

УДК 621.313

Моделирование расчёта электродвигателя с фазномодулированной полюсопереключаемой обмоткой на 6/4 полюса

Украинцев М.М., Жидченко Т.В., Удинцова Н.М., Серёгина В.В., Середина М.Н.

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ

Аннотация

Статья посвящена моделированию расчёта электродвигателей с полюсопереключаемыми обмотками на каждой частоте вращения. Для создания модели расчёта, на примере электродвигателя с полюсопереключаемой обмоткой на 6/4 полюса со схемой соединения фаз УУ/Δ применен метод объектно-ориентированного программирования, разработана система программного интерфейса и процедуры, с применением которых можно уменьшить время и затраты труда на проведение расчётных операций.

Ключевые слова: МОДЕЛЬ РАСЧЁТА, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМАЯ ОБМОТКА, ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Введение

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором составляют основу электропривода большинства стационарных машин и установок промышленности и сельского хозяйства [1-5]. Многоскоростные асинхронные электродвигатели позволяют упростить кинематические схемы, повысить надежность ступенчато регулируемых электроприводов и снизить расход электроэнергии за счет наиболее полного использования их нагрузочных свойств. Эффективность использования многоскоростных электродвигателей зависит от применяемых в них схем полюсопереключаемых обмоток.

Практическое использование оптимальных схем таких обмоток позволяет сократить расход активных и изоляционных материалов в процессе изготовления двигателей или при их капитальном ремонте, обеспечивает снижение расхода электрической энергии,

например, за счёт более полного соответствия определённой рабочей машине соответствующего многоскоростного электродвигателя. По методу фазной модуляции можно создавать различные полюсопереключаемые обмотки. Используя этот метод, наиболее просто можно осуществлять переключение с не кратного трем числа полюсов обмотки на кратное трем число полюсов [6]. Преимуществом фазномодулируемых схем обмоток, являются их простейшие схемы коммутации. На рис. 1 представлена схема полюсопереключаемой обмотки на 6/4 полюса со схемой соединения фаз YY/Δ [1, 4, 5]. На рис. 2 представлены кривые магнитодвижущих сил обмотки.

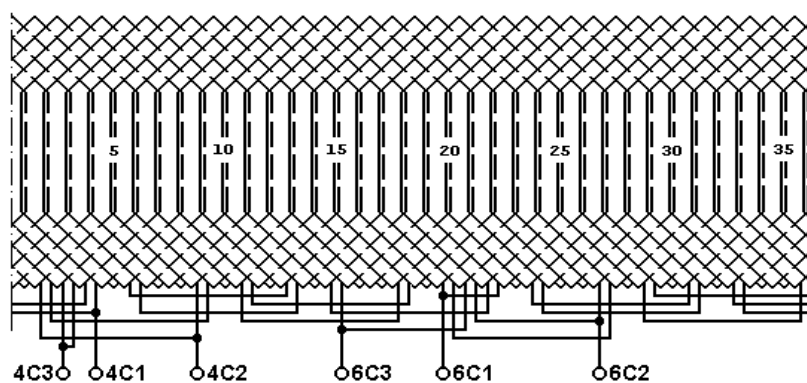


Рис. 1. Схема обмотки на 6/4 полюса (YY/Δ)

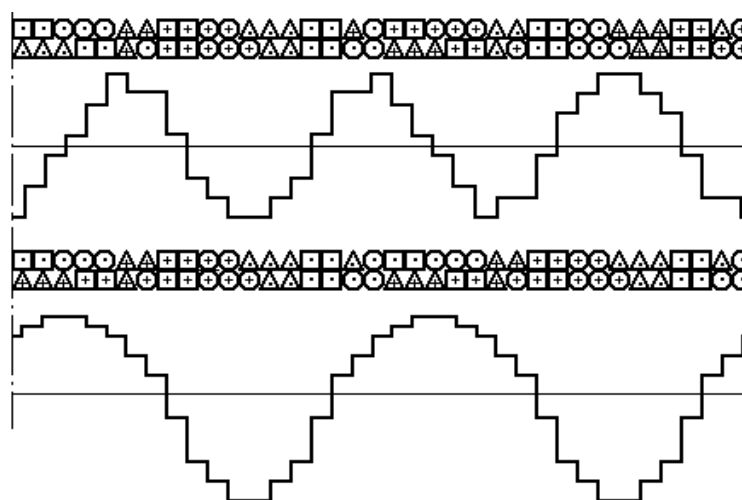


Рис. 2. М.д.с. обмотки на 6/4 полюса (YY/Δ)

Материалы и методы

Целью данной работы является реализация в удобном программном интерфейсе аналитической методики расчёта параметров многоскоростного асинхронного

электродвигателя с полюсопереключаемой обмоткой, представленной на рисунке 1 и определение рекомендуемого режима работы. При расчёте числа витков на фазу $w_{\phi 1}$ статорной обмотки используют следующее выражение [2, 3]:

$$W_{\phi 1} = \frac{E_1}{4,44 f_1 k_{об1} \Phi} = \frac{k_e U_1}{4,44 f_1 k_{об1} \Phi},$$

где E_1 - электродвижущая сила (э.д.с.) фазной обмотки;

U_1 - фазное напряжение;

$k_e = E_1/U_1$ - коэффициент э.д.с., который часто определяют по эмпирической формуле: $k_e \approx 1 - 20\delta/\tau q$ (δ - величина воздушного зазора, $\tau = \pi D_i/2p$ - полюсное деление, $q=Z_1/2pm_1$ - число пазов на полюс и фазу, D_i - внутренний диаметр статора, p - число пар полюсов обмотки, m_1 - число фазных обмоток);

f_1 - частота сети;

Φ - поток на полюс;

$k_{об1}$ - обмоточный коэффициент.

При номинальном фазном напряжении $U_{1н}=220$ В и частоте сети $f_1=50$ Гц, когда $4,44 f_1 \approx U_{1н}$,

$$W_{\phi 1} = \frac{k_e}{k_{об1} \Phi}.$$

Величина потока на полюс Φ определяется геометрическими размерами статора и индукцией в воздушном зазоре B_δ :

$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_\delta \tau l_1 = \frac{2}{\pi} B_\delta \frac{\pi D_i}{2p} l_1 = B_\delta \frac{D_i l_1}{p}.$$

Расчётное число полюсов обмотки определяется по наибольшему значению индукции в воздушном зазоре B_δ , или по допустимой индукции в спинке статора $B_a = \frac{\Phi}{2Q_a}$, где $Q_a = h_a l_1 k_{ст}$ - площадь спинки (h_a - высота спинки, $k_{ст} \approx 0,95$ - коэффициент заполнения длины статора l_1 сталью). Значение B_a , как правило, не должно превышать 1,7 Тл [2, 3].

Номинальный фазный ток $I_{1н}$ при определении номинальной мощности трёхфазного двигателя ($P_{2н} = 3U_{1н} I_{1н} \eta_n \cos \varphi_n$, где $U_{1н}$ - значение номинального фазного напряжения) рассчитывают по линейной нагрузке A , которая учитывает допустимый нагрев двигателя при требуемых кратностях пускового и максимального моментов:

$$I_{1н} = \frac{\pi D_i A}{6w_{\phi 1}}.$$

Величина номинального тока полюсопереключаемой обмотки может корректироваться в зависимости от соотношения её средней длины витка катушек к средней длине витка катушек обмотки двигателя, на базе которого создаётся многоскоростной двигатель.

При расчёте номинальной мощности двигателя его номинальный КПД η_n можно определить, ориентируясь на составляющие потерь в двигателях основного исполнения, а номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n$ – по соотношению расчётных значений активного и номинального токов.

Потери в статорной обмотке с $w_{\phi 1}$ последовательными витками и числом параллельных ветвей a в каждой фазе можно определить также по длине витка l_v (м), сечению обмоточного провода q (мм²), удельному сопротивлению меди $\rho = 0,0174$ Ом·м/мм² (при температуре 20°С), температурному коэффициенту сопротивления $\alpha = 0,004$ 1/°С и квадрату фазного номинального тока $I_{1н}^2$, приводя эти потери к температуре 75°С и частоте сети 50 Гц:

$$P_{эл1} = \frac{1,05\rho(1 + \alpha 55)(3I_{1н}^2 l_v w_{\phi 1})}{qa} = \frac{0,0223(3I_{1н}^2 l_v w_{\phi 1})}{qa}.$$

Число эффективных проводников в пазу $N = \frac{6w_{\phi 1} a}{Z_1}$, где a - число параллельных ветвей обмотки, определяет число витков в катушке однослойной обмотки: $w_k = N$. Для двухслойной обмотки $w_k = N/2$. По площади изолированного паза $Q_{из}$ и по коэффициенту заполнения k_z этой площади N проводниками определяем диаметр изолированного провода $d_{из}$,

$$d_{из} = \sqrt{\frac{k_z Q_{из}}{N}}.$$

Обычно значение коэффициента k_z приводят для проводников условного квадратного сечения. Его значение находится в пределах 0,65 – 0,69 для двигателей до 1 кВт, 0,69 – 0,72 для двигателей от 1 до 10 кВт и 0,72 – 0,76 для двигателей большей мощности. Площадь паза, непосредственно занимаемую проводниками, можно определить и по справочным обмоточным данным серийных двигателей путём умножения сечения проводника на количество проводников в пазу [2, 3].

В реальном двигателе с зубчатыми поверхностями статора и ротора воздушный зазор δ как бы увеличивается в k_δ раз, где k_δ – коэффициент воздушного зазора. Магнитная

цепь асинхронного двигателя имеет также определённую степень насыщения, которая характеризуется коэффициентом насыщения k_μ , равным отношению магнитодвижущей силы (м.д.с.) всей магнитной цепи (участков стали и воздушного зазора) к м.д.с. воздушного зазора.

С учетом k_δ и k_μ , соотношение между амплитудой индукции в воздушном зазоре B_δ и амплитудой м.д.с. воздушного зазора F_{0m} запишется в таком виде:

$$B_\delta = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot \delta \cdot k_\mu} F_{0m} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot \delta \cdot k_\mu} \cdot \frac{m_1 \sqrt{2} I_{10} k_{об1} w_{\phi 1}}{\pi p},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

I_{10} – ток холостого хода двигателя.

Для большинства двигателей намагничивающий ток I_μ (ток, создающий магнитный поток) близок по величине к току холостого хода I_{10} . Принимая в последнем выражении $I_\mu = I_{10}$, находим такое соотношение между намагничивающим током и амплитудой индукции в воздушном зазоре:

$$I_\mu = \frac{B_\delta \pi p k_\delta \delta k_\mu}{\mu_0 m_1 \sqrt{2} k_{об1} w_{\phi 1}}.$$

Результаты исследований

Рассчитаем для обмотки на рис. 1 номинальные мощности и КПД при 4 и при 6 полюсах, схема соединения фаз Y/Y/ Δ и шаг $y=7$. Для этой обмотки: $k_{об1(4)}=0,78$; $k_{об1(6)}=0,85$;

$$\frac{w_{\phi 1(6)}}{w_{\phi 1(4)}} = \frac{k_{e(6)} U_{1(6)} k_{об1(4)} \Phi_{(4)}}{k_{e(4)} U_{1(4)} k_{об1(6)} \Phi_{(6)}} = \frac{0,95 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot \Phi_{(4)}}{0,98 \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot \Phi_{(6)}} = \frac{1}{2},$$

$$\frac{\Phi_{(4)}}{\Phi_{(6)}} = 0,97;$$

$$\frac{B_{\delta(4)}}{B_{\delta(6)}} = \frac{0,97}{1,5} = 0,647.$$

Для такой обмотки базовыми будут являться шестиполюсные электродвигатели основного исполнения. Поэтому по наибольшему значению индукции за расчётное число полюсов принимаем $2p=6$. В этом случае: $B_{\delta(6)}/B_{\delta(4)}=0,86$ Тл/0,56 Тл. В качестве макетного образца принимаем двигатель АИР100L6 ($Z_1 = 36$, $D_i=113$ мм, $l_1 = 120$ мм, $h_a = 11,77$ мм, $Q_a = 1342$ мм², $Q_{из} = 76$ мм², $k_3 = 0,71$, $\delta = 0,25$ мм, $k_{e(10)} = 0,88$, $k_{e(6)} = 0,96$), а за основу расчёта принимаем его данные ($w_{\phi 1} = 252$, $k_{об1} = 0,96$, $B_{\delta(6)} = 0,86$ Тл, $k_\delta = 1,35$, $k_{\mu(6)} = 1,29$) [2].

Проверяем значение индукции в спинке статора при $2p=4$:

$$B_{a(4)} = \frac{\Phi_{(4)}}{2Q_a} = \frac{B_{\delta(4)} D_i l_1}{p 2Q_a} = \frac{0,56 \cdot 113 \cdot 120}{2 \cdot 2 \cdot 1342} = 1,41 \text{ Тл.}$$

Оно не превосходит рекомендуемую допустимую величину.

У рассчитываемой обмотки число витков на фазу $w_{\phi 1(6)}$, число витков в катушке w_k , число проводников в пазу N , диаметр изолированного провода $d_{из}$ соответственно равны:

$$w_{\phi 1(6)} = \frac{w_{\phi 1} k_{061}}{k_{061(6)}} = \frac{252 \cdot 0,96}{0,85} = 284;$$

$$w_k = \frac{w_{\phi 1(6)}}{6} = \frac{284}{6} = 47;$$

$$N = 2w_k = 94;$$

$$d_{из} = \sqrt{\frac{k_s Q_{из}}{N}} = \sqrt{\frac{0,71 \cdot 76}{94}} = 0,758 \text{ мм.}$$

Выбираем провод: $d/d_{из}=0,71$ мм/0,77 мм. Линейной нагрузке $A_{(6)} = 235$ А/см соответствует фазный ток:

$$I_{1н(6)} = \frac{\pi D_i A_{(6)}}{2w_{\phi 1(6)} m_1} = \frac{3,14 \cdot 11,3 \cdot 235}{2 \cdot 284 \cdot 3} = 4,9 \text{ А.}$$

Потери в обмотках статора и в стали базового и рассчитываемого двигателей принимаем одинаковыми: $P_{эл(6)}=288 \text{ Вт}$; $P_{см(6)}=126 \text{ Вт}$. У базового двигателя номинальный ток равен $5,56 \text{ А}$, а его реактивная составляющая равна $3,73 \text{ А}$ ($\cos \varphi_n = 0,74$). У двухскоростного и у базового двигателя при $2p = 6$ индукции в воздушном зазоре одинаковы. Для них одинаков и намагничивающий ток

$$I_{\mu(6)} = \frac{B_{\delta(6)} \delta k_{\delta} p r k_{\mu(6)}}{m_1 \sqrt{2} w_{\phi 1(6)} k_{061(6)} \mu_0} = \frac{0,86 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,35 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 1,29}{3 \cdot \sqrt{2} \cdot 284 \cdot 0,85 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 2,75 \text{ А.}$$

По соотношению разности реактивного и намагничивающего токов базового двигателя к разности его номинального и намагничивающего токов $(3,73-2,75)/(5,56-2,75)=0,35$ определяем реактивный ток двигателя при номинальной нагрузке, его $\cos \varphi_{н(6)}$ и мощность, потребляемую из сети:

$$I_{1нр(6)} = I_{\mu(6)} + (I_{1н(6)} - I_{\mu(6)}) \cdot 0,35 = 2,75 + (4,9 - 2,75) \cdot 0,35 = 3,5 \text{ А;}$$

$$\cos \varphi_{н(6)} = 0,70;$$

$$P_{1(6)} = m_1 U_{1н} I_{1н(6)} \cos \varphi_{н(6)} = 3 \cdot 220 \cdot 4,9 \cdot 0,70 \approx 2264 \text{ Вт.}$$

Потери в обмотке ротора при номинальном скольжении $s_n=0,06$:

$$P_{эл2(6)} = (P_{1(6)} - P_{эл1(6)} - P_{ст(6)})s_H = (2264 - 288 - 126) \cdot 0,06 = 111 \text{ Вт.}$$

Принимаем $P_{\delta(6)}=12 \text{ Вт}$ и $P_{мех1(6)}=8 \text{ Вт}$ и определяем номинальную мощность и КПД двигателя при $2p = 6$:

$$P_{2н(6)} = (P_{1(6)} - P_{эл1(6)} - P_{эл2(6)} - P_{ст(6)} - P_{мех1(6)} - P_{д(6)}) = \\ = 2264 - 288 - 126 - 111 - 8 - 12 = 1719 \text{ Вт;}$$

$$\eta_{н(6)} = 0,76.$$

При переключении обмотки на $2p=4$, принимая ориентировочно $k_{\mu(4)}=1,2$, значение намагничивающего тока равно:

$$I_{\mu(4)} = \frac{B_{\delta(4)} \delta k_{\delta} p r k_{\mu(4)}}{m_1 \sqrt{2} w_{\phi 1(4)} k_{об1(4)} \mu_0} = \frac{0,56 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,35 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 1,2}{3 \cdot \sqrt{2} \cdot 568 \cdot 0,76 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 0,62 \text{ А.}$$

При линейной нагрузке $A_{(4)}=270 \text{ А/см}$ номинальный фазный ток и потери в статорной обмотке при $2p=4$ составят такие величины:

$$I_{1н(4)} = \left(\frac{I_{1н(6)}}{2} \right) \cdot \left(\frac{A_{(4)}}{A_{(6)}} \right) = \frac{4,9}{2} \cdot \left(\frac{270}{235} \right) = 2,81 \text{ А;}$$

$$P_{эл1(4)} = 378 \text{ Вт.}$$

По соотношению разности реактивного и намагничивающего токов к разности номинального и намагничивающего токов двигателя при 6 полюсах $(3,5-2,75)/(4,9-2,75)=0,35$ определяем при $2p=4$ реактивный ток двигателя при номинальной нагрузке, его $\cos \varphi_{н(4)}$ и мощность $P_{1(4)}$:

$$I_{1нр(4)} = I_{\mu(4)} + (I_{1н(4)} - I_{\mu(4)}) \cdot 0,35 = 0,62 + (2,81 - 0,62) \cdot 0,35 = 1,4 \text{ А;}$$

$$\cos \varphi_{н(4)} = 0,87;$$

$$P_{1(4)} = m_1 U_{1н} I_{1н(4)} \cos \varphi_{н(4)} = 3 \cdot 380 \cdot 2,81 \cdot 0,87 \approx 2787 \text{ Вт.}$$

Потери в обмотке ротора при номинальном скольжении $s_H=0,06$:

$$P_{эл2(4)} = (P_{1(4)} - P_{эл1(4)} - P_{ст(4)}) \cdot s_H = (2787 - 378 - 70) \cdot 0,06 = 140 \text{ Вт,}$$

где $P_{ст(4)} = 70 \text{ Вт}$ – потери в стали.

При $P_{мех(4)} = 21 \text{ Вт}$, $P_{\delta(4)} = 14 \text{ Вт}$ номинальная мощность и КПД:

$$P_{2н(4)} = (P_{1(4)} - P_{эл1(4)} - P_{ст(4)} - P_{эл2(4)} - P_{мех(4)} - P_{д(4)}) = 2787 - 378 - 70 - 140 - 21 - 14 \\ = 2164 \text{ Вт;}$$

$$\eta_{н(4)} = 0,775.$$

Интерфейс программы для расчёта многоскоростного электродвигателя на объектно-ориентированном языке программирования Visual Basic представлен на

Украинцев М.М., Жидченко Т.В., Удинцова Н.М., Серёгина В.В., Середина М.Н. Моделирование расчёта электродвигателя с фазомодулированной полюсопереключаемой обмоткой на 6/4 полюса
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

рисунке 3. На форме интерфейса расположены поля для ввода данных, необходимых для расчёта, в соответствии с текстовыми метками. Если параметр должен быть рассчитан, то справа от него находится командная кнопка для расчёта, в которой прописана программная процедура. Результат будет выведен в соответствующее поле.

Рис. 3. Интерфейс программы, разработанный для расчёта многоскоростного электродвигателя

Представим примеры некоторых запрограммированных объектно-ориентированных процедур:

Private Sub CommandButton1_Click()

'Площадь спинки статора, мм²

Dim b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b9, b10, b11, b12, b13, b14, b15, b16, b17, b18, b19 As Single

b1 = TextBox1.Text 'Число фаз

b2 = TextBox2.Text 'Число пар полюсов при 2p=4

b3 = TextBox3.Text 'Число пар полюсов при 2p=6

b4 = TextBox4.Text 'Магнитная постоянная, Гн/м

b5 = TextBox5.Text 'Обмоточный коэффициент при 2p=4

b6 = TextBox6.Text 'Обмоточный коэффициент при 2p=6

b7 = TextBox7.Text 'Коэффициент эдс при 2p=4

b8 = TextBox8.Text 'Коэффициент эдс при 2p=6

b9 = TextBox9.Text 'Номинальное напряжение при 2p=4, В

b10 = TextBox10.Text 'Номинальное напряжение при 2p=6, В

b11 = TextBox11.Text 'Соотношение индукций в воздушном зазоре

b12 = TextBox12.Text 'Индукция в воздушном зазоре при 2p=4, Тл

b13 = TextBox13.Text 'Индукция в воздушном зазоре при 2p=6, Тл

b14 = TextBox14.Text 'Количество пазов статора z₁

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

```

b15 = TextBox15.Text 'Внутренний диаметр статора Di, мм
b16 = TextBox16.Text 'Длина статора L1, мм
b17 = TextBox17.Text 'Высота спинки статора ha, мм
If b16 = "" Or b17 = "" Then
MsgBox "Заполните поля исходными данными", vbOKOnly + vbInformation, "Результат"
ElseIf b16 = 0 Or b17 = 0 Then
MsgBox "Заполните поля не нулевыми данными", vbOKOnly + vbInformation, "Результат"
Else
b18 = b16 * b17 * 0.95
End If
TextBox18.Text = Format$(b18, "0")
End Sub
Private Sub CommandButton2_Click()
'Индукция в спинке статора при 2p=4, Тл
Dim b2, b12, b15, b16, b17, b18, b19, b20, b21, b22, b23, b24, b25, b26, b27 As Single
b2 = TextBox2.Text 'Число пар полюсов при 2p=4
b12 = TextBox12.Text 'Индукция в воздушном зазоре при 2p=4, Тл
b15 = TextBox15.Text 'Внутренний диаметр статора Di, мм
b16 = TextBox16.Text 'Длина статора L1, мм
b18 = TextBox18.Text 'Площадь спинки Qa, мм2
b20 = TextBox20.Text 'Коэффициент заполнения паза kz
b21 = TextBox21.Text 'Величина воздушного зазора, мм
b22 = TextBox22.Text 'Число витков на фазу статорной обмотки базового электродвигателя
b23 = TextBox23.Text 'Обмоточный коэффициент базового электродвигателя
b24 = TextBox24.Text 'Индукция в воздушном зазоре базового электродвигателя, Тл
b25 = TextBox25.Text 'Коэффициент воздушного зазора базового электродвигателя
b26 = TextBox26.Text ' Коэффициент насыщения при 2p=6
If b2 = 0 Then
MsgBox "Деление на ноль", vbOKOnly + vbInformation, "Результат"
Else
b27 = b12 * b15 * b16 / (b2 * 2 * b18)
End If
TextBox27.Text = Format$(b27, "0.00")
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
'Число витков на фазу при 2p=6
Dim b6, b22, b23, b28 As Single
b6 = TextBox6.Text 'Обмоточный коэффициент при 2p=6
b22 = TextBox22.Text 'Число витков на фазу статорной обмотки базового электродвигателя
b23 = TextBox23.Text 'Обмоточный коэффициент базового электродвигателя
If b6 = 0 Then
MsgBox "Проверьте ввод обмоточных коэффициентов", vbOKOnly + vbInformation, "Результат"
Else
b28 = Round(b22 * b23 / b6, 0)
End If
TextBox28.Text = Format$(b28, "0.0")
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
'Число витков в катушке
Dim b29, b28 As Single
b28 = TextBox28.Text 'Число витков на фазу при 2p=6
b29 = b28 / 6
TextBox29.Text = Format$(b29, "0.0")
End Sub
Private Sub CommandButton5_Click()
'Число проводников в пазу

```

```

Dim b29, b30 As Single
b29 = TextBox29.Text 'Число витков в катушке
b30 = 2 * b29 'Число проводников в пазу
TextBox30.Text = Format$(b30, "0.0")
End Sub
Private Sub CommandButton6_Click()
'Диаметр изолированного провода, мм
Dim b19, b20, b30, b31 As Single
b19 = TextBox19.Text 'Площадь изолированного паза, мм2
b20 = TextBox20.Text 'Коэффициент заполнения паза
b30 = TextBox30.Text 'Число проводников в пазу
b31 = Sqr(b20 * b19 / b30)
TextBox31.Text = Format$(b31, "0.000")
End Sub
Private Sub CommandButton7_Click()
'Номинальный фазный ток при 2р=6
Dim b15, b35, b28, b1, b36 As Single
b15 = TextBox15.Text 'Внутренний диаметр статора Di, мм
b35 = TextBox35.Text 'Линейная нагрузка при 2р=6, А/см
b28 = TextBox28.Text 'Число витков на фазу при 2р=6
b1 = TextBox1.Text 'Число фаз m
If b35 = 0 Or b1 = 0 Then
MsgBox "Деление на ноль", vbOKOnly + vbInformation, "Результат"
Else
b36 = 3.14 * b15 / 10 * b35 / (2 * b28 * b1)
End If
TextBox36.Text = Format$(b36, "0.0")
End Sub

```

В разработанной программе запрограммировано двадцать шесть процедур и всего элементов на интерфейсной форме шестьдесят семь.

Вывод

Преимущество данной модели расчёта заключается в том, что можно осуществлять контроль за расчётными данными, запрограммированными отдельными процедурами и уменьшить время и затраты труда на проведение расчётных операций. Данные по вводу могут быть сразу скорректированы без повторного заполнения формы. Полученные значения для этого двигателя: $P_{2н(6)}/P_{2н(4)} \approx 1,7 \text{ кВт}/2,2 \text{ кВт}$. Соотношение номинальных мощностей обеспечивает режим работы электродвигателя $P = const$, который характерен для приводов колосовых элеваторов, зерновых норий, приводов главного движения металлорежущих станков, работающих при черновой обработке на малых скоростях при значительных усилиях, в то время как чистовая обработка ведется на повышенных скоростях с меньшими усилиями и др.

Список использованных источников:

1. Жидченко, Т. В. Полюсопереключаемая обмотка на 6/4 полюса YY/Δ / Т. В. Жидченко // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве. – 2004. – Т. 2, № 4. – С. 85-88. – EDN SAAIJJ.
2. Ванурин, В. Н. Статорные обмотки многоскоростных электродвигателей / В. Н. Ванурин. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2018. – 96 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3148-9. – EDN XUDDT.
3. Ванурин, В. Н. Электрические машины: Учебник для вузов / В. Н. Ванурин; Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Аграрный научный центр "Донской" (СКНИИМЭСХ ФГБНУ "АНЦ "Донской"). – 3-е издание, исправленное. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2022. – 304 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-507-44500-4. – EDN FFNHFY.
4. Патент № 2181921 С1 Российская Федерация, МПК H02K 17/14, H02K 3/28. Полюсопереключаемая обмотка на 6-4 полюса: № 2001115810/09: заявл. 08.06.2001 : опубл. 27.04.2002 / В. Н. Ванурин, Т. В. Жидченко ; заявитель Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. – EDN BCKLZA.
5. Совершенствование метода фазной модуляции для формирования схем полюсопереключаемых обмоток / Т. В. Жидченко, Н. М. Удинцова, М. Н. Середина [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – 2023. – Т. 16, № 1(61). – С. 76-90. – DOI 10.55618/20756704_2023_16_1_76-90. – EDN MSZZWD.
6. Патент № 2313881 С1 Российская Федерация, МПК H02K 3/28, H02K 17/14, H02K 19/12. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка трехскоростного двигателя: № 2006125144/09: заявл. 12.07.2006 : опубл. 27.12.2007 / В.А. Жилина, М.М. Украинцев, Ю.А. Медведько ; заявитель Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. – EDN SSCUWE.

Цитирование:

Украинцев М.М., Жидченко Т.В., Удинцова Н.М., Серёгина В.В., Середина М.Н. Моделирование расчёта электродвигателя с фазномодулированной полюсопереключаемой обмоткой на 6/4 полюса [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_619.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202146619>.