

Министерство образования РФ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Методические указания
к лабораторным работам**

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2001

Электрические машины систем автоматики и компьютерных технологий. Методические указания к лабораторным работам / Сост.: А. Г. Микеров, М. Н. Мустафа, Д. В. Самохвалов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. 36 с.

Излагаются главные понятия электромеханики, а также принцип действия датчиков и электродвигателей, изучаемых в курсе «Электрические машины систем автоматики и компьютерных технологий». Указанные сведения необходимы для осмысленного выполнения цикла лабораторных работ по данной дисциплине.

Предназначены для студентов специальностей 180100 и 210500 факультета электротехники и автоматики, 181200 факультета приборостроения и биотехнической инженерии, а также бакалавров направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

Утверждено

редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний

В цикле лабораторных работ по курсу «Электрические машины систем автоматики и компьютерных технологий» студенты обычно знакомятся с наиболее распространенными в настоящее время электродвигателями и электромеханическими датчиками: коллекторным двигателем постоянного тока, асинхронным, синхронным, шаговым и вентильным двигателями, вращающимся трансформатором, тахогенераторами постоянного и переменного тока. Для понимания принципа их действия, а также особенностей статических и динамических характеристик необходимо иметь общее представление о магнитных полях, цепях и основных законах электромеханики. Материал, изучаемый студентами в ряде предыдущих курсов физики и электротехники, излагается в данной работе в самом сжатом виде.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ

1.1. Применение электрических машин в системах автоматики

Электрические машины являются неотъемлемой частью любой электромеханической системы автоматики или автоматического управления. Система автоматики или система автоматического управления (САУ) – это система управления без помощи человека. Электрические машины (ЭМ) – это, прежде всего, двигатели (моторы), генераторы, которые вырабатывают электроэнергию, а также различные электромеханические датчики. Представленная на рис. 1.1 типовая система автоматического управления рулем самолета содержит следующие элементы: ОУ – объект управления (руль направления); ЭД – электродвигатель; МП – механическая передача (редуктор); ЗУ – задающие устройства; УУ – управляющее устройство; У – усилитель. Задающими устройствами могут быть гироскоп, определяющий направление полета, либо ручка пилота, оснащенные датчиками Д1 и Д2 заданного угла φ_1 . Аналогичный датчик Д3, установленный на оси руля направления, измеряет фактическое угловое положение φ_2 руля. Управляющее устройство вырабатывает ошибку $\Delta = \varphi_1 - \varphi_2$, которая после усиления управляет электродвигателем. Обычно управляющее напряжение равно $u_y = k_y \Delta$, где k_y – коэффициент усиления

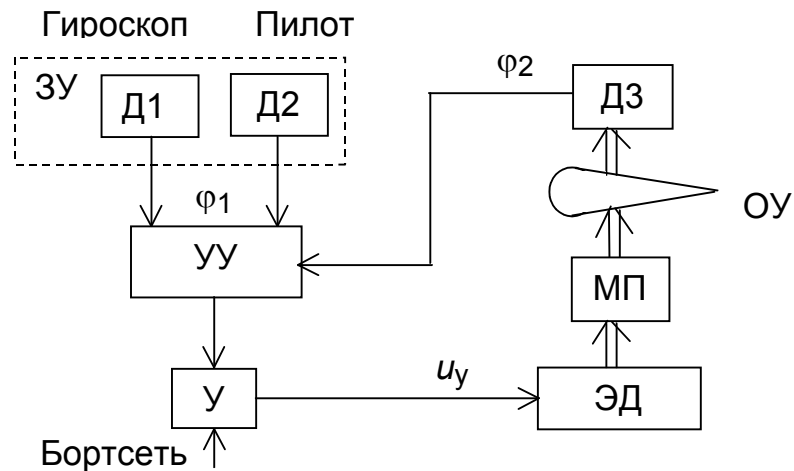


Рис. 1.1

усилителя. Задача данной САУ –сводить сигнал ошибки к 0, при котором положение руля равно заданному углу, т. е. $\varphi_1 = \varphi_2$.

В рассмотренной САУ четыре электрические машины: ЭД, Д1 – Д3. В современных самолетах имеются сотни таких САУ и тысячи электрических машин.

Существует два поколения электрических машин. Машины первого поколения, изобретенные в начале XIX века, имеют, как правило, неподвижную (статор) и вращающуюся (ротор) части, на которых располагаются обмотки, т. е. представляют собой функциональное объединение магнитных и электрических цепей. Современные электрические машины, относящиеся ко второму поколению, обязательно содержат еще и электронные компоненты. Примером электрических машин второго поколения является электродвигатель в кварцевых часах или дисководе компьютера. Машины первого поколения называются электромеханическими преобразователями (ЭМП), а второго – электромеханотронными преобразователями (ЭМТП). Электрические машины систем автоматики имеют, как правило, мощность не более 1 кВт. Поэтому их иногда называют малыми электрическими машинами.

Электрические машины систем автоматики классифицируют по следующим признакам.

1. По принципу передачи энергии на подвижную часть (ротор): контактные (со щеточно-коллекторным узлом или с контактными кольцами) и бесконтактные машины.

2. По роду питающего тока: машины постоянного и переменного тока.
3. По конструкции: корпусные и встраиваемые (бескорпусные) машины.
4. По назначению: силовые (электродвигатели), информационные (датчики), вспомогательные (для САУ) машины. Электродвигатели, в свою очередь, делятся на приводные (нерегулируемые) и исполнительные (регулируемые).
5. По принципу действия.

Электродвигатели делятся: на коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ); асинхронные двигатели (АД); синхронные двигатели (СД); шаговые двигатели (ШД); вентильные двигатели (ВД); электромагнитные муфты (ЭММ); специальные двигатели (линейные двигатели, пьезодвигатели и др.).

Электромеханические датчики делятся: на датчики угла, скорости (тахогенераторы) и ускорения (аксельрометры). К датчикам угла относятся: потенциометры; вращающиеся трансформаторы (ВТ); импульсные датчики; кодовые датчики. Датчиками скорости являются: коллекторный тахогенератор постоянного тока (ТГП); асинхронный тахогенератор (АТ); синхронный тахогенератор (СТ); бесконтактный тахогенератор постоянного тока (БТНП). Кроме того, для работы САУ необходим ряд вспомогательных электрических машин, непосредственно не входящих в контур управления, представленный на рис. 1.1. К ним относятся: трансформаторы, устройства передачи энергии и информации на вращающиеся части, генераторы электроэнергии, электромагнитные опоры и подвесы.

В настоящих методических указаниях рассматриваются только те электрические машины, которые изучаются в лабораторных работах.

1.2. Магнитное поле и магнитная цепь

В большинстве электрических машин преобразование энергии и информации осуществляется с участием магнитного поля. Существует два способа создания магнитного поля: с помощью постоянного магнита и с помощью проводника с током. На рис. 1.2, а–в изображены постоянные магниты различной формы. Для постоянного магнита силовые линии направлены от северного полюса (N) к южному полюсу (S). Магнитное поле

характеризуется вектором магнитной индукции (плотности магнитного потока) \mathbf{B} , направленным по касательной к силовым линиям. Магнитный поток представляет собой сумму всех силовых линий, проходящих через некоторое сечение. Будем условно изображать магнитный поток, проходящий через сечение магнита, также в виде вектора Φ , направление которого совпадает с вектором \mathbf{B} в данном сечении (рис. 1.2).

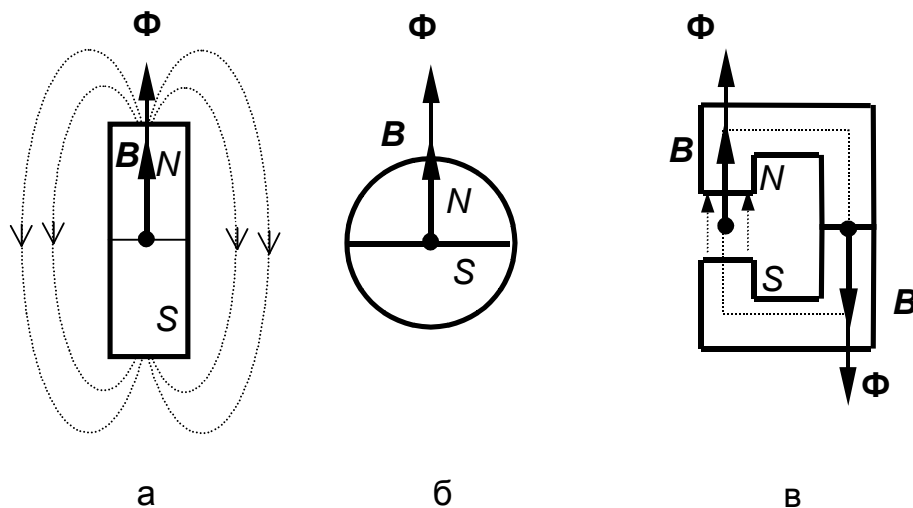


Рис. 1.2

Магнитное поле проводника с током изображено на рис. 1.3, а–в. При протекании электрического тока по проводнику создается магнитное поле с concentric силовыми линиями. Направление силовых линий определяется по правилу буравчика. При сворачивании проводника в кольцо силовые линии внутри кольца направлены вдоль оси кольца по нормали к его плоскости (рис. 1.3, б, в). Изобразим магнитный поток кольца также в виде вектора, приложенного к его центру. Изменение направления тока в катушке приведет к изменению направления силовых линий, а

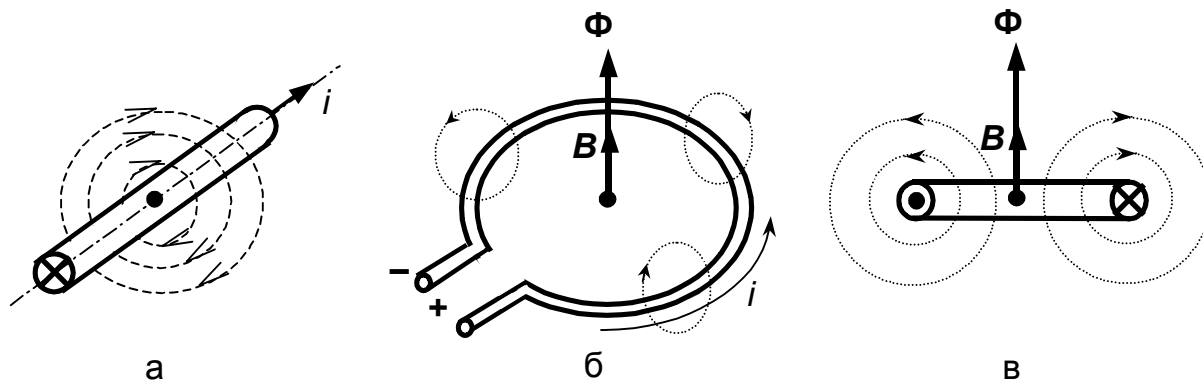


Рис. 1.3

следовательно и вектора Φ , на противоположное.

Магнитный поток проводника с током может быть усилен сворачиванием его в спираль (катушку), как показано на рис. 1.4, а, а также введением внутрь катушки железного сердечника (рис. 1.4, б). Последнее устройство называется электромагнитом. Его катушка, называемая обмоткой, условно показана на рис. 1.4, б. При этом вектор индукции \mathbf{B} , а, следовательно, и магнитного потока Φ внутри катушки, всегда направлен по оси катушки. Магнитный поток в направлении, перпендикулярном оси катушки, равен нулю. Магнитные поля, созданные магнитом и проводником с током обладают одинаковыми свойствами, т. е. их невозможно отличить. Будем называть это явление принципом эквивалентности магнитного поля.

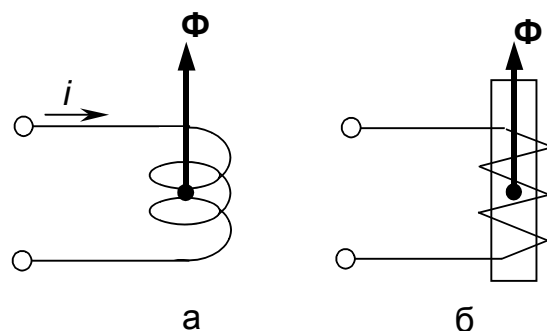


Рис. 1.4

Магнитный поток определяется выражением

$$\Phi = F / R_M, \quad (1.1)$$

где F – магнитодвижущая сила (МДС) магнита, катушки или электромагнита; R_M – магнитное сопротивление магнитной цепи, т. е. пути, по которому проходит магнитный поток.

Магнитное сопротивление сердечника, выполненного из железа (электротехнической стали), примерно в 1000 раз меньше, чем у воздуха, поэтому почти весь магнитный поток электромагнита направляется по его сердечнику (рис. 1.5). Для электромагнита, показанного на рис. 1.5, магнитная цепь замыкается через воздушный зазор δ . МДС электромагнита с числом витков w и током i определяется как

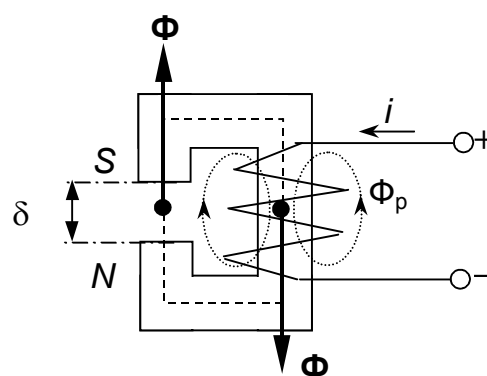


Рис. 1.5

$$F = iw \quad (1.2)$$

Сопrotивление магнитной цепи (рис. 1.5) $R_M = R_{Mi} + R_{Me}$, где R_{Mi} – внутреннее сопротивление (железный сердечник); R_{Me} – наружное сопротивление (воздушный зазор). Так как $R_{Mi} \ll R_{Me}$, то

$$\Phi = F / (R_{Mi} + R_{Me}) \approx F / R_{Me}. \quad (1.3)$$

Выражение (1.3) аналогично закону Ома для электрической цепи.

Аналогия между магнитной и электрической цепями постоянного тока показана в таблице.

Электрическая цепь	Магнитная цепь
Ток, i [А]	Поток, Φ [Вб]
ЭДС, e [В]	МДС, F [А]
Электрическое сопротивление, R [Ом]	Магнитное сопротивление R_M [Гн ⁻¹]
Удельная электрическая проводимость, σ [См/м]	Магнитная проницаемость, μ [Гн/м]

Аналогия между удельной проводимостью σ и проницаемостью μ следует из следующих известных соотношений:

$$R = l / \sigma S, \quad R_M = l / \mu S, \quad (1.4)$$

где l – длина, а S – поперечное сечение проводника для тока в электрической цепи и магнитного потока в магнитной цепи (рис. 1.5).

Однако существуют и некоторые важные отличия цепи постоянного тока и магнитной цепи:

- в электрическом сопротивлении имеются тепловые потери $I^2 R$, однако не существует аналогичных потерь $\Phi^2 R_M$ в магнитном сопротивлении;
- часть магнитного потока, называемая потоком рассеяния Φ_p , не идет по железному сердечнику, а замыкается прямо по воздуху (рис. 1.5). Электрический ток по воздуху практически отсутствует;
- электрические цепи линейны, а магнитные нелинейны. Нелинейные свойства магнитной цепи следуют из кривой намагничивания железного сердечника, показанной на рис. 1.6, где $B = \Phi/S$ – магнитная индукция, а H –

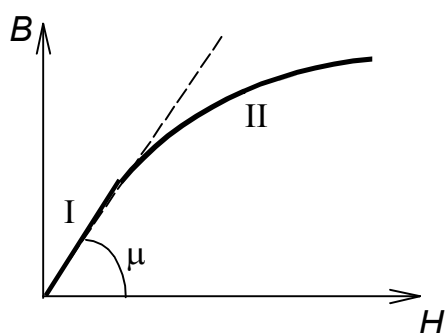


Рис. 1.6

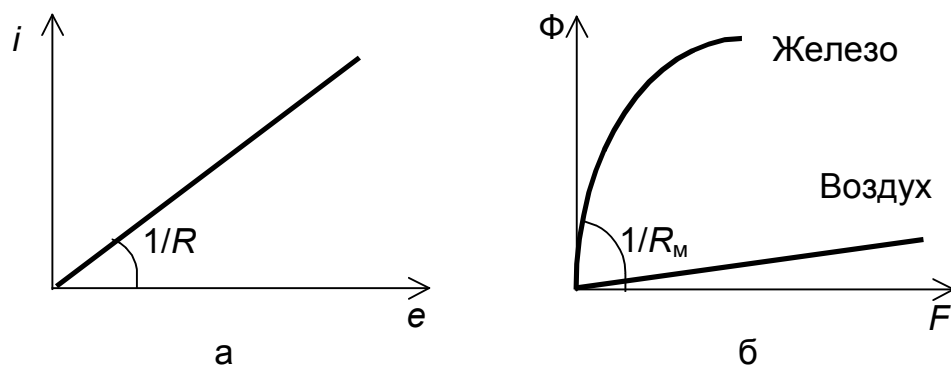


Рис. 1.7

напряженность магнитного поля в сердечнике.

Для линейной зоны I можно принять постоянный наклон кривой, т. е. магнитную проницаемость $\mu = B/H = \text{const}$.

Для зоны II магнитная проницаемость уменьшается, поэтому в электрических машинах стремятся ограничить рабочую зону значением $B \leq 1.4$ Тл. Для воздуха $\mu = \mu_0 = \text{const}$ для любой индукции, однако, ее значение много меньше, чем для железа. Вольтамперные характеристики для замкнутой электрической цепи и аналогичные характеристики магнитной цепи приведены на рис. 1.7. Они следуют из (1.4) и рис. 1.6.

1.3. Вращающееся магнитное поле

Вращающееся магнитное поле условно можно представить в виде символического вектора потока Φ , вращающегося с угловой скоростью ω относительно неподвижной системы координат α, β (рис. 1.8). Длина этого вектора определяет магнитный поток через некоторое рассматриваемое сечение.

Вращающееся магнитное поле может быть непрерывным и дискретным. Для непрерывного вращающегося поля $\omega = \text{const}$, вектор Φ движется непрерывно и угол $\theta = \omega t$. Для дискретно вращающегося поля Φ перемещается шагами, как стрелка кварцевых часов. Вращающееся магнитное поле будет круговым, если модуль потока постоянен $|\Phi| = \Phi = \text{const}$. С вектором потока Φ может быть совмещен вектор МДС F ,

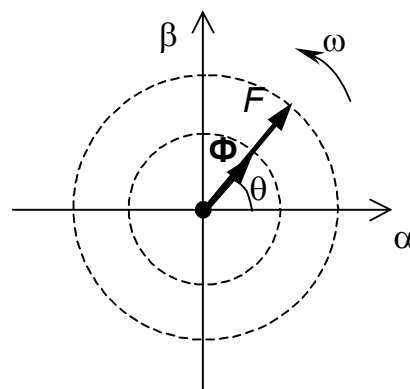


Рис. 1.8

что следует из (1.3), если принять магнитное сопротивление величиной вещественной (скалярной). Длина этого вектора определяется из (1.2).

Существует три способа создания кругового вращающегося магнитного поля: вращающимся постоянным магнитом (рис. 1.9, а), вращающимся

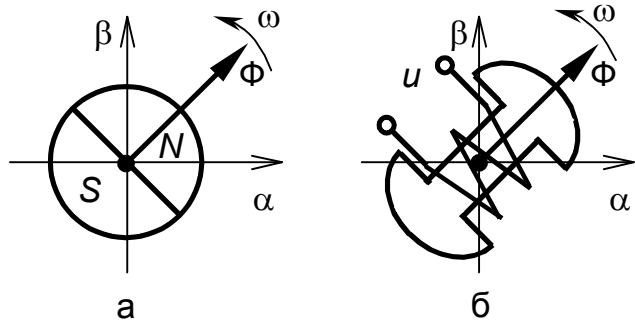


Рис. 1.9

электромагнитом (рис. 1.9, б) и неподвижной

-многофазной обмоткой. Многофазная обмотка – это обмотка, состоящая из нескольких катушек (фаз), число которых m , а оси сдвинуты в пространстве на определенный

угол. На рис. 1.10 для примера представлена двухфазная обмотка ($m = 2$), а на рис. 1.11 – трехфазная ($m = 3$).

Для вращающегося магнитного поля также справедлив принцип

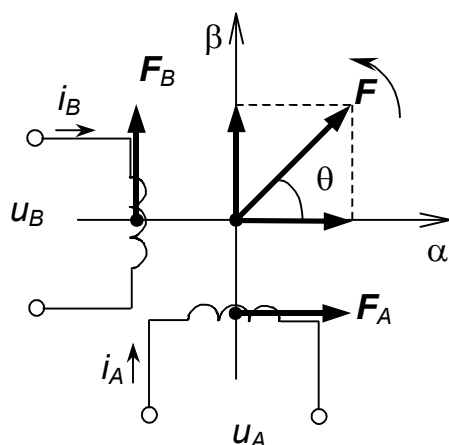


Рис. 1.10

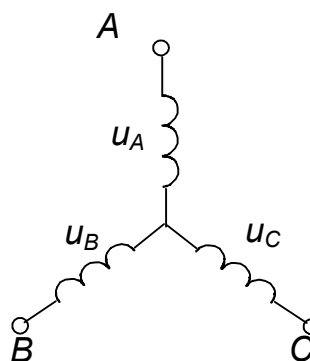


Рис. 1.11

эквивалентности, т. е. независимости поля от способа его создания.

Предположим, что многофазная обмотка действительно создает вращающееся магнитное поле, вектор МДС F которого вращается с угловой скоростью ω . Тогда проекции вектора F на координатные оси α , β будут определять мгновенные значения фазных МДС

$$F_A = F \cos \theta, \quad F_B = F \sin \theta, \quad (1.5)$$

где $F = |F|$, $\theta = \omega t$.

С учетом (1.2)

$$F_A = i_A w_A ; F_B = i_B w_B. \quad (1.6)$$

В соответствии с принципом эквивалентности будем считать, что F создан вращающимся электромагнитом с числом витков w и током $i_m = \text{const}$:

$$F = i_m w. \quad (1.7)$$

Предположим также, что

$$w_A = w_B = w. \quad (1.8)$$

Тогда, подставляя (1.6) – (1.8) в (1.5), получим

$$i_A = i_m \cos \theta = i_m \cos \omega t = i_m \sin (\omega t + \pi/2),$$

$$i_B = i_m \sin \theta = i_m \sin \omega t.$$

Таким образом, получены два квадратурных тока фаз, которые показаны на рис. 1.12. Следовательно, условия

создания вращающегося магнитного

поля при $m = 2$ формулируются

следующим образом:

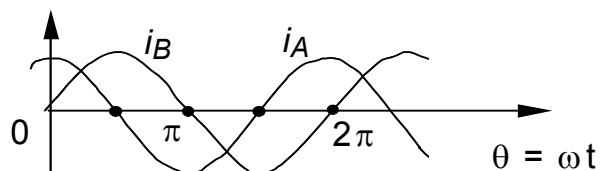


Рис. 1.12

1. Оси фаз должны быть сдвинуты в пространстве на 90° .
2. Токи фаз должны быть сдвинуты по времени (по фазе) на 90° .
3. Амплитуды МДС фаз должны быть одинаковы $F_{Am} = F_{Bm}$. Например, если $w_A = w_B = w$; то $i_{Am} = i_{Bm} = i_m$.

При $m = 3$ (рис. 1.11) можно получить аналогичные условия, но 90° следует заменить на 120° .

Следует помнить, что все полученные соотношения справедливы при гармоническом распределении МДС фаз в пространстве по внутренней поверхности статора. Такое же распределение имеет и полученное вращающееся магнитное поле.

1.4. Основные законы электромеханики

1.4.1. Закон Ампера (закон электромагнитного взаимодействия)

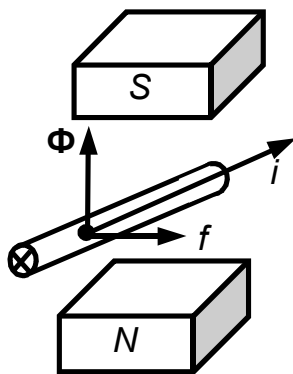


Рис. 1.13

Закон электромагнитного взаимодействия был экспериментально установлен в 1825 г. французским ученым Андре Мари Ампером. Рассмотрим две формы закона Ампера: классическую и обобщенную. Первая описывает взаимодействие магнитного поля с проводником, несущим ток. Обобщенная форма относится к взаимодействию двух магнитных полей. Рассмотрим проводник длиной l с постоянным током i , расположенный в поле постоянного магнита (рис. 1.13).

Этот проводник будет перемещаться под действием силы Ампера

$$f = B l i, \quad (1.9)$$

где i – ток; l – длина проводника в пределах магнитного поля; B – индукция.

Это есть классическая форма закона Ампера. Направление силы Ампера определяется правилом левой руки.

Для вращающихся электрических машин удобнее определять вращающий момент непосредственно из взаимодействия полей обмоток статора и ротора. Здесь может быть применена обобщенная форма закона Ампера. На рис. 1.14 показаны два независимых тела 1 и 2, каждое из которых создает свое магнитное поле с МДС F_1 и F_2 , потоками Φ_1 и Φ_2 , идущими по общей магнитной цепи. Тогда взаимодействие этих двух магнитных полей создаёт вращающий момент согласно обобщённой форме закона Ампера в виде векторного произведения

$$M = 1/R_M (F_1 \times F_2), \quad (1.10)$$

где R_M – магнитное сопротивление общей магнитной цепи. Важным условием справедливости обобщенной формы (1.10) закона Ампера является гармоническое распределение всех МДС в пространстве.

Скалярная форма произведения (1.10) имеет вид

$$M = 1/R_M (F_1 F_2 \sin \theta_M), \quad (1.11)$$

где θ_M – магнитный угол, показанный на рис. 1.14.

Так как оба магнитных поля независимы, то с учетом (1.1) уравнения (1.10) и (1.11) можно записать в виде

$$\begin{aligned} M &= R_M (\Phi_1 \times \Phi_2) = F_1 \times \Phi_2 = \Phi_1 \times F_2, \\ M &= R_M \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta_M = F_1 \Phi_2 \sin \theta_M \end{aligned} \quad (1.12)$$

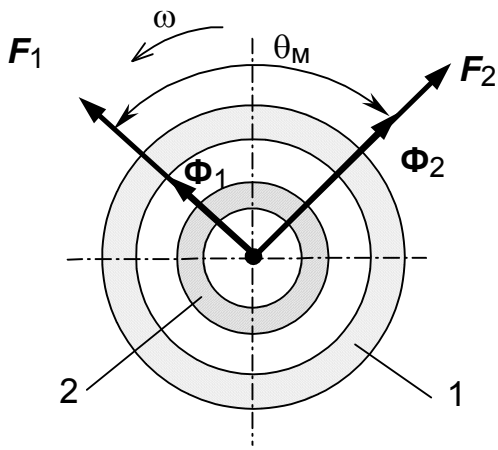


Рис. 1.14

Направление вращающего момента таково, что он стремится совместить векторы F_1 и F_2 .

Обобщенная форма закона Ампера имеет два важных следствия.

Следствие 1. Любой электродвигатель создает постоянный вращающий момент тогда и только тогда, когда два взаимодействующих магнитных

поля (например, статора и ротора) взаимнонеподвижны и вращаются синхронно (т. е. с одинаковой скоростью). Следовательно, $M = \text{const}$, если $\theta_M = \text{const}$.

Следствие 2. Максимум вращающего момента достигается при взаимной перпендикулярности двух взаимодействующих магнитных полей, т. е. $M = M_m$ при $\theta_M = \pi/2$.

В законе Ампера магнитные поля совершенно равноправны, но фактически их роль различна. Одно магнитное поле является вращающимся, а второе – «зацепляющимся» или «притягиваемым». Для двигателей переменного тока вращающееся поле создается статором, а в двигателях постоянного тока – ротором, который называется якорем. Таким образом, обозначив, например, величины, относящиеся к якорю двигателя постоянного тока, индексом «я», а к его индуктору (статору) – «в», можно записать $M = F_{я} \times \Phi_{в}$, $M = F_{я} \Phi_{в} \sin \theta_M$.

Пример. Проиллюстрируем справедливость обобщенной формы закона Ампера на примере прямоугольной рамки с током длиной l , радиусом r и числом витков w , находящейся в равномерном магнитном поле с индукцией B (рис. 1.15). Из обобщенной формы (1.12) вращающий момент можно записать как

$$M = F_r \Phi_s \sin \theta_M, \tag{1.13}$$

где МДС рамки (ротора)

$$F_r = iw, \tag{1.14}$$

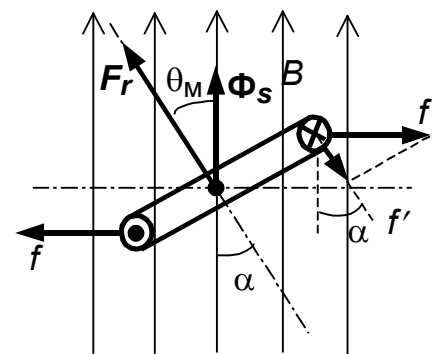


Рис. 1.15

а максимальная величина потока статора, взаимодействующего с рамкой,

$$\Phi_s = 2Blr. \quad (1.15)$$

Тот же момент может быть найден из классической формулы (1.9).

На рамку, изображенную на рис. 1.15 действует момент

$$M = 2f'r, \quad (1.16)$$

где $f' = f \cos(\pi/2 - \alpha).$ (1.17)

Так как $\alpha = \theta_M$, равенства (1.16), (1.17) дают вращающий момент $M = (2Blr)iw \sin \theta_M$, который с учетом (1.14) и (1.15) совпадает с (1.13).

Следовательно, обе формы закона Ампера дают одинаковый результат.

1.4.2. Закон Фарадея (закон электромагнитной индукции)

Закон электромагнитной индукции был открыт английским физиком Майклом Фарадеем в 1831 г. Он описывает ЭДС, наводимую в подвижном проводнике при пересечении им магнитных силовых линий или в неподвижном контуре, находящемся в меняющемся во времени магнитном поле (как в трансформаторе).

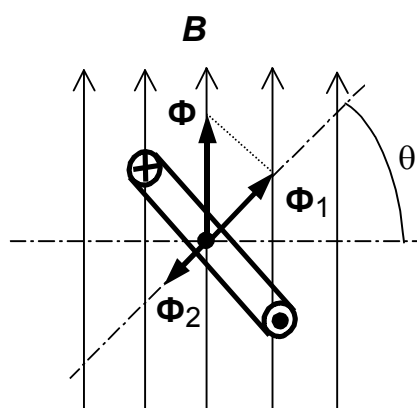


Рис. 1.16

Рассмотрим прямоугольную рамку с числом витков w и площадью S в однородном магнитном поле с индукцией B , показанную на рис. 1.16.

Обозначим через $\Phi = BS$ максимальную величину потока, взаимодействующего с рамкой. Тогда согласно закону Фарадея ЭДС, наводимая в рамке равна

$$E = -d\Psi_{\perp}/dt = -w d\Phi_{\perp}/dt, \quad (1.18)$$

где $\Phi_{\perp} = \Phi_1 = \Phi \sin \theta$ (1.19)

есть проекция вектора Φ на ось рамки, а $\Psi_{\perp} = w \Phi_{\perp}$ называется потокоцеплением рамки. Следовательно, ЭДС может наводиться только при каких-либо изменениях во времени магнитного потока, связанного с рамкой.

Рассмотрим некоторые следствия закона Фарадея, описывающие частные случаи этого явления.

Следствие 1 (ЭДС вращения). Пусть Рамка вращается с постоянной скоростью $\omega = d\theta/dt = \text{const}$ в стационарном магнитном поле ($\Phi = \text{const}$).

Тогда наводимая ЭДС, называемая ЭДС вращения, следует из (1.18)

$$e = -e_m \cos \theta, \quad (1.20)$$

где максимум ЭДС $e_m = w \Phi \omega$. На рис. 1.17 показаны положения рамки, когда ЭДС достигает максимума (рис. 1.17, а) и нулевого значения (рис. 1.17, б).

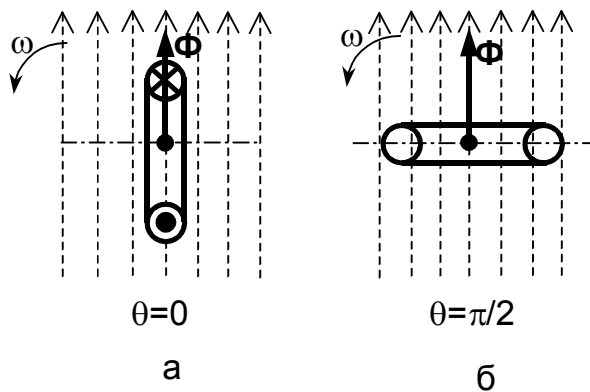


Рис. 1.17

Фарадей говорил, что ЭДС вызывается разрывом силовых

линий. Направление (знак ЭДС) определяется правилом правой руки.

Отметим, что закон Фарадея справедлив и для случая неподвижной рамки и вращающегося поля, т. е. важно взаимное движение поля и рамки. Правило правой руки должно применяться всегда в предположении, что поле неподвижно, а рамка движется относительно него.

Следствие 2 (трансформаторная ЭДС). Рассмотрим неподвижную рамку ($\theta = \text{const}$) в пульсирующем по времени потоке (рис. 1.16). Пусть поток изменяется по гармоническому закону с частотой ω_B $\Phi = \Phi_m \cos \omega_B t$,

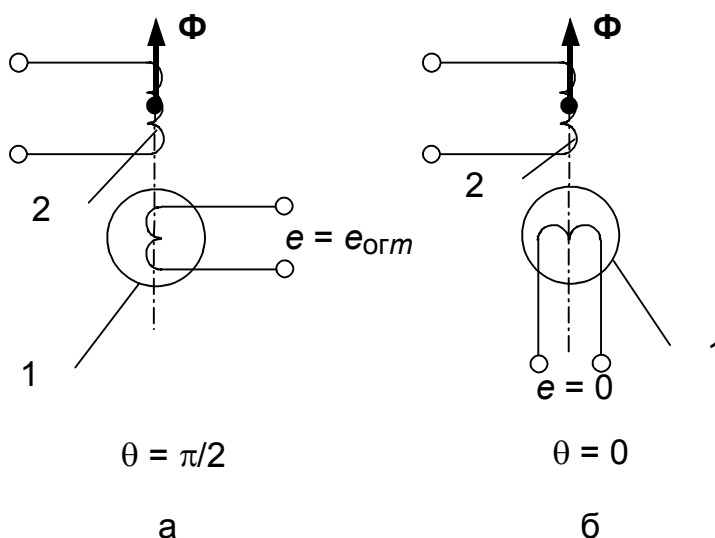


Рис. 1.18

тогда из (1.18) и (1.19) следует $e = (w \Phi_m \omega_B \sin \omega_B t) \sin \theta = e_{ог} \sin \omega_B t$,

где
$$e_{ог} = e_{ог m} \sin \theta, \tag{1.21}$$

$$e_{ог m} = w \Phi_m \omega_B \tag{1.22}$$

Наведенная в этом случае ЭДС, называется трансформаторной, а $e_{ог}$ – ее огибающей. Частные случаи расположения рамки 1 относительно пульсирующего потока Φ , созданного катушкой возбуждения 2, показаны на рис. 1.18. При соосном расположении рамки и катушки (рис. 1.18, а) ЭДС достигает максимального значения, а при взаимно перпендикулярных осях (рис. 1.18, б) ЭДС равна нулю.

Ранее было показано, что любая катушка (рамка) создает максимальный поток вдоль своей оси. Из рис. 1.18 следует, что катушка и воспринимает (чувствует) лучше всего изменение потока, направленного вдоль ее оси. Для трансформатора справедлив рис. 1.18, а. Действующее значение

ЭДС во вторичной обмотке $e = w \Phi_m \omega_B / \sqrt{2} = 4.44 f_B w \Phi_m$, где $f_B = \omega_B / 2\pi$ – есть частота изменения магнитного потока сердечника.

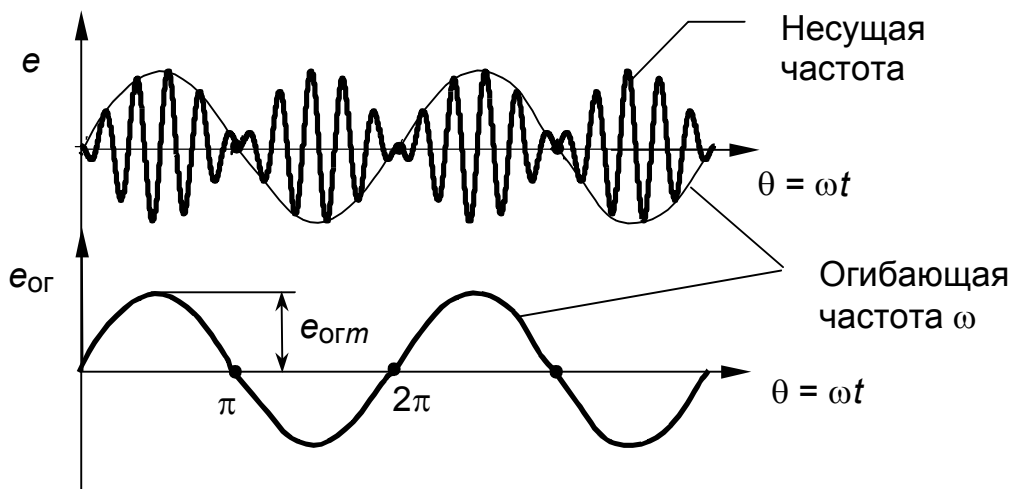


Рис. 1.19

Направление трансформаторной ЭДС определяется правилом Ленца, которое гласит, что трансформаторная ЭДС, имеет такое направление (знак), что создаваемый ею ток производит поток Φ_2 , направленный встречно к потоку Φ_1 , порождающему ЭДС (рис. 1.16).

Вид трансформаторной ЭДС при медленном повороте рамки с частотой $\omega \rightarrow 0$ показан на рис. 1.19. При этом ЭДС вращения предполагается пренебрежимо малой.

2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

2.1. Вращающийся трансформатор

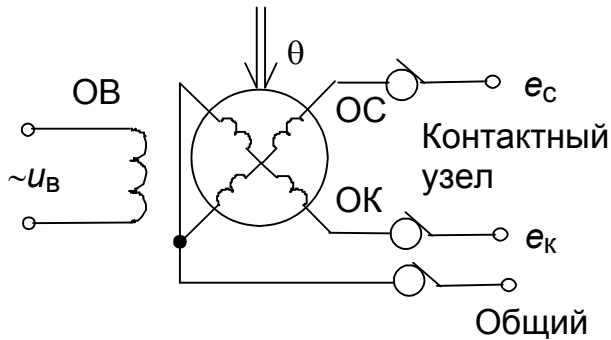


Рис. 2.1

Вращающийся трансформатор (ВТ) является датчиком угла. Его схема представлена на рис. 2.1, где ОВ – обмотка возбуждения (называемая рабочей или первичной обмоткой); ОС – и ОК – синусная и косинусная обмотки соответственно. ОС и ОК, называемые также вторичными или

выходными обмотками, размещены на роторе, а обмотка ОВ – на статоре.

Пусть обмотка возбуждения создает пульсирующий поток возбуждения статора $\Phi_B = \Phi_m \cos \omega_B t$. Тогда в соответствии со следствием 2 закона Фарадея при повороте ротора на угол θ в обмотке ОС наводится трансформаторная ЭДС, $e_c = e_{ог.с} \sin \omega_B t$, где огибающая ЭДС в соответствии с (1.21) и (1.22) меняется по закону синуса $e_{ог.с} = w \Phi_m \omega_B \sin \theta$. Поток возбуждения создается током, а, следовательно, и напряжением возбуждения u_B . Можно показать, что

$$e_{ог.с} = k_{тр} u_{Bm} \sin \theta, \quad (2.1)$$

где u_{Bm} амплитуда напряжения возбуждения, $k_{тр}$ – коэффициент трансформации ВТ. Нетрудно убедиться, что на обмотке ОК, намотанной перпендикулярно ОС, трансформаторная ЭДС меняется по закону косинуса

$$e_k = e_{ог.к} \sin \omega_B t,$$

$$e_{ог.к} = w \Phi_m \omega_B \cos \theta = k_{тр} u_{Bm} \cos \theta. \quad (2.2)$$

Рассмотренный ВТ называется синусно-косинусным вращающимся трансформатором (СКВТ). Вид выходных ЭДС при медленном повороте ВТ с угловой скоростью ω показан на рис. 2.2, где $\theta = \omega t$. Значение измеряемого угла θ можно вычислить, например, по формуле $\theta = \arctg e_{ог.с}/e_{ог.к}$. Упрощенное обозначение ВТ в схемах показано на рис. 2.3.

Для выделения огибающей используется специальная электронная схема (рис. 2.4), называемая фазочувствительным выпрямителем (ФЧВ) или детектором.

Для улучшения формы огибающих и снижения ошибки измерения, вызванной влиянием нагрузки, в ВТ применяются специальные меры, называемые симметрированием.

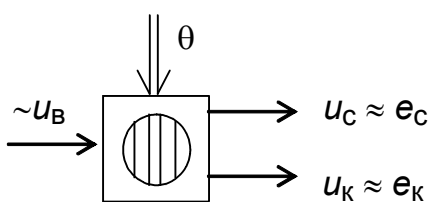


Рис. 2.3

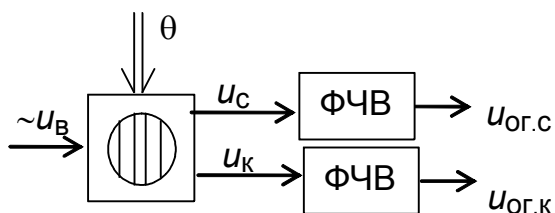


Рис. 2.4

При включении нагрузки R_c, R_k (рис. 2.5) вторичные обмотки ВТ создают

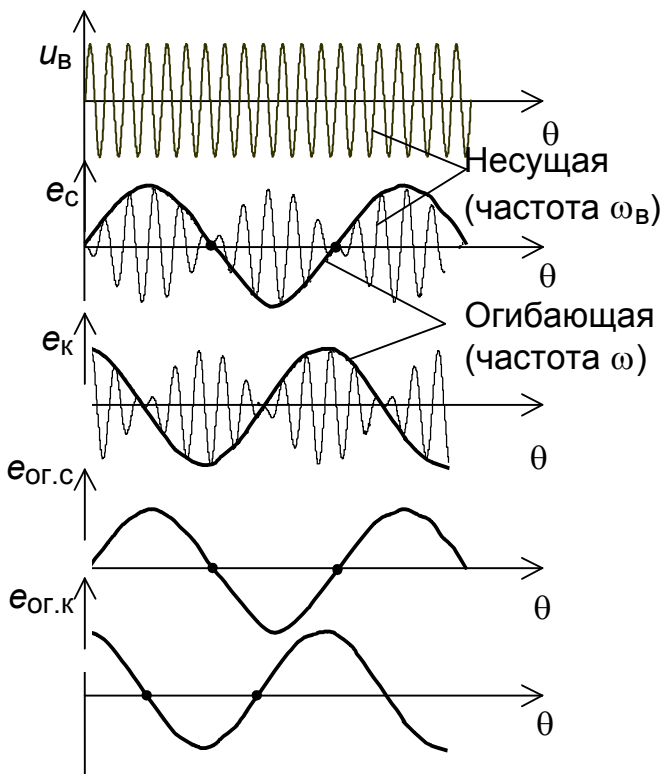


Рис. 2.2

свой размагничивающий поток, и суммарный магнитный поток возбуждения ВТ будет искажен. В результате этого появится ошибка, для борьбы с которой и применяется симметрирование. Существует два способа симметрирования:

1. *Первичное симметрирование.* На статоре ВТ наматывают еще одну дополнительную обмотку ДО, называемую компенсационной или квадратурной, концы которой закорачивают, как показано на рис. 2.5.

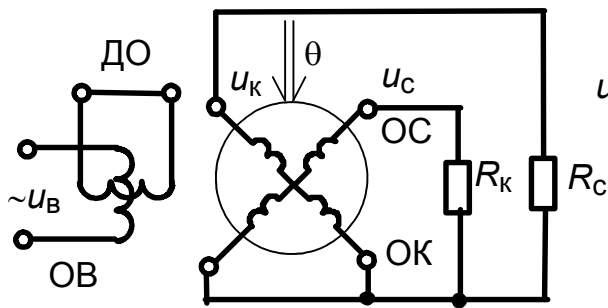


Рис. 2.5

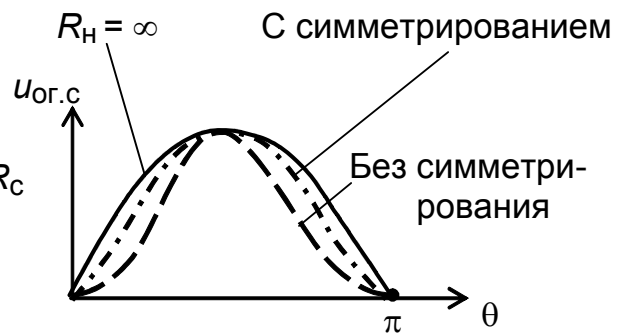


Рис. 2.6

2. *Вторичное симметрирование.* При этом способе

сопротивления нагрузки выходных обмоток принимают равными: $R_C = R_K$

3. (рис. 2.5).

Вид полупериода огибающей выходного напряжения $u_{ог.с}$ при различных способах симметрирования показан на рис. 2.6. Кроме того, для уменьшения влияния нагрузки ВТ используют развязывающие выходные усилители, для которых $R_H \rightarrow \infty$. ия нагрузки выходных обмоток принимают равными: $R_C = R_K$ (рис. 2.5).

ВТ широко применяются в системах автоматического управления для дистанционной передачи угла. Для этой цели используются два ВТ, включенные по схеме рис. 2.7, где ДУ – датчик угла, ПУ – приемник угла, θ – передаваемый угол.

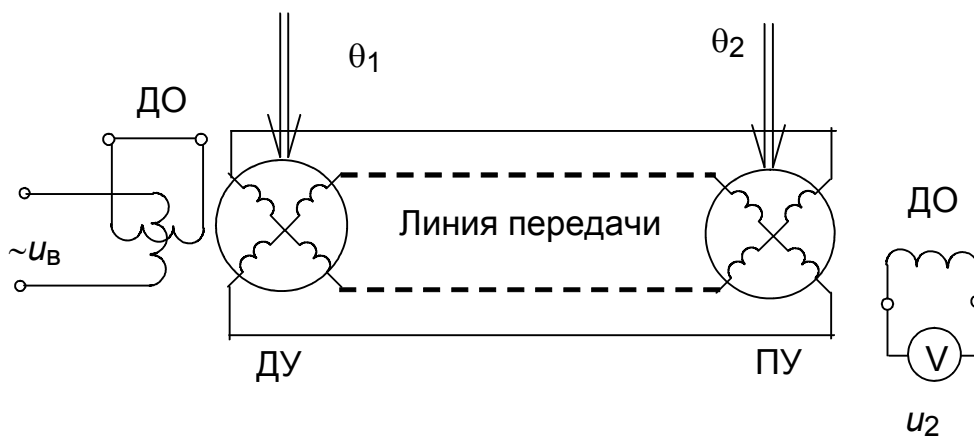


Рис. 2.7

Длина линии передачи может достигать до 500 м. При такой схеме включения ВТ выходное напряжение обмотки ДО приёмника ПУ определяется выражением $u_2 = k_{д.п} (\theta_1 - \theta_2)$, где $k_{д.п}$ – постоянный коэффициент дистанционной передачи. Последнее выражение

справедливо при $\theta_1 - \theta_2 \ll 30^\circ$. Следовательно, поворачивая вал ПУ на угол θ_2 , добиваются $u_2 = 0$, при котором $\theta_2 = \theta_1$.

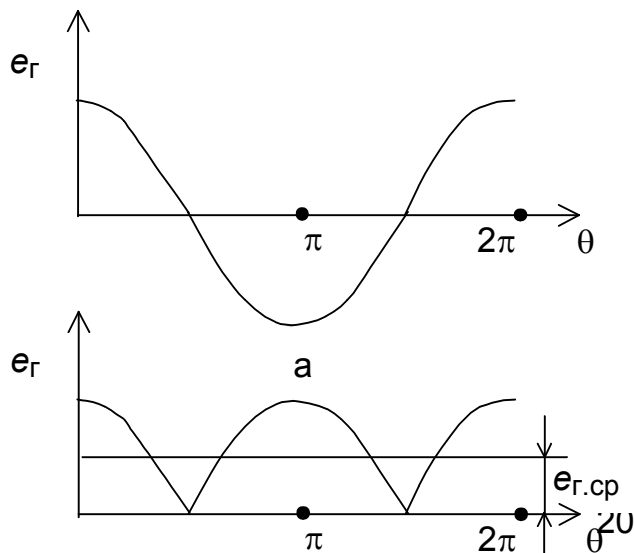
2.2. Тахогенератор постоянного тока

Тахогенератор – это датчик скорости, ротор которого соединяется с валом, угловая скорость ω которого измеряется. С выхода снимается ЭДС e_r постоянного или переменного тока



Рис. 2.8

пропорциональная скорости ротора (рис.2.8). $e_r = s_\omega \omega$, где s_ω - крутизна тахогенератора. Принцип действия тахогенератора постоянного тока поясняется на рис. 2.9, а, где 1 – рамка или катушка с числом витков w ; 2 – постоянный магнит статора; 3 – щетка; 4 – контактное кольцо. При вращении рамки по следствию 1 закона Фарадея в ней наводится ЭДС вращения (1.20) $e_r = -e_m \cos \theta$, где $e_m = wBS\omega$, (B – индукция магнитного поля, S – площадь рамки); θ – угловое положение рамки, отсчитываемое от вертикальной оси.



б

Рис. 2.10

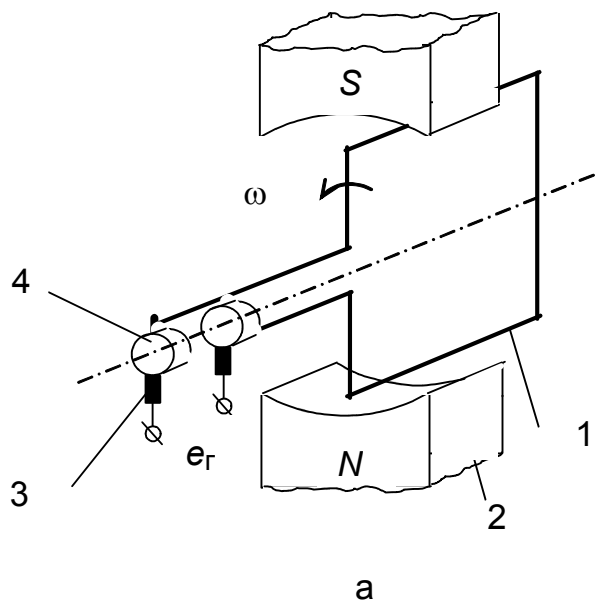


Рис.

Вид выходной ЭДС показан на рис. 2.10, а (видно, что ЭДС

меняет полярность). Для получения ЭДС одного знака используется щеточно-коллекторный узел, показанный на рис. 2.9, б. Он содержит две контактные пластины 5, разделенные изолятором 6. В этом случае, по правилу правой руки, выходная ЭДС будет иметь постоянный знак (рис. 2.10, б), а ее среднее значение $e_{г.ср} = s_{\omega}\omega$. Для уменьшения пульсаций выходного сигнала используется не одна, а несколько рамок на роторе и соответствующее количество контактных пластин щеточно-коллекторного узла, как показано на рис. 2.11. Эти рамки образуют обмотку якоря тахогенератора. Вид выходного сигнала в этом случае показан на рис. 2.12. В современных тахогенераторах применяются другие виды обмоток, например петлевая.

Условное обозначение тахогенератора постоянного тока приведено на рис. 2.13, а. Постоянный магнит на статоре можно заменить электромагнитом, создающим поток возбуждения (рис. 2.13, б). Тахогенератор,

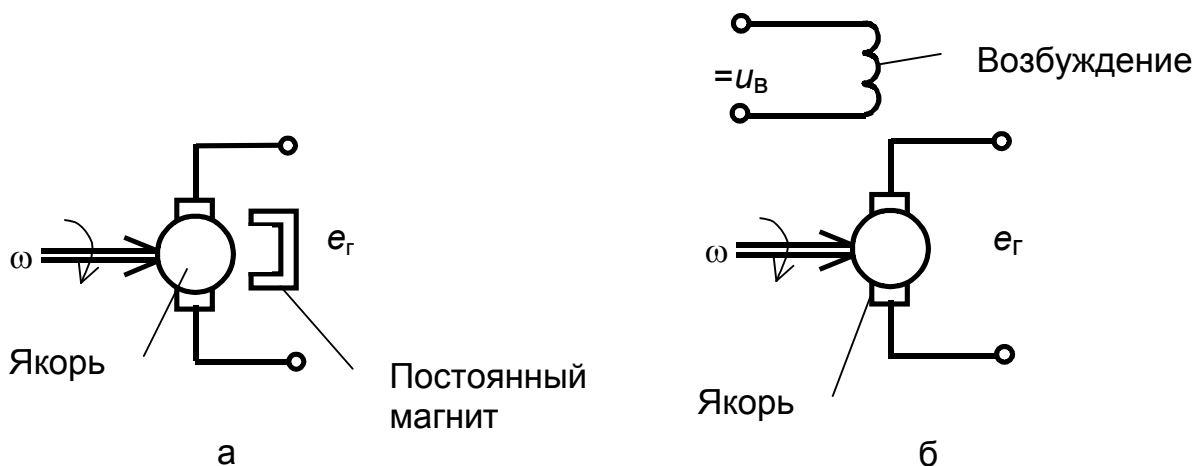


Рис. 2.13

представленный на рис. 2.13, а, имеет магнитоэлектрическое возбуждение, а на рис. 2.13, б – электромагнитное.

Главным преимуществом рассмотренного тахогенератора является выходной сигнал постоянного тока. Все его недостатки связаны с наличием щеточно-коллекторного узла, вызывающим пульсацию выходного сигнала, зону нечувствительности при низких скоростях и плохую работу в тяжелых условиях эксплуатации.

2.3. Асинхронный тахогенератор

Действие асинхронного тахогенератора (АТ) также основано на законе Фарадея, однако он не имеет щеточно-коллекторного узла и генерирует на выходе ЭДС переменного тока. АТ содержит (рис. 2.14, а) две взаимно перпендикулярные обмотки статора: обмотку возбуждения ОВ и генераторную (выходную) обмотку ОГ. Ротор имеет короткозамкнутую обмотку ОР, например с четырьмя витками 1–4, один из которых показан на рис. 2.14 б. Поток возбуждения i_B в обмотке возбуждения, запитанной напряжением переменного тока $u_B = u_{Bm} \sin \omega_B t$, создает поток возбуждения Φ_B , пульсирующий по вертикальной оси возбуждения (рис. 2.15).

Рассмотрим два режима работы, в первом из которых ротор неподвижен ($\omega = 0$), а во втором вращается с постоянной скоростью ($\omega \neq 0$). Для первого режима выходная ЭДС e_r равна нулю. Причина этого состоит в следующем. Выходная ЭДС складывается из двух составляющих

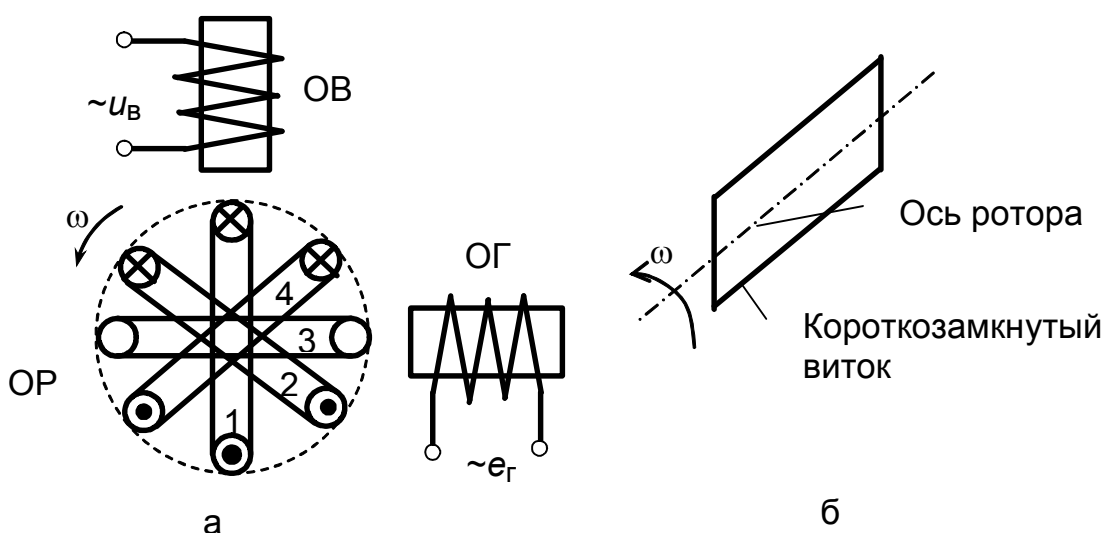


Рис. 2.14

$e_r = e_{GB} + e_{rR}$, где e_{GB} – трансформаторная ЭДС, наведенная со стороны ОВ, e_{rR} – ЭДС, наведенная со стороны ОР. Так как обмотки возбуждения ОВ и генераторная ОГ взаимно перпендикулярны, то $e_{GB} = 0$. Что касается e_{rR} , то при неподвижном роторе она может создаваться за счет токов в ОЯ, созданных трансформаторной ЭДС от ОВ. Однако по правилу Ленца в витках короткозамкнутой неподвижной обмотки наводятся такие токи, что создаваемые ими потоки препятствуют изменению магнитного потока

возбуждения Φ_B . Следовательно, результирующий поток Φ_{Br} будет так же, как и Φ_B , направлен по вертикальной оси возбуждения (рис. 2.15), и следовательно, $e_{rr} = 0$.

При вращении ротора в каждой витке ОР дополнительно наводится ЭДС вращения и создаются токи, направления которых в соответствии с правилом правой руки показаны на рис. 2.14, а. Эти токи создают в каждой витке МДС порождающие магнитные потоки, направление которых определяется правилом буравчика (рис. 2.15), причем $\Phi_3 = 0$. Нетрудно убедиться, что результирующий поток ротора $\Phi_{r\omega} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$ при вращении направлен по оси ОГ. Этот поток и наводит в выходной обмотке ЭДС $e_r = e_{rm} \sin \omega_B t$, где $e_{rm} = s_\omega \omega$, s_ω – крутизна асинхронного тахогенератора.

Цепь преобразований энергии в АТ можно представить в следующем виде:

$$u_B \rightarrow i_B \rightarrow F_B \rightarrow \Phi_B \rightarrow e_{r\omega} \rightarrow i_{r\omega} \rightarrow F_{r\omega} \rightarrow \Phi_{r\omega} \rightarrow e_r.$$

В качестве ротора АТ может быть использовано любое металлическое тело, например алюминиевый стаканчик. Обозначение асинхронного тахогенератора в схемах показано на рис. 2.16.

Асинхронный тахогенератор в отличие от тахогенератора постоянного тока не содержит щеточно-коллекторного узла, поэтому не имеет пульсаций выходного сигнала и зоны нечувствительности даже при низких скоростях. Он может надежно работать в тяжелых условиях

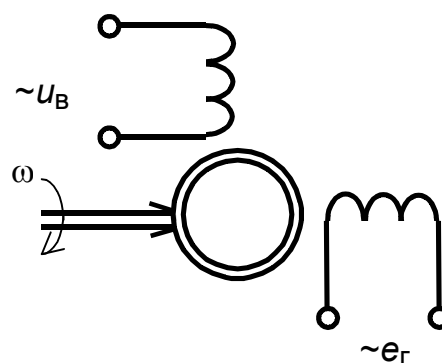


Рис. 2.16

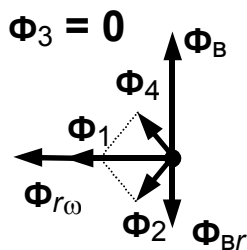


Рис. 2.15

эксплуатации. К его

недостаткам следует

отнести наличие остаточного напряжения при неподвижном роторе за счет технологической неперпендикулярности осей обмоток ОВ и ОГ. Кроме того, он требует добавочного источника напряжения возбуждения (как правило, высокой частоты 400...1000 Гц) и его крутизна существенно ниже, чем у тахогенератора

постоянного тока.

2.4. Характеристики информационных электрических машин

Для электромеханических датчиков, изучаемых в курсе ЭМСА, наибольший интерес представляют следующие статические характеристики:

1. Выходная характеристика – зависимость выходной величины (напряжения) от входной (угла, скорости) при постоянных значениях напряжения и частоты питания, а также тока нагрузки.

2. Внешняя характеристика – зависимость выходной величины (напряжения) от тока нагрузки при постоянных значениях входной

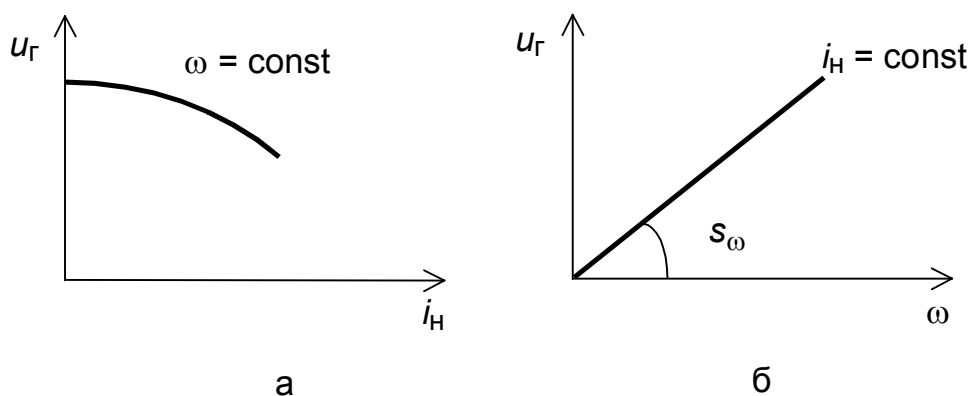


Рис. 2.17

величины (угла, скорости), напряжения и частоты питания.

На рис. 2.17 приведены, для примера, идеализированные внешняя (рис. 2.17, а) и выходная (рис. 2.17, б) характеристики тахогенератора постоянного тока, где u_r – выходное напряжение; i_n – ток нагрузки, подключенной к выходу. Примером выходных характеристик СКВТ являются зависимости на рис. 2.2 и 2.6.

3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Электродвигатель – это электрическая машина, которая при подаче на ее зажимы управляющего или питающего напряжения создает вращающий момент, обеспечивающий вращение выходного вала.

3.1. Коллекторный двигатель постоянного тока

Простейший коллекторный ДПТ построен аналогично тахогенератору постоянного тока, представленному на рис. 2.9 и 2.11. Однако в отличие от тахогенератора на обмотку якоря 1 ДПТ (рис. 2.9, а) через щеточно-коллекторный узел подается постоянное напряжение $u_{я}$, создающее ток

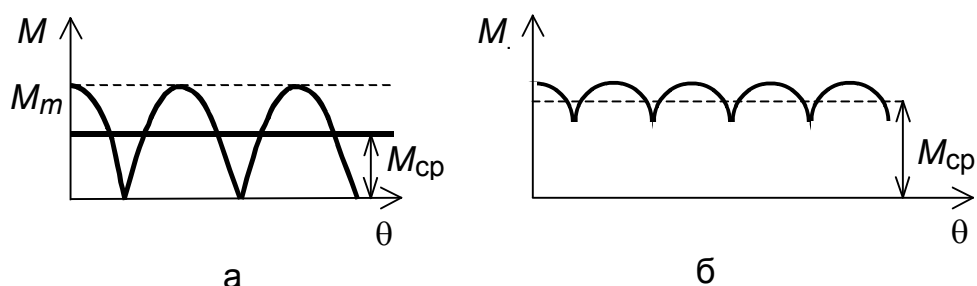


Рис. 3.2

якоря $i_{я}$.

Щеточно-коллекторный узел обеспечивает переключение тока обмотки якоря таким образом, что в нижней и верхней параллельных ветвях обмотки якоря всегда идут токи одного направления, например так, как показано на рис. 3.1. Магнит статора создает поток возбуждения Φ_B , а ток якоря – МДС обмотки якоря $F_{я}$. Следовательно, по закону Ампера создается сила f , направленная по правилу левой руки, и вращающий момент, определяемый из (1.13). При положении рамки, показанном на рис. 3.1, $\theta_M = \pi/2$, вращающий момент максимален $M = M_m = F_{я}\Phi_B$. При повороте рамки вращающий момент уменьшается в соответствии с (1.13), как показано на рис. 3.2, а, где угол поворота рамки θ отсчитывается от

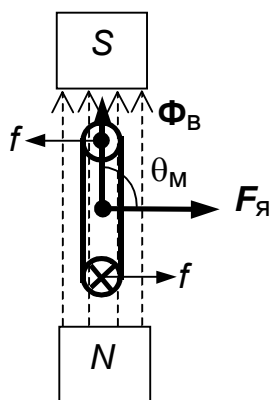


Рис. 3.1

вектора Φ_B , т. е. от вертикальной оси. Видно, что вращающий момент одной рамки сильно пульсирует, но его среднее значение $M_{cp} >> 0$.

Конструкция реального ДПТ обеспечивает значительно меньшие пульсации момента (рис. 3.2, б) за счет нескольких рамок (секций) обмотки якоря и щеточно-коллекторного узла, показанного, например, на рис. 2.11. Рис. 3.2 аналогичен рис. 2.10, б и 2.12, что соответствует принципу обратимости Ленца, согласно которому любая

электрическая машина может работать и как двигатель, и как генератор.

На рис. 3.3 показаны условные обозначения на схемах ДПТ с магнитоэлектрическим (рис. 3.3, а) и электромагнитным возбуждением (рис. 3.3, б), где u_B называется напряжением возбуждения.

Существует два способа управления ДПТ:

1. Якорное управление, при котором $u_B = \text{const}$, $u_{\text{я}} = \text{var}$.
2. Полюсное управление, при котором $u_B = \text{var}$, $u_{\text{я}} = \text{const}$.

Вид характеристик ДПТ при якорном управлении приведен в 3.6. Аналогичные характеристики имеет ДПТ с магнитоэлектрическим возбуждением. Характеристики ДПТ при полюсном управлении нелинейные. При мощности до 10 кВт чаще всего применяются ДПТ с магнитоэлектрическим возбуждением.

К преимуществам ДПТ можно отнести: линейность характеристик и стационарность параметров (т. е. постоянство во времени), высокое быстродействие, малые вес и габариты, простоту управления скоростью (посредством изменения напряжения якоря). ДПТ – это наиболее удобный электродвигатель для систем автоматического управления среди

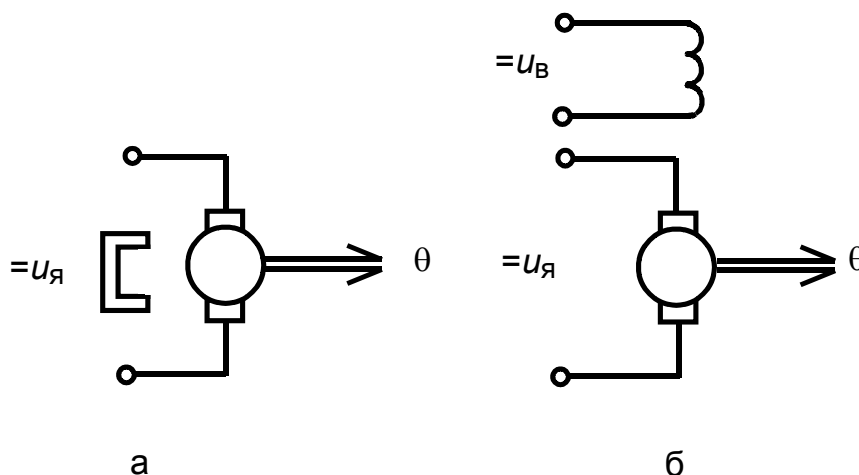


Рис. 3.3

электрических машин первого поколения. Однако он имеет существенные недостатки, связанные с наличием щеточно-коллекторного узла: искрение и помехи, плохая работа в тяжелых условиях эксплуатации (высота, влажность, вибрации и т. д.), низкая надежность и небольшой срок службы. Кроме того, обмотка якоря ДПТ расположена на роторе, что приводит к плохому теплоотводу с поверхности якоря.

3.2. Синхронный двигатель

В синхронном двигателе обмотка выполнена на статоре, а на роторе размещен постоянный магнит (рис. 3.4, а). Обмотка статора (в данном

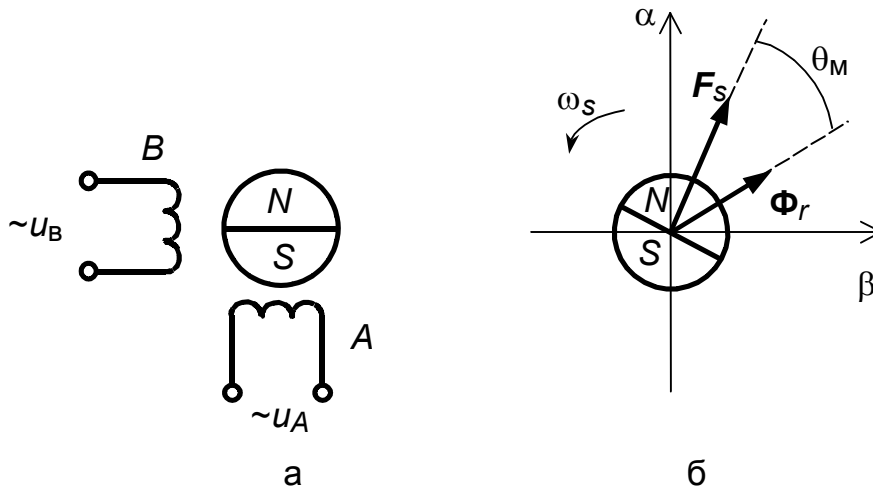


Рис. 3.4

случае – двухфазная) создает непрерывное круговое вращающееся магнитное поле с МДС F_s (рис. 3.4, б) В соответствии с законом Ампера (1.12) вращающий момент

$$M = F_s \Phi_r \sin \theta_M, \quad (3.1)$$

где Φ_r – поток ротора. Уравнение (3.1) описывает так называемую угловую характеристику СД, показанную на рис. 3.5. Таким образом, вращающий момент СД зависит от взаимного положения магнитных потоков ротора и статора. В частности, при $\theta_M = 0$ $M = 0$, а при $\theta_M = \pi/2$ $M = M_m = F_s \Phi_r$ (момент максимален). Если момент нагрузки

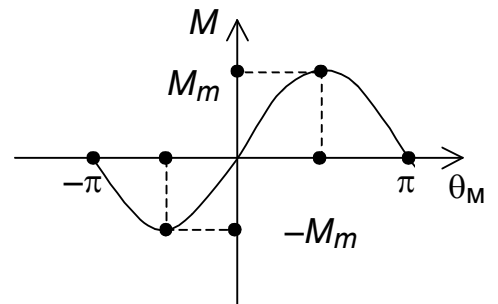


Рис. 3.5

не превышает M_m , то средняя частота вращения ротора $\omega_{\text{ср}} = \omega_s$, т.е. ротор вращается синхронно с полем статора. Это и определяет название двигателя.

Регулирование скорости СД возможно только изменением частоты питания статора.

3.3. Шаговый двигатель

Шаговый двигатель – это электрическая машина второго поколения. Он устроен аналогично СД, однако вращающееся магнитное поле является дискретным (шагающим). Схема двухфазного ШД показана на рис. 3.6, а.

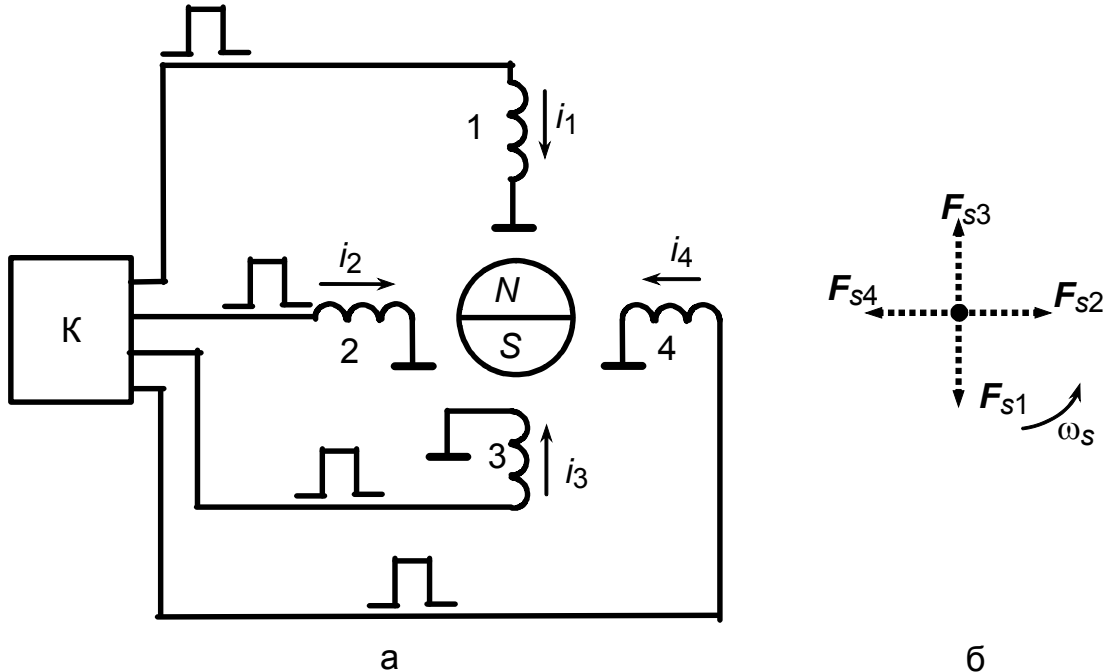


Рис. 3.6

Фазы

Обмотки статора разделены на секции, т. е. каждая фаза имеет две секции. Полупроводниковый коммутатор К поочередно формирует в секциях импульсы тока. При подаче каждого импульса на секции 1–4 создаются МДС F_{s1} – F_{s4} , направленные по осям секций (рис. 3.6, б). При вращении против часовой стрелки поочередность включения секций 1–2–3–4, а по часовой стрелке 1–4–3–2.

Вращающий момент ШД определяется той же формулой, что и у СД (3.1). В данном случае один шаг – это 90° , а в реальном ШД шаг может быть равен нескольким градусам, что достигается конструкцией ШД.

Общий недостаток СД и ШД – это зависимость вращающего момента от взаимного положения ротора и поля статора. ШД применяется, например, в кварцевых часах, дисководах, лентопротяжных механизмах и т. д.

3.4. Моментный двигатель

Моментный двигатель (МД) – это наиболее сложная из всех рассмотренных в курсе электрических машин второго поколения. Вообще моментными двигателями называются электродвигатели, работающие либо в пусковом режиме, либо в режиме поворота или медленного вращения и создающие постоянный вращающий момент (датчики момента).

Рассмотрим МД на основе СД с постоянным магнитом на роторе (рис. 3.7). Будем считать, что МДС статора постоянна по величине

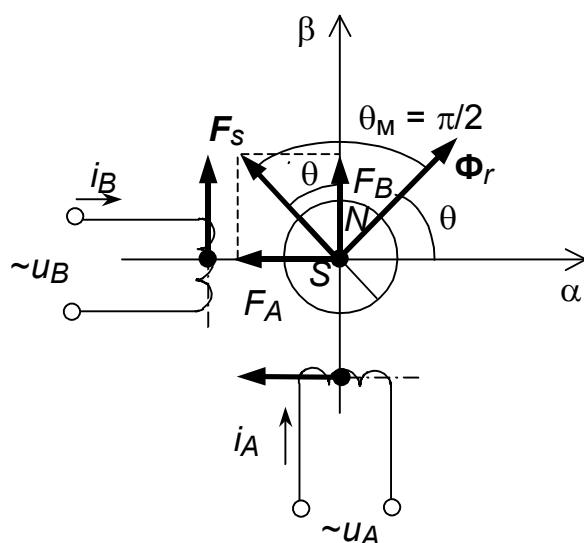


Рис. 3.7

$|F_s| = \text{const}$. Тогда для обеспечения постоянного вращающего момента МД, как следует из (3.1), необходимо, чтобы

$$\theta_M = \pi/2. \quad (3.2)$$

В этом случае проекции МДС статора F_s на оси неподвижной системы координат α, β должны быть равны:

$$F_A = -F_s \sin \theta; F_B = F_s \cos \theta, \quad (3.3)$$

где θ – угловое положение ротора. Но эти проекции МДС создаются соответствующими фазами обмоток статора с числами витков

w_A и w_B :

$$F_A = -i_A w_A; F_B = i_B w_B. \quad (3.4)$$

Пусть $w_A = w_B = w$. Кроме того, предположим, что магнитное поле статора создано вращающимся электромагнитом с тем же числом витков и током i_m :

$$F_s = i_m w. \quad (3.5)$$

Тогда, подставляя (3.4) и (3.5) в (3.3), получим

$$i_A = -i_m \sin \theta; i_B = i_m \cos \theta. \quad (3.6)$$

Если же необходимо выполнить условие (3.2) при вращении ротора с частотой ω , т.е. $\theta = \omega t$, то (3.6) примет вид

$$i_A = -i_m \sin \omega t; i_B = i_m \cos \omega t. \quad (3.7)$$

Таким образом, для обеспечения постоянства вращающего момента необходимо формирование гармонических фазных токов по законам (3.6) и (3.7).

Рассмотрим пусковой режим двигателя, когда $\theta = \text{const}$. Домножим обе части уравнений (3.6) на величину активного сопротивления фазы R_{ϕ} . Тогда получим

$$u_A = -i_m R_{\phi} \sin \theta = -u_m \sin \theta; \quad u_B = i_m R_{\phi} \cos \theta = u_m \cos \theta, \quad (3.8)$$

где u_m – амплитуда фазных напряжений.

Алгоритм работы (3.8) обеспечивается электронными узлами МД. При вращении ротора с большой скоростью алгоритм (3.8) усложняется, так как необходимо учесть не только активное, но и реактивное сопротивление фаз.

Функциональная схема МД приведена на рис. 3.8, где УМ – усилитель мощности (силовая электроника); –1 – инвертор; ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель; ДПР – датчик положения ротора; М – модулятор; u_B – напряжение возбуждения переменного тока; u_y – управляющее (входное) напряжение постоянного тока.

Модулятор преобразует управляющий сигнал постоянного тока в переменное напряжение с частотой возбуждения ω_B : $u_B = u_y \sin \omega_B t$.

В качестве ДПР используется СКВТ, рассмотренный в 2.6. ФЧВ выделяют огибающие выходных сигналов СКВТ (2.1) и (2.2) $u_{ог.с} = k_{тр} u_y \sin \theta$; $u_{ог.к} = k_{тр} u_y \cos \theta$.

После усиления в УМ с учетом действия инвертора получим

$$u_A = -u_m \sin \theta; \quad u_B = -u_m \cos \theta, \quad (3.9)$$

где $u_m = k_y k_{тр} u_y$, k_y – коэффициент усиления УМ. Уравнения (3.9) соответствуют требуемому алгоритму (3.8).

Нетрудно убедиться, что данная схема обеспечивает постоянство вращающего момента МД, пропорционального управляющему напряжению, т. е. $M = ku_y$.

Таким образом, МД можно представить в виде совокупности следующих основных узлов: $MД = СД + ДПР + ЭК$, где ЭК – совокупность всех электронных узлов, обеспечивающих постоянство вращающего момента. Моментный двигатель является частным случаем ВД, под которым

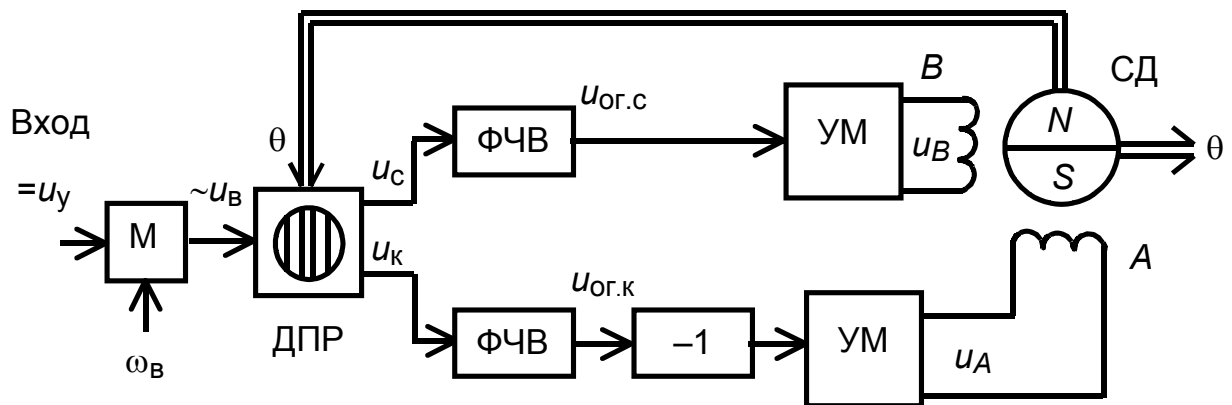


Рис. 3.8

понимается в общем случае электрическая машина второго поколения на базе синхронного двигателя, фазные токи которого определяются угловым положением его ротора. Основной недостаток МД и ВД – их сложность.

3.5. Асинхронный двигатель

Асинхронный двигатель – это самый простой по конструкции электродвигатель. Статор АД содержит двух- или трехфазную обмотку, аналогично СД. Ротор, в отличие от СД, имеет короткозамкнутую обмотку, как в асинхронном тахогенераторе. Условное обозначение АД в схемах показано на рис. 3.9, а, а принцип действия поясняется рис. 3.9, б, где ротор содержит четыре короткозамкнутых рамки 1–4.

Многофазная обмотка статора создает вращающееся магнитное поле

с МДС F_s и частотой ω_s . Представим это поле эквивалентным вращающимся магнитом NS . Рассмотрим первоначально пусковой режим, при котором скорость ротора $\omega = 0$. Вращающееся магнитное поле статора, по следствию

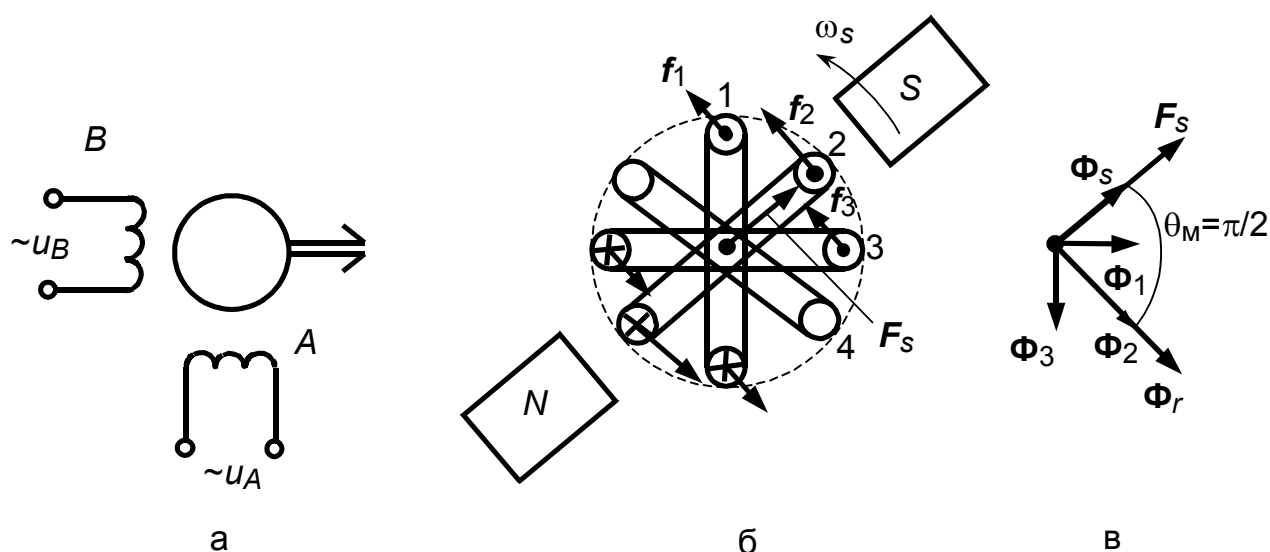


Рис. 3.9

1 закона Фарадея, наводит в каждом короткозамкнутом витке ротора ЭДС вращения. Направление ЭДС вращения определяется правилом правой руки, в предположении неподвижного магнитного поля и вращающейся относительно него рамки (см. 1.4.2). ЭДС вращения в каждой короткозамкнутой рамке ротора создает свой ток. Пренебрегая индуктивностью рамки, можно считать, что направление тока соответствует направлению ЭДС. Взаимодействие токов короткозамкнутых витков ротора с вращающимся магнитным полем создаёт силы Ампера f_1, f_2, f_3 ($f_4 = 0$), направление которых определяется правилом левой руки. Эти силы образуют вращающий момент M против часовой стрелки. Вращающий момент начинает разгонять ротор в сторону вращающегося поля.

Появление вращающего момента АД может быть объяснено и исходя из обобщённой формы закона Ампера (рис. 3.9, в). Токи короткозамкнутых рамок 1–4 создают, по правилу буравчика, векторы потоков Φ_1, Φ_2, Φ_3 ($\Phi_4 = 0$), равнодействующая которых образует поток ротора Φ_r , перпендикулярный МДС статора F_s . Следовательно, вращающий момент $M = F_s \Phi_r = \text{const.}$

Таким образом, цепь энергетических преобразований в АД можно представить в виде

$$(u_A, u_B) \rightarrow (i_A, i_B) \rightarrow F_s \rightarrow \Phi_s \rightarrow e_2 \rightarrow i_2 \rightarrow f \rightarrow M \rightarrow \omega,$$

где Φ_s – поток статора; e_2 и i_2 – ЭДС и ток ротора; f – сумма проекций сил Ампера на оси короткозамкнутых рамок.

Важной особенностью АД является то, что ротор разгоняется до скорости $\omega < \omega_s$, так как при $\omega = \omega_s$ поле не пересекает ротор, поэтому ЭДС и токи в нем не наводятся, а следовательно, не создается и вращающий момент. Этим и объясняется название асинхронного (т. е. несинхронного) двигателя. В качестве ротора АД может быть использовано любое металлическое тело, например полый алюминиевый стаканчик. АД – это самый простой и надежный электродвигатель, способный работать в самых тяжелых условиях эксплуатации. Его основными недостатками являются трудность регулирования скорости и нелинейность механических и регулировочных характеристик.

3.6. Характеристики электродвигателей

В лабораторных работах измеряются и изучаются два вида характеристик – статические и динамические. К статическим относятся: характеристика момента, регулировочная характеристика, механическая характеристика и рабочие характеристики. Они снимаются в установившемся режиме вращения с постоянной скоростью, включая нулевую (пусковой режим). Динамической является характеристика переходного процесса двигателя, например при его запуске.

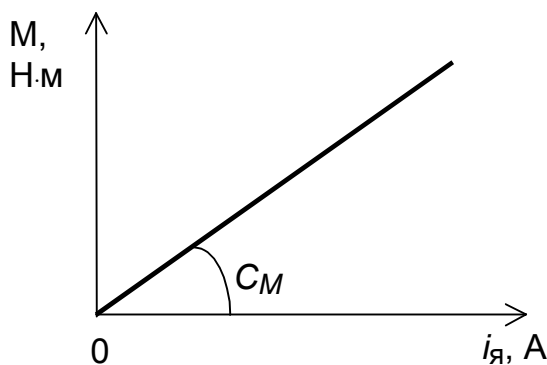


Рис. 3.10

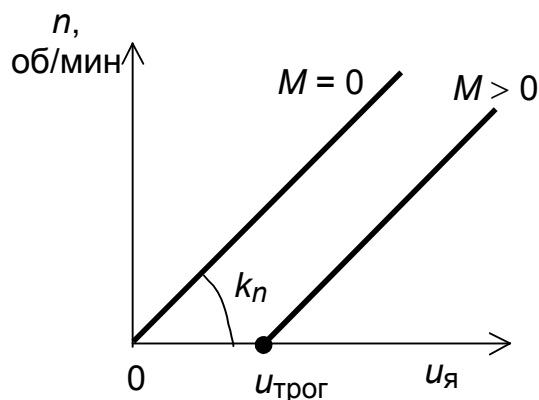


Рис. 3.11

На рис. 3.10–3.12, для примера, показан вид статических характеристик двигателя постоянного тока при якорном управлении.

Характеристика момента двигателя представляет собой зависимость вращающего момента M от тока $i_{я}$ или напряжения якоря $u_{я}$ (рис. 3.10). Вращающий момент двигателя уравнивается моментом нагрузки, который создается электромагнитным тормозом или электромагнитной муфтой и измеряется специальным моментомером.

Для ДПТ $M = C_M i_{я}$, где C_M – коэффициент момента.

Регулировочная характеристика двигателя есть зависимость частоты вращения n от напряжения якоря $u_{я}$ при постоянном нагрузочном моменте $M_H = M$ (рис. 3.11). При $M = 0$ $n = k_n u_{я}$, где k_n – коэффициент пропорциональности. При $M > 0$ двигатель трогается при напряжении $u_{трөг.}$ Частота вращения измеряется импульсным датчиком скорости по частотомеру.

Механическая характеристика двигателя представляет собой зависимость частоты вращения n от вращающего момента M при постоянном напряжении якоря $u_{я}$. Вид этой зависимости приведен на рис. 3.12.

Рабочими характеристиками называются зависимости ряда параметров двигателя от его момента или полезной мощности на валу. Для примера на рис. 3.12 показаны характеристики потребляемого тока $i_{я}$, потребляемой мощности P_1 , полезной мощности на

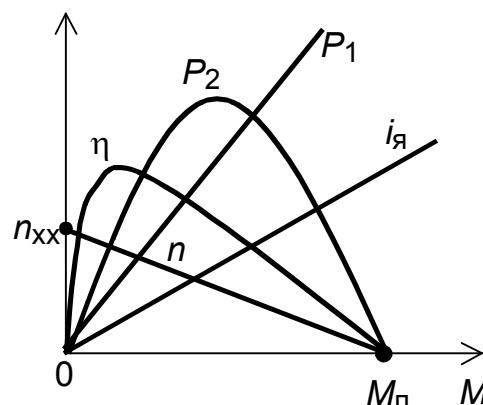


Рис. 3.12

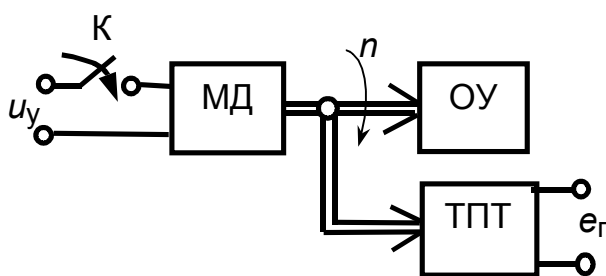


Рис. 3.13

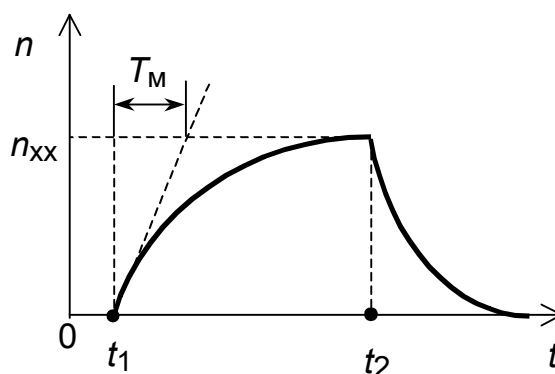


Рис. 3.14

валу P_2 , коэффициента полезного действия η в функции вращающего момента M при постоянном напряжении $u_{я}$.

В лабораторных работах переходный процесс изучается на примере зависимости скорости моментного двигателя n от времени при его разгоне и торможении. Схема установки показана на рис. 3.13, где приняты следующие обозначения: МД – моментный двигатель; ОУ – объект управления (диск); К – ключ; ТПТ – тахогенератор постоянного тока. В момент времени t_1 ключ замыкается, а в момент t_2 – размыкается. Вид переходного процесса показан на рис. 3.14, где T_m – электромеханическая постоянная времени двигателя. Разгон двигателя происходит при подаче на него ступенчатого входного (управляющего) напряжения, а торможение – при снятии этого напряжения.

Список литературы

Волков Н. И., Миловзоров В. П. Электромашинные устройства автоматики. М.: Высш. шк., 1986.

Кацман М. М., Юферов Ф. М. Электрические системы автоматических систем. М.: Высш. шк., 1979.

Коськин Ю. П. Введение в электромеханотронику. СПб.: Энергоатомиздат, 1991.

Хрущев В. В. Электрические машины систем автоматики. Л.: Энергоатомиздат, 1985.

Юферов Ф. М. Электрические машины автоматических устройств. М.: Высш. шк., 1988.