

Образовательная автономная некоммерческая организация
высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Факультет «Строительства и техносферной безопасности»
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине:

На тему:

(тема работы)

Обучающийся группы _____

ФИО _____

Москва, 202__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Выбор двигателя	5
2 Расчет обмотки.....	6
2.1 Выбор типа обмотки.....	6
2.2 Расчет обмоточных данных	7
2.3 Построение схемы обмотки	9
3 Определение эффективных значений фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоник	12
Заключение	16
Список использованных источников	17

ВВЕДЕНИЕ

В общем объеме производства электротехнической промышленности электрические машины занимают ведущее место, а поэтому эксплуатационные свойства новых электрических машин имеют важное значение для экономики России.

Проектирование электрических машин основано на знании процессов электромеханического преобразования энергии и опыта инженеров – электромехаников, умеющих применять вычислительную технику.

При проектировании электрических машин конструктивные элементы должны быть рассчитаны так, что бы при изготовлении машины трудоёмкость и расход материалов были наименьшими, а при эксплуатации они должны обладать оптимальными энергетическими показателями с учетом современного мирового уровня изготовления, а также требований государственных и отраслевых стандартов.

В работе производится подбор и расчет основных параметров асинхронного двигателя серии 4А.

Асинхронные двигатели являются основными преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов.

Серия 4А охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт и имеет 17 высот оси вращения от 50 до 355 мм

Асинхронные двигатели серии 4А классифицируются по высоте оси вращения, установочному размеру по длине станины, установочному размеру по длине сердечника статора, числу полюсов, климатическому исполнению и категории размещения.

Исходные данные для выполнения работы определялись исходя из двух последних цифр номера договора (вариант 4, подвариант Б):

1. Масса груза, кг*10³ – 8.
2. Скорость подъема, м/с – 0,4.

3. Высота подъема h , м – 4.
4. Коэффициент, учитывающий противовес, k – 0,4.
5. КПД подъемника, η – 0,8.
6. Коэффициент увеличения мощности, K_p – 1,1.
7. Число пазов Z_1 – 36.
8. Число полюсов $2p$ – 4.
9. Гармоника ν – 7.

Соединение катушечных групп последовательное, фазы обмотки соединить звездой, катушки одновитковые.

otlichnici.ru | info@otlichnici.ru

1 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

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

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

где k - коэффициент, учитывающий действие противовеса;

v - скорость подъема груза в м/с;

m - масса груза, кг;

g - ускорение свободного падения в м/с²;

η - КПД подъемника;

K_p - коэффициент увеличения мощности

$$P = \frac{kmgv}{K_p \eta} \cdot 10^{-3} = \frac{0,5 \cdot 8000 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{1,1 \cdot 0,8} \cdot 10^{-3} = 17,8 \text{ кВт.}$$

Полученное значение мощности увеличиваем до ближайшего каталожного значения.

Двигатель выбираем из базы данных БД ielectro. Ближайший по мощности двигатель 4A160M4 (P=18,5 кВт, $n_H=1465$ об/мин).

Определяем его номинальный момент

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{18,5}{1465} = 120,6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Максимальный момент:

$$M_M = 2,3M_H = 2,3 \cdot 120,6 = 277,4 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

2 РАСЧЕТ ОБМОТКИ

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 трудоемкое 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: Меньший коэффициент заполнения паза (вследствие наличия межслойной изоляции).

1. Некоторая сложность при укладке последних секций обмотки.

2. 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 (y_1) – это расстояние, выраженное в зубцах (или пазух), между активными сторонами одной и той же секции:

$$y_1 = \frac{Z}{2 \cdot p} \pm \xi ,$$

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 $y+1$. Например, если $Z=36$, а $2p=4$, то

$$y_1 = \frac{36}{2 \cdot 2} = 9 .$$

Двухслойные обмотки выполняют с укорочением шага:

$$y = y_1 \cdot k_y = 9 \cdot 0,857 = 7,7 \text{ пазов.}$$

где k_y – коэффициент укорочения шага обмотки.

Для подавления седьмой гармоники ЭДС катушки выбирают $k_y=0,857$.

Принимаем $y = 8$ пазов.

Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z}{2 \cdot p \cdot m} ,$$

где m – число фаз.

$$q = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 3 \text{ пазов.}$$

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:

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

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

$$N_{1\phi}^{(2)} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.}$$

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

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

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

Число электрических градусов на один паз:

$$\alpha = \frac{360 \cdot p}{Z},$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot 2}{36} = 20 \text{ эл.град.}$$

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

Для нашего случая применяем, $a = 1$.

2.3 Построение схемы обмотки

Рассмотрим порядок построения развернутой схемы трехфазной двухслойной обмотки статора на примере обмотки, имеющей следующие данные: число фаз $m_1 = 3$, число полюсов $2p = 4$, число пазов в сердечнике статора $Z_1 = 36$, шаг обмотки по пазам $y = 8$.

Шаг обмотки $y = Z_1 / (2p) - 1 = 36 / 4 - 1 = 8$ пазов; число пазов на полюс и фазу $q_1 = Z_1 / (m_1 \cdot 2p) = 36 / (3 \cdot 4) = 3$ пазов; пазовый угол $\alpha = 360p / Z_1 = 360 \cdot 2 / 36 = 20$ эл. град. Угол сдвига между осями фазных обмоток составляет 120 эл. град, поэтому сдвиг между началами фазных обмоток A , B и C , выраженный в пазов, $\lambda = 120 / \alpha = 120 / 20 = 6$ пазов.

На развернутой поверхности статора размечаем пазы ($Z_1 = 36$) и полюсные деления ($2p = 4$), а затем размечаем зоны по $q_1 = 3$ пазов для всех фаз (рис. 1); 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 $y = 8$ пазов.

Далее отмечаем расстояние между началами фазных обмоток $\lambda = 6$ пазов. Изображаем на схеме (рис. 1) верхние (сплошные линии) и нижние (пунктирные линии) пазовые стороны катушек фазы А (катушки 1, 2, 3, 19, 20 и 21). Верхнюю сторону катушки 1 (паз 1) лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 9), которую, в свою очередь, присоединяем к верхней стороне катушки 2 (паз 2), которую, в свою очередь, присоединяем к верхней стороне катушки 3 (паз 3). Верхнюю сторону катушки 3 (рис. 1) также лобовой частью соединяем с нижней стороной этой же катушки (паз 10) и получаем первую катушечную группу обмотки фазы А ($H1A-K1A$).

Аналогично получаем вторую катушечную группу фазы А, состоящую из последовательно соединенных катушек 19, 20 и 21 ($H2A-K2A$). Катушечные группы соединяем последовательно согласно, для чего $K1A$ присоединяем к $H2A$. Присоединив начало первой катушечной группы $H1A$ к выводу обмотки $C1$, а конец второй катушечной группы $K2A$ - к выводу $C4$, получаем фазную обмотку А.

Приступаем к соединению пазовых сторон катушек фазы В: катушек 7, 8 и 9 (первая катушечная группа), катушек 25, 26 и 27 (вторая катушечная группа).

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 ($C2-C5$) и фазы С ($C3-C6$). В окончательном виде развернутая схема трехфазной обмотки представлена на рис. 1.

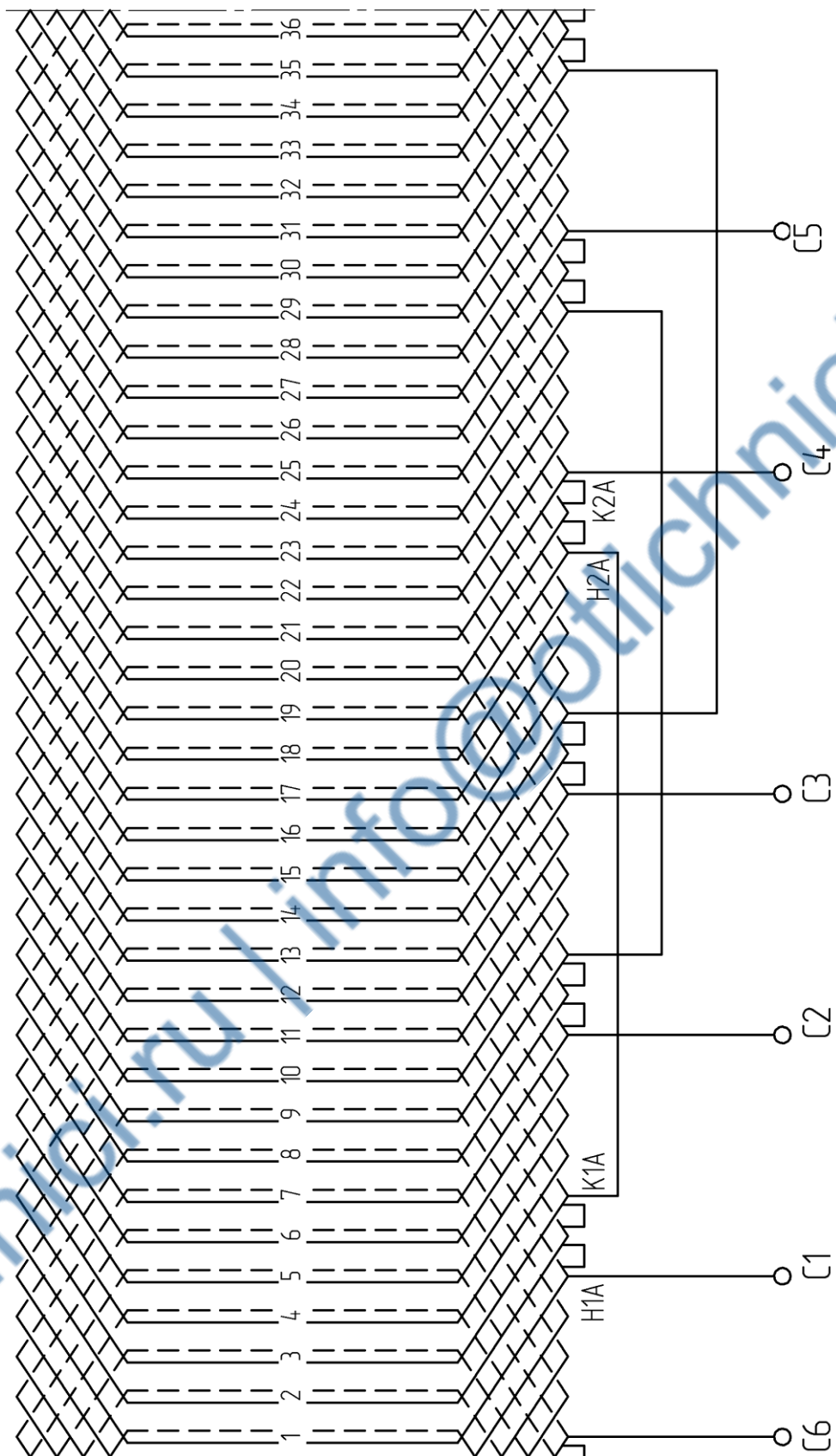


Рисунок 1 - Порядок построения развернутой схемы трехфазной двухслойной обмотки статора: $Z_1 = 36$, $2p = 4$, $y = 8$, $q_1 = 3$

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФАЗНОЙ И ЛИНЕЙНОЙ ЭДС ПЕРВОЙ, ТРЕТЬЕЙ, ПЯТОЙ И СЕДЬМОЙ ГАРМОНИК

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 $w_1 = 2pq_1w_K$ ($K=1$), получим ЭДС фазной обмотки статора (В) v -й гармоники:

$$E_{1v} = 4,44 \cdot \Phi_v \cdot f_{1v} \cdot w_1 \cdot k_{об.v},$$

где $f_{1v} = f_1 \cdot v$,

$$\Phi_v = \frac{\Phi}{v^2}.$$

Величина магнитного потока Φ определяется как

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \cdot B_\delta \cdot Q_\delta,$$

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

$$Q_\delta = \tau \cdot l_p,$$

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

l_p – длина сердечника статора, м.

Из справочных данных для электродвигателя типа 4А160М4:

$$\tau = 0,106 \text{ м}, l_p = 0,15 \text{ м}, w_K = 12 \text{ [4, 5]}.$$

Тогда

$$Q_\delta = 0,106 \cdot 0,15 = 0,0159 \text{ м}^2,$$

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \cdot 0,7 \cdot 0,0159 = 0,00709 \text{ Вб},$$

$$w_1 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 12 = 144.$$

В выражении для ЭДС $k_{об.v}$ – 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} ,

$$k_{об.в} = k_{y.v} \cdot k_{p.v}$$

Коэффициенты укорочения и распределения выбираются из таблицы 1 и таблицы 2, соответственно [6].

Таблица 2

Коэффициенты укорочения

Относительный шаг	4/5	6/7	1
Коэффициент укорочения k_{yv}			
1-я гармоника	0,951	0,975	1,000
5-я гармоника	0,000	0,433	1,000
7-я гармоника	0,573	0,000	1,000

Таблица 3

Коэффициенты распределения

Число пазов на полюс и фазу $q_1 \dots$	Коэффициенты распределения						
	1	2	3	4	5	6	∞
Коэффициент распределения k_p							
1-я гармоника	1,000	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955
3-я гармоника	1,000	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,636
5-я гармоника	1,000	0,259	0,217	0,204	0,200	0,197	0,191
7-я гармоника	-1,000	-0,259	-0,178	-0,157	-0,149	-0,145	-0,136

Определим значения магнитного потока обмотки статора для различных гармоник:

$$\Phi_1 = \frac{0,00709}{1^2} = 0,00709 \text{ Вб},$$

$$\Phi_3 = \frac{0,00709}{3^2} = 0,000788 \text{ Вб},$$

$$\Phi_5 = \frac{0,00709}{5^2} = 0,000284 \text{ Вб},$$

$$\Phi_7 = \frac{0,00709}{7^2} = 0,000145 \text{ Вб.}$$

Определим значения частоты обмотки статора для различных гармоник:

$$f_{11} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ Гц,}$$

$$f_{13} = 50 \cdot 3 = 150 \text{ Гц,}$$

$$f_{15} = 50 \cdot 5 = 250 \text{ Гц,}$$

$$f_{17} = 50 \cdot 7 = 350 \text{ Гц.}$$

Определим значения фазной ЭДС обмотки статора для различных гармоник:

$$E_{11} = 4,44 \cdot 0,00709 \cdot 50 \cdot 144 \cdot 0,96 \cdot 0,975 = 212,1 \text{ В,}$$

$$E_{13} = 4,44 \cdot 0,000788 \cdot 150 \cdot 144 \cdot 0,667 \cdot 1 = 50,4 \text{ В,}$$

$$E_{15} = 4,44 \cdot 0,000284 \cdot 250 \cdot 144 \cdot 0,217 \cdot 0,433 = 4,3 \text{ В,}$$

$$E_{17} = 4,44 \cdot 0,000145 \cdot 350 \cdot 144 \cdot (-0,178) \cdot 0 = 0.$$

Определим значение фазной ЭДС обмотки статора:

$$E_1 = \sqrt{E_{11}^2 + E_{13}^2 + E_{15}^2 + E_{17}^2},$$

$$E_1 = \sqrt{212,1^2 + 50,4^2 + 4,3^2 + 0^2} = 218 \text{ В.}$$

Выражение определяет значение фазной ЭДС обмотки статора. Что же касается линейной ЭДС, то ее значение зависит от схемы соединения обмотки статора: при соединении звездой $E_{1Л} = \sqrt{3}E_1 = \sqrt{3} \cdot 218 = 377,2 \text{ В}$, а при соединении треугольником $E_{1Л} = E_1 = 218 \text{ В}$.

Рассчитаем значения этих ЭДС, если бы шаг обмотки был полным. В этом случае для всех гармоник $k_{\nu} = 1$:

$$E_{11} = 4,44 \cdot 0,00709 \cdot 50 \cdot 144 \cdot 0,96 \cdot 1 = 217,5 \text{ В,}$$

$$E_{13} = 4,44 \cdot 0,000788 \cdot 150 \cdot 144 \cdot 0,667 \cdot 1 = 50,4 \text{ В,}$$

$$E_{15} = 4,44 \cdot 0,000284 \cdot 250 \cdot 144 \cdot 0,217 \cdot 1 = 9,8 \text{ В,}$$

$$E_{17} = 4,44 \cdot 0,000145 \cdot 350 \cdot 144 \cdot (-0,178) \cdot 1 = -5,8 \text{ В.}$$

Определим значение фазной ЭДС обмотки статора:

$$E_1 = \sqrt{E_{11}^2 + E_{13}^2 + E_{15}^2 + E_{17}^2} ,$$

$$E_1 = \sqrt{217,5^2 + 50,4^2 + 9,8^2 + (-5,8)^2} = 223,6 \text{ В.}$$

Выражение определяет значение фазной ЭДС обмотки статора. Что же касается линейной ЭДС, то ее значение зависит от схемы соединения обмотки статора: при соединении звездой $E_{1Л} = \sqrt{3}E_1 = \sqrt{3} \cdot 223,6 = 386,8 \text{ В}$, а при соединении треугольником $E_{1Л} = E_1 = 223,6 \text{ В}$.

Otlichnici.ru | info@otlichnici.ru

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был выполнен расчет асинхронного двигателя, за основу был взят электродвигатель типа 4А160М4 ($P=18,5$ кВт, $n_H=1465$ об/мин).

Был произведен выбор двигателя кратковременного режима работы S2 при подъеме груза, произведен расчет параметров и начерчена развернутая схема трехфазной двухслойной обмотки статора, выбрано укорочение шага для подавления 5-й гармоники, а также определены эффективные значения фазной и линейной ЭДС первой, третьей, пятой и седьмой гармоник для частоты тока 50 Гц при укорочении и полном шаге обмотки статора.

Из полученных расчетов можно сделать вывод, что при использовании полного шага обмотки статора по сравнению с укороченным шагом возрастает ЭДС обмотки статора за счет увеличения ЭДС высших гармоник, что повышает высшие гармонические составляющие магнитного потока, то есть увеличивает потери в магнитопроводе 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>.
3. 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.
4. Копылов И.П. Электрические машины. В 2-х т. Т.1: учебник / И.П. Копылов. - Москва: Юрайт, 2015. - 267 с.
5. Копылов И.П. Электрические машины. В 2-х т. Т. 2: учебник / И.П. Копылов. - Москва: Юрайт, 2015. - 407 с.
6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. Методические указания по написанию и защите курсовых работ. Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Квалификация выпускника: Бакалавр. Форма обучения: Заочная - Москва, 2021. - 27 с.