.14
Габаритные и установочные размеры, мм, и масса двигателей ДПР с РС

Тип двигателя	Регулятор скорости	d ₃₀	d ₃₅	d ₂₅	d ₁	l ₃₀	l ₃₇	l ₁	Размеры регулятора скорости h x b x l	Масса, г		
										двигателя	регулятора	
ДПР-3	РС-3-06	20	25	15	M3x0,35	70,5	10	7,5	32x59x80	0,11		
ДПР-3	РС-4-08								19x40x50			
ДПР-32-Н6-02	РС-3-03М								57x69x99			
ДПР-32-Н6-03	РС-4-07								32x59x80			
ДПР-32-Н6-02	РС-3-12								36x47x72			
ДПР-32Н6-01	РС-3-13								31x31x55,5			
ДПР-32Н6-02	РС-0-08								32x49x78			
ДПР-42-Н6-03	РС-5-10	25		17	M4x0,5						27x39x71	0,18
ДПР-52-Н6-06	РС-5-11	30	30	22							26x42x74	0,31

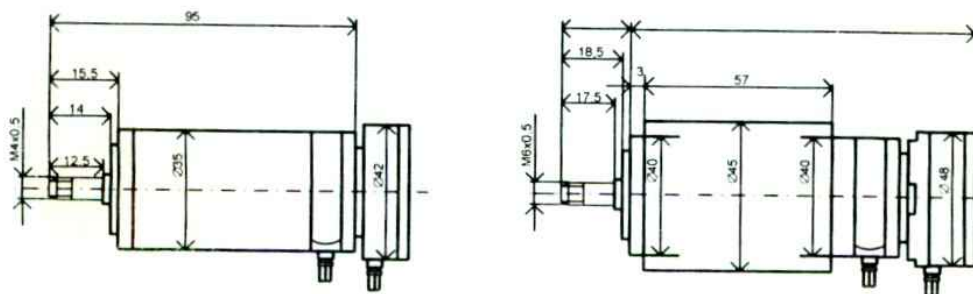


Рис. 3.14

Габаритные и установочные размеры двигателей ДПР-62 с ТИ (ТС) и ДПР-7 с ТИ

Основные технические данные двигателей ДПР с регулятором скорости РС приведены в табл. 3.6, габаритные и установочные размеры и масса двигателей ДПР и ДПР с РС – в табл. 3.7, 3.8, а двигателей ДПР с ТИ (ТС) – на рис 3.14.

3.6. Лабораторные задания

Задание первое. Выполнить эскизы общего вида, а также основных деталей электродвигателя серии ДПМ с необходимыми разрезами и сечениями (электродвигатель соответствующего исполнения выдается преподавателем).

Задание второе. Дать краткое описание принципа действия и конструкции микроэлектродвигателя постоянного тока серии ДПМ.

3.7. Требования к выполнению отчета

1. Отчет выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 (210x297 мм).

2. Отчет должен включать следующее:

Описание принципа действия коллекторного микроэлектродвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

3. Краткое описание конструкции и назначения отдельных элементов электродвигателя серии ДПМ.

4. Описание конструкции должно сопровождаться эскизами, выполненными на миллиметровой бумаге в определенном масштабе с соблюдением требований ЕСКД.

3.8. Контрольные вопросы по выполненной работе

1. Принцип действия двигателя постоянного тока. Основные формулы.

2. Особенности коллекторных двигателей постоянного

тока. Достоинства и недостатки. Области применения.

3. Характеристики двигателей постоянного тока.
Механическая характеристика.

4. Конструктивные исполнения двигателей ДПМ. Схемы включения. Реверсирование.

5. Основные элементы конструкции двигателя ДПМ.

6. Маркировка микроэлектродвигателей серии ДПМ.

4. ИСПЫТАНИЕ КОЛЛЕКТОРНОГО МИКРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

4.1. Цель работы

Целью работы является исследования пусковых, рабочих, механических и регулировочных характеристик коллекторного двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

4.2. Общие указания

Для выполнения лабораторного задания студентам выдаются электродвигатели серии ДПМ.

При снятии характеристик двигателя используются стандартные и нестандартные измерительные приборы: электромагнитный моментомер, регулируемые источники питания, цифровые вольтметры и амперметры, частотомер.

При выполнении измерений необходимо строго руководствоваться правилами техники безопасности при работе на электроустановках в лаборатории и требования при оформлении отчета [1].

Время на выполнение домашнего задания 1 час. Общее время на выполнение лабораторного задания, включая собеседование и отчет по лабораторной работе, 4 часа.

4.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению

Изучить:

- основные характеристики микродвигателей постоянного тока, основные методы измерения момента и частоты вращения электродвигателей;

- особенности конструкций и принцип действия электромагнитных тормозов-моментометров.

Для выполнения домашнего задания следует повторить материал соответствующей лекции, проработать теоретический материал [3-8], а также содержание следующего раздела.

4.4. Вопросы к домашнему заданию

1. Приведите примеры влияния характеристик электродвигателя, применяемого в конкретной радиоаппаратуре на технические характеристики последней;
2. В чем проблема измерения характеристик электродвигателя;
3. В чем особенности методов, применяемых для измерения момента и частоты вращения вала электродвигателя;
4. Особенности конструкции моментометра, применяемого в данной лабораторной работе;
5. Как уменьшить помехи от коллекторного электродвигателя?

4.5. Теоретические сведения

Для правильного выбора и использования электродвигателей необходимо определить расчетным или опытным путем рабочие, механические и регулировочные характеристики электродвигателей.

✓ Рабочие характеристики. Рабочие характеристики микроэлектродвигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов с нестабилизированной скоростью вращения [$n=f(M)$, $I=f(M)$, $P_1=f(M)$ и $\eta=f(M)$] представлены на рис. 4.1.

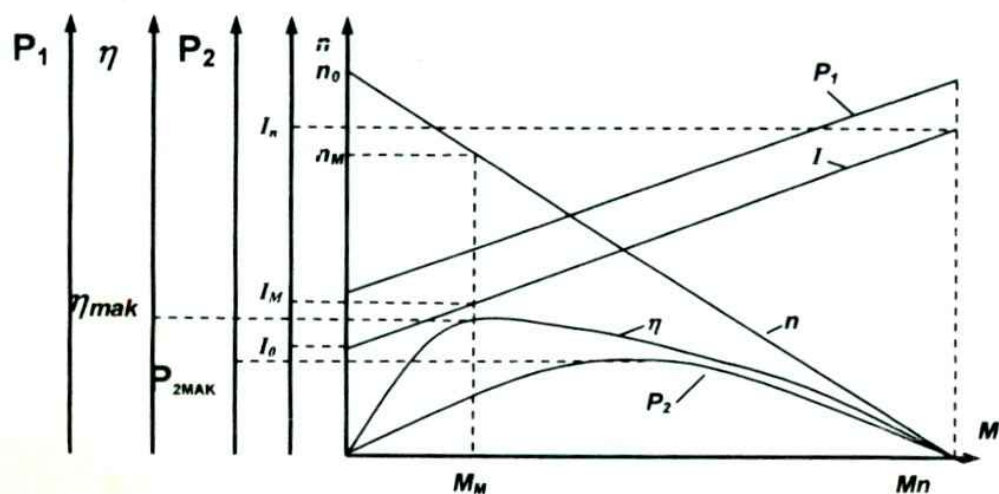


Рис. 4.1. Рабочие характеристики электродвигателя

В зависимости от величины момента нагрузки различаются следующие режимы работы электродвигателя:

а) режим холостого хода

$$M = 0; I = I_0; n = n_0; \quad (4.1)$$

б) режим номинальной нагрузки

$$M = M_n; I = I_n; n = n_n; \quad (4.2)$$

в) режим максимальной мощности

$$P_2 = P_{2 \text{ макс}}; \quad (4.3)$$

г) пусковой режим

$$M = M_n; I = I_n; n = 0; \quad (4.4)$$

где I_0 - ток холостого хода;
 n_0 - скорость вращения при холостом ходе;
 M_n - номинальный момент нагрузки;
 I_n - номинальный ток якоря;
 n_n - номинальная скорость вращения;
 $P_{2\text{макс}}$ - максимальная полезная мощность;
 M_n - пусковой момент;
 I_n - пусковой ток.

✓ Механические характеристики двигателя. Механическая характеристика двигателя постоянного тока представляет собой зависимость скорости вращения n от момента нагрузки M при постоянном значении источника питания:

$$n = f(M). \quad (4.5)$$

Семейство механических характеристик электродвигателей постоянного тока при различных величинах напряжения питания представлена на рис. 4.2.

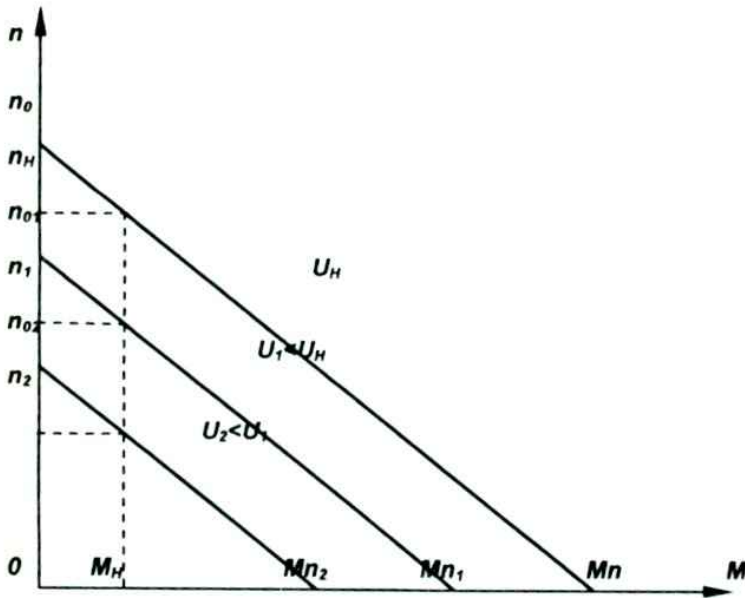


Рис. 4.2. Механические характеристики электродвигателя

Регулировочные характеристики двигателя.

Регулировочная характеристика электродвигателя постоянного тока представляет собой зависимость частоты вращения n якоря двигателя от напряжения питания (на обмотке якоря) при постоянном моменте нагрузки:

$$n = f(u). \quad (4.6)$$

Семейство регулировочных характеристик электродвигателей постоянного тока $n = f(u)$ при различных величинах момента нагрузки представлено на рис. 4.3.

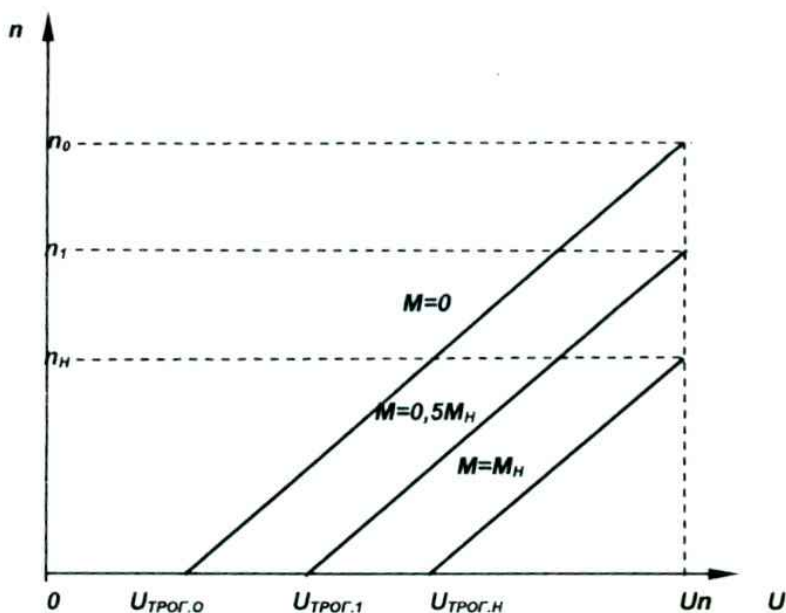


Рис. 4.3. Регулировочные характеристики

4 Измерение момента и частоты вращения. Характеристики электродвигателей снимаются методом непосредственного нагружения с одновременным измерением момента и частоты вращения. Косвенные методы определения характеристик нецелесообразны, так как погрешности измерений косвенными методами соизмеримы с величинами, характеризующими испытуемый объект [6, с.12].

4 Измерение момента. Для измерения вращающих моментов при испытании электродвигателей получили распространение различные тормоза-моментомеры: фрикционные, электродинамические, электромагнитные.

В настоящее время наиболее распространенным прибором является электромагнитный моментомер. На рис. 4.4 представлены конструкции электромагнитного тормоза-моментомера с немагнитным дисковым (а) и с немагнитным цилиндрическим ротором (б).

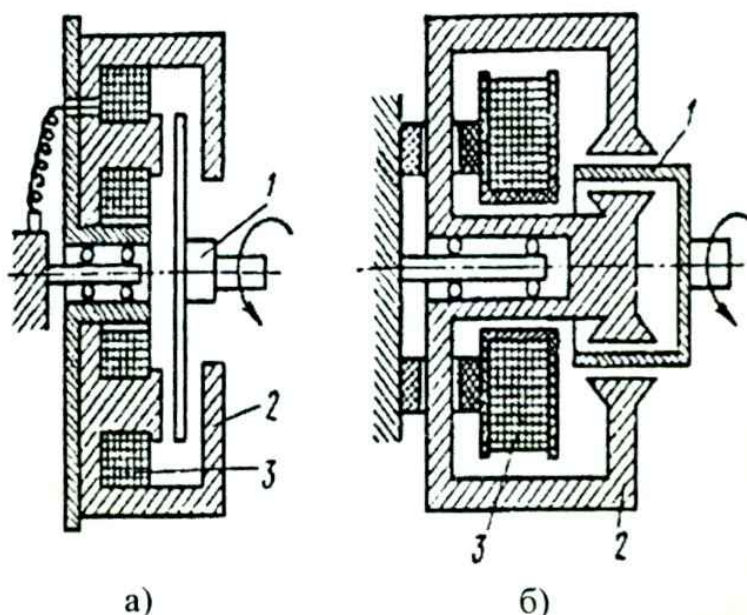


Рис. 4.4. Схема электромагнитных тормозов
1-ротор; 2-статор; 3-обмотка возбуждения

При вращении ротора (рис. 4.4, а) в неподвижном магнитном поле статора, созданного обмоткой возбуждения в нем возникает вихревые токи, магнитные поля которых взаимодействуют с магнитным полем статора и в результате чего статор оказывает тормозящее действие на ротор и отклоняется в ту же сторону, что и ротор. На статоре укрепляется груз-противовес и стрелка для измерения вращающего момента.

Наличие токоподвода к поворачивающимся на шарикоподшипниках электромагнитам создает трудно

учитываемый дополнительный момент, приводящий к погрешностям и снижающий точность измерений, особенно при измерении моментов менее $2\text{ мН}\cdot\text{м}$.

Для ликвидации токоподводов к подвижному измерительному узлу была предложена конструкция тормоза-моментомера с неподвижной обмоткой возбуждения и специальной рамкой магнитопровода (рис. 4.5), в которой реализован принцип электромагнитного тормоза по схеме рис. 4.5, б.

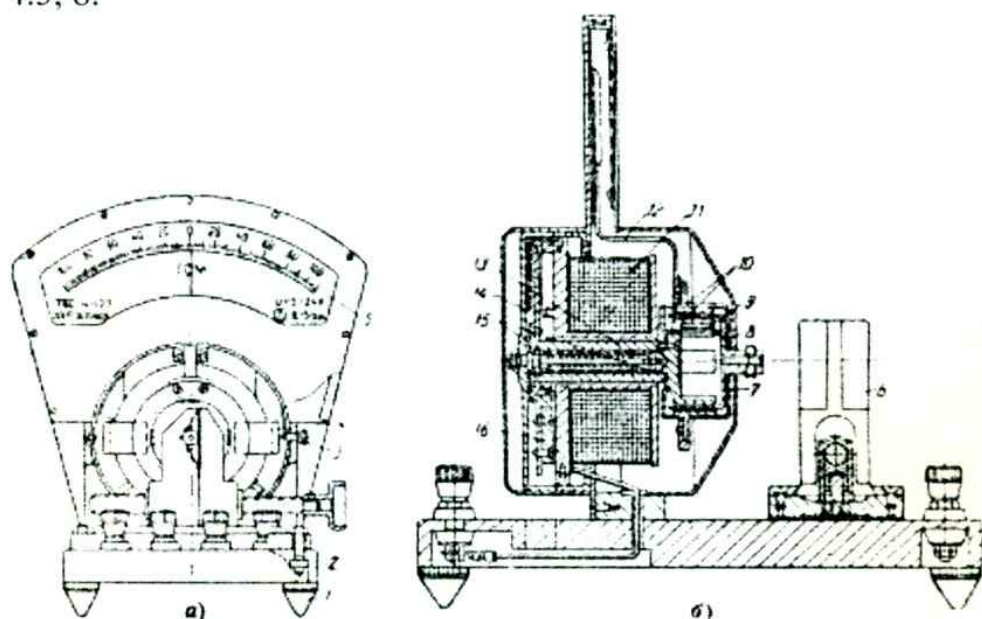


Рис. 4.5. Конструктивная схема тормоза-моментомера
а - общий вид; б - продольный разрез

Тормоз-моментомер имеет измерительный узел, поворачивающийся на шарикоподшипниках 15 или на ножевых опорах. Измерительный узел состоит из рамки-магнитопровода 4 с гильзой 13, полюсных наконечников 10, груза-противовеса 16 на тарировочном диске 14 и стрелки 12, расположенной против шкалы 5. Рамка-магнитопровод 4, гильза 13 и полюсные наконечники 10 создают замкнутую систему, по которой за-

мыкается поток обмоток возбуждения 11. Эта система воспринимает вращающий момент стакана 8, закрепленного на валу испытываемого двигателя и увлекается им в направлении своего вращения. Равный, но противоположно направленный тормозной момент приложен к стакану и к валу испытываемого двигателя.

Груз-противовес 16 и стрелка 12, как обычный маятниковый измерительный механизм, осуществляют измерение вращающего момента, приложенного к магнитопроводу.

Испытываемый двигатель устанавливается в самоцентрирующиеся тиски 6, расположенные на основании 2, одна губка которых несет призму, а другая — прижимную ленту. Для обеспечения соосности прибора и испытываемого двигателя ходовой винт тисков перемещает губки на различные расстояния — губку с призмой на большее расстояние, чем губку с ленточкой. При этом угол призмы связан с шагами резьбы ходового винта следующим соотношением:

$$\sin \varphi/2 = t_r/t_{np}, \quad (4.7)$$

где φ — полный угол призмы;

t_r — шаг резьбы, перемещающей губку с ленточкой;

t_{np} — шаг резьбы, перемещающий губку с призмой.

Для фиксирования измерительного узла при транспортировке прибор имеет арретир 3, а для успокоения стрелки — механический демпфер. Установка стрелки прибора на нуль производится винтами 1.

Прибор имеет кожух 7, предохраняющий измерительный механизм от случайных повреждений. Предусмотрена возможность пломбирования прибора после проверки контролирующими службами.

В настоящее время разработана серия тормозов-моментомеров вышеописанной конструкции, позволяющая

испытывать все типы микродвигателей постоянного и переменного тока, кроме тихоходных (шаговых и редукторных). Серия охватывает диапазоны вращающих моментов 0,5-5000 Г·см и скоростей вращения 750-15000 об/мин. Серия содержит шесть типоразмеров (табл. 4.1).

ТЕС-1 — ТЕС-6. Изменением грузов и шкал получено 18 различных пределов измерения и соответственно 18 различных приборов.

Сокращение ТЕС означает — тормоза единой серии; первая цифра в обозначении указывает на габарит прибора, а последующие — максимальный измеряемый момент в граммосантиметрах.

Тормоза-моментомеры серии имеют класс точности 2,5 хотя их конструкция при незначительной доработке позволяет получить более высокий класс точности.

Таблица 4.1

Наименование	Наибольший тормозной момент, Г·см	При скорости вращения более, об/мин		Момент инерции стакана, кг·см ²	
		с медным стаканом	медного	Дюралюминиевого	С дюралюминиевым стаканом
ТЕС-1-2	2	1500	0,0025	0,00075	4000
ТЕС-1-5	5	3000			9000
ТЕС-2-5	5	500	0,0115	0,0035	1500
ТЕС-2-10	10	1000			3000
ТЕС-2-15	15	2000			5000
ТЕС-2-25	25	4000			9000
ТЕС-3-25	25	500	0,05	0,016	1500
ТЕС-3-50	50	1000			3000
ТЕС-3-100	100	2000			6000
ТЕС-4-50	50	300	0,125	0,04	750

Продолжение табл. 4.1

ТЕС-4-100	100	500			1500
ТЕС-4-200	200	1000			3000
ТЕС-4-400	400	2000			6000
ТЕС-5-500	500	—	—	0,19	1500
ТЕС-5-1000	1000	—			3000
ТЕС-6-2500	2500	—	—	1,45	1500
ТЕС-6-5000	5000	—			3000

Для обеспечения минимального момента инерции нагрузки при испытаниях двигателей в тормозах-моментамерах серии применены тонкостенные алюминиевые токопроводящие стаканы, а не диски.

Применение токопроводящих стаканов, имеющих меньшие диаметры, чем диски, позволило также уменьшить момент вентиляционных потерь до величин, которые можно не учитывать, не выходя при этом за пределы допустимых погрешностей прибора.

Токопроводящие стаканы выполняются не из стали, а из алюминиевого сплава, что обеспечивает устранение радиальных сил тяжения, неизбежно возникающих в случае применения ферромагнитных стаканов из-за неравномерности воздушного зазора. Алюминиевые стаканы не испытывают никаких сил тяжения при любой неравномерности воздушного зазора, что освобождает от дополнительных нагрузок подшипники, и, следовательно, увеличивает точность измерений.

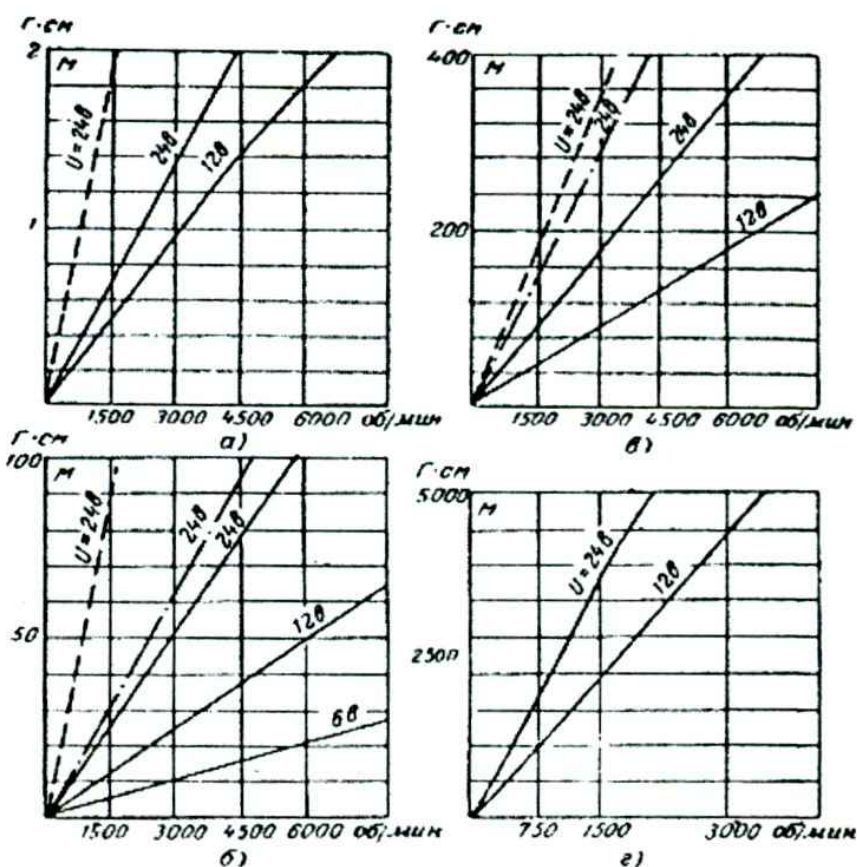
Измерение пускового момента испытываемых двигателей осуществляется путем жесткого сочленения ротора двигателя с измерительным механизмом прибора, для чего одно из трех отверстий в торце стакана совмещают со штифтом 9. Измерение пускового момента возможно в трех различных положениях ротора.

Для изменения нагрузочного момента необходимо

обеспечить подключение тормоза-моментамера к сети постоянного тока с регулируемым напряжением 0 – 24В.

Тормоза-моментамеры потребляют ток не более 0,5А. При отсутствии сети постоянного тока можно обеспечить работу любого прибора серии с помощью блока питания тормоза-моментамера БПТ, который включается в сеть переменного тока с напряжением 220В. Блок питания БПТ понижает напряжение сети, выпрямляет его и позволяет изменять от 0 до 30В. Тормоза-моментамеры единой серии максимально унифицированы. Механические характеристики тормозов-моментамеров — зависимости тормозного момента от скорости вращения (рис. 4.6) — имеют прямолинейный характер.

Изменение напряжения и тока питания тормоза-моментамера и соответственно изменение н. с. обмотки и величины индукции в воздушном зазоре меняет наклон механических характеристик, что позволяет создавать и измерять прибором различные вращающие моменты на валу испытываемого двигателя при одной и той же скорости вращения. Применение посеребренных или медных стаканов позволяет получить более крутую механическую характеристику, т. е. создавать больший тормозной момент при меньших скоростях вращения испытываемого двигателя.



а — ТЕС-1-2; б — ТЕС-3-100;
 в — ТЕС-4-400; г — ТЕС-6-5000;

————— - дюралюминиевый стакан;
 - - - - - медный стакан;
 - · - · - посеребренный стакан.

Рис. 4.6. Нагрузочные характеристики тормозов- моментометров единой серии

Ц Измерение частоты вращения. Диапазон скоростей вращения микродвигателей чрезвычайно широк — от тысячных долей до сотен тысяч оборотов в минуту. В связи с этим в промышленности применяется большое количество различных тахометров.

Можно выделить следующие основные методы измерения скорости вращения:

- а) аналоговый метод прямого преобразования;
- б) метод сравнения;
- в) частотный метод.

Метод прямого преобразования основан на преобразовании частоты вращения в центробежную силу, вращающий момент, электрическое напряжение, давление и т. д., которые в свою очередь преобразуются в удобное для измерения величины — электрический ток, напряжение, угол закручивания пружины. Точность такого метода невысока.

Метод сравнения основан на сравнении измеряемой скорости вращения с эталонной. Этот метод более точен. На основе этого метода строят тахометры: фрикционные, стробоскопические, вибрационные. В стробоскопических тахометрах проводят сравнение скорости вращения исследуемого двигателя с частотой световых импульсов, а в вибрационных — с резонансной частотой вибраторов.

Стробоскопические тахометры позволяют проводить измерения бесконтактным способом. Это является большим их преимуществом, однако они неудобны для измерения быстроменяющихся по величине скоростей вращения, т.к. требуют постоянной настройки на каждую скорость.

При использовании частотного метода датчик прибора преобразует измеряемую скорость вращения в частоту электрических импульсов, которая измеряется частотомером. Частотный метод измерения скорости вращения является точным и совершенным [7]. В данной лабораторной работе для

измерения частоты вращения вала двигателя используется частотный метод, на основе которого изготовлен оптический датчик с использованием светодиодов, являющихся малоинерционными источниками света и фототранзисторов.

Модулятор представляет собой диск с сегментами (рис. 4.7, а), закрепленный на вращающемся валу или нанесенными на нем секторами (рис. 4.7, б) по разному отражающими свет.

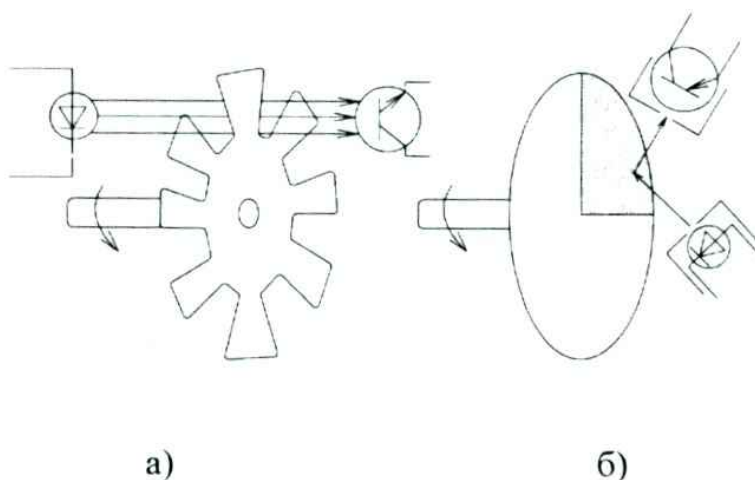


Рис. 4.7. Модуляторы светового потока фотоэлектрических датчиков

4.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению

Задание первое. Ознакомиться с конструкцией исследуемого электродвигателя и его паспортными данными (табл. 4.2 – 4.4).

Таблица 4.2

Технические данные двигателей ДПМ-1, Н-2

Тип двигателя	U, В	P _{2ном} Вт	n _{ном} об/мин	M _{ном*} Н·м	M _{п*} Н·м	I _{ном*} А	I _{п*} А	КПД, %	t, ч
ДПМ-20-Н1, Н2-01	29	0,46	9000	0,49	4,9	0,1	0,7	16	200
ДПМ-20-Н1, Н2-02	27	0,41	4000	0,98	1,96	0,11	0,3	14	250
ДПМ-20-Н1, Н2-04	6	0,04	2000	0,196	0,59	0,1	0,3	7	500
ДПМ-20-Н1, Н2-05	14	0,04	2000	0,196	0,98	0,07	0,15	4	500
ДПМ-20-Н1, Н2-08	27	0,92	4500	1,96	3,92	0,2	0,5	17	250
ДПМ-20-Н1-08Т	27	0,92	4500	1,96	3,43	0,25	0,5	14	3000*
ДПМ-20-Н1, Н2-12	12	1,23	6000	1,96	4,9	0,4	1,5	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-12А	14	1,1	6000	1,76	4,9	0,3	1	26	300
ДПМ-20-Н1, Н2-13	12	0,69	4500	1,47	3,92	0,28	0,8	21	250
ДПМ-20-Н1, Н2-16	6	0,92	9000	0,98	5,9	0,65	4,5	24	250
ДПМ-20-Н1, Н2-17	6	0,92	6000	1,47	5,9	0,65	2,5	24	350
ДПМ-25-Н1, Н2-01	29	3,22	9000	3,43	5,9	0,4	2,5	28	100
ДПМ-25-Н1, Н2-02	27	0,46	3800	2,94	9,8	0,13	0,6	13	500
ДПМ-25-Н1, Н2-02А	27	0,46	4500	0,98	4,9	0,1	0,6	17	500
ДПМ-25-Н1, Н2-03	12	2,77	6000	4,41	9,8	0,85	3,5	27	300
ДПМ-25-Н1, Н2-04	27	1,28	2500	4,9	7,85	0,22	0,5	22	1000
ДПМ-25-Н1, Н2-05	15	1,28	2500	4,9	7,85	0,28	0,8	30	800
ДПМ-25-Н1, Н2-07	27	2,31	4500	4,9	11,8	0,28	1	30	500
ДПМ-25-Н1-07-Т	27	2,54	4500	5,39	12,3	0,35	1	27	3000*
ДПМ-25-Н1, Н2-10А	14	2,31	4500	4,9	11,8	0,55	2	30	500
ДПМ-25-Н1Т-01	27	1,85	9000	1,96	11,8	0,38	2,3	18	100
ДПМ-30-Н1, Н2-01/02	29	6,47	9000	6,86	34,3	0,75	5	30	100
	27	2,67	2600	9,8	19,6	0,3	1	33	800
ДПМ-30-Н1, Н2-02/01	27	4,62	4500	9,8	29,4	0,6	2,5	29	500
	27	6	4500	12,74	24,6	0,85	2,5	26	2000*
ДПМ-30-Н1, Н2-03	26	5,65	5500	9,8	24,6	0,7	3,0	31	300
ДПМ-30-Н1-03Т	27	4,31	6000	6,86	24,6	0,5	3,5	32	300
ДПМ-30-Н1, Н2-04	12	6,16	6000	9,8	34,3	1,4	9	37	200
ДПМ-30-Н1, Н2-05	14	4,62	4500	9,8	27,5	1	5	33	500
ДПМ-30-Н1, Н2-09	12	2,57	2500	9,8	19,6	0,75	2,5	29	600

Продолжение табл. 4.2

ДПМ-30-Н1, Н2-10А	12	2,57	2500	9,8	19,6	0,75	2,5	29	600
ДПМ-30-Н1, Н2-19	27	13,87	9000	14,7	68,6	1,5	11	34	100
ДПМ-35-Н1, Н2-01	27	5,39	3500	14,7	49	0,65	2,5	31	500
ДПМ-35-Н1, Н2-02	6	4,25	1800	22,6	34,3	2,5	8,5	28	1000
ДПМ-35-Н1-03	27	12,32	6000	19,6	68,6	1,3	6	35	200
ДПМ-35-Н1, Н2-04									

Таблица 4.3

Технические данные двигателей ДПН-НЗ

Тип	U, В	P _{2ном} , Вт	П _{ном} , об/мин	M _{ном} , Н·м	M _н , Н·м	I _{ном} , А	I _н , А	КПД, %	t, ч	δn, %	Направление вращения
ДПМ-20-НЗ-01	27	0,92	9000	0,98	4,9	0,24	1,5	14	50	±4	Левое
ДПМ-20-НЗ-09	12	0,92	4500	1,96	3,92	0,55	1,5	14	100	±4	Правое
ДПМ-25 НЗ-01	27	0,62	6000	0,98	11,8	0,37	2,5	6	150	±3	Левое
ДПМ-25-НЗ-02А	28	2	9000	2,16	11,8	0,8	5	9	50	±4	Правое
ДПМ-25-НЗ-02Б	27	3,7	9000	3,92	9,8	0,75	5	18	3·10 ⁺ *	±5	Левое
ДПМ-25-НЗ-02Г	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	9	150	±3	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-03	12	0,62	6000	0,98	11,8	0,6	5	9	150	±3	Левое
ДПМ-25-НЗ-03А	14	1,85	6000	2,94	9,8	0,9	6,8	15	150	±3	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-04	28	2,47	12000	1,96	11,8	0,65	5	14	30	+3 -5	Правое
ДПМ-25-НЗ-05	24	0,92	4500	1,96	9,8	0,4	1,5	10	50	±4, 5	Правое Левое
ДПМ-25-НЗ-09	24	1,23	6000	1,96	9,8	0,45	3	11	50	±4	Правое
ДПМ-25-НЗ-16	27	3	5200	5,49	9,8	0,7	3	16	100	±4	Правое
ДПМ-25-НЗ-01Б	28	2	9000	2,16	11,8	0,6	5	12	50	±3	Правое Левое
ДПМ-30-НЗ-01	27	6,47	9000	6,86	39,2	1	6,5	24	50	±4	Правое Левое
ДПМ-30-НЗ-01А	23	6,47	9000	6,86	29,4	1,25	8,5	23	50	±4	Правое Левое
ДПМ-30-НЗ-02	28	2,47	12000	1,96	19,6	1	8	9	30	±2	Правое

Примечание. δ_n — точность стабилизации частоты вращения; * - число циклов.

Таблица 4.4
Технические данные двигателей ДПМ-Н6

Тип двигателя	Регулятор скорости	$I_{ном}, А$	Мп, мН·м	КПД, %	$\delta_n, \%$	$t, ч$	Направление вращения	Вибрационные нагрузки		Ударные нагрузки	Температура окружающей среды		Отн. влажность воздуха при 25 °С
								диапазон частот, Гц	ускорение, м/с		Верх. знач.	Ниж. знач.	
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04А	0,6	14,7	19	0,5	150	Правое	1-2500	150	400	50	-40	98
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-05	0,85	9,8	26	1	150	Правое Левое	1-2500	300	-	50	-50	98***
ДПМ-25-Н6-02	РС-3-04	0,6	9,8	19	1	150	То же	1-2500	300	-	50	-50	98***
ДПМ-30-Н6-02	РС-3-02Д	0,75	24,5	15	0,7	100	Правое	1-2500	150	400	50	-40	98
ДПМ-30-Н6-02И	РС-3-02	0,75	34,3	15	0,5	300	»	1-4000	150	400	70* 50*	-40	98
ДПМ-30-Н6-02И	РС-0-02	0,75	34,3	15	-	300	»	1-4000	150	-	70* 50*	-40	98

- * Двигателя.
- ** Регулятора скорости.
- *** При температуре 40°C.

Примечание. Для двигателя ДПМ-30-Н6-02И с РС-0-02 значения δ_n определяются частотой тока внешней синхронизации.

Задание второе. Собрать схему испытания двигателя согласно рис. 4.8.

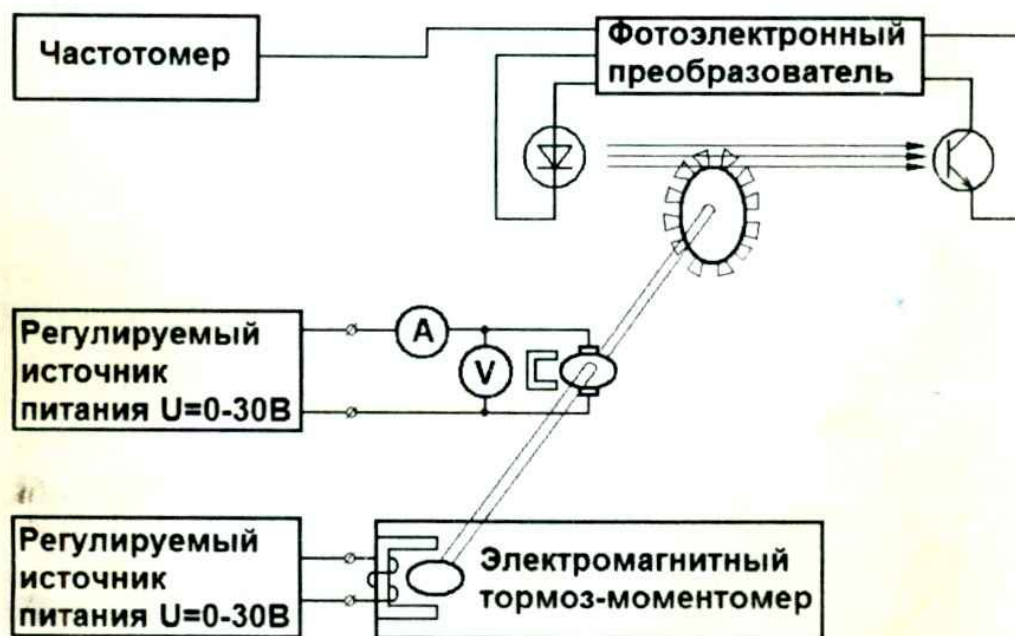


Рис. 4.8. Схема включения приборов для контроля параметров электродвигателя

Задание третье. Снять рабочие характеристики двигателя. Для снятия и последующего построения рабочих характеристик испытуемого двигателя на этот электродвигатель необходимо подать $U=U_{ном}$.

Затем электромагнитным тормозом изменять момент нагрузки на валу электродвигателя от $M=0$ до $M=M_{\Pi}$ согласно данным табл. 4.5 и при фиксированном моменте измерить соответствующие параметры электродвигателя: n , I .

Таблица 4.5

Параметры	Устанавливаемый тормозной момент, M , мН·м										Примечан.	
M , мН·м												устанавливается
f , Гц												измеряется
n , об/мин												рассчитывается
I , А												измеряется
P_1 , Вт												рассчитывается
P_2 , Вт												рассчитывается
η , %												рассчитывается

Значение частоты вращения n вала электродвигателя при использовании на нем оптического диска с количеством черных секторов (или прорезей) равных K :

$$n = n_1 / K, \text{ об/мин}; \quad (4.8)$$

где n_1 — показания частотомера, при использовании входа «об/мин» и

$$n = f \cdot 60 / K, \text{ об/мин} \quad (4.9)$$

где f — показания частотомера, Гц, при использовании входа «измерение частоты, Гц».

Параметры P_2 — механическая полезная мощность,

развиваемая на валу, P_1 — потребляемая мощность, η — КПД двигателя рассчитать по формулам:

$$P_2 \approx 0,105M \cdot n, \text{ Вт} \quad (4.10)$$

где M — Н·м, n — об/мин;

Соответственно:

$$P_{2\text{НОМ}} \approx 0,105 M_{\text{НОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}}, \text{ Вт} \quad (4.11)$$

$$P_1 = U \cdot I, \text{ Вт} \quad (4.12)$$

$$\eta = (P_2 / P_1) 100\% \quad (4.13)$$

Для измерения пускового тока I_{Π} якорь электродвигателя затормаживают механическим фиксатором, закрепленным на электромагнитном тормозе. Затем на несколько секунд подают $U = U_{\text{НОМ}}$ двигателя (паспортные данные) и измеряют I_{Π} . После этого сразу же отключают источник питания электродвигателя. Значение I и заносят в табл. 4.5.

По полученным данным строим семейство рабочих характеристик двигателя: $P_1 = f(M)$; $\eta = f(M)$; $P_2 = f(M)$; $I = f(M)$; $\eta = f(M)$ на которых отмечаем также n_0 ; I_0 ; $n_{\text{Н}}$; $I_{\text{Н}}$; $\eta_{\text{МАХ}}$; $P_{2\text{МАХ}}$.

M_{Π} находят аппроксимированием зависимости $U = f(M)$.

По полученным данным заполнить таблицу 4.6 и сравнить эти данные с характеристиками испытуемого электродвигателя, указанными в табл. 4.2 – 4.4

$P_{2\text{НОМ}}$, Вт
 $M_{\text{НОМ}}$, Н·м

Таблица 4.6

Тип двигателя	U, В	I_0 , А	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$P_{2\text{НОМ}}$, Вт	P_1 , Вт	$M_{\text{НОМ}}$, Н·м	$M_{\text{П}}$, Н·м	$I_{\text{НОМ}}$, А	$I_{\text{П}}$, А	КПД, %

Задание четвёртое. Снять механические характеристики электродвигателя. Для снятия механических характеристик двигателя устанавливают напряжение питания двигателя $U = U_{\text{НОМ}}$. Затем с помощью регулятора момента нагрузки (электромагнитного тормоза) изменяют величину нагрузочного момента от нуля до номинального значения. Семейство механических характеристик снимается для нескольких значений напряжения питания: $U = U_{\text{НОМ}}$; $U = 0,75 U_{\text{НОМ}}$; $U = 0,5 U_{\text{НОМ}}$; $U = 0,25 U_{\text{НОМ}}$.

Результаты измерений записываются в табл. 4.7. По результатам измерений строят семейство механических характеристик.

Таблица 4.7

$U = U_{\text{НОМ}}$	М									
	п									
$U = 0,75 U_{\text{НОМ}}$	М									
	п									
$U = 0,5 U_{\text{НОМ}}$	М									
	п									
$U = 0,25 U_{\text{НОМ}}$	М									
	п									

Задание пятое. Снять регулировочные характеристики двигателя. Регулировочные характеристики снимают для трех значений нагрузочного момента: $M=0$, $M=0,5M_{НОМ}$, $M=M_{НОМ}$.

Меняя напряжение питания двигателя от нулевого значения до $U=U_{НОМ}$ занести результаты измерений заносят в таблицу 4.8 и построить семейство регулировочных характеристик.

Таблица 4.8

$M=0$	$U_{\text{в}}$								
	п								
$M=0,5M_{НОМ}$	U								
	п								
$M=M_{НОМ}$	U								
	п								

4.7. Требования к выполнению отчета

1. Отчет выполняется на стандартных листах А4 (210x297м).
2. Отчет должен включать следующее:
 - схему испытаний двигателя;
 - необходимые формулы и таблицы измерений;
 - построенные на основе измерений основные характеристики микродвигателя: рабочие, механические, регулировочные.

✓ 4.8. Контрольные вопросы по выполненной работе:

1. Основные определения характеристик двигателя: пусковых, рабочих, механических, регулировочных.
2. Объяснить вид рабочих и механических характеристик двигателей постоянного тока.
3. Регулировочные характеристики двигателей постоянного тока.
4. Методы измерения момента и частоты вращения электродвигателя.
5. Конструкции и принцип электромагнитных тормозов-моментомеров.
6. Особенности конструкции моментомера, используемого в лабораторной работе.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧИ УГЛА ПОВОРОТА В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС С СЕЛЬСИНАМИ

5.1. Цель работы

Цель работы – освоение на практике методов измерения погрешностей в передаче угла поворота в электромеханических системах РЭС, использующих сельсины.

5.2. Общие указания

Помимо достижения основной цели, в процессе выполнения экспериментов с сельсинами углубляется понимание положений теории и особенностей использования различных режимов работы сельсинов в конструкциях электромеханических систем РЭС.

В работе исследуются характеристики однофазных сельсинов в двух режимах: индикаторном и трансформаторном. Определяются погрешности передачи угла поворота в индикаторном режиме работы сельсинной системы в зависимости от нагрузки на валу сельсина-приемника, а также отклонения от теоретической зависимости напряжения на обмотке возбуждения сельсина-приемника для различных углов рассогласования при изменении нагрузки на обмотке возбуждения сельсина-приемника в трансформаторном режиме работы сельсинной системы.

При измерениях используются стандартные измерительные приборы: источник постоянного тока Б5-46, вольтметр В3-28. Измерение момента нагрузки производится путем создания эквивалентного момента, равного произведению силы на плечо. Значение силы определяется по известному значению массы калибровочного груза.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 5.1.

В качестве сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП в установке использованы однофазные сельсины типа БД-160А, рассчитанные на напряжение питания $110 \pm 5.5В$, частотой $400 \pm 20Гц$. Обмотка возбуждения СП подключена к питающей сети через переключатель П1, с помощью которого производится переключение режимов работы установки: ИНДИКАТОРНЫЙ РЕЖИМ или ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ РЕЖИМ.

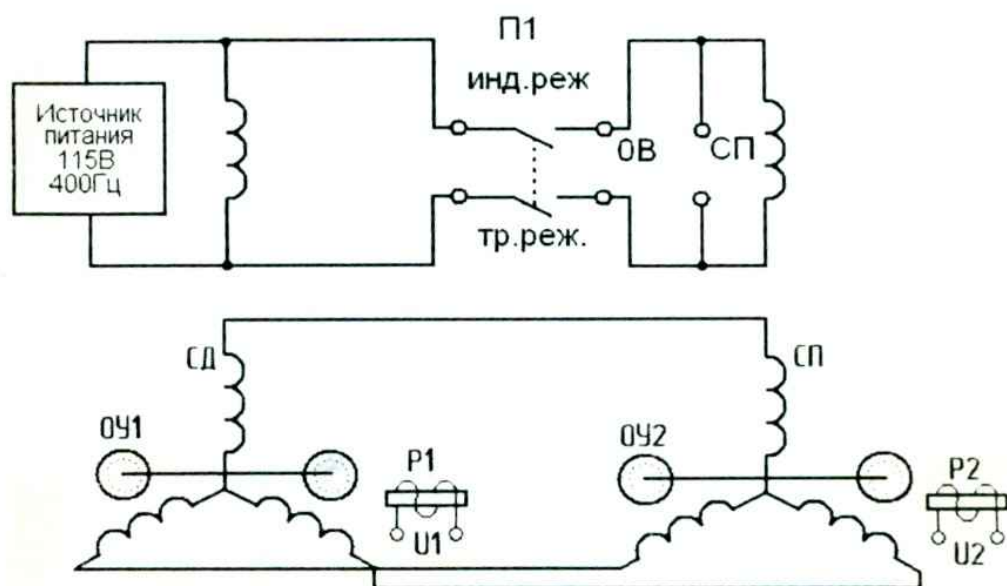


Рис.5.1. Схема лабораторной установки

На валах СД и СП установлены шкальные отчетные устройства ОУ1 и ОУ2.

Для создания сопротивления, препятствующего самопроизвольному повороту ротора СД, используется

электромагнитный тормоз P_1 , запитываемый от внешнего источника постоянного тока. Аналогичный по конструкции электромагнитный тормоз P_2 используется для фиксации ротора СП в трансформаторном режиме работы установки.

Питание установки по сети 115 В, 400 Гц осуществляется от внешнего специального источника питания.

При выполнении измерений необходимо строго руководствоваться правилами техники безопасности при работе на электроустановках в лаборатории и требованиями по оформлению отчета [1].

Время на выполнение домашнего задания 2 часа, общее время на выполнение лабораторного задания, включая собеседование и отчет по лабораторной работе, 4 часа.

5.3. Домашние задания и методические указания по их выполнению

Задание первое. Определить габаритно-установочные и присоединительные размеры, а также основные эксплуатационные параметры сельсина типа БД-160А: тип питающей сети, потребление, класс точности, нагрузочная способности др.

Для выполнения необходимо воспользоваться справочными данными [8].

В заготовке отчета начертить эскиз сельсина с указанием габаритно-установочных и присоединительных размеров; привести основные технические данные, необходимые для конструирования электромеханических систем с сельсинами.

Задание второе. Изучить рабочие характеристики и особенности работы сельсинов в индикаторном режиме.

Для выполнения задания следует проработать материал соответствующей лекции, а также раздел 4 настоящего учебного пособия.

В заготовку отчета занести схему системы синхронной

передачи угла поворота с использованием однофазных сельсинов, работающих в индикаторном режиме, а также график теоретической зависимости синхронизирующего момента $M_{\text{синх}}$ от угла рассогласования для углов рассогласования, лежащих в пределе $\theta \pm \pi/2$; $M_{\text{синх}} = M_{\text{сmax}} \cdot \sin\theta$, где максимальное значение $M_{\text{сmax}}$ на графике берется равным единицы выбранного масштаба. График вычерчивается на бумаге с миллиметровой сеткой.

Задание третье. Изучить рабочие характеристики и особенности использование однофазных сельсинов в трансформаторном режиме. Для выполнения задания следует проработать материал соответствующей лекции, а также раздел 4 настоящего учебного пособия.

Обратить внимание на возможности использования трансформаторного режима включения сельсинов при передаче угла поворота или вращения в системе с большими моментами нагрузки исполнительного механизма. Упрощенная схема такой системы приведены на рис. 5.2.

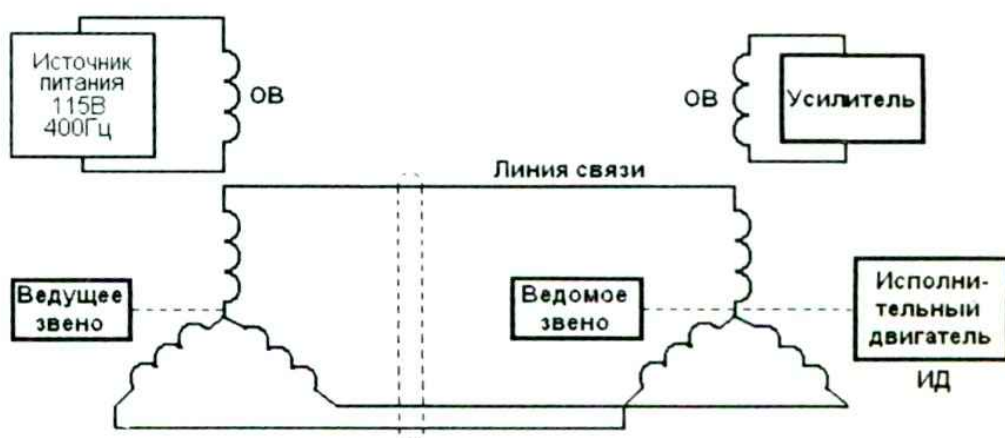


Рис.5.2. Трансформаторный режим включения сельсинов

Принцип действия системы состоит в следующем. В согласованном положении роторов СД и СП величина ЭДС в обмотке статора СП равна максимальному значению ЭДС трансформации.

Если ротор СД вывести из согласованного положения, повернув его на некоторый угол, то ЭДС в обмотке статора СП уменьшится, причем минимальное (ненулевое) значение ЭДС принимает при угле рассогласования, равном $\pi/2$.

Напряжение, снимаемое с обмотки статора СП, усиливается усилителем и подается на исполнительный двигатель ИД, который поворачивает одновременно ротор СП и регулируемый механизм на тот угол, на который повернут ротор СД.

Схема лабораторной установки для изучения трансформаторного режима работы сельсинов отличается от схемы на рис. 1 тем, что в ней отсутствует усилитель и исполнительный двигатель.

В работе исследуется зависимость ЭДС, наведенной в обмотке возбуждения СП, от угла рассогласования сельсинов для различных значений сопротивлений нагрузки R_H , имитирующих входное сопротивление усилителя исполнительного механизма.

В заготовку отчета записать выражение, определяющее теоретическую зависимость действующего значения ЭДС в обмотке возбуждения СП от угла рассогласования.

Изобразить графически эту зависимость на бумаге с миллиметровой сеткой при углах рассогласования, изменяющихся в пределах от 0 до $\pi/2$, приняв E_{dMAX} равным единице выбранного масштаба.

5.4. Вопросы к домашнему заданию:

1. Какие устройства называются сельсинами? Для чего они служат?
2. Объясните принцип действия трехфазных сельсинов?
3. Объясните принцип действия однофазных сельсинов?
4. В чем состоят отличия в конструкции и параметрах трехфазных и однофазных сельсинов?
5. Что такое угол рассогласования сельсинов?
6. Что называется индикаторным режимом работы сельсинов? Когда он применяется?
7. Что называется трансформаторным режимом работы сельсинов? Когда он применяется?
8. Какова зависимость синхронизирующего момента СП, работающего в индикаторном режиме, от угла рассогласования?
9. Какова зависимость э.д.с. в обмотке возбуждения СП, работающего в трансформаторном режиме, от угла рассогласования?
10. Каково влияние нагрузки в цепи обмотки возбуждения СП в трансформаторном режиме работы?

5.5. Теоретическая часть

В современной технике очень часто возникает необходимость синхронизации вращения или поворота различных осей механизмов, находящихся на значительном расстоянии друг от друга и механически между собой не связанных. Эта задача чаще всего решается с помощью электрических систем синхронной связи.

Синхронной связью называется такая электрическая связь, которая обеспечивает одновременное вращение или од-

новременный поворот двух или нескольких механически не связанных, находящихся на расстоянии друг от друга осей механизмов.

В технике получили распространение два основных вида систем синхронной связи: система «электрического вала» (синхронного вращения) и система «передачи угла» (синхронного поворота).

Системы синхронного вращения (электрического вала) применяются там, где требуется осуществить синхронное вращение двух или нескольких находящихся на расстоянии друг от друга осей механизмов, имеющих значительные моменты сопротивления. Они осуществляются с помощью обычных электрических машин, чаще всего трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором. Обмотки роторов двигателей в этом случае соединяются друг с другом, обмотки статоров питаются от одной и той же сети трехфазного тока.

Системы синхронного поворота (передачи угла) применяются для целей дистанционного управления, регулирования или контроля. Чаще всего они осуществляются с помощью небольших индукционных электрических машин — трехфазных или однофазных сельсинов [11].

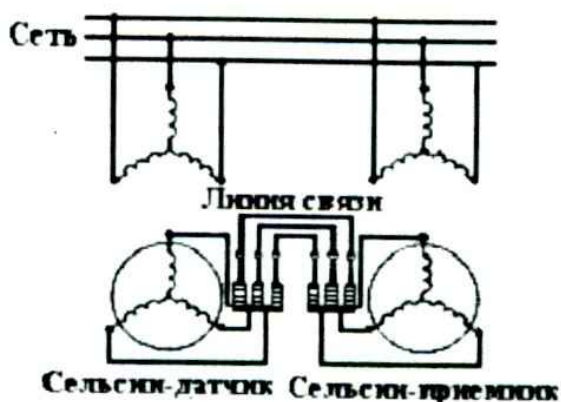


Рис.5.3. Схема включения трехфазных сельсинов

Трехфазные сельсины конструктивно не отличаются от обычных асинхронных машин с фазным ротором. Простейшая трехфазная система синхронной связи представляет собой соединение двух одинаковых сельсинов: *приемника и датчика*. Сельсины включаются в сеть переменного тока своими первичными обмотками, которыми могут быть как обмотки статора, так и обмотки ротора (обычно первичной является обмотка статора). Концы соответствующих фаз вторичных обмоток обоих сельсинов соединяются друг с другом (рис.5.3). В зависимости от порядка следования фаз приемника и датчика сельсины вращаются в одном или разных направлениях.

Системы передачи угла, осуществленные с помощью трехфазных сельсинов, не получили широкого распространения вследствие их недостатков — неравенства синхронизирующих моментов при вращении роторов по полю и против поля, малой динамической устойчивости и необходимости трехпроводной (трехфазной) сети. Наибольшее распространение в настоящее время получили системы «передачи угла», осуществленные с помощью однофазных сельсинов.

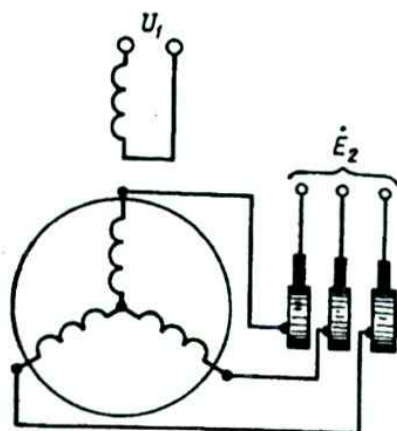


Рис.5.4. Схема однофазного контактного сельсина

Однофазные сельсины — это обычно небольшие индукционные машины, которые имеют однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации. На рис. 5.4 представлена схема однофазного контактного сельсина с обмоткой возбуждения на статоре и с трехфазной обмоткой синхронизации на роторе. В схемах автоматики используются две принципиально отличные друг от друга системы синхронной «передачи угла»: индикаторная и трансформаторная.

Индикаторная система синхронной связи применяется там, где момент сопротивления на ведомой оси мал по величине или совсем отсутствует (ось нагружена стрелкой или шкалой). В индикаторной системе сельсин-приемник самостоятельно отрабатывает угол, задаваемый сельсином-датчиком.

Трансформаторная система синхронной связи применяется там, где на ведомой оси имеется значительный момент сопротивления. В трансформаторной системе принимающий сельсин (сельсин-приемник) отрабатывает задаваемый сельсином-датчиком угол не самостоятельно, а с помощью механически и электрически связанного с ним исполнительного двигателя. Однофазные сельсины делятся на индикаторные и трансформаторные в зависимости от систем, для работы в которых они предназначены, хотя принципиально любой сельсин может работать в обеих системах.

Кроме обычных однофазных сельсинов в схемах синхронной связи применяются еще так называемые дифференциальные сельсины с трехфазными обмотками на статоре и роторе. Дифференциальные сельсины используются либо как вторые датчики, либо как приемники, работающие от двух датчиков, либо как приемники, работающие от двух датчиков.

По конструкции сельсины делятся на контактные, имеющие скользящие контакты — кольца и щетки, и бесконтактные, не имеющие скользящих контактов.

Кроме индукционных однофазных и дифференциальных

сельсинов в системах синхронной связи применяются также магнитоэлектрические машины — магнесины, а также совмещенные сельсины — двигатели и поворотные трансформаторы.

Рассмотрим принцип действия и устройство однофазных контактных двухполюсных сельсинов [8].

При работе в индикаторном режиме конструкции сельсин-датчиков (СД) и сельсин—приемников (СП) одинаковы. Статоры выполнены в виде цилиндров с явно выраженными полюсами, на которых имеется обмотка возбуждения; роторы

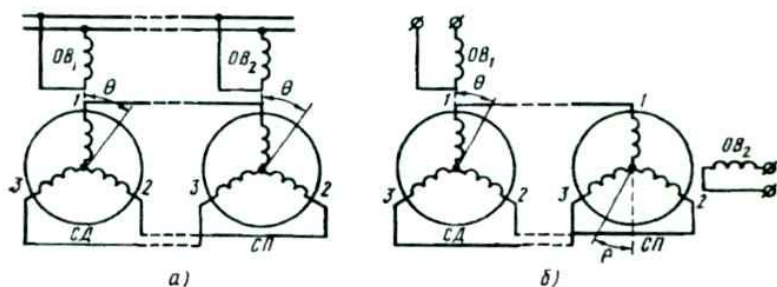


Рис.5.5. Схемы сельсинов при работе в индикаторном (а) и трансформаторном (б) режимах

имеют три катушки синхронизации, оси которых смещены на 120° , т. е. обмотка синхронизации является трехфазной, а фазы соединены звездой (рис. 5.5) [8].

При включении обмоток возбуждения $ОВ_1$ и $ОВ_2$ в сеть однофазного переменного тока в катушках синхронизации 1, 2 и 3 возникает индуцированная э. д. с.; величина и фаза э. д. с. в каждой катушке зависит от положения ротора сельсина относительно полюсов статора.

В индикаторной передаче, работающей в системе СД—СП, при «одинаковой ориентации роторов относительно обмоток возбуждения в каждой паре катушек индуцируются одинаковые ЭДС и ток в линии связи отсутствует. При повороте ротора СД на некоторый угол θ равновесие нарушается, в ли-

нии связи возникают токи, в результате чего на роторе СП появляется вращающий момент — момент синхронизации. Вращение ротора СП под действием момента синхронизации происходит до тех пор, пока в линии связи не исчезнут токи, т. е. пока ротор не отработает тот же угол Θ .

При работе сельсина в трансформаторном режиме (рис. 5.б) ротор СП закреплен. При повороте ротора СД на угол Θ от согласованного положения роторов СД и СП в цепи их линии связи появляется ток, когда обмотка возбуждения $ОВ_1$; включена в сеть переменного тока. В результате этого результирующий поток обмотки синхронизации СП повернется на угол Θ , и на выходной (управляющей) обмотке $ОВ_2$ индуцируется э. д. с., величина и фаза которой зависят от угла и направления потока обмотки синхронизации. ЭДС на обмотке $ОВ_2$ позволяет управлять реверсивным двигателем. СП, работающий в трансформаторном режиме, называют также сельсином-трансформатором.

Недостатки рассмотренной конструкции - наличие контактных колец, снижающих надежность установки и создающих ощутимый момент трения. Поэтому в настоящее время в основном используются бесконтактные сельсины, предложенные А.Г. Иосифьяном и Д.В. Свечарником (рис. 5.6) [10].

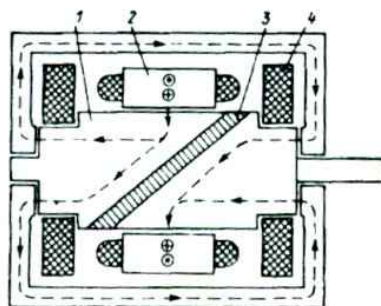


Рис.5.6. Бесконтактный сельсин

1 - ротор; 2 - статор; 3 — немагнитная прокладка; 4 - обмотка

возбуждения.

Возбуждение в бесконтактном сельсине обеспечивается со стороны ротора, но обмотка возбуждения неподвижна. Две тороидальные катушки располагаются на торцах ротора; МДС этих катушек создает пульсирующий магнитный поток, который из-за немагнитной вставки, встроеной под некоторым углом в ротор, вынужден проходить через зазор и замыкаться через статор, как в контактном сельсине. В связи с большими воздушными зазорами габариты и масса бесконтактного сельсина выше, чем у контактного с тем же моментом. Сельсины обычно выполняются на частоту 50 и 400 Гц. [12].

Сельсины, используемые в индикаторных и трансформаторных передачах, характеризуются: напряжением питания и частотой; максимальным и удельным синхронизирующим моментом; моментом трения; наибольшей частотой вращения; погрешностью в угловых градусах.

В бортовой РЭС используют сельсины с напряжением питания 110 В и частотой 400 Гц. Промышленные сельсины имеют напряжение питания 110—127 В и частоту 50 Гц. Погрешности сельсинов зависят от типа и класса точности и составляют от долей до 2—3%.

Кинематическая схема трехшкального устройства с сельсинной дистанционной передачей, оценивающей угол поворота вала антенны в пределах угла $\varphi = \pm 120^\circ$ с погрешностью $\delta\varphi_n = 2,5'$ при средней погрешности сельсина $\delta\varphi_c = 2^\circ$, показана на рис.5.7. [8]

Отсчет угла поворота вала антенны I с требуемой точностью ведется с помощью трехшкального ОУ, указатель каждой шкалы которого посажен на ось соответствующего сельсин-приемника — грубого СПГ, среднего СПС и точного СПТ, связанных электрически с соответствующими сельсинами-датчиками.

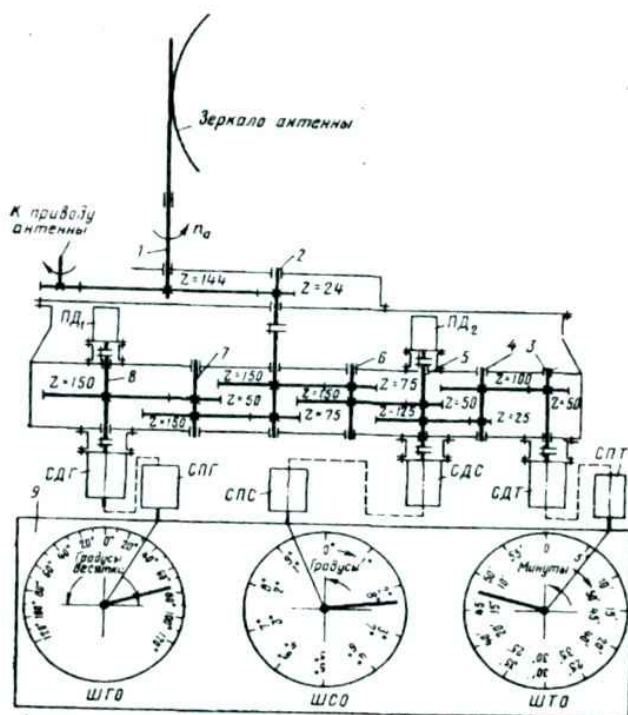


Рис.5.7. Кинематическая схема трехшкального устройства с сельсинной дистанционной передачей

Вал антенны 1 и сельсины-датчики (грубый СДГ, средний СДС и точный СДТ) с помощью муфт и промежуточных валов 2, 4, 6 и 7 соединены с валами 8, 5 и 3. Передаточные отношения между осью вала антенны 1 и осями соответствующих сельсинов датчиков соответственно равны:

$$i_{1,8} = \frac{24 \cdot 150 \cdot 150}{144 \cdot 75 \cdot 50} = 1;$$

$$i_{1,5} = \frac{24 \cdot 75 \cdot 50}{144 \cdot 150 \cdot 150} = \frac{1}{36};$$

$$i_{1,3} = \frac{24 \cdot 75 \cdot 50 \cdot 25 \cdot 50}{144 \cdot 150 \cdot 125 \cdot 100} = \frac{1}{360}.$$

Ускоряющая передача применена для получения необходимой точности отсчета.

Сельсины-приемники и шкалы закреплены на панели 9 ОУ. Таким образом, при указанной редукции один оборот указателя на шкалах грубого (ШГО), среднего (ШСО) и точного (ШТО) отсчетов соответствует 360, 10 и 1°(60').

При цене деления шкалы точного отсчета $N_T=5'$ статическая погрешность отсчета от погрешности сельсина, в среднем равной $\delta\varphi_c=2^\circ$, составляет $\delta\varphi'_c = (\delta\varphi_c)/u_{1-3} = (2 \cdot 60)/360 = 1/3'$. При отсчете с помощью трехшкального ОУ величина угла поворота оси антенны складывается из показаний трех шкал: десятков градусов по ШГО, единиц градусов — по ШСО и минут — по ШТО.

5.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению

Задание первое. Снять зависимость погрешности передачи угла поворота $\Delta\theta = f(M_T)$ от момента нагрузки M_T в индикаторном режиме работы сельсина.

1. Собрать установку по схеме рис. 5.8.

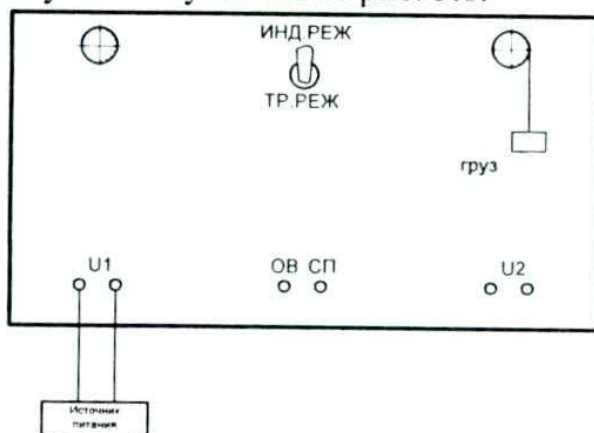


Рис.5.8

Для предотвращения самопроизвольного поворота ротора СД запитать электромагнит тормозного устройства СД

напряжением на входе U_1 .

Значение $\Delta\theta$ определяется разностью угловых положений роторов СД и СП, а значение M_T определяется по формуле $M_T = 9.8 \cdot m \cdot h_g$ (Н·мм), где m – масса калибровочного груза, кг; h_g – действующее значение плеча: $h_g = h_0 \cos \alpha$, h_0 – расстояние от центра диска до груза, мм; α – угол между линией установки груза и горизонтальной отметкой шкалы.

3. Составить таблицу по форме:

Таблица 5.1

M_T								
мН·м								
$\theta_{сд}$, град								
$\theta_{сп}$, град								
$\Delta\theta$, град								

Построить график зависимости погрешности передачи угла поворота от момента нагрузки M_T в индикаторном режиме работы сельсина: $\Delta\theta = f(M_T)$

Задание второе. Снять зависимость напряжения на обмотке возбуждения СП от угла рассогласования в трансформаторном режиме работы сельсинов.

1. Собрать установку по схеме рис. 5.9.

Для предотвращения самопроизвольного поворота ротора СП запитать электромагнит тормозного устройства СП напряжением по входу.

2. Установить сопротивление нагрузки R_{II} .

Снять зависимость напряжения на обмотке возбуждения СП от угла рассогласования $\Delta\theta: U_B = f(\Delta\theta)$, где $\Delta\theta$ изменяется в

пределах от $-\pi/2$ до $+\pi/2$.

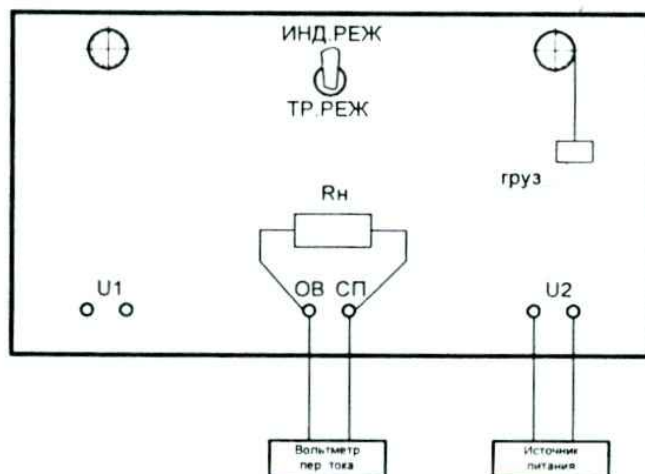


Рис.5.9

3. Составить таблицу по форме:

Таблица 5.2

$\Delta\theta$, град								
$\Delta\theta$								
U_R								

4. Повторить измерения по п.2, отключив предварительно сопротивление нагрузки ($R_H \rightarrow \infty$).

Построить график зависимости напряжения на обмотке возбуждения СП от угла рассогласования $\Delta\theta: U_R = f(\Delta\theta)$.

5.7. Контрольные вопросы по выполненной работе:

1. Каким методом можно измерить момент нагрузки на валу сельсина-приемника?
2. При каких условиях может наступить срыв слежения в системе дистанционной передаче угла поворота с сельсинами работающими в индикаторном режиме?
3. Можно ли применять сельсины в механической системе, где момент нагрузки превышает максимальный синхронизирующий момент сельсина?
4. Как влияет сдвиг по фазе при обработке угла поворота в системе автоматического регулирования, использующей трансформаторный режим работы сельсинов?
5. В каких пределах возможен поворот ротора сельсина-датчика при сохранении синхронного вращения ротора сельсина-приемника?

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ВЕДУЩЕГО ВАЛА ЛЕНТОПРОТЯЖНОГО МЕХАНИЗМА МАГНИТОФОНА

6.1. Цель работы

Целью работы являются практическая иллюстрация искажений сигнала, обусловленных погрешностями формы – наличием эксцентриситета ведущего вала лентопротяжного механизма (ЛПМ) магнитофона, освоение на практике электрических методов измерения неэлектрической величины (эксцентриситета вала), экспериментальная проверка положений теории для углубления их понимания.

6.2. Общие указания

Работа предусматривает выполнение домашних заданий, содержащих расчеты параметров ЛПМ, необходимых для обработки экспериментальных данных, а также расчеты, способствующие пониманию существа работы.

Основным содержанием экспериментальной работы является определение величины эксцентриситета ведущего вала ЛПМ магнитофона путем измерения параметров паразитной амплитуды (АМ) и частотной (ЧМ) модуляций записанного сигнала.

При измерениях используются стандартные измерительные приборы: осциллограф типа С1-68, частотомер типа ЧЗ-34А, генератор ГЗ-102, бытовой магнитофон типа «Маяк-202» или «Маяк-203».

При выполнении измерений необходимо строго руководствоваться правилами техники безопасности при работе на электроустановках в лаборатории и требованиями по оформлению отчета [1].

Время на выполнение домашнего задания – 2 часа, общее время на выполнение лабораторного задания, включая собеседование и отчет по лабораторной работе, 4 часа.

6.3. Домашние задания и методические указания по их выполнению

Задание первое. Изучить кинематическую схему ЛПМ с разомкнутой петлей ленты-носителя, ведущим валом и прижимным валиком.

Для выполнения задания следует проработать материал соответствующей лекции, а также содержания раздела 3 настоящих методических указаний, после чего в заготовку отчета необходимо занести кинематическую схему (рис. 6.1) и расчетные соотношения, связывающие диаметр ведущего вала, линейную скорость движения ленты – носителя и скорость вращения ведущего вала.

Задание второе. Изучить аналитическую связь между параметрами паразитной модуляции сигнала, полученной из-за несовершенства ЛПМ; и величинами, характеризующими погрешности формы ведущего вала ЛПМ.

Для выполнения задания следует проработать материал лекции, а также повторить основные понятия и параметры, относящиеся к видам модуляции АМ и ЧМ с параметрами ЛПМ.

Задание третье. Вычислить допустимый эксцентриситет ведущего вала ЛПМ для заданного варианта MNK исходных данных согласно таблице, где M, N, K – номера вариантов параметров d , g , f соответственно.

Например, вариант 231 означает набор данных из таблицы; $d=4\text{мм}$, $g=95,3\frac{\text{м}}{\text{с}}$, $f_H - f_B = 0,3 \div 3,4\text{кГц}$, здесь d - диаметр ведущего вала ЛПМ, g - скорость движения ленты носителя, $f_H - f_B$ - соответственно нижняя и верхняя частоты спектра

воспроизводимых частот.

№ MNK	1	2	3	4	5	6
$d, \text{мм}$	3	4	6	8	10	12
$g, \text{мм}/\text{с}$	23,8	47,6	95,3	190,5	381	-
$f, \text{кГц}$	0,3- 3,4	0,2-5	0,1-8,0	0,05- 10	0,03- 15	0,02- 20

При вычислении допустимого эксцентриситета вала следует принять разрешающую способность человеческого уха по частоте равной максимально допустимому изменению частоты $\Delta f_{\text{доп}}$, которое еще не различается человеческим ухом: $\Delta f_{\text{доп}} = 0.003 \cdot f_0$, где f_0 - воспроизводимая частота.

Принять, что спектр паразитной ЧМ при индексе ЧМ $\beta > 1$ ограничен полосой $\pm \Delta f = \pm F_M \cdot (1 + \beta)$, а при $\beta \leq 1$ спектр ЧМ ограничен полосой $\pm F_M$ с уровнем боковых частот $U_{\sigma} = \frac{\beta}{2} V_0$, где $F_M = \frac{\Omega}{2\pi}$ - паразитная модулирующая частота, U_0 - амплитуда напряжения спектральной компоненты основной частоты.

Учесть, что допустимый эксцентриситет связан с допустимым индексом паразитной ЧМ зависимостью:

$$\beta_{\text{доп}} = \varepsilon_{\text{доп}} \frac{f_0}{R_0 \cdot F_M}, \quad (6.1)$$

где $\beta_{\text{доп}}$ - допустимый индекс паразитной ЧМ, $\varepsilon_{\text{доп}}$ -

допустимый эксцентриситет вала мм, R_0 - радиус ведущего вала мм, f_0 - воспроизводимая частота Гц, F_M - паразитная модулирующая частота Гц.

При $\beta_{oon} > 1$ его конкретное значение определяется из выражения $\Delta f = F_M(I + \beta)$ при подстановке в него значения $\Delta f = 0.003 \cdot f_0$, при этом для проверки выполнения условия $\beta_{oon} > 1$ следует воспользоваться проверкой эквивалентного ему условия $\Delta f_{oon} > 2F_M$.

При $\beta \leq 1$ его значение следует принять равным $\beta = 0.02$, что соответствует уровню боковых составляющих в спектре паразитной ЧМ порядка - 40дБ по отношению к уровню воспроизводимой частоты.

Задание четвертое. Вычислить значения \mathcal{G}_0 , F_M и ε_{oon} для ЛПМ, использующего вал с насадкой, при следующих исходных данных: диаметр исходного ведущего вала без насадки - 6 мм, линейная скорость ленты-носителя в ЛПМ без использования насадки $47,6 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$, диаметр насадки - 16мм, частота воспроизведенного сигнала - 1 кГц.

При вычислении значений \mathcal{G}_0 и F_M воспользоваться зависимостями, полученными в домашних заданиях по п.1 и 2.

При вычислении ε_{oon} воспользоваться указаниями по п. 3.

6.4. Вопросы к домашнему заданию:

1. Какие искажения сигнала связаны с погрешностями формы ведущего вала ЛПМ?

2. Какими параметрами характеризуются искажения воспроизводимого сигнала?

3. Какими соображениями необходимо руководствоваться при определении допустимого эксцентриситета ведущего вала?

4. Как с помощью электрических измерений можно определить эксцентриситет ведущего вала ЛПМ?

5. Почему при воспроизведении сигнала появляется паразитная АМ?

6. Какова связь между параметрами паразитной модуляции сигнала, параметрами ЛПМ и параметрами записываемого сигнала?

7. Как проявляется паразитная модуляция при различных скоростях записи (воспроизведения)? Почему?

8. Какими конструктивными решениями можно обеспечить заданное качество воспроизведения?

9. В чем проявляется погрешность формы ведущего вала ЛПМ при записи и воспроизведении дискретных сигналов?

10. Каковы, по Вашему мнению, перспективы усовершенствования конструкций ЛПМ, записывающих и воспроизводящих устройств?

6.5. Теоретические сведения

Лентопротяжные механизмы.

Влияние погрешности формы ведущего вала на качество записи.

Лентопротяжные механизмы являются основной частью магнитофонов и предназначены для протягивания с постоянной скоростью магнитной ленты через полюса магнитных головок, а также для перематывания ленты с одного узла на другой.

Основными механическими узлами ЛПМ являются:

- ведущий узел;
- боковые узлы подачи и намотки ленты;
- исполнительные устройства (двигатели, передаточные механизмы, тормозные устройства, электромагниты).

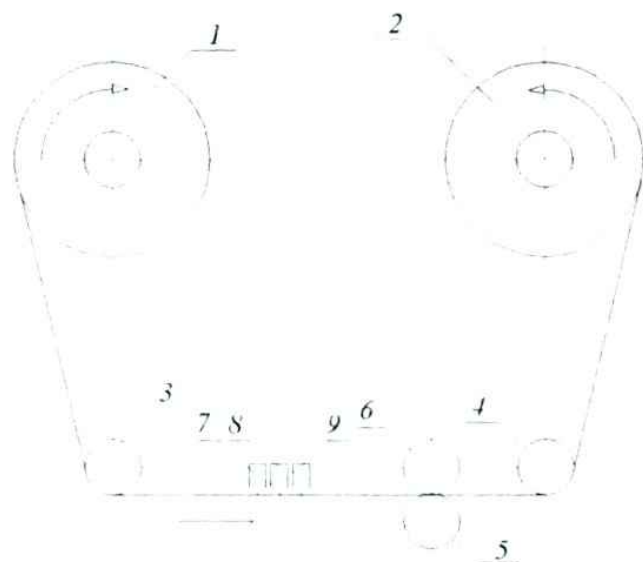


Рис. 6.1. Лентопротяжный механизм типа «открытая петля» прижимными роликами

Лентопротяжные механизмы типа «закрытой петли», несмотря на очевидное достоинство, распространение среди бытовых магнитофонов не получили по конструктивным соображениям. [2]

На скорость перемещения ленты в ЛПМ с разомкнутой петлей влияют:

- неровность вращения двигателя;
- погрешности передаточного механизма;
- деформации и колебания прижимного ролика;
- вытягивание ленты при ее натяжении;
- непостоянство силы трения в месте контакта

ленты с роликами и т.д.

Поэтому при использовании этой схемы в конструкции предусматривают ряд дополнительных элементов, стабилизирующих скорость движения ленты.

Основным узлом ЛПМ является ведущий узел. К нему предъявляются высокие требования по обеспечению стабиль-

ности скорости движения ленты, минимальные биения и бесшумность работы. В зависимости от способа передачи крутящего момента от двигателя на ведущий ролик различают ведущие узлы прямого и косвенного привода.

В узлах прямого привода ведущим является вал двигателя или насаженный на него ведущий ролик. Достоинства такой конструкции ведущего узла – простота. Недостаток – неравномерность вращения двигателя передается протягиваемой ленте.

В узлах косвенного привода ведущий ролик устанавливается на отдельных подшипниках, он приводится во вращение двигателем через передаточный механизм. Для стабилизации вращения на оси ведущего вала закрепляется маховик.

Для равномерного протягивания ленты ведущий ролик должен иметь минимальное биение и дебаланс (или дисбаланс, приставка de – отделение, удаление, dis – нарушение, утрату, balance – весы).

Диаметр ведущего ролика берут исходя из скорости движения носителя (ленты) V_0 :

$$d = \frac{60 V_0}{\pi n_0}, \text{ мм} \quad (6.2)$$

где n_0 – частота вращения ведущего ролика об/мин,

V_0 – мм/с.

Выражение (6.2) получено в результате преобразования известного уравнения, связывающего линейную (V_0) и угловую (Ω) скорости для точки, движущейся по окружности радиусом $R_0 = d/2$: $v_0 = \Omega \cdot R_0$.

Для повышения твердости ведущий ролик в магнитофонах термически обрабатывают и хромируют, его поверхность должна иметь шероховатость не ниже 9-го класса.

Допустимый эксцентриситет ролика берут не более 1 ± 3 мкм. Точность изготовления его рабочего диаметра определяется допуском на номинальные значения скорости протягивания ленты.

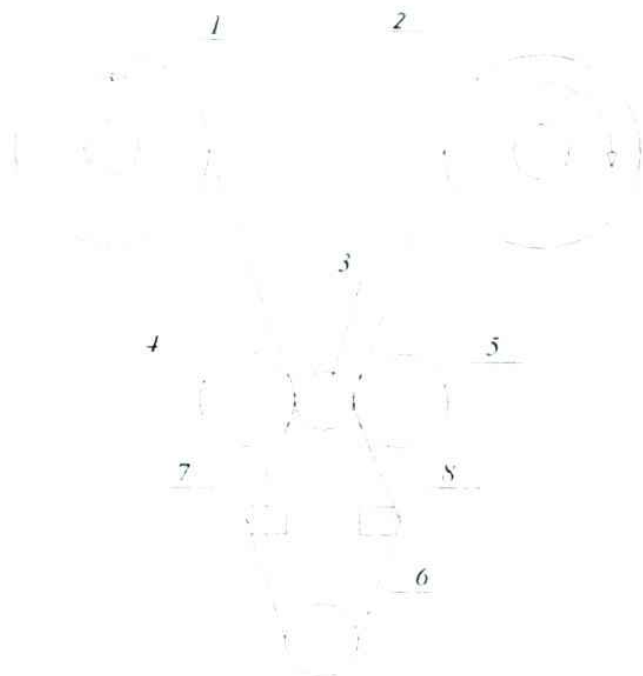


Рис.6.2. Лентопротяжный механизм типа «закрытая петля»

Ведущий узел приводится во вращение двигателями постоянного и переменного токов с частотами вращения 1000-3000 об/мин, с жесткой механической характеристикой (т.е. число его оборотов в единицу времени при изменении нагрузки должно быть стабильным).

В ЛПМ в основном применяют передачи с гибкой связью, т.к. они компактны и бесшумны в работе. В ЛПМ высокого класса с двигателями хороших технических характеристик, применяют прямой привод (Вега 122С и т.д.).

6.6. Искажения сигнала, обусловленные отклонениями формы ведущего вала

Искажения записанного на магнитную ленту-носитель и воспроизводимого на магнитофоне сигнала можно разделить на два вида:

1. искажения, обусловленные нелинейностью усилителя записи-воспроизведения – «нелинейные» искажения;
2. искажения, обусловленные непостоянством скорости протяжки лентопротяжного механизма (ЛПМ) – «линейные» искажения.

Нелинейные искажения усилителей исследованы достаточно подробно, а искажения сигнала, связанные с погрешностями ЛПМ, исследованы недостаточно. В то же время вопрос этот является актуальным, так как знание зависимостей электрических параметров сигнала от механических характеристик ЛПМ, позволяет устанавливать обоснованные требования к точности изготовленных деталей и узлов ЛПМ, а также открывает возможности применения электронных методов измерения и контроля неэлектрических величин.

По имеющимся экспериментальным данным, наибольшие искажения сигнала, связанные с погрешностями ЛПМ, обусловлены отклонениями формы прижимного ролика, а также биением ведущего вала.

Рассмотрим случай влияния отклонений формы ведущего вала на искажение сигнала.

Пусть записи подлежит испытательный синусоидальный электрический сигнал вида:

$$u(t) = U_m \sin \omega_0 t + \varphi_0, \quad (6.3)$$

где U_m и ω_0 - амплитуда и круговая частота сигнала, φ_0 - начальная фаза сигнала (в дальнейшем фаза сигнала

опускается, так как она и на влияет на качественную картину анализируемых явлений).

Если бы сечение ведущего вала имело идеальную, круглую форму (прижимной ролик также будем считать идеальным), то остаточная намагниченность носителя, а именно ее переменная часть, являющаяся отображением записываемого сигнала, имела бы вид:

$$H(x) = H_m \sin \frac{\omega_0}{V_0} x, \quad (6.4)$$

где x - координата участка магнитная магнитного носителя от начала записи,

$$x = V_0 \cdot t, \quad (6.5)$$

V_0 -линейная скорость движения ленты-носителя,

$$V_0 = \frac{\pi n_0 R_0}{30}, \text{ мм/сек} \quad (6.6)$$

здесь n_0 ,об/мин – скорость вращения ведущего вала,

R_0 -радиус вала, мм.

Пусть теперь сечение вала имеет форму, отличную от круга, так что при вращении вала с постоянной скоростью n_0 радиус сечения R в точке контакта вала с прижимным роликом оказывается функцией времени $R(t)$, при этом скорость движения носителя становится переменной:

$$V(t) = V_0 + \Delta v(t), \quad (6.7)$$

или
$$V(t) = \frac{\pi R(t) n_0}{30}, \text{ а} \quad (6.8)$$

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

средняя скорость носителя,

$$T = 60 / n_0$$

Очевидно, что протяжка носителя с переменной скоростью при записи равносильна модуляции по фазе записываемого сигнала [3]:

$$u(t) = U_m \sin \Psi(t), \quad (6.9)$$

где фаза $\Psi(t)$ может быть определена в форме:

$$\Psi(t) = \omega_0 t + \Delta\Psi(t), \quad (6.10)$$

Скорость изменения фазы – частота будет:

$$\omega(t) = \frac{d\Psi}{dt} = \omega_0 + \Delta\omega(t), \quad (6.11)$$

где $\Delta\omega(t) = \frac{d\Delta\Psi(t)}{dt}$ - паразитная частотная модуляция, обусловленная неравномерностью протяжки носителя.

Паразитная девиация частоты $\Delta \omega (t)$ пропорциональна изменению скорости движения носителя:

$$\Delta \omega (t) = \frac{\omega_0}{V_0} \Delta V (t) \quad (6.12)$$

следовательно, для фазы имеем:

$$\Psi (t) = \int_0^t \omega (t) dt = \omega_0 t + \frac{\omega_0}{V_0} \int_0^t \Delta V (t) dt . \quad (6.13)$$

Теперь при отображении сигнала при записи, имеем:

$$H (x) = H_m \sin \Psi (t) \Big|_{t = \frac{x}{V_0}} = H_m \sin \left[\frac{\omega_0}{V_0} x + \frac{\omega_0}{V_0^2} \int_0^x \Delta V \left(\frac{x}{V_0} \right) dx \right] . \quad (6.14)$$

Пусть записанный сигнал воспроизводится на воспроизводящем устройстве с «идеальным» ЛПМ. Тогда э.д.с., наводимая на воспроизводящей головке, будет пропорциональна:

$$E_6 \sim \frac{dH (t)}{dt} , \quad (6.15)$$

где $H (t)$ получается из (6.14) подстановкой $x = V_0 t$.

С учетом (6.14) получим

$$E_6 = E_{\max} \omega_0 \left[1 + \frac{\Delta V (t)}{V_0} \right] \cos \left[\omega_0 t + \frac{\omega_0}{V_0} \int_0^t \Delta V (t) dt \right] \quad (6.16)$$

Из выражения (6.16) видно, что воспроизведенный сигнал содержит паразитные амплитудную и фазовую модуляции. Рассмотрим частный, но весьма распространенный случай погрешности ЛПМ - наличие эксцентриситета ведущего вала. Эксцентрик (от лат. ex – приставка, означающая отделение и centrum - центр) – цилиндр, ось вращения которого сдвинута относительно геометрической оси на некоторое расстояние, называемое эксцентриситетом (рис. 6.3).

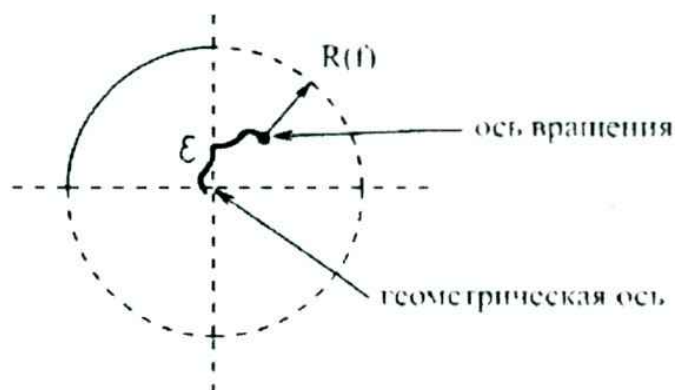


Рис. 6.3. Эксцентриситет (ϵ) ведущего ролика

Уравнение окружности с эксцентриситетом в полярных координатах имеет вид:

$$R(\varphi) = \epsilon \cos \varphi + \sqrt{R_0^2 - \epsilon^2 \sin^2 \varphi}, \quad (6.17)$$

где ϵ - эксцентриситет,

R_0 - радиус окружности.

При выполнении условия $\epsilon \ll R_0$, можно принять приближенно

$$R(\varphi) = R_0 + \varepsilon \cos \varphi \quad (6.18)$$

Так как $\varphi = \Omega t$, где Ω - угловая скорость вращения:
 $\Omega = \frac{\pi n_0}{30}$, т.е. $\varphi = \frac{\pi n_0}{30} t$, тогда уравнение (6.18)
 равносильно:

$$R(t) = R_0 + \varepsilon \cos \frac{\pi n_0}{30} t \quad (6.19)$$

Из (6.16) с учетом (6.6), (6.7) и (6.8), (6.19) получим:

$$E_s = E_{\max} \omega_o \left[1 + \frac{\varepsilon}{R_0} \cos \frac{\pi n_0}{30} t \right] \times \\
\times \cos \left[\omega_o t + \frac{\omega_o \varepsilon \cdot 30}{R_0 \pi n_0} \sin \frac{\pi n_0}{30} t \right] \quad (6.20)$$

Сравним (6.20) с принятой формы записи колебания, модулированного по амплитуде с глубиной модуляции m и по частоте с индексом модуляции β .

Убедимся, что в (6.20) присутствует и амплитудная модуляция (АМ) и частотная модуляция (ЧМ).

Классическое выражение для АМ колебаний (рис. 6.4):

$$u(t) = U_o (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_o t, \quad (6.21)$$

где U_o - амплитуда несущей (среднее значение при отсутствии модулирующего колебания),

ω_o -угловая частота несущей,

Ω -угловая частота модулирующего колебания.

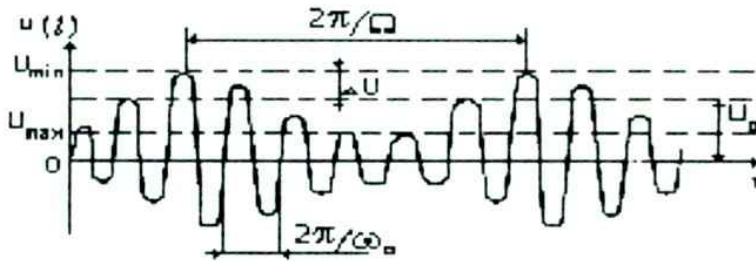


Рис. 6.4. Амплитудно-модулированное колебание

Выражение для глубины модуляции m :

$$m = \frac{\Delta U}{U_o} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \quad (6.22)$$

В выражение (6.20) видно, что:

$$m = \frac{\varepsilon}{R_o} \quad (6.23)$$

$$\text{а } \Omega = \frac{\pi n_o}{30} -$$

угловая частота модулирующего колебания (при подстановке в выражение $\Omega=2\pi F$ значения F).

Для АМ колебания в случае, если $\Omega = const$, т.е. модуляция происходит синусоидальным сигналом, спектр частот состоит из трех колебаний (рис. 6.5).

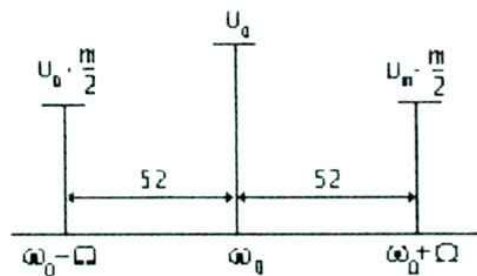


Рис. 6.5. Спектр частот АМ колебания ($\Omega = \text{const}$)

Если же в модулирующем сигнале содержится несколько колебаний, то каждое из них дает пару спектральных линий. Классическое выражение для ЧМ колебания:

$$u(t) = U_o \cos [\omega_0 t + \beta \sin \Omega t] , \quad (6.24)$$

где $\beta = \Delta\omega / \Omega$ - индекс частотной модуляции, в котором $\Delta\omega$ - девиация частоты, т.е. максимальное отклонение от среднего значения.

Как следует из (6.20) $\beta = \frac{\omega_0 \cdot \varepsilon \cdot 30}{R_0 \cdot \pi \cdot n_0}$, или с учетом

того, что $n_0 = 60 F_M$:

$$\beta = \frac{f_0 \varepsilon}{R_0 F_M} = \varepsilon \frac{f_0}{R_0 F_M} \quad (6.25)$$

После сравнения выражения (6.20) с выражением для АМ колебания (6.21) и ЧМ колебания (6.24) его можно переписать в следующем виде:

$$E_e = E_{\max} \omega_0 [1 + m \cos \Omega t] \times \cos [\omega_0 t + \beta \sin \Omega t] \quad (6.26)$$

Выражения (6.23) и (6.25) позволяют определить допуск на эксцентриситет ведущего вала по заданным допустимым величинам параметров паразитной амплитудной и частотной модуляции.

Человеческое ухо способно различать изменение частоты колебаний на 0.3 %. Поэтому следует считать допустимым эксцентриситет не более 0.001 от радиуса ведущего вала. При выполнении этого условия девиация частоты также составит величину не более 0.001 от модулирующей частоты, спектральные составляющие паразитной ЧМ будут неотличимы человеческим ухом от основного тона, в результате сигнал будет субъективно восприниматься на слух неискаженным.

Выражение (6.23) и (6.25) позволяют также контролировать эксцентриситет вала путем измерения параметров паразитной модуляции.

6.7. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению.

Задание первое. Оценить качественно искажения сигнала, обусловленные погрешностями формы ведущего вала ЛПМ.

Собрать установку, состоящую из магнитофона и осциллографа согласно схеме рис. 6.6.



Рис.6.6

Примечание:

1. В магнитофоне установлена «идеальная» насадка диаметром $d = 16 \text{ мм}$ с малым эксцентриситетом, обеспечивающим качественное воспроизведение сигнала.

2. На магнитофонной ленте предварительно записан сигнал с частотой $f_0 = 1 \text{ кГц} \pm 5 \text{ Гц}$, причем запись произведена с использованием насадки диаметром $d = 16 \text{ мм}$ с явно выраженным эксцентриситетом, который необходимо определить.

1) Включить магнитофон в режиме ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ и оценить на слух качество воспроизведения и характер искажений.

2) Произвести наблюдение на осциллографе характерных искажений сигнала, обусловленных наличием паразитной АМ и ЧМ. Зарисовать осциллограмму сигнала.

3) Оценить величину эксцентриситета ведущего вала по глубине паразитной АМ, для чего определить по осциллограмме коэффициент модуляции:

$$m = \frac{A_{MAX} - A_{MIN}}{A_{MAX} + A_{MIN}}, \quad (6.27)$$

где A_{MAX} и A_{MIN} - соответственно максимальный и минимальный размах амплитудно-модулированного колебания, и воспользоваться связью $m = \varepsilon / R_0$ между параметрами m , эксцентриситетом ε и радиусом ведущего вала R_0 .

Задание второе. Определить эксцентриситет ведущего вала ЛПМ по параметрам паразитной ЧМ сигнала.

1. Собрать установку, состоящую из магнитофона, осциллографа, генератора и частотомера, согласно рис. 6.7.

2. Установить на генераторе ГЗ-102 частоту порядка 700 Гц и максимальное выходное напряжение 10 В.

3. Включить магнитофон в режиме ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ.

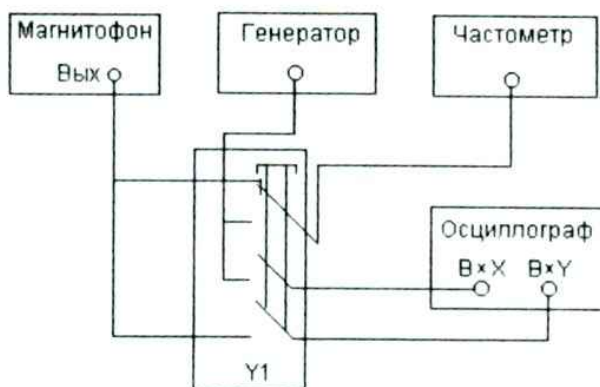


Рис. 6.7

4. Медленно увеличить частоту генератора ГЗ-102, наблюдая при этом на осциллографе фигуры Лиссажу.

5. Прекратить увеличение частоты генератора ГЗ-102 в тот момент, когда на осциллографе только начинают появляться фигуры типа эллипсов или круга. Появление эллипса или круга говорят о том, что среди частот, которые воспроизводятся магнитофоном, имеется частота равная частоте сигнала от генератора. Эта частота является минимальной для переменной частоты сигнала магнитофона.

6. Измерить частоту сигнала генератора ГЗ-102 с помощью частомера.

7. Отключить магнитофон и генератор от осциллографа, подключить частотмер непосредственно к выходу магнитофона и измерить частоту сигнала на выходе магнитофона.

8. Повторить измерения средней частоты сигнала на выходе магнитофона до трех раз и определить среднее арифметическое значение средней частоты.

9. Вычислить разность значений средней частоты сигнала $f_{ср}$, полученной по п.5.4.2.8, и минимальной частоты сигнала

$f_{C_{MIN}}$ полученной по п.5.4.2.6, $f_{C_0} - f_{C_{MIN}} = \Delta f_o$. Эта разность дает значение девиации частоты Δf_o .

Определить эксцентриситет насадки, которая применялась для записи сигнала, используя соотношения:

$$\beta = \frac{\Delta f_o}{F_M}; \quad \beta = \varepsilon \frac{f_{CO}}{R_0 F_M}, \quad (6.28)$$

где Δf_o - девиация частоты Гц, F_M - паразитная модулирующая частота Гц, R_0 - радиус насадки мм, ε - эксцентриситет насадки (мм).

6.8. Оформление результатов измерений

При определении эксцентриситета необходимо дать оценку возможных погрешностей измерений параметров паразитной АМ и ЧМ.

При оценке погрешностей измерений принять доверительную вероятность $P=0,95$.

Предельные граничные значения погрешности измерения эксцентриситета ε определить с учетом методической погрешности осциллографического метода измерения параметра глубины модуляции, приняв величину погрешности измерения амплитуды равной $\pm 20\%$ от измеряемой величины.

Предельные граничные значения погрешности измерения эксцентриситета ε определить с учетом методической погрешности измерения девиации частоты Δf_o , приняв величину погрешности измерения минимальной частоты $f_{C_{MIN}}$ равной $\pm 10\%$ ее измеряемой величины.

В расчетах эксцентриситета ε принять: нестабильность скорости движения ленты-носителя $\pm 0,1\%$, неточность

измерения радиуса насадки ведущего вала ± 0.05 мм.

Значение ε с учетом оцениваемой погрешности записать в форме: $\varepsilon = \dots$ мм, Δ от \dots до \dots мм, $P = 0,95$.

6.9. Контрольные вопросы по выполненной работе

1. Какова методика экспериментальной оценки эксцентриситета ведущего вала ЛПМ по параметрам паразитной АМ сигнала?

2. Каким методом можно определить девиацию паразитной ЧМ сигнала?

3. Какова связь между параметрами ЛПМ и параметрами паразитной ЧМ сигнала?

4. Каким методом можно точнее определить величину эксцентриситета ведущего вала ЛПМ; оценкой параметров паразитной АМ или ЧМ? Почему?

5. Снижаются ли требования по точности к ЛПМ при переходе к цифровой форме записи аналогового сигнала?

6. Можно ли электрическими методами уменьшить (устранить) влияние эксцентриситета ведущего вала, непостоянства скорости движения ленты-носителя на качество воспроизведения?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-технический прогресс привёл к широкому внедрению электромеханических систем в различные отрасли народного хозяйства, в технику, транспорт, научные исследования, быт. Электромеханические системы используются в качестве преобразователей энергии, исполнительных механизмов, датчиков измерительных приборов, служат элементами систем автоматического управления и робототехнических устройств. И несмотря на свои недостатки и явную тенденцию к их сокращению и замену электронными блоками их объём и вес в различных конструкциях составляет 10 и более процентов. Кроме того, некоторые специфические задачи могут быть решены только электромеханизмами и механизмами. Например, задачи пространственного перемещения детали или объекта. Поэтому в настоящее время любой инженер и особенно специалист в области проектирования и технологии электронных средств должен знать физические основы электромеханического преобразования энергии, усвоить основные законы магнетизма и свободно в них ориентироваться, чтобы проектировать или работать с конкретным устройством, понимать каким образом его использовать, каковы его характеристики и знать присущие ему ограничения.

Несмотря на большое разнообразие электромеханических систем по назначению и конструктивному исполнению, их объединяет общее — единый механизм преобразования электрической энергии в механическую или наоборот. Это преобразование осуществляется на основе фундаментальных физических законов и описывается уравнениями электрических цепей и законов механики. Однако процесс преобразования невозможен без участия магнитного поля как промежуточного вида энергии. Другими словами, электромеханическое

преобразование энергии представляется взаимосвязанными электрическими, магнитными и механическими явлениями.

Разработка и производство качественных изделий вычислительной техники, бытовой радиоэлектроники, автоматики немыслимы без знания принципов действия и основных технических характеристик электродвигателей различных конструктивных исполнений. Электродвигатели во многих случаях являются основными элементами разрабатываемой электромеханической системы, и зачастую определяют основные параметры таких систем, потому основной целью лабораторного практикума являлось усвоение взаимосвязанных физических явлений и процессов электромеханического преобразования энергии, происходящих в электрических машинах и аппаратах, системах электрического привода.

В настоящее время быстро развиваются микросистемные технологии, позволяющие создавать микроэлектромеханические системы (МЭМС) и микроэлектрооптомеханические системы (МЭОМС). МЭМС устройства объединяют в своём составе электрические и механические компоненты. Это означает, что в их структуру входит одна подвижная или деформируемая часть и обязательно электрическая схема. Из названия МЭОМС следует, что одним из её элементов должен быть оптический компонент. Большинство МЭМС и МЭОМС являются трёхмерными устройствами, размеры которых могут составлять единицы микрон.

В настоящее время существует два типа микротехнологий: микроэлектроника и микромашинная технология. Под микроэлектроникой понимается производство интегральных схем на кремниевых кристаллах. А микромашинная технология объединяет в себе методы изготовления структур и подвижных частей микроустройств. Цель построения МЭМС – это объединение интегральных электронных схем и

микромашинных устройств. Очевидными преимуществами МЭМС являются низкая стоимость, надёжность и миниатюрные размеры.

В учебном пособии нашли отражение часть практических вопросов построения и исследования кинематических схем ЭМС, конструктивные особенности, физические процессы, протекающие в микроэлектродвигателях и других ЭМС, методы исследования рабочих характеристик микроэлектродвигателей. Знания, полученные студентами при выполнении заданий рассматриваемого лабораторного практикума помогут будущим специалистам более осознанно подойти к выбору и проектированию электромагнитных устройств (электродвигателей, реле, датчиков и т. д.) в конкретной электромеханической системе с использованием анализа электрических, магнитных и механических частей этого устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Битюцкий В.И. Руководство по организации лабораторных занятий и составлению методических указаний к лабораторным работам / В.И. Битюцкий, Т.А. Щепкина. Воронеж: ВПИ, 1983. 29 с.

2. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: справочник / Э.Т. Романычева, А.М. Иванова, А.С. Куликов и др.; под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. 488 с.

3. Львович А.Ю. Электромеханические системы: учебное пособие / А.Ю. Львович. Л.: ЛГУ, 1989. 296 с.

4. Справочник по электрическим машинам под ред. И.П. Копылова. М.: Энергоатомиздат, 1989. Т.2. 688 с.

5. Микроэлектродвигатели для систем автоматики / под ред. Э.А. Лодочникова и Ф.М. Юферова. М.: Энергия, 1969. 272 с.

6. Испытание электрических микромашин / под ред. Н.В. Астахова. М.: Высшая школа, 1984. 252 с.

7. Потапов Л.А. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л.А. Потапов, Ф.М. Юферов. М.: Энергия, 1974. 121 с.

8. Роцин Г.И. Несущие конструкции и механизмы РЭС / Г.И. Роцин. М.: Высшая школа, 1981. 375 с.

9. Методические указания к лабораторным работам № 1-6 по курсу «Конструирование механизмов и расчет прочности элементов РЭС» для студентов специальности 200800 дневной и заочной форм обучения / сост. В.И. Кравченко, В.А. Кондусов. Воронеж: ВГТУ, 1996. 33 с.

10. Свечарник Д.В. Дистанционные передачи / Д.В. Свечарник. М.: Энергия, 1974.

11. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учеб. для студентов ВУЗов, обучающихся по специальности «Электромеханика» / Ф.М. Юферов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 471 с.

12. Сабинин Ю.А. Электромашинные устройства автоматики: учебник для вузов / Ю.А. Сабинин. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. 408 с.

13. Памятка автору: методическое руководство по оформлению внутривузовских изданий / Воронеж: ВГТУ, 2000. 68 с.

14. Даниленко Б.П. Отечественные и зарубежные магнитофоны: схемы, ремонт / Б.П. Даниленко, И.И. Нанкевич. Мн.: Беларусь, 1994. 617 с.

15. Ушаков В.Н. Основы радиоэлектроники и радиотехнические устройства / В.Н. Ушаков. М.: Высшая школа. 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Физические основы электромеханического преобразования энергии	4
1.1. Основные понятия.....	44
1.2. Основные физические законы электромеханического преобразования энергии....	5
1.2.1. Закон электромагнитной индукции.....	5
1.2.2. Закон электромагнитного взаимодействия.....	13
2. Кинематический анализ электромеханических систем	16
2.1. Цель работы.....	16
2.2. Общие указания.....	16
2.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению.....	17
2.4. Вопросы к домашнему заданию.....	17
2.5. Теоретические сведения.....	18
2.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению.....	51
2.7. Требования к выполнению отчета.....	51
2.8. Контрольные вопросы по выполненной работе	52
3. Коллекторный микродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.....	53
3.1. Цель работы.....	53
3.2. Общие указания	53
3.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению.....	53
3.4. Теоретические сведения.....	54
3.5. Конструкция и технические данные микродвигателей постоянного тока серии ДПМ.....	59
3.6. Лабораторные задания	80
3.7. Требования к выполнению отчета	80
3.8. Контрольные вопросы по выполненной работе.....	80

4. Испытание коллекторного микродвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.....	82
4.1. Цель работы.....	82
4.2. Общие указания	82
4.3. Домашнее задание и методические указания по его выполнению.....	82
4.4. Вопросы к домашнему заданию.....	83
4.5. Теоретические сведения.....	83
4.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению.....	96
4.7. Требования к выполнению отчета	104
4.8. Контрольные вопросы по выполненной работе....	105
5. Определение точности передачи угла поворота в конструкциях РЭС с сельсинами.....	106
5.1. Цель работы.....	106
5.2. Общие указания	106
5.3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	108
5.4. Вопросы к домашнему заданию.....	111
5.5. Теоретическая часть.....	111
5.6. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению.....	119
5.7. Контрольные вопросы по выполненной работе.....	122
6. Исследование погрешности формы ведущего вала лентопротяжного механизма магнитофона	123
6.1. Цель работы.....	123
6.2. Общие указания	123
6.3. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	124
6.4. Вопросы к домашнему заданию.....	126
6.5. Теоретические сведения.....	127

6.6. Искажения сигнала, обусловленные отклонениями формы ведущего вала.....	131
6.7. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению.....	139
6.8. Оформление результатов измерений.....	142
6.9. Контрольные вопросы по выполненной работе.....	143
Заключение.....	144
Библиографический список.....	147

Учебное издание

Кондусов Василий Ананьевич

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В авторской редакции

Подписано в печать 24.12.2009.

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 9,4. Уч.-изд. л. 8,3. Тираж 250 экз.

Заказ № 812.

ГОУВПО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14