

**Образовательная автономная некоммерческая организация
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Специальность: 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине:

Электрические машины

(название дисциплины)

на тему:

Вариант 2 подвариант - А

(тема работы)

Обучающийся группы

ООПМЭо-21121-2

Метелёв Александр Юрьевич

Москва, 2023 г.

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ	1
ВВЕДЕНИЕ	3
ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	4
1 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ПО НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	5
2 ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРНУТОЙ СХЕМЫ ОБМОТКИ СТАТОРА	6
2.1 ВЫБОР ТИПА ОБМОТКИ	6
2.2 РАСЧЕТ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ	7
2.3 ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРНУТОЙ СХЕМЫ ОБМОТКИ СТАТОРА	10
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФАЗНОЙ И ЛИНЕЙНОЙ ЭДС ПЕРВОЙ, ТРЕТЬЕЙ, ПЯТОЙ И СЕДЬМОЙ ГАРМОНИКИ	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	14
Список использованных источников	15

Введение

Электрические машины широко применяют на электрических станциях, в промышленности, на транспорте, в авиации, в системах автоматического регулирования и управления, в быту.

Электрические машины преобразуют механическую энергию в электрическую, и наоборот. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется двигателями.

В зависимости от рода тока электроустановки, в которой должна работать электрическая машина, они делятся на машины постоянного и переменного тока.

Машины переменного тока могут быть как однофазными, так и многофазными. Наиболее широкое применение нашли трехфазные синхронные и асинхронные машины, а также катекторные машины переменного тока, которые допускают экономичное регулирование частоты вращения в широких пределах.

В настоящее время асинхронные двигатели являются наиболее распространенными электрическими машинами. Они потребляют около 50% электроэнергии, вырабатываемой электростанциями страны. Такое широкое распространение асинхронные электродвигатели получили из-за своей конструктивной простоты, низкой стоимости, высокой эксплуатационной надежности. Они имеют относительно высокий КПД: при мощностях более 1кВт $\eta = 0,7-0,95$ и только в микродвигателях он снижается до $0,2-0,65$.

Появление трехфазных асинхронных двигателей связано с именем М.О.Доливо-Добровольского. Эти двигатели были изобретены им в 1889г.

Задания на курсовой проект

1. Выбрать двигатель для кратковременного режима работы S2 при подъеме груза. Условия подъема и характеристики груза приведены в табл.1

2. Рассчитать параметры и начертить развернутую схему трехфазной двухслойной обмотки статора по данным, приведенным в табл. 1. Выбрать укорочение шага обмотки, чтобы уничтожилась ν -я высшая гармоника в кривой индуцированной ЭДС обмотки. Соединение катушечных групп последовательное, фазы обмотки соединить звездой, катушки одновитковые.

3. Используя данные и результаты расчета п.1 и п.2, определить эффективные значения фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоник, приняв частоту тока 50 Гц. Рассчитать значения этих ЭДС, если бы шаг обмотки был полным.

Таблица 1 – Задания для курсового проекта (работы)

Величины	Вариант
	5 (Подвариант А)
Масса груза, кг*10 ³	10
Скорость подъема, м/с	0,2
Высота подъема h, м	6
Коэффициент, учитывающий противовес, k	0,5
КПД подъемника, η	0,8
Коэффициент увеличения мощности, K _p	1,5
Число пазов Z ₁	60
Число полюсов 2p	4
Гармоника ν	7

1 Выбор двигателя по номинальной мощности

Для расчета мощности асинхронного двигателя для подъема груза следует пользоваться формулой:

$$P = \frac{kmgv}{\eta} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где k- коэффициент, учитывающий действие противовеса;

m- масса груза, кг;

g- ускорение свободного падения;

v- скорость подъема груза, м/с;

η - КПД подъемника.

Расчет мощности двигателя:

$$P = \frac{kmgv}{K_p \eta} \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (2)$$

$$P = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 9,8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 0,8} = 8,167 \text{ кВт}$$

Полученное значение увеличиваем до каталожного значения.

Двигатель выбираем из базы данных. Ближайший по мощности двигатель АД132М4 (P=11,0 кВт, n=1440 об/мин.).

Определяем его номинальный момент:

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_n} = \frac{9550 \cdot 11}{1440} = 72,95 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент:

$$M_M = 3,1 M_H = 3,1 \cdot 72,95 = 226,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2 Построение развернутой схемы обмотки статора

2.1 Выбор типа обмотки

На практике применяются различного рода типы обмотки (однослойные и двухслойные; с полным и укороченным шагом; односкоростные и многоскоростные; с одинаковым и различным числом секций в пазу), и для того чтобы сделать выбор нужно рассмотреть: экономическую целесообразность, достоинства и недостатки, технические возможности выполнения.

Основные достоинства однослойной обмотки:

1. Отсутствие межслоевой изоляции, что повышает коэффициент заполнения паза, а следовательно, ток и мощность двигателя.
2. Простота изготовления.
3. Большая возможность применения автоматизации при укладке обмоток.

Недостатки:

1. Повышенный расход проводникового материала.
2. Сложность укорочения шага, а следовательно, компенсации высших гармоник магнитного потока.
3. Ограничение возможности построения обмоток дробным числом пазов на полюс и фазу.
4. Более трудоёмкое изготовление и монтаж катушек для крупных электродвигателей высокого напряжения.

Двухслойные обмотки в основном выполняются с одинаковыми секциями: петлевые и цепные, реже принимают концентрические.

Основные достоинства двухслойной обмотки по сравнению с однослойной:

1. Возможность любого укорочения шага, что позволяет:
 - а) снизить расход обмоточного провода за счет уменьшения длины лобовой части секции;

б) уменьшить высшие гармонические составляющие магнитного потока, то есть снизить потери в магнитопроводе двигателя.

2. Простота технологического процесса изготовления катушек (многие операции можно механизировать).

3. Возможность выполнения обмотки почти с любой дробностью q , что обеспечивает изготовление обмотки при ремонте асинхронных двигателей с изменением частоты вращения ротора. Кроме того, это является одним из способов приближения формы поля к синусоиде.

4. Возможность образования большего числа параллельных ветвей.

К недостаткам двухслойных обмоток следует отнести:

1. Меньший коэффициент заполнения паза (вследствие наличия межслоевой изоляции).

2. Некоторая сложность при укладке последних секций обмотки.

3. необходимость поднимать целый шаг обмотки при повреждении нижней стороны секции.

По приведенным соображениям, в настоящее время, в ремонтной практике машин переменного тока двухслойные обмотки получили наибольшее применение. Следовательно, выбираем двухслойную петлевою обмотку.

2.2 Расчет обмоточных данных

Расчет обмоточных данных состоит в определении основных данных:

N – число катушечных групп;

y – шаг обмотки;

q – число пазов на полюс и фазу;

α – число электрических градусов, приходящихся на один паз;

a – число параллельных ветвей.

Шаг обмотки:

Шаг обмотки (y_1) – это расстояние выраженное в зубцах (или пазах),

между активными сторонами одной и той же секции:

$$y_1 = \frac{Z}{2 \cdot p} \pm \xi, \quad (3)$$

где y_1 – расчетный шаг (равен полюсному делению, выраженному в зубцах);

ξ – произвольное число меньше 1, доводящее расчетный шаг (y_1) до целого числа.

На практике принято шаг определять в пазов, поэтому при раскладке вторая сторона секции ложится в паз $y+1$. Согласно задания $Z_1=60$, а $2p=4$, то

$$y_1 = \frac{60}{4} + 0 = 15.$$

Двухслойные обмотки выполняют с укорочением шага.

$$y = y_1 \cdot \beta, \quad (4)$$

где β – относительный шаг обмотки .

Для подавления пятой гармоники ЭДС катушки выбирают $\beta=0,8$. Если необходимо подавить седьмую гармонику, то $\beta =0,857$.

$$y = 15 \cdot 0,857 = 12,855 \text{ пазов.}$$

Принимаем $y=13$ пазов.

Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z}{2 \cdot p \cdot m}, \quad (5)$$

где m – число фаз.

$$q = \frac{60}{4 \cdot 3} = 5 \text{ паза.}$$

Так как $q>1$, то обмотка называется рассредоточенной, при этом фазные катушки должны быть разделены на секции, число которых равно q .

Число катушечных групп:

В двухслойных обмотках число катушечных групп механически увеличивается в два раза, однако, по сравнению с однослойной обмоткой, с числом витков в каждой секции меньшим в два раза, тогда:

$$N_{1\phi}^{(2)} = 2 \cdot p, \quad (6)$$

где $N_{1\phi}^{(2)}$ - число катушечных групп в одной фазе двухслойной обмотке.

$$N_{1\phi}^{(2)} = 4 \text{ шт.}$$

Так как каждую пару полюсов создают все три фазы переменного тока, следовательно:

$$N_{3\phi}^{(2)} = N_{1\phi}^{(2)} \cdot m, \quad (7)$$

$$N_{3\phi}^{(2)} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ шт.}$$

Число электрических градусов на один паз:

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{Z}, \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot 2}{60} = 12 \text{ эл. гр.}$$

Катушечные группы фаз можно соединять последовательно ($a=1$), параллельно ($a=q$) и комбинированно ($1 < a < q$).

Для данного случая применяем, $a=1$.

2.3 Построение развернутой схемы обмотки статора

Построения развернутой схемы трехфазной двухслойной обмотки статора ведем по следующим данным: число фаз $m_1 = 3$, число полюсов $2p = 4$, число пазов в сердечнике статора $Z_1=60$, шаг обмотки по пазам $y_1=15$, $\alpha=12$ эл. град. Угол сдвига между осями фазных обмоток составляет 120 эл. град, поэтому сдвиг между началами фазных обмоток А, В и С, выраженный в пазах, $\lambda = 120 / \alpha = 120 / 12 = 10$ пазов.

На развернутой поверхности статора размечаем пазы ($Z_1=60$) и полюсные деления ($2p=4$), а затем размечаем зоны по $q_1=5$ паза для всех фаз; при этом расстояние между зоной какой-либо фазы в одном полюсном делении и зоной этой же фазы в другом полюсном делении должно быть равно шагу обмотки $y = 15$ пазов.

Далее отмечаем расстояние между началами фазных обмоток $\lambda = 10$ пазов. Изображаем на схеме верхние и нижние пазовые стороны катушек фазы А (катушки 1, 2, 3, 4, 5, 16, 17, 18, 19, 20, 31, 32, 33, 34, 35, 46, 47, 48, 49, 50). Верхнюю сторону катушки 1 (паз 1) лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 14), которую, в свою очередь, присоединяем к верхней стороне катушки 2 (паз 2). Верхнюю сторону катушки 2 также лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 15). Верхнюю сторону катушки 3 также лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 16). Верхнюю сторону катушки 4 также лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 17), верхнюю сторону катушки 5 также лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 18) и получаем первую катушечную группу обмотки фазы А.

Аналогично получаем вторую катушечную группу фазы А, состоящую из последовательно соединенных катушек 16, 17, 18, 19, 20. Катушечные группы соединяем последовательно встречно, для чего К1А

присоединяем к КЗА. Третья катушечная группа строится аналогично. Присоединив начало первой катушечной группы С1 к выводу фазы А, а начало второй катушечной группы к выводу С4, получаем фазную обмотку А.

Приступаем к соединению пазовых сторон катушек фазы В: катушек 21, 22, 23, 24, 25 (первая катушечная группа) и катушек 36, 37, 38, 39, 40 (вторая катушечная группа) и т.д.

Проделав то же самое с катушками фазной обмотки С и соединив катушечные группы этих фазных обмоток, так же как это было сделано в фазной обмотке А, получим фазные обмотки фазы В и фазы С. В окончательном виде развернутая схема трехфазной обмотки представлена в графической части.

3 Определение эффективных значений фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоники

Для определения ЭДС обмотки статора необходимо ЭДС катушки умножить на число последовательно соединенных катушек в фазной обмотке статора. Так как число катушек в катушечной группе равно q_1 , а число катушечных групп в фазной обмотке равно $2p$, то фазная обмотка статора содержит $2pq_1$ катушек. Имея в виду, что число последовательно соединенных витков в фазной обмотке $w_1 = 2pq_1w_k$, получим ЭДС фазной обмотки статора (В):

$$E_{lv} = 4,44 \cdot \Phi_v \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{об.v}, \quad (9)$$

$$\Phi_v = \frac{\Phi}{v^2}, \quad (10)$$

Величина магнитного потока Φ определяется как

$$\Phi = 2/\pi \cdot B_\delta \cdot Q_\delta = 2/\pi \cdot 0,7 \cdot 0,013 = 0,058 \text{ Вб},$$

где B_δ – величина максимальной индукции в воздушном зазоре (принимается равной 0,7 Тл);

$$Q_\delta = \tau \cdot \ell_p = \frac{\pi \cdot 0,145}{4} \cdot 0,115 = 0,013 \text{ м}^2$$

где τ – полюсное деление (ширина полюса в воздушном зазоре, м);

ℓ_p – длина сердечника статора, м.

В этом выражении $k_{об.v}$ – обмоточный коэффициент для v –ой гармоники, учитывающий уменьшение ЭДС v –ой гармоники, наведенной в обмотке статора, обусловленное укорочением шага обмотки и ее распределением. Значение обмоточного коэффициента определяется произведением коэффициента укорочения k_{yv} и распределения k_{pv} :

$$k_{об.v} = k_{yv} \cdot k_{pv}, \quad (11)$$

Для обмоток с диаметральной шагом $k_{об} = k_p$.

$$k_{p1} = 0,957; \quad k_{p3} = 0,646; \quad k_{p5} = 0,200; \quad k_{p7} = -0,149$$

Согласно (9) и (10) получаем

$$E_{11} = 4,44 \cdot \frac{0,058}{1^2} \cdot 50 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 0,933 = 240,27 \text{ В}$$

$$E_{13} = 4,44 \cdot \frac{0,058}{3^2} \cdot 50 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 0,280 = 24,04 \text{ В}$$

$$E_{15} = 4,44 \cdot \frac{0,058}{5^2} \cdot 50 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 0,087 = 4,48 \text{ В}$$

$$E_{17} = 4,44 \cdot \frac{0,058}{7^2} \cdot 50 \cdot 7 \cdot 20 \cdot 0 = 0 \text{ В}$$

Определим значение фазной ЭДС обмотки статора:

$$E_1 = \sqrt{E_{11}^2 + E_{13}^2 + E_{15}^2 + E_{17}^2}, \text{ В} \quad (12)$$

$$E_1 = \sqrt{240,27^2 + 24,04^2 + 4,48^2 + 0^2} = 241,51 \text{ В}$$

Что же касается линейной ЭДС, то ее значение зависит от схемы соединения обмотки статора: при соединении звездой $E_{1л} = \sqrt{3}E_1$, а при соединении треугольником $E_{1л} = E_1$.

Структура условного обозначения АД [132][М][4]:

АД – асинхронный двигатель;

2А – обозначение серии;

[132] – габарит, 132 мм;

[М] – установочный размер по длине станины М;

[4] – число полюсов (4);

Вид климатического исполнения: УЗ.

Особенности конструкции:

Конструктивное исполнение двигателя по способу монтажа IM1081.

Заключение

Результатом выполнения данного курсового проекта является расчет основных характеристик асинхронного трехфазного двигателя.

Наиболее полезно для меня как результат выполнения данного курсового проекта является закрепление знаний, полученных при изучении дисциплины «Электрические машины», а также получение опыта разработки и расчета основных характеристик асинхронного двигателя.

Список использованных источников

1. Ванурин В.Н. Электрические машины [Электронный ресурс]: учебник / В.Н. Ванурин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 304 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72974>

2. Епифанов А.П. Электрические машины [Электронный ресурс]: учебник / А.П. Епифанов, Г.А. Епифанов. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 300 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/95139>.

б) дополнительная литература

1. Серебровский В.В. Электрические машины (виртуальный практикум): учеб. пособие / В. В. Серебровский, С. А. Филист, О. В. Шаталова. - Курск: Изд-во Курской ГСХА, 2012. - 83 с.: ил.

2. Копылов И.П. Электрические машины. В 2-х т. Т.1: учебник / И.П. Копылов. - Москва: Юрайт, 2015. - 267 с.

3. Копылов И.П. Электрические машины. В 2-х т. Т. 2: учебник / И.П. Копылов. - Москва: Юрайт, 2015. - 407 с.

4. Ковалев В. З. Электрические машины : учебное пособие / В. З. Ковалев, А. Г. Щербаков. - Ханты-Мансийск : ЮГУ, 2018. - 286 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/148998> (дата обращения: 27.12.2020). - Режим доступа: ЭБС "Лань"; по подписке. - Текст: электронный.

5. Электрические машины. Асинхронные машины : учебное пособие / сост. И. Ю. Лошкарев, Ю. В. Иванкина. - Саратов : Саратовский ГАУ, 2018. - 123 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/137487> (дата обращения: 27.12.2020). - Режим доступа: ЭБС "Лань"; по подписке. - ISBN 978-5-907035-53-9В. - Текст: электронный.

в) Интернет-ресурсы:

1. Учебные курсы Курской ГСХА [Электронный ресурс].- Режим доступа: www.moodle.kgsha.u,

2. Бесплатная техническая библиотека [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.diagram.com.ua/library/energ-avtomatika/>,

3. Книги для проектировщиков систем автоматизации [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.proektant.org/index.php?topic=1327.0>

4.Электронно-библиотечная система IPRbooks
<http://www.iprbookshop.ru/32005.html>

5.Электронно-библиотечная система <https://e.lanbook.com/>

г) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.Электронно-библиотечная система IPRbooks
<http://www.iprbookshop.ru/32005.html>

2.Электронно-библиотечная система <https://e.lanbook.com/>