

1. Что такое электрическая машина? На какие группы делят электрические машины? Области использования?

Электромеханические преобразователи энергии называют электрическими машинами. Условно машины мощностью менее 1000 [Вт] относят к микромашинам. В отличие от машин общепромышленного назначения микромашины имеют специальное назначение. Их применяют: в системах автоматического управления объектом; как исполнительные микродвигатели (управляемые); в качестве информационных микромашин, дающих информацию о частоте вращения, ускорениях и замедлениях рабочего органа; в гироскопических системах для выдерживания заданного курса движения транспортного средства (корабля, самолета, ракеты); как электромашинные преобразователи энергии и усилители; в бытовой технике. Электромеханические преобразователи энергии называют электрическими машинами. Условно машины мощностью менее 1000 [Вт] относят к микромашинам. В отличие от машин общепромышленного назначения микромашины имеют специальное назначение. Их применяют: в системах автоматического управления объектом; как исполнительные микродвигатели (управляемые); в качестве информационных микромашин, дающих информацию о частоте вращения, ускорениях и замедлениях рабочего органа; в гироскопических системах для выдерживания заданного курса движения транспортного средства (корабля, самолета, ракеты); как электромашинные преобразователи энергии и усилители; в бытовой технике.

2. Устройство, назначение и принцип действия однофазных асинхронных микродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Промышленностью выпускается 70 типов таких двигателей. Область их применения широка: малые деревообрабатывающие и металлообрабатывающие станки для тонкой работы; небольшие компрессоры (для аквариума, накачивания шин, распыления краски) и насосы (для подкачки воды в резервуар, перекачивания нефтепродуктов); вентиляторы для служебных помещений; фены, сушилки для рук, кондиционеры; стиральные машины, посудомоечные машины (в комплексе с сушилками); холодильные машины различного применения (для привода компрессора холодильников с охлаждением водой, воздухом, фреоном); мясорубки с вращением режущих ножей и продольной подачей массы; машины для стрижки животных (овец, собак) и дойки коров; различные устройства для затачивания режущего инструмента (ножей, резцов, ножниц, режущих кромок гильотин для рубки металлической полосы); для вращения наждачного камня; системы автоматического управления и регулирования электроприводом различных производственных механизмов (управляемые исполнительные двигатели с отработкой задания по перемещению рабочего органа системы), позволяющие осуществлять отдельные операции технологического процесса (система числового программного управления перемещения резца по двум осям координат в приводе подачи металлорежущих станков, позиционная следящая система по соблюдению заданного курса транспортного средства, перемещение механизмов робототехнического комплекса). В бытовом электроприводе применение однофазных машин переменного тока обусловлено наличием только однофазной питающей сети: к потребителю электрической энергии здесь приводят только один из линейных проводов (А, В или С) и нейтральный провод (N).

Промышленностью выпускается 70 типов таких двигателей. Область их применения широка: малые деревообрабатывающие и металлообрабатывающие станки для тонкой работы; небольшие компрессоры (для аквариума, накачивания шин, распыления краски) и насосы (для подкачки воды в резервуар, перекачивания нефтепродуктов); вентиляторы для служебных помещений; фены, сушилки для рук, кондиционеры; стиральные машины, посудомоечные машины (в комплексе с сушилками); холодильные машины различного применения (для привода компрессора холодильников с охлаждением водой, воздухом, фреоном); мясорубки с вращением режущих ножей и продольной подачей массы; машины для стрижки животных (овец, собак) и дойки коров; различные устройства для затачивания режущего инструмента (ножей, резцов, ножниц, режущих кромок гильотин для рубки металлической полосы); для вращения наждачного камня; системы автоматического управления и регулирования электроприводом различных производственных механизмов (управляемые исполнительные двигатели с отработкой задания по перемещению рабочего органа системы), позволяющие осуществлять отдельные операции технологического процесса (система числового программного управления перемещения резца по двум осям координат в приводе подачи

металлорежущих станков, позиционная следящая система по соблюдению заданного курса транспортного средства, перемещение механизмов робототехнического комплекса). В бытовом электроприводе применение однофазных машин переменного тока обусловлено наличием только однофазной питающей сети: к потребителю электрической энергии здесь приводят только один из линейных проводов (А, В или С) и нейтральный провод (N).

3. Особенности конструктивного исполнения однофазных асинхронных микродвигателей.

Конструктивное исполнение однофазного асинхронного двигателя определяется его конкретным назначением. Здесь могут быть следующие сочетания:

- обмотка, выполненная изолированными проводниками, размещена в пазах сердечника статора, а на роторе размещена беличья клетка, выполненная из неизолированных медных или алюминиевых стержней, замкнутых с торцов ротора накоротко;
- тонкий полый металлический цилиндр вращается между сердечником статора с обычной обмоткой и неподвижным магнитопроводом, размещенным над валом и закрепленном на корпусе;
- тонкий полый металлический ротор вращается между внешним неподвижным магнитопроводом и внутренним сердечником статора с обычной обмоткой (положение обмотки статора и магнитопровода изменено на обратное по сравнению с предыдущим вариантом конструкции двигателя);
- тонкий полый металлический цилиндр вращается между внешним и внутренним статорами, в сердечнике каждого из них размещена обычная обмотка.

4. Какие параметры являются общими для данного класса электрических машин, какие специфическими?

Некоторые параметры двигателей являются общими для всех (тридцати) вариантов задачи. К этим параметрам относятся следующие: напряжение питающей сети (фазное напряжение четырехпроводной линии электропередачи) – $U_{\text{Ф}} = 220$ [В]; частота изменения этого напряжения стандартная – $f_1 = 50$ [Гц]; тип двигателя – ДХМ (двигатель холодильной машины); число обмоток в сердечнике статора – $m_1 = 2$ (рабочая Р и пусковая П обмотки); тип обмоток статора – однослойная распределенная с диаметральным шагом; двигатель однофазный конденсаторный (выбранный конденсатор не отключается от пусковой обмотки П статора после разгона ротора, а остается в работе); кратность максимального момента $M_{\text{МАКС}}/M_{\text{НОМ}}$ – от 2,3 до 3,2; кратность пускового момента $M_{\text{ПУСК}}/M_{\text{НОМ}}$ – от 2 до 2,9; кратность пускового тока $I_{\text{ПУСК}}/I_{\text{НОМ}}$ – от 5,8 до 7,6; скольжение ротора относительно магнитного поля статора $S_{\text{НОМ}}$ – от 0,04 до 0,08; принципиальная схема включения двигателя в сеть; схема токовых цепей обмотки статора.

Специфические:

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------|
| $P_{2Н}$, Вт, мощность | $2p$, шт., количество пар полюсов | $n_{2Н}$, МИН^{-1} , частота вращения ротора | $\cos \varphi_1$, коэффициент мощности | η , %, коэффициент полезного действия | D_c , S_m , диаметр статора | Z_1 , шт., число пазов | q_1 , пазов, число пазов в фазе | u , пазов, шаг обмотки | l_c , см, длина статора |
|-------------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------|

5. Назначение схемы укладки(монтажа) обмотки статора в пазы. Процесс укладки.

Технологический процесс изготовления двигателя требует наличия схемы укладки (монтажа) обмотки статора в пазы сердечника статора. Монтаж обмотки (укладку в пазы) проводят в соответствии с ее развернутой схемой. При проектировании машины проводят расчет параметров схемы, при капитальном ремонте двигателя эти параметры можно определить в процессе демонтажа обмотки.

Необходимость в ремонте возникает при наличии витковых замыканий (замыканий между витками в пазу или в лобовых частях), обрыве обмотки, ее замыкании на корпус (на сталь сердечника).

Переходим к процессу укладки проводников первой обмотки (U1-U2) в пазы сердечника статора, ориентируясь на развернутую схему (рис. 2). Первый проводник укладываем в первый паз, на начале проводника укрепляем бирку с обозначением начала U1. Это левая сторона витка. Обмотку выполняем правоходовую: от первого паза перемещаемся вправо к следующему, пятому, пазу. Т.к. шаг обмотки $y = 4$ пазовых деления, то правее первого паза через четыре зубца в пятый паз укладываем правую сторону того же витка. Переходим из первого паза в пятый паз. Изгиб проводника при этом переходе образует длину лобовой части $l_{л}^1$ этого витка: при определении средней длины одного витка суммируют две пазовых длины и две лобовых (измеренных по изгибу $l_{л}^1$, а не по его проекции; $l_{ср} = 2 \cdot l_{п} + 2 \cdot l_{л}^1$). На первую обмотку под северным полюсом приходится два паза (пазы 1-2), т.к. $q_1 = 2$. Поэтому из пятого паза по передней лобовой части $l_{л}^1$ переходим из пятого паза во второй паз. Из второго паза по $l_{л}^1$ переходим в $(2+4 = 6)$ в шестой паз, на конце этого проводника укрепляем бирку с обозначением конца первой фазы U2. Схема укладки первой обмотки статора в пазы его сердечника выглядит так: U1 – 1 – 5 – 2 – 6 - U2. На рис.2 мы изобразили наиболее простую однослойную обмотку с диаметральным шагом и одним проводником в пазу (одновитковая секция в обмотке). Обычно число витков превышает единицу (выполняют многовитковую обмотку, $N_{п} = N\Phi/Z\phi > 1$): тогда, уложив первый виток в пазах 1 и 5, укладываем второй виток: переходом из пятого паза в первый, а из первого в пятый (получили 2 витка, в пазу по $N_{п} = 2$ проводника). Если далее из пятого перейдем в первый паз, а из первого в пятый, то получим три витка. Таким образом укладывают в пазы многовитковую обмотку (по $N_{п}$ определяют число витков в одной катушке; катушка уложена в пазах 1-5 и может иметь общую пазовую изоляцию и изоляцию ее лобовых частей). Вторую обмотку статора (V1-V2) укладываем аналогично: под северным полюсом занимаем третий паз (здесь начало фазы V1); из третьего паза по $l_{л}^1$ переходим в $(3 + 4 = 7)$ седьмой паз; из седьмого паза по $l_{л}^1$ переходим в четвертый паз; под северным полюсом (N) вторая обмотка тоже занимает два паза ($q_1 = 2$, это пазы 3 и 4); из четвертого паза переходим в восьмой, на конце проводника бирка V2.

6. Для чего на статоре укладывают две обмотки? Каких называют?

Т.к. одна обмотка, размещенная в пазах сердечника статора, создает пульсирующее магнитное поле ($\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$, как в трансформаторе), а для вращения ротора требуется вращающееся поле, то на статоре размещают две отдельных обмотки. На рис.1 представлена принципиальная схема подключения к однофазной питающей сети однофазного конденсаторного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Для создания вращающегося магнитного поля на статоре пусковую и рабочую обмотки смещают в пространстве на 90° , а токи в них ($\dot{I}_{п}, \dot{I}_{р}$) смещают по времени за счет включения в цепь пусковой обмотки (П) конденсатора (С). По отношению к сети рабочая (Р) и пусковая (П) обмотки включены параллельно: $\dot{I} = \dot{I}_{п} + \dot{I}_{р}$. Последовательно с пусковой обмоткой включен фазосдвигающий элемент в виде конденсатора (С). Ротор (М) выполнен с короткозамкнутой обмоткой.

7. Основной элемент обмоток и расчет их параметров.

Основной элемент обмотки – это виток. Он состоит из двух активных проводников, которые укладывают в пазы, двух лобовых частей, предназначенных для соединения активных проводников. В активных проводниках наводится ЭДС. Параметры: шаг обмотки y в пазовых делениях, длина лобовой части $l_{л}^1$ этого витка; при определении средней длины одного витка суммируют две пазовых длины и две лобовых ($l_{ср} = 2 \cdot l_{п} + 2 \cdot l_{л}^1$); количество пазов в фазе q_1 ; измерив в масштабе среднюю длину одного витка $l_{ср}$, умножаем ее на число витков в фазе $W\phi$ и получаем длину проводника для укладки одной фазы $l_{\phi} = l_{ср} \cdot W\phi$ [м].

8. Опишите процесс укладки обмоток.

Переходим к процессу укладки проводников(рис2) первой обмотки (U1-U2) в пазы сердечника статора, ориентируясь на развернутую схему. Первый проводник укладываем в первый паз, на начале проводника укрепляем бирку с обозначением начала U1. Это левая сторона витка. Обмотку выполняем правоходовую: от первого паза перемещаемся вправо к следующему, пятому, пазу. Т.к. шаг обмотки $y = 4$ пазовых деления, то правее первого паза через четыре зубца в пятый паз укладываем правую сторону того же витка. Переходим из первого паза в пятый паз. Изгиб проводника при этом переходе образует длину лобовой части $l_{л}^1$ этого витка: при определении средней длины одного витка суммируют две пазовых длины и две лобовых (измеренных по изгибу $l_{л}^1$, а не по его проекции; $l_{ср} = 2 \cdot l_{п} + 2 \cdot l_{л}^1$). На

первую обмотку под северным полюсом приходится два паза (пазы 1-2), т.к. $q_1 = 2$. Поэтому из пятого паза по передней лобовой части $l_{л1}^I$ переходим из пятого паза во второй паз. Из второго паза по $l_{л1}^I$ переходим в $(2+4 = 6)$ в шестой паз, на конце этого проводника укрепляем бирку с обозначением конца первой фазы U_2 . Схема укладки первой обмотки статора в пазы его сердечника выглядит так: $U_1 - 1 - 5 - 2 - 6 - U_2$. Обычно число витков превышает единицу (выполняют многовитковую обмотку, $N_{п} = N\Phi/Z\Phi > 1$): тогда, уложив первый виток в пазах 1 и 5, укладываем второй виток: переходом из пятого паза в первый, а из первого в пятый (получили 2 витка, в пазу по $N_{п} = 2$ проводника). Если далее из пятого перейдем в первый паз, а из первого в пятый, то получим три витка. Таким образом укладывают в пазы многовитковую обмотку (по $N_{п}$ определяют число витков в одной катушке; катушка уложена в пазах 1-5 и может иметь общую пазовую изоляцию и изоляцию ее лобовых частей). Вторую обмотку статора (V_1 - V_2) укладываем аналогично: под северным полюсом занимаем третий паз (здесь начало фазы V_1); из третьего паза по $l_{л1}^I$ переходим в $(3 + 4 = 7)$ седьмой паз; из седьмого паза по $l_{л1}^I$ переходим в четвертый паз; под северным полюсом (N) вторая обмотка тоже занимает два паза ($q_1 = 2$, это пазы 3 и 4); из четвертого паза переходим в восьмой, на конце проводника бирка V_2 . Схема укладки второй фазной обмотки: V_1 -3-7-4-8- V_2 . Измерив в масштабе среднюю длину одного витка $l_{ср}$, умножаем ее на число витков в фазе $W\Phi$ и получаем длину проводника для укладки одной фазы $l\Phi = l_{ср} \cdot W\Phi$ [м]. Зная удельное сопротивление медного провода $\rho = 1,75$ [Ом·мм²/м] и площадь поперечного сечения $F_{п}$ [мм²] токопроводящей жилы, можно найти активное сопротивление одной фазы: $R\Phi = \rho \cdot l\Phi / F_{п}$ [Ом]. Для конкретной марки обмоточного провода в каталоге на эти провода указывают массу изолированного провода [кг/км] длины. Заказать на складе цеха провод для изготовления новой обмотки или ремонта поврежденной можно по необходимой длине обмоточного провода (выраженный в км длины) или по массе этого провода (выраженный в кг массы).

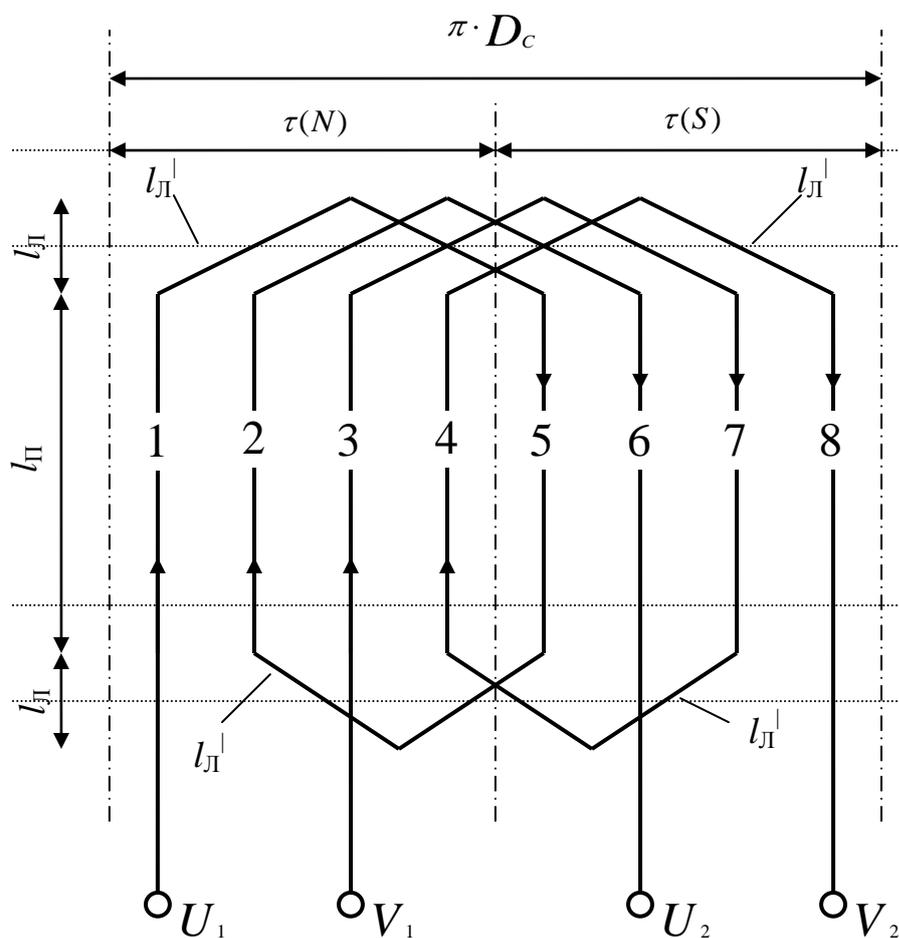


рис 2

9. Для чего используют конденсатор в цепи пусковой обмотки? Что еще можно использовать вместо конденсатора? Расчет емкости конденсатора.

Для расчета емкости используем схему токовых цепей обмотки статора, представленную на рис. 3. Она получена из принципиальной схемы (рис. 1) включения двигателя в сеть. Сопротивления обмоток: Z_p, R_p, X_p – рабочая обмотка; $Z_{п}, R_{п}, X_{п}$ – пусковая обмотка; X_c – фазосдвигающий элемент (для создания сдвига токов \dot{I}_p и $\dot{I}_{п}$ по фазе на 90° , что создает пусковой вращающий момент на валу). По известной активной мощности, потребляемой двигателем из сети, находим величину тока I , потребляемого из сети: $P_1 = U_\phi \cdot I \cdot \cos \varphi_1$, $P_2 = \text{задано [Вт]}$; $\cos \varphi_1 = 0,53$; $\sin \varphi_1 = 0,53$; $\varphi_1 = 58^\circ$ (см. табл. 1); $I = P_1 / U_\phi \cdot \cos \varphi_1$ при $\eta = 0,61$ мощность из сети $P_1 = P_2 / \eta = \text{[Вт]}$. Для создания вращающегося магнитного поля статора векторы токов (\dot{I}_p и $\dot{I}_{п}$) в обмотках должны быть перпендикулярны. Тогда:

$I = \sqrt{I_p^2 + I_{п}^2}$; принимаем, что ток в пусковой обмотке не превышает 1,5 от тока в рабочей (допускаем перегрузку пусковой обмотки, т.к. в ее цепи может возникать резонанс напряжений при $X_{п} = X_c$, $Z_{п} = R_{п}$, $I_{п \text{ макс}}$); при $I_{п} = 1,5 \cdot I_p$ получаем:

$$I = \sqrt{I_p^2 + (1,5 \cdot I_p)^2} = \sqrt{I_p^2 + 2,25 \cdot I_p^2} = \sqrt{3,25 \cdot I_p^2} = 1,8 \cdot I_p, I_p = I / 1,8 = \text{[A]}, \text{тогда}$$

$$I_{п} = 1,5 \cdot I_p = \text{[A]}, \text{проверяем: } I = \sqrt{I_p^2 + I_{п}^2} = .$$

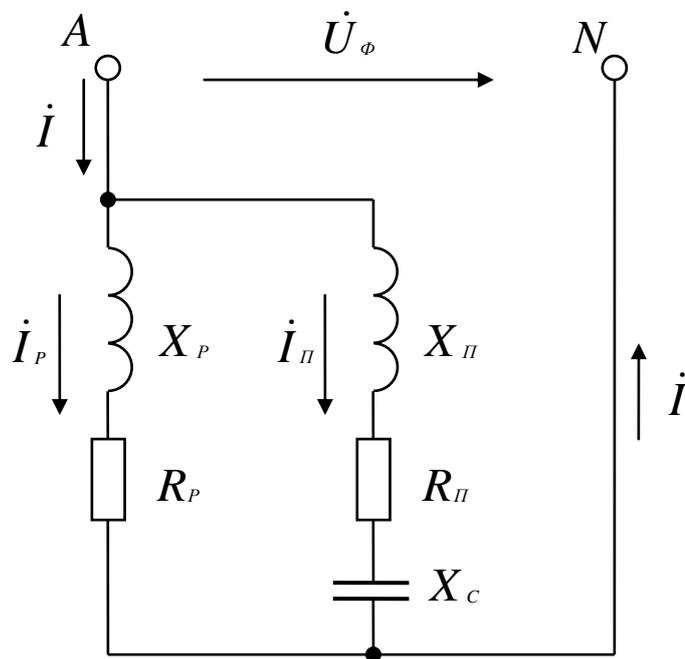


Рисунок 3 – Токовые цепи обмотки статора

10. Что дает построение векторной диаграммы? Как строят векторную диаграмму?

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштабов: для векторов тока – $m_i = 0,5 \text{ [A/мм]}$; для векторов напряжения – $m_u = 5 \text{ [В/мм]}$. Масштабы выбирают, сопоставляя длину наибольших векторов и размеры листа (например, для формата А4). Векторная диаграмма для рассматриваемого варианта задания представлена на рис. 4. Начинаем построение с вектора, общего для обеих параллельных ветвей, представленных на рис. 3. Для ветвей рабочей и пусковой обмоток общим и одинаковым вектором является фазное напряжение: в масштабе: $U_\phi = 220/5 = 44 \text{ [мм]}$, проводим его

произвольно (горизонтально) на рис. 4. По отношению к вектору \dot{U}_ϕ ток в рабочей обмотке отстает на угол $\varphi_1 = 58^\circ$, т.к. цепь этой обмотки имеет активно-индуктивное сопротивление ($R-L$). Вращение векторов принято против часовой стрелки: на рис. 4 оно показано в виде $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_1$ [с⁻¹] и стрелки. Под углом $\varphi_1 = 58^\circ$ по отношению к вектору проводим вектор \dot{I}_P в масштабе токов $I_P = 5,83/0,5 = 11,66$ [мм]. Емкость подбирается так, чтобы вектор \dot{I}_Π был перпендикулярно вектору \dot{I}_P . Из точки О, начала вектора \dot{U}_ϕ , проводим линию перпендикулярную \dot{I}_P , на ней откладываем вектор \dot{I}_Π : в масштабе токов $I_\Pi = 8,74/0,5 = 17,48$ [мм]. Для узла «А» на рис. 3 справедливо первое уравнение Кирхгофа: $\dot{I} = \dot{I}_P + \dot{I}_\Pi$. Складываем векторы \dot{I}_P и \dot{I}_Π , получаем вектор \dot{I} : в масштабе $I = 10,5/0,5 = 21$ [мм]. Для контура «сеть - пусковая обмотка» справедливо второе уравнение Кирхгофа: $\dot{U}_\phi = \dot{I}_\Pi \cdot R_\Pi + \dot{I}_\Pi \cdot X_\Pi + \dot{I}_\Pi \cdot X_C$. Вектор $\dot{I}_\Pi \cdot R_\Pi$ по направлению совпадает с

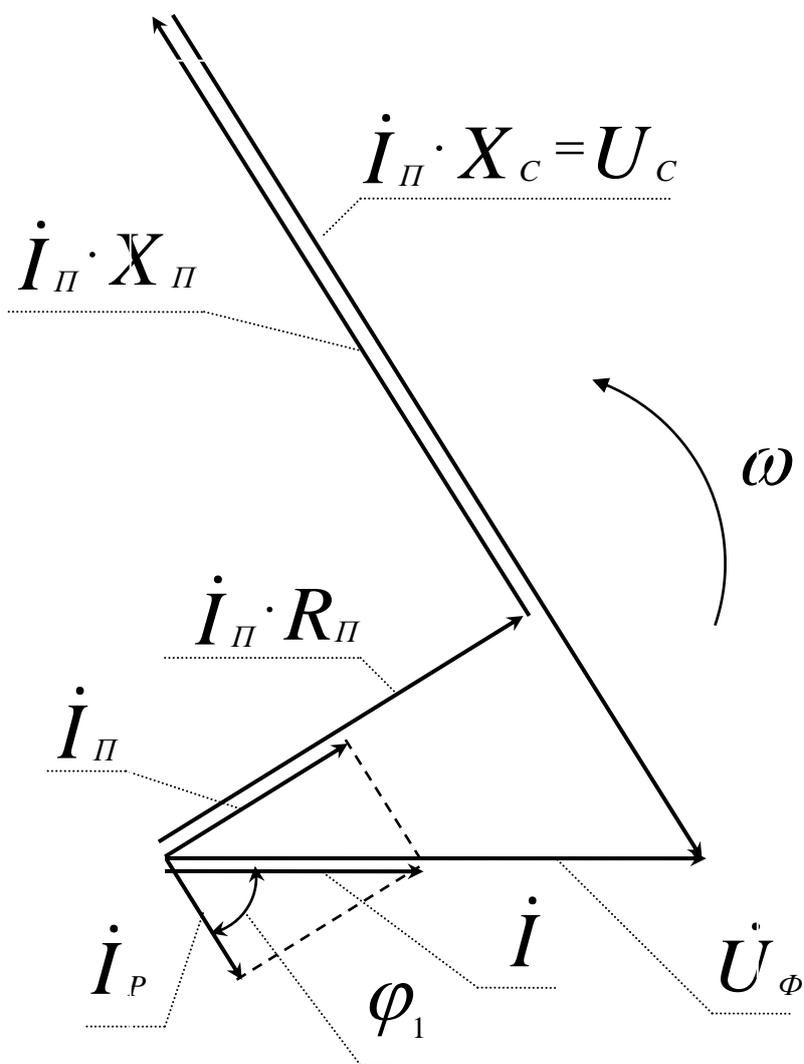


Рисунок 4 – Векторная диаграмма для цепей обмотки статора

вектором \dot{I}_Π : в масштабе напряжений $\dot{I}_\Pi \cdot R_\Pi = 8,74 \cdot 19,98 = 174,6$ [В], $\dot{I}_\Pi \cdot R_\Pi = 174,6/5 = 58,7$ [мм]. По линии, перпендикулярной к направлению вектора \dot{I}_Π откладываем длину вектора $\dot{I}_\Pi \cdot X_\Pi$, равную 58,7 [мм]. К концу вектора $\dot{I}_\Pi \cdot X_\Pi$ прибавляем вектор $\dot{I}_\Pi \cdot X_C$. Этот вектор тоже перпендикулярен вектору \dot{I}_Π , но направлен в противоположную сторону от вектора $\dot{I}_\Pi \cdot X_\Pi$, что вытекает из уравнения для напряжений: $\dot{U}_\phi = \dot{I}_\Pi \cdot R_\Pi + \dot{I}_\Pi \cdot X_\Pi + \dot{U}_C$. Измеряем линейкой длину вектора \dot{U}_C : она составила $U_C = 84$ [мм], через масштаб напряжений находим $U_C = 84 \cdot 5 = 420$ [В]. Реактивное емкостное сопротивление составит: $X_C = U_C / I_\Pi = 420 / 8,74 = 48$ [Ом]. Емкость фазосдвигающего конденсатора: $X_C = 106 / (2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot C)$ [Ом]; $C = 106 / (2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot X_C)$ [мкФ]; $C = 106 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 48) = 66,3$ [мкФ]. Из каталога выбираем конденсатор типа Э92 - 0,6 - 50 (рабочая частота 50 Гц) емкостью 66 [мкФ] на рабочее напряжение 600 [В]. Стандартное рабочее напряжение у этих конденсаторов может быть 300 [В], 450 [В], 600 [В]. Такие электролитические конденсаторы применяют для однофазных асинхронных двигателей. Для нашей схеме действующее напряжение конденсатора составляет $U_C = 420$ [В], а максимальное - $420 \cdot 1,41 = 592$ [В]. Выбираем ближайшее большее - 600 [В] с учетом синусоидального закона ($U_m = \sqrt{2} \cdot U_1$).

11. Как выбрать провод для обмоток? Какие марки проводов бывают? Основные параметры проводов?

Выбор марки обмоточного провода имеет важное значение как при проектировании и изготовлении двигателя, так и при проведении капитального ремонта с заменой поврежденной обмотки. Площадь поперечного сечения токопроводящей жилы найдем следующим образом: $F_\Pi = I / j$ [мм²], допустимая плотность тока $j = 4,5 - 6,5$ [А/мм²]. Из каталога обмоточных проводов выбираем провод марки ПЭТВ-2: провод медный (если в обозначении есть буква «А» - алюминиевый) с эмалевой термостойкой высокопрочной изоляцией круглого поперечного сечения. В табл. 2 представлены некоторые параметры таких проводов. При $I_\Pi = 8,74$ [А] и $j = 6$ [А/мм²] находим $F_\Pi = 8,74 / 6 = 1,457$ [мм²]. Выбираем ближайшее большее сечение жилы (табл. 2): $F_\Pi = 1,539$ [мм²], диаметр неизолированного провода - $d_\Pi = 1,4$ [мм], диаметр изолированного провода - 1,485 [мм]. Зная длину проводника фазной обмотки $l_\phi = l_{CP} \cdot W_\phi$ [м], находим ее активное сопротивление $R_\phi = \rho_M \cdot l_\phi / F_\Pi$ [Ом], удельное сопротивление медного провода $\rho_M = 1,75$ [Ом·мм²/м] = $1,75 \cdot 106$ [Ом·м]. Массу меди в проводнике m_M определяем через плотность меди (8900 кг/м³) и ее объем $V_M = (\pi \cdot d_\Pi^2 / 4) \cdot l_\phi$ [м³], т.е. $m_M = 8900 \cdot V_M$ [кг]. Аналогично выбираем обмоточный провод для рабочей обмотки (при $I_r = 5,83$ [А]), находим R_ϕ и т.д. Если двигатель имеется в наличии, то сопротивления его обмоток находим экспериментально методом амперметра и вольтметра. Полное сопротивление каждой обмотки определяем на переменном токе $Z_\phi = U / I$, активное сопротивление на постоянном токе, а индуктивное вычисляем как $X_\phi = \sqrt{Z_\phi^2 - R_\phi^2}$ [Ом]. Из векторной диаграммы подбираем необходимую емкость фазосдвигающего конденсатора.

Таблица 2 – Параметры круглых медных изолированных обмоточных проводов марки ПЭТВ-2

| Диаметр неизолир. провода, мм | Диаметр изолир. провода, мм | Сечение токопров. жилы, мм ² | Диаметр неизолир. провода, мм | Диаметр изолир. провода, мм | Сечение токопров. жилы, мм ² |
|-------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|---|
| 0,45 | 0,49 | 0,159 | 0,85 | 0,915 | 0,567 |
| 0,475 | 0,515 | 0,177 | 0,9 | 0,965 | 0,636 |
| 0,5 | 0,545 | 0,196 | 0,95 | 1,015 | 0,709 |

| | | | | | |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 0,53 | 0,585 | 0,221 | 1,0 | 1,08 | 0,785 |
| 0,56 | 0,615 | 0,246 | 1,06 | 1,14 | 0,883 |
| 0,6 | 0,656 | 0,283 | 1,12 | 1,2 | 0,985 |
| 0,63 | 0,69 | 0,312 | 1,18 | 1,26 | 1,094 |
| 0,67 | 0,73 | 0,353 | 1,25 | 1,33 | 1,227 |
| 0,71 | 0,77 | 0,396 | 1,32 | 1,405 | 1,368 |
| 0,75 | 0,815 | 0,442 | 1,4 | 1,485 | 1,539 |
| 0,8 | 0,865 | 0,503 | 1,5 | 1,585 | 1,757 |

12. Назначение, устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Тип двигателя – АИРЕ (асинхронный, исполнительный, с рабочей емкостью). Т.к. на статоре у него размещена трехфазная обмотка ($m_1 = 3$), то такой двигатель может быть использован по общему назначению в пределах своей мощности. Может быть предусмотрено включение трехфазной обмотки статора в однофазную питающую сеть (А и N) переменного тока, что предполагает специальное применение исполнительного двигателя. Это будет уже конденсаторный двигатель.

13. Общие и специфические параметры трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Некоторые параметры двигателей являются общими для всех вариантов. К общим параметрам относятся: тип двигателя – АИРЕ; принципиальная схема включения в сеть; схема токовых цепей обмотки статора (рис. 6); тип обмотки статора – трехфазная однослойная распределенная с диаметральным шагом; тип обмотки ротора – стержневая короткозамкнутая в виде беличьей клетки; напряжение питающей сети (фазное напряжение в четырехпроводной линии электропередачи) – $U_{\phi} = 220$ [В]; частота изменения напряжения сети – $f_1 = 50$ [Гц]; число фаз на статоре – $m_1 = 3$, число фаз (стержней) на роторе – $m_2 = Z_2$; двигатель однофазный конденсаторный (в рабочем режиме после пуска в ход емкость не отключают); две фазных обмотки статора ($U1-U2, V1-V2$) подключены к сети (к клеммам А и N) последовательно, а третья ($W1-W2$) с конденсатором – параллельно первым двум (см. рис. 6); толщина воздушного зазора между статором и ротором – $\delta = 0,3$ [мм], две обмотки играют роль рабочей обмотки статора, а третья (с конденсатором) – роль пусковой обмотки статора; кратность максимального момента – $M_{\max}/M_n = 1,4 \div 2,2$; кратность пускового момента – $M_p/M_n = 0,7 \div 1,9$; кратность пускового тока – $I_p/I_n = 4 \div 7$; скольжение ротора относительно магнитного поля статора – $S_n = 4 \div 8$ [%].

Специфические:

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|------------------------|--------------|
| $P_{2H},$ Вт | 2р, шт | $n_{2H},$ мин^{-1} | $\cos \varphi_1$ | $\eta,$ % | Дс, см | $Z_1,$ шт | $q_1,$ пазов | $U_1,$ паз. дел. | $l_c,$ см |
|-----------------|-----------|--------------------------------|------------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|------------------------|--------------|

14. Как определить магнитный поток трехфазного асинхронного двигателя?

Практически магнитный поток Φ_m , необходимый для создания принятой E_{ϕ} , находим из расчета магнитной цепи с учетом конструктивных размер ее отдельных участков: $\Phi = I \cdot W / \Sigma R_m$, $R_m = l / \mu \cdot S$ – магнитное сопротивление одного из участков этой цепи, ΣR_m – сумма сопротивлений участков замкнутого контура магнитной цепи.

15. Определение параметров обмоточного провода для трехфазных обмоток.

Длину провода, необходимого для укладки одной фазы в пазы сердечника статора, найдем из схемы развертки : измеряем среднюю длину одного витка l_{CP} с учетом масштаба чертежа, на одну фазу требуется провод длиной $l = l_{CP} \cdot W_{\phi}$; число витков в фазе мы нашли по заданной величине E_{ϕ} ; $l_{CP} = 2 \cdot l_{II} + 2 \cdot l_{II}^{\perp}$. Активное сопротивление фазной обмотки: $R_{\phi} = \rho_m \cdot l_{\phi} / F_{II}$ [Ом], удельное сопротивление медного провода $\rho_m = 1,75$ [Ом·мм²/м] = $1,75 \cdot 10^6$ [Ом·м]. Площадь поперечного сечения токопроводящей жилы найдем следующим образом: $F_{II} = I / j$ [мм²], допустимая плотность тока $j = 4,5 - 6,5$ [А/мм²]. Из каталога обмоточных проводов выбираем провод марки ПЭТВ-2. Зная длину

проводника фазной обмотки $l_{\Phi} = l_{CP} \cdot W_{\Phi}$ [м], находим ее активное сопротивление $R_{\Phi} = \rho_M \cdot l_{\Phi} / F_{\Pi}$ [Ом]. Массу меди в проводнике одной фазы m_{Φ} определяем через плотность меди (8900 кг/м³) и ее объем $V_{\Phi} = (\pi \cdot d_{\Pi}^2 / 4) \cdot l_{\Phi}$ [м³], т.е. масса меди в статоре – $m_M = 8900 \cdot V_{\Phi} \cdot 3$ [кг] (т.к. фазы у нас три – $m = 3$). Массу определяют, чтобы найти общую массу изготовленной машины (важный показатель качества проектирования – отношение массы машины к ее мощности). По известной массе можно оформить заказ на необходимое количество обмоточного провода. В каталоге может быть указана масса на единицу длины (кг/км) изолированного провода, что позволяет осуществить заказ по необходимой массе или длине провода.

16. Назначение, устройство и принцип действия микродвигателя постоянного тока.

Двигатели постоянного тока малой мощности (от 10 до 600 Вт) находят широкое применение: в электроприводе транспортных средств для дистанционного управления отдельными частями сложного механизма (в самолетах, на морских судах, космических кораблях и станциях, на ракетах); в компьютерах и счетно-решающих устройствах, детских игрушках; в электромеханических системах автоматических устройств (в автоматике). Режим работы у этих двигателей обычно кратковременный (S2) или повторно-кратковременный (S3), реже – продолжительный (S1). Их применение в системах автоматике обусловлено хорошими пусковыми свойствами (велик пусковой момент, мало время разгона), малой массой и моментом инерции. Рабочий период при этом составляет от 1 до 5 [мин]. Имеет место частое реверсирование (сервисные устройства транспортных средств - поднять антенну, опустить ее, повернуть зеркало обзора влево - вправо). С увеличением рабочей частоты вращения ротора снижаются габариты (D_c, l_c) и масса всего двигателя ($P = M \cdot \omega, M = F_{\text{эм}} \cdot R_a$), поэтому выпускают высокоскоростные микродвигатели с частотой вращения ротора до 10000 [мин⁻¹]. Рабочее напряжение обмотки якоря: 6 [В], 12 [В], 27 [В], 36 [В], 110 [В], 220 [В]. Пуск в ход безреостатный, величина пускового тока ограничен ($I_p / I_n = 2 - 3$) за счет высокого сопротивления обмотки якоря ($R_a = \rho \cdot l / F_{\Pi}$, Ом) при малой площади поперечного сечения провода ($F_{\Pi} = \pi \cdot d_{\Pi}^2 / 4$, мм²). Кратность пускового момента сохраняется высокой ($M_p / M_n = 4 - 5$). Электромеханическая постоянная ($T_m = J_p \cdot \omega_n / M_p$, с), определяющая время разгона ротора ($t_p = 3 \cdot T_m$, с) с присоединенным к валу механизмом ($J_p = GD^2 / 4g$, Н·м·с²), составляет не более 0.1 - 0.12 [с], в компьютерах - менее 0.1 [с]. Отношение частоты вращения ротора на холостом ходу ($n_0 = U / C_e \cdot \Phi$, мин⁻¹) к частоте вращения n_n при номинальной механической нагрузке на валу ($M_c = M_n$) $n_0 / n_n = 1,1 - 1,3$. Частота вращения ротора на холостом ходу не связана жестко с числом пар полюсов (p) и частотой напряжения сети (f), как это имеет место в машинах переменного тока ($n_1 = 60f_1 / p$, мин⁻¹). У двигателей постоянного тока может быть получена любая достаточно высокая частота вращения ротора (в зависимости от величины магнитного потока, созданного в магнитной цепи обмоткой возбуждения $\Phi = I_v \cdot W_v / \Sigma R_M$ или постоянными магнитами). Задача двигателя: быстро, надежно, автоматически отработать перемещение части механизма, предусмотренное технологическим процессом.

17. Типы обмоток и их параметры.

У микродвигателей как и у двигателей большой мощности, применяют в основном два типа обмоток якоря: простую петлевою, простую волновую. Отличительной особенностью этих обмоток является следующее: число пазов Z в сердечнике ротора при выполнении петлевой обмотки должно быть целое и четное, при выполнении волновой обмотки – целое и нечетное; секции обмотки, состоящая из одного или нескольких витков ($W_s = 1-8$ витков) по форме напоминает петлю или волну; геометрическая форма секции определяет отличия в шагах обмотки по пазам ротора (y, y_1, y_2) и коллекторным пластинкам ($У_k$); волновую обмотку применяют при повышенном напряжении, а петлевою – при повышенном токе в обмотке якоря; число параллельных ветвей ($2a$) в волновой обмотке всегда равно двум ($2a = 2, a = 1$ параллельных ветвей), а в петлевой обмотке оно зависит от числа главных полюсов ($2p$, шт.) на статоре ($2a = 2p, a = p$ – пар полюсов); число щеткодержателей (в нем может быть от одного до трех щеток по оси коллектора), устанавливаемых на рабочей поверхности коллектора ($\pi \cdot D_k, м$), при петлевой обмотке равно числу главных полюсов на статоре (следует заметить, что дополнительные полюса на статоре у микромашин

не устанавливаются); число щеткодержателей при волновой обмотке равно двум, но чаще всего (при $2p > 2$) устанавливают полный комплект щеткодержателей ($2p$, шт.). По петлевой обмотке (рис. 12): длина проводника в пазу ротора $l_p = l_a$ [мм]; ширина витка $y_1 = \tau$ равна полюсному делению $\tau = \pi \cdot Da / 2p$ [мм], где Da – диаметр (ротора) якоря; виток содержит два проводника (левый и правый), размещенных на расстоянии y_1 (пазовых делений) под полюсами разной полярности (N и S); проводники витка соединены последовательно, ЭДС витка E_v равна сумме ЭДС обоих проводников, $E_v = E_p + E_p = 2E_p$ [В], при W_s витков в секции $E_s = 2 \cdot W_s \cdot E_p$ [В] – ЭДС между соседними коллекторными пластинами (номер 1 и номер 2), V_a – направление перемещения пазов ротора относительно полюсов статора и линейная скорость их перемещения, м/с. Шаги петлевой обмотки (рис. 12): y_1 – первый частичный шаг, расстояние между начальной и конечной стороной витка (секции), выраженное в пазовых делениях (пазах, зубцах); y_2 – второй частичный шаг, расстояние между начальной стороной следующего витка (секции) и конечной стороной предыдущего витка (секции), выраженное в пазовых делениях (пазовое деление включает суммарную ширину паза и зубца, измеренную по внешней поверхности ротора); y – результирующий шаг, расстояние между начальной стороной предыдущего витка и начальной стороной следующего по схеме витка (пазовых делений); y_k – шаг по коллектору, расстояние между коллекторными пластинами, к которым присоединено начало и конец секции, выраженное в коллекторных делениях. По волновой обмотке (рис. 13): длина пазовой части витка $l_p = l_a$ [мм]; ширина витка $y_1 = \tau$ [мм] при $\tau = \pi \cdot Da / 2p$ [мм]; направление перемещения проводников ротора относительно полюсов статора показано стрелкой с линейной скоростью $V_a = \pi \cdot Da \cdot n / 60$ [м/с]; ЭДС витка E_v равна сумме ЭДС двух проводников $E_v = 2 \cdot E_p$ [В]; ЭДС секции E_s при $W_s > 1$, измеряемая между коллекторными пластинами на расстоянии y_k [мм], составляет $E_s = 2 \cdot W_s \cdot E_p$ [В]; проводники витка размещены на расстоянии $y_1 = \tau$ [мм] под полюсами (N и S) разной полярности, поэтому их ЭДС E_p суммируются; наименование шагов (y_1, y_2, y, y_k) такое же как в петлевой обмотке; при определении шага по коллектору коллекторное деление включает суммарную ширину коллекторной пластины и толщину изоляционной прокладки, (мм).

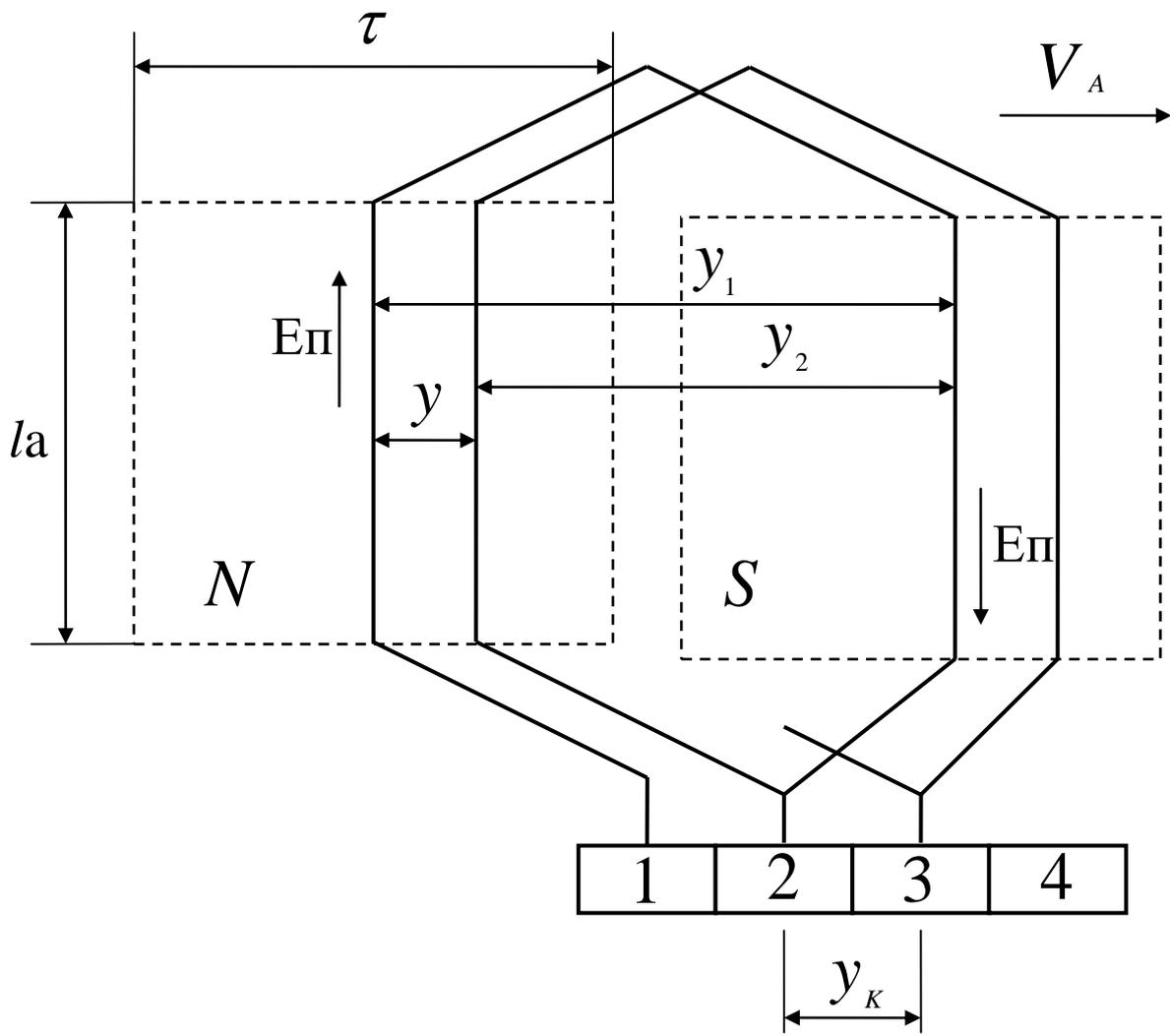


Рис12 – Петлевая обмотка

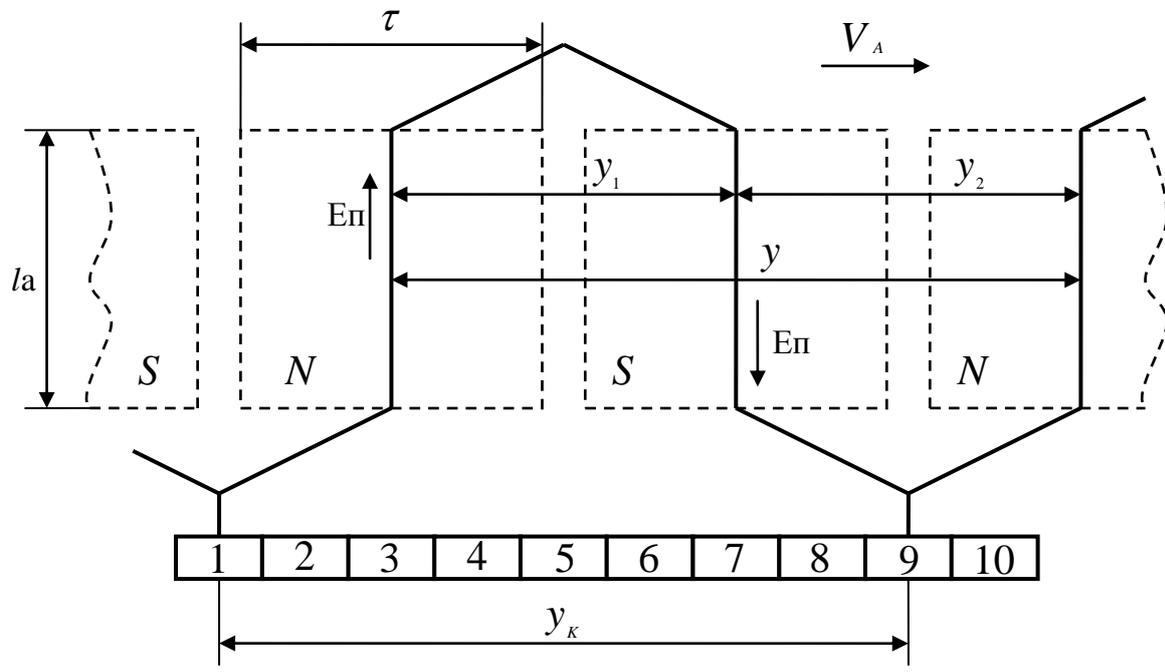


Рис 13 – Волновая обмотка

18. Что дает развернутая схема обмотки?

Чертеж развернутой схемы обмотки якоря позволит определить ряд параметров обмоточного провода. По исходным данным для каждого варианта определяем ток, поступающий из сети: $P_1 = P_2/\eta = 0$ [Вт]; $I_a = P_1/U = [A]$; принимаем допустимую плотность тока в обмоточном проводе $j = 4,5$ [А/мм²]; по заданию обмотка волновая и имеет $2a = 2$; ток в одной параллельной ветви $i_a = I_a/2a = [A]$; площадь поперечного сечения токопроводящей жилы $F_{п} = i_a / j = [мм^2]$. По табл. 2 выбираем марку провода По развернутой схеме обмотки измеряем среднюю длину проводника обмотки $l_0 = l_{ср} \cdot W_0$ [м].

19. От каких параметров зависит ток, ЭДС, магнитный поток, момент на валу?

У двигателя $E_a < U$, что определяет величину тока из сети: $I_a = (U - E_a)/R_a$; $E_a = (1+2 \cdot \eta) \cdot U/3$ [В], $R_a = (U - E_a)/I_a$ [Ом]. Для получения необходимой ЭДС E_a следует иметь поток Φ и число проводников N в пазах сердечника якоря: $E_a = C_e \cdot n \cdot \Phi = p \cdot N \cdot n \cdot \Phi / (60 \cdot a)$ [В]. Магнитный поток под полюсом статора: $\Phi = B \delta \cdot \tau \cdot l_a$ [Вб]. Начальный вращающий момент на валу: $M_n = 9,55 \cdot P_2/n = [Н \cdot м]$. Отношение пускового момента к номинальному, кратность пускового момента: $M_{п} = C_m \cdot I_{ап} \cdot \Phi$, $M_n = C_m \cdot I_{ан} \cdot \Phi$, $M_{п} / M_n = I_{ап} / I_{ан}$, превышение $M_{п} > M_n$ позволяет быстрее разогнать двигатель до номинальных оборотов: $M_{эм} - M_c = M_{дин}$, $M_{дин} = J_{п} \cdot \Delta\omega / \Delta t$, $\Delta t = (M_{эм} - M_c) / J_{п} \cdot \omega_n$ [с]; $\omega_n = \pi \cdot n_n / 30$ [с⁻¹]; $J_{п} = GD^2/4g$ [Н·м·с²].

20. Почему при пуске микродвигателя постоянного тока имеется бросок тока от (4-7) кратного от номинала?

$I_a = (U - E_a)/R_a$, при пуске $E_a = 0$, $E_a = C_e \cdot n \cdot \Phi$, так как $p = 0$.

21. Условия разгона двигателя постоянного тока.

Начальный вращающий момент на валу: $M_n = 9,55 \cdot P_2/n = [Н \cdot м]$. Отношение пускового момента к номинальному, кратность пускового момента: $M_{п} = C_m \cdot I_{ап} \cdot \Phi$, $M_n = C_m \cdot I_{ан} \cdot \Phi$, $M_{п} / M_n = I_{ап} / I_{ан}$, превышение $M_{п} > M_n$ позволяет быстрее разогнать двигатель до номинальных оборотов: $M_{эм} - M_c = M_{дин}$, $M_{дин} = J_{п} \cdot \Delta\omega / \Delta t$, $\Delta t = (M_{эм} - M_c) / J_{п} \cdot \omega_n$ [с]; $\omega_n = \pi \cdot n_n / 30$ [с⁻¹]; $J_{п} = GD^2/4g$ [Н·м·с²].

22. Назначение, устройство и принцип действия синхронного микродвигателя.

Имеем трехфазный конденсаторный синхронный микродвигатель с магнитоэлектрическим возбуждением при его включении в однофазную сеть переменного тока. На роторе двигателя установлены постоянные магниты ($2p$, шт - их число): это упрощает конструкцию ротора (не нужна обмотка возбуждения, контактные кольца со щетками, источник для питания обмотки возбуждения электрическим током), снижает габаритные размеры и массу двигателя. Тип двигателя - СДПМ (синхронный двигатель с постоянными магнитами). Предусмотрено специальное применение синхронного двигателя в однофазных сетях переменного тока. Наличие трех фазных обмоток в сердечнике статора позволяет использовать двигатель по общему назначению (общепромышленному).

Синхронные микродвигатели находят широкое применение в устройствах автоматики. Характерная особенность таких двигателей: частота вращения ротора (и механизма) жестко связана с частотой (f) изменения напряжения в сети ($n_c = n_1 = 60f/p$, мин⁻¹) и числом пар полюсов на роторе (p); эта частота не зависит от величины механической нагрузки, создаваемой механизмом ($n_c = \text{const}$). Естественно, что такие двигатели применяют в технических устройствах, требующих постоянной частоты вращения рабочего органа в механизме. Они незаменимы в следующих механизмах: в электрических часовых механизмах; лентопротяжных механизмах самопишущих приборов, магнитофонов и видеоманитофонов; в маяках для периодической подачи светового сигнала; в киноустановках, в программных устройствах, в системах синхронной связи.

23. Необходим ли конденсатор в цепи пусковой обмотки статора?

Да, для создания сдвига по фазе, а затем вращающего (а не пульсирующего) магнитного поля на статоре.