

2. Shalyt, G. M. (1982) *Fault-Location Finding in the Electric Grids*. Moscow, Energoatomizdat. 312 p. (in Russian).
3. ТКР 385–2011. Design Standards for the Electric Grids of the Outside Power Supply of 0,4–10 kV for Agricultural Purposes. Minsk, Minenergo, 2011. 55 p. (in Russian).
4. Kitushin, V. G. (2003) *Reliability of the Energy Systems*. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University [NSTU]. 256 p. (in Russian).
5. Shneerson, E. M. (2007) *Digital Protective Relaying*. Moscow, Energoatomizdat. 549 p. (in Russian).
6. Shiba, M. A. (2003) *Automation of the Distributive Electrical Grids with Digital Relays Employing*. Moscow, Energetik. 68 p. (in Russian).
7. Fikhtengol'ts, G. M. (2003) *The Course of Differential and Integral Calculus*. Vol. 3. Moscow, Fizmatlit. 728 p. (in Russian).
8. Arzhannikov, Ye. A., & Chukhin, A. M. (1998) *Techniques and Instruments for Closed-Circuit Fault Location Finding in the Lines*. Ivanovo: Ivanovo State Electric-Power University. 74 p. (in Russian).
9. Aizenfeld, A. I., & Shalyt, G. M. (1988) *Short-Circuit Fault Finding in the Lines with Subbranches*. Moscow, Energoatomizdat. 160 p. (in Russian).
10. Chernykh, I. V. (2008) *Modeling Electrical Devices in MatLab, SimPowerSystem and Simulink*. Saint Petersburg, Piter. 288 p. (in Russian).
11. Diyakonov, V., & Kruglov, V. (2002) *MatLab. Reference Book*. Saint Petersburg, Piter. 448 p. (in Russian).

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 14.04.2015

УДК 621.313

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА МАГНИТНОЙ ЦЕПИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ МАГНИТАМИ

Асп. НГО ФЫОНГ ЛЕ, канд. техн. наук, доц. ГУЛЬКОВ Г. И.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: nqo.phuonq.le@gmail.com

Одним из важнейших этапов проектирования синхронного двигателя с инкорпорированными магнитами является расчет магнитной системы, который упрощенно можно осуществить с помощью метода эквивалентных схем магнитных цепей. Рассмотрена магнитная цепь синхронного двигателя с инкорпорированными в роторе магнитами, имеющая четыре участка: постоянные магниты с полюсом из магнитомягкой стали; участки рассеяния магнитного потока, включающие воздушные барьеры и стальные мосты; воздушный зазор; пазы, зубцы и ярмо статора. Получена эквивалентная схема магнитной цепи. В качестве постоянных магнитов использованы высокоэнергетические магниты, у которых кривая размагничивания описывается линейным уравнением. Магнитный поток на полюс создается двумя магнитами.падением магнитного потенциала в стали полюса пренебрегали вследствие допущения о том, что магнитная проницаемость полюсов $\mu = \infty$. В конструкции ротора предусматриваются воздушные барьеры и стальные мосты, через которые замыкается магнитный поток рассеяния. Для учета насыщения стальных мостов выполнена линеаризация кривой намагничивания, которая представлена ломаной линией, состоящей из двух прямолинейных участков. Расчет участка магнитной цепи, включающего зубцы и ярмо статора, осуществляли с учетом

насыщения стали. При этом магнитные проводимости зубца и ярма зависели от степени насыщения. На основании эквивалентной схемы магнитной цепи получена система из двух уравнений, записанных по первому и второму законам Кирхгофа для магнитной цепи. Данные уравнения позволяют решить две задачи: определить размеры магнитов по заданному значению магнитного потока в зазоре и рассчитать магнитный поток в зазоре при заданной конструкции ротора и статора двигателя.

Ключевые слова: магнитная цепь, эквивалентная схема, синхронный двигатель с инкорпорированными магнитами.

Ил. 13. Библиогр.: 10 назв.

MAGNETIC CIRCUIT EQUIVALENT OF THE SYNCHRONOUS MOTOR WITH INCORPORATED MAGNETS

NGO FYONG LE, GUL'KOV G. I.

Belorussian National Technical University

Magnetic circuitry computation is one of the central stages of designing a synchronous motor with incorporated magnets, which can be performed by means of a simplified method of the magnetic-circuits equivalent modeling. The article studies the magnetic circuit of the motor with the rotor-incorporated magnets, which includes four sectors: constant magnets with the field pole extension made of magnetically soft steel, magniflux dispersion sections containing air barriers and steel bridges; the air gap; the stator grooves, cogs and the frame yoke. The authors introduce an equivalent model of the magnetic circuit. High-energy magnets with a linear demagnetization curve are employed in the capacity of constant magnets. Two magnets create the magnetic flux for one pole. The decline of magnetic potential in the steel of the pole is negligible consequent on the admission that the poles magnetic inductivity $\mu = \infty$. The rotor design provides for the air barriers and the steel bridges that close leakage flux. The induction-permeability curve linearization serves for the bridges magnetic saturation accountability and presents a polygonal line consisting of two linear sections. The estimation of the magnet circuit section including the cogs and the frame yoke is executed with account of the steel saturation, their magnetic conductivities thereat being dependent on the saturation rate. Relying on the equivalent model of the magnetic circuit, the authors deduce a system of two equations written from the first and the second Kirchhoff laws of the magnetic circuits. These equations allow solving two problems: specifying dimensions of the magnets by the preset value of the magnetic flow in the clearance and determining the clearance magnetic flow at the preset motor rotor-and-stator design.

Keywords: magnetic circuit, equivalent model, synchronous motor with the incorporated magnets.

Fig. 13. Ref.: 10 titles.

Введение. Регулируемый электропривод является основным средством автоматизации отраслей промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства и бытовой техники.

До конца 80-х – начала 90-х гг. прошлого века благодаря простоте реализации высококачественных показателей регулирования координат основную часть регулируемого электропривода составляли системы с двигателями постоянного тока (ДПТ). Однако наличие у ДПТ щеточно-коллекторного узла требует постоянного обслуживания, снижает надежность и ограничивает область применения регулируемого электропривода.

Одной из альтернатив применению ДПТ в регулируемом электроприводе являются синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДП), обладающие по сравнению с ДПТ и асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) следующими преимуществами:

- отсутствием обмотки возбуждения на роторе, что обеспечивает уменьшение электрических потерь, повышение КПД и улучшение условий охлаждения двигателя;
- высоким отношением максимального допустимого момента к моменту инерции двигателя, что предпочтительно для применения в быстродействующем электроприводе;
- лучшими массогабаритными показателями, что характеризуется высоким отношением номинальной мощности к массе двигателя.

В системах электропривода используются различные виды СДП, отличающиеся конструктивным исполнением ротора. Все многообразие можно объединить двумя особенностями: с расположением постоянных магнитов (ПМ) на поверхности ротора – поверхностные СДП (ПСДП) и с внутренним расположением ПМ в роторе – «инкорпорированные» СДП (ИСДП). ИСДП обладают возможностью регулирования скорости вверх от номинальной, что важно для применения в тяговом электроприводе для регулирования скорости при постоянной мощности механизма. Статор СДП аналогичен статору АДКЗ.

Одним из важнейших этапов проектирования ИСДП является расчет магнитной системы, который упрощенно можно осуществить с помощью метода эквивалентных схем магнитных цепей [1–3]. Магнитная цепь синхронного двигателя с V-образным расположением ПМ в роторе представлена на рис. 1. В магнитную цепь входят четыре участка: ПМ с полюсом из магнетомягкой стали; участки рассеяния магнитного потока, включающие воздушные барьеры и стальные мосты; воздушный зазор; зубцы и ярмо статора. Рассмотрим замкнутый участок магнитной цепи вдоль силовой линии магнитного поля.

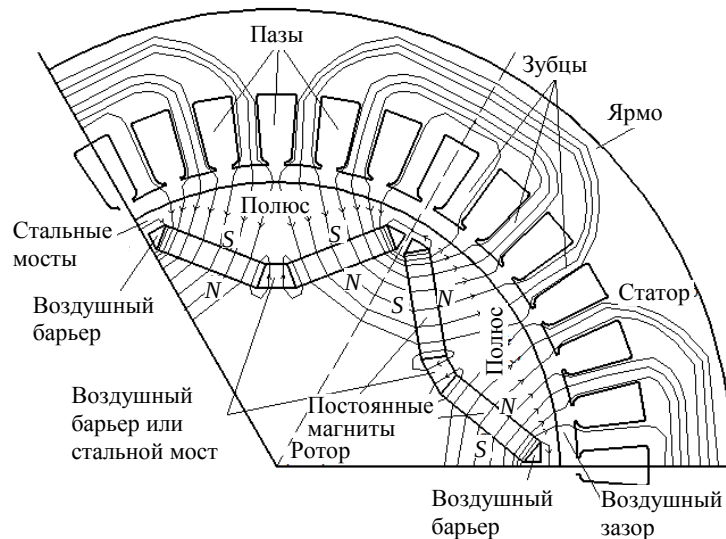


Рис. 1. Магнитная цепь ИСДП с V-образным расположением ПМ в роторе

Постоянные магниты с полюсом. Для высокоэнергетических постоянных магнитов (Nd–Fe–B, Sm–Co) кривая возврата совпадает с кривой размагничивания [4, 5]. Вследствие этого уравнение кривой размагничивания записывается в виде

$$B_m = B_r - \mu_m \mu_0 H_m, \quad (1)$$

где B_m – магнитная индукция на поверхности магнита; H_m – напряженность магнитного поля магнита; μ_m – относительная магнитная проницаемость магнита; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха; B_r – остаточная индукция магнита.

Преобразуем уравнение (1) следующим образом:

$$B_m S_m = B_r S_m - \frac{\mu_m \mu_0 S_m l_m}{l_m} H_m; \\ \Phi_m = \Phi_r - P_m F_m, \quad (2)$$

где $S_m = w_m L$ – площадь магнита (w_m, L – ширина и длина магнита); l_m – длина магнита по направлению магнитной индукции; $P_m = \frac{\mu_m \mu_0 S_m}{l_m}$ – магнитная проводимость магнита; $F_m = l_m H_m$ – магнитодвижущая сила магнита; $\Phi_m = B_m S_m$ – полный магнитный поток магнита; $\Phi_r = B_r S_m$ – магнитный поток магнита от остаточной индукции.

Из рис. 1 видно, что магнитный поток на полюс создается двумя магнитами. Следовательно, в соответствии с первым законом Кирхгофа для магнитных цепей [6] можно записать:

$$\Phi_m = 2\Phi_m; \quad \Phi_R = 2\Phi_r,$$

где Φ_m – полный магнитный поток на полюс; Φ_r – магнитный поток на полюс от остаточной индукции.

Учитывая, что магнитная проводимость полюса $P_m = 2P_m$, перепишем (2) в виде

$$\frac{\Phi_m}{2} = \frac{\Phi_r}{2} - \frac{P_m}{2} F_m. \quad (3)$$

Уравнению (3) соответствует эквивалентная схема ПМ, представленная на рис. 2.

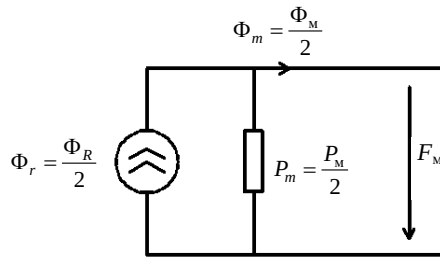


Рис. 2. Эквивалентная схема ПМ

Полюсы из магнитомягкой стали, являющиеся концентраторами магнитного потока, имеют высокую магнитную проницаемость [7]. Вследствие этого тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля на поверхности полюсов значительно меньше радиальной составля-

ющей и распределение магнитной индукции по расточке ротора близко к прямоугольному [7]. Приняв допущение о том, что магнитная проницаемость полюсов $\mu = \infty$, можно пренебречь падением магнитного потенциала в стали полюса.

Эквивалентная схема магнитной цепи полюса ротора представлена на рис. 3.

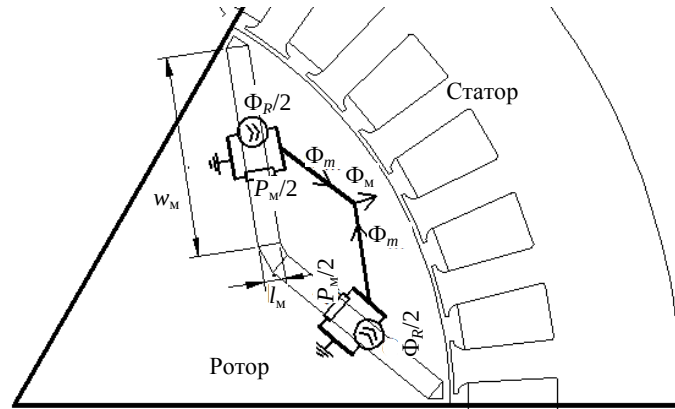


Рис. 3. Эквивалентная схема полюса ротора с инкорпорированными магнитами

Участки рассеяния магнитного потока постоянных магнитов.

Вследствие наличия процесса рассеяния ПМ только часть полного магнитного потока Φ_M замыкается через воздушный зазор и магнитопровод статора. Другая часть в виде магнитного потока рассеяния Φ_σ замыкается через специально предусматриваемые в конструкции ротора немагнитные (воздушные) барьеры и стальные мосты (рис. 1) [8]. Для уменьшения потока Φ_σ площадь барьеров и мостов выбирается минимально возможной. Картина магнитного поля рассеяния представлена на рис. 4.

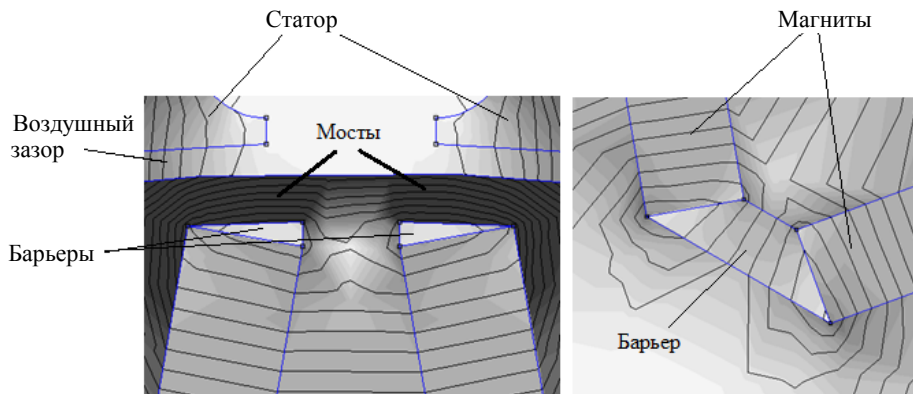


Рис. 4. Магнитный поток Φ_σ рассеяния через стальные мосты и барьеры

Аналитическое определение магнитной проводимости стального моста вследствие нелинейности кривой намагничивания стали представляет собой сложную задачу [9]. Для ее упрощения осуществим кусочно-линейную аппроксимацию [10] кривой намагничивания стального моста $\Phi_{ст} = f(F_{ст})$ (рис. 5), представив поток рассеяния через стальные мосты на полюс в виде

$$\Phi_{\text{ст.м}} = \Phi_{\text{н.ст}} + P_{\text{ст.м}} F_{\sigma}, \quad (4)$$

где $\Phi_{\text{н.ст}}$ – магнитный поток, соответствующий насыщению стальных мостов на полюс, $\Phi_{\text{н.ст}} = B_{\text{н.ст}} S_{\text{ст.м}} = B_{\text{н.ст}} 2w_{\text{ст.м}} L$; $w_{\text{ст.м}}$ – ширина стального моста; $B_{\text{н.ст}}$ – индукция насыщения стального моста, $B_{\text{н.ст}} = 2,0\text{--}2,2$ Тл; $S_{\text{ст.м}}$ – площадь стальных мостов на полюс); F_{σ} – падение магнитного потенциала на цепи рассеяния; $P_{\text{ст.м}}$ – магнитная проводимость стальных мостов в состоянии насыщения

$$P_{\text{ст.м}} = \frac{\mu_0 2w_{\text{ст.м}} L}{l_{\text{ст.м}}}; \quad (5)$$

$l_{\text{ст.м}}$ – длина стального моста.

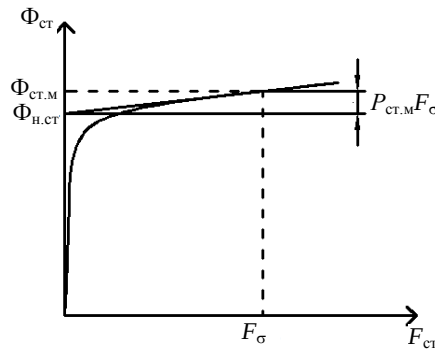


Рис. 5. Линеаризация кривой намагничивания стальных мостов

Эквивалентная схема цепи рассеяния через стальной мост представлена на рис. 6.

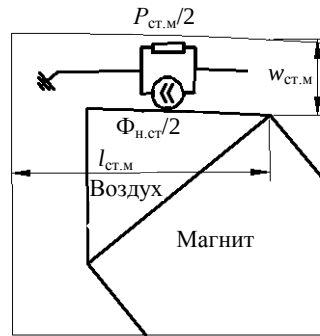


Рис. 6. Эквивалентная схема магнитной цепи рассеяния через стальной мост

Поток рассеяния через барьеры определим по формуле

$$\Phi_B = P_B F_{\sigma}, \quad (6)$$

где P_B – общая магнитная проводимость барьеров, $P_B = P_{b1} + P_{b2} + \dots + P_{bi}$; $P_{b1}, P_{b2}, \dots, P_{bi}$ – магнитная проводимость каждого барьера, $P_{bi} = \frac{\mu_0 w_{bi} L}{l_{bi}}$; w_{bi}, l_{bi} – ширина и длина барьера.

Параметры w_{bi}, l_{bi} определяются согласно рис. 7.

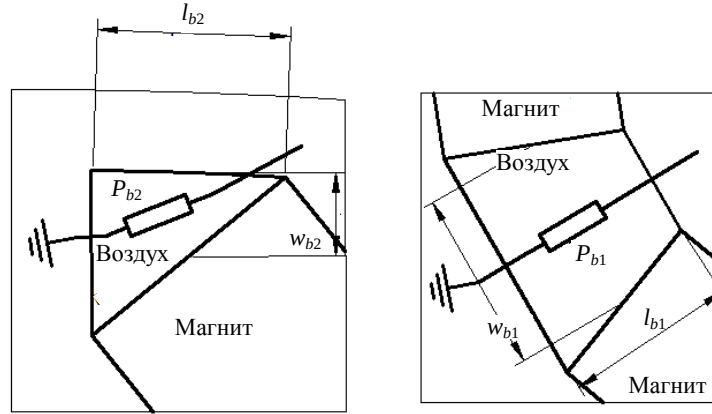


Рис. 7. Эквивалентная схема потока рассеяния Φ_B в барьерах

С учетом (5) и (6) поток рассеяния постоянных магнитов на полюс будет равен

$$\Phi_{\sigma} = \Phi_{\text{ст.м}} + \Phi_B = \Phi_{\text{н.ст}} + (P_{\text{ст.м}} + P_B) F_{\sigma}. \quad (7)$$

Воздушный зазор. Через воздушный зазор проходит магнитный поток

$$\Phi_{\delta} = \Phi_M - \Phi_{\sigma}. \quad (8)$$

Магнитная проводимость воздушного зазора определяется выражением

$$P_{\delta} = \frac{1}{R_{\delta}} = \frac{\mu_0 S_{\delta}}{l'_{\delta}} = \frac{\mu_0 w_{\delta} L}{l'_{\delta}},$$

где $S_{\delta} = w_{\delta} L$ – площадь, через которую проходит магнитный поток Φ_{δ} ; $w_{\delta} = \frac{\pi R_p}{p}$ – длина полюса ротора; R_p – радиус ротора; $l'_{\delta} = K_c l_{\delta}$ – длина эквивалентного воздушного зазора; K_c – коэффициент Картера; l_{δ} – длина воздушного зазора; R_{δ} – магнитное сопротивление воздушного зазора.

Магнитный поток Φ_{δ} и магнитодвижущая сила F_{δ} в воздушном зазоре связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} \Phi_{\delta} &= F_{\delta} P_{\delta} = \frac{F_{\delta}}{R_{\delta}}, \\ F_{\delta} &= \Phi_{\delta} R_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{P_{\delta}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Эквивалентная схема полюса ротора с учетом рассеяния постоянных магнитов и магнитной проводимости воздушного зазора представлена на рис. 8.

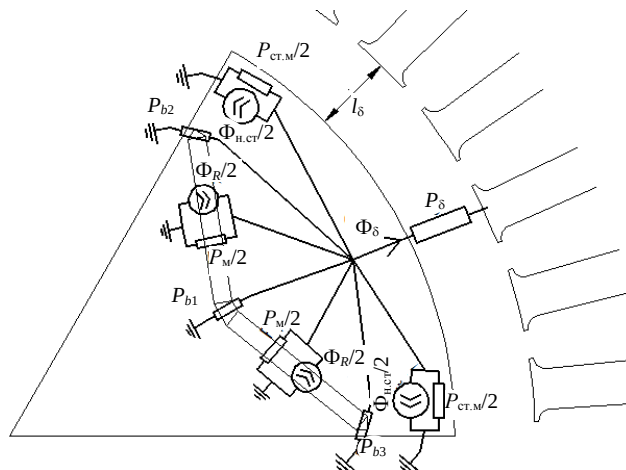


Рис. 8. Эквивалентная схема полюса ротора с учетом магнитных цепей ПМ и воздушного зазора

Пазы, зубцы и ярмо статора. Расчет магнитной цепи зубцов и ярма статора необходимо осуществлять с учетом насыщения стали. Вследствие этого магнитные проводимости зубца и ярма являются переменными, величина которых определяется насыщением стали. Эквивалентная схема магнитной цепи, включающей пазы, зубцы и ярмо статора, представлена на рис. 9.

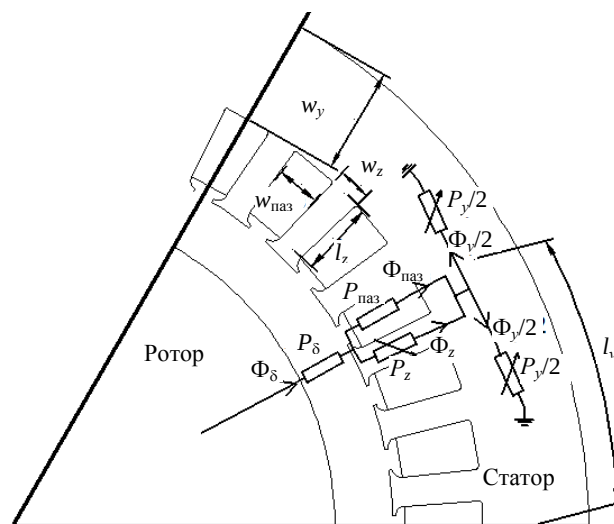


Рис. 9. Эквивалентная схема магнитной цепи, включающей пазы, зубцы и ярмо статора

Магнитный поток на N_z зубцах полюса

$$\Phi_z = B_z (F_z) S_z, \quad (10)$$

где B_z – магнитная индукция в зубце; $S_z = L w_z N_z$ – площадь зубцов полюса; w_z – ширина зубца.

Падение магнитного потенциала на зубцах

$$F_z = H_z l_z, \quad (11)$$

где H_z – напряженность магнитного поля в зубце; l_z – длина зубца.

Магнитный поток на N_z пазов

$$\Phi_{\text{паз}} = P_{\text{паз}} F_z, \quad (12)$$

где $P_{\text{паз}} = \frac{\mu_0 N_z w_{\text{паз}} L}{l_z}$ – магнитная проводимость N_z пазов; $w_{\text{паз}}$ – ширина паза.

Магнитный поток в воздушном зазоре Φ_δ разделяется на Φ_z и $\Phi_{\text{паз}}$. Следовательно:

$$\Phi_\delta(F_z) = \Phi_z(F_z) + \Phi_{\text{паз}} = B_z(F_z) S_z + P_{\text{паз}} F_z. \quad (13)$$

Магнитный поток Φ_δ в ярме разветвляется на две части, и индукция B_y в ярме определяется по формуле

$$B_y = \frac{\Phi_\delta}{2S_y} = \frac{\Phi_y}{2S_y}, \quad (14)$$

где $S_y = w_y L$ – площадь ярма; w_y – ширина ярма.

Магнитный поток Φ_y в ярме на полюс равен

$$\Phi_y = B_y(F_y) 2S_y. \quad (15)$$

Падение магнитного потенциала F_y на ярме

$$F_y = H_y l_y, \quad (16)$$

где H_y – напряженность магнитного поля в ярме; l_y – длина ярма.

Полная эквивалентная схема магнитной цепи, размещенная в границах полюса ИСДП, приведена на рис. 10, упрощенная эквивалентная схема магнитной цепи – на рис. 11.

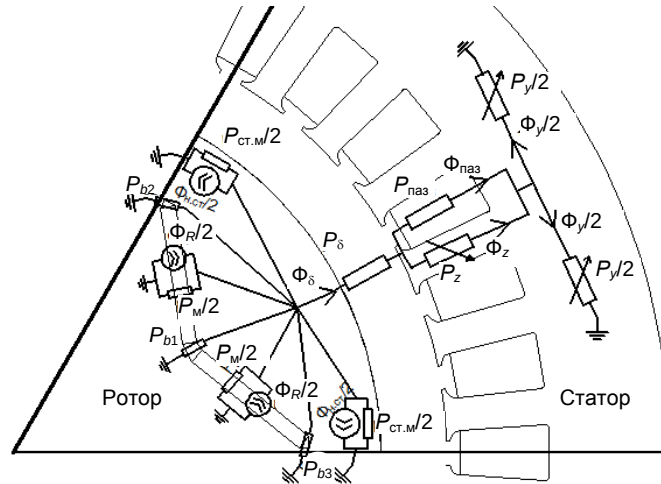


Рис. 10. Полная эквивалентная схема магнитной цепи

Для эквивалентной схемы на рис. 11 запишем уравнение по первому закону Кирхгофа

$$\begin{aligned}\Phi_{\delta}(F_M) &= \Phi_M(F_M) - \Phi_{\sigma}(F_M) = (\Phi_R - P_M F_M) - (\Phi_{H,CT} + (P_{CT,M} + P_B) F_M) = \\ &= \Phi_R - \Phi_{H,CT} - (P_M + P_{CT,M} + P_B) F_M.\end{aligned}\quad (17)$$

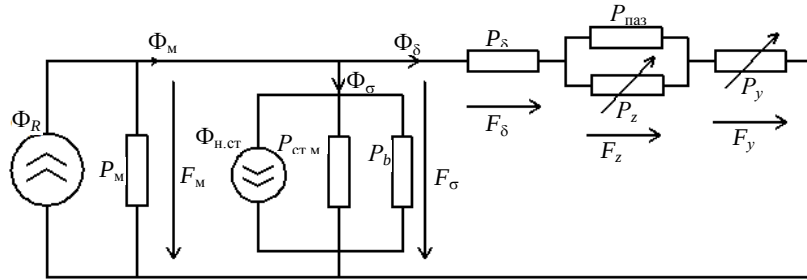


Рис. 11. Упрощенная эквивалентная схема магнитной цепи

Выражение (17) с учетом (3)–(7) можно представить графически (рис. 12).

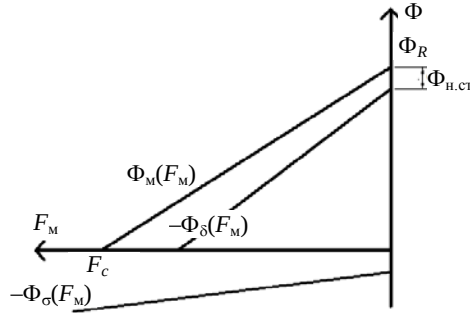


Рис. 12. Графики функций $\Phi_M(F_M)$; $\Phi_{\delta}(F_M)$; $\Phi_{\sigma}(F_M)$

Уравнение по второму закону Кирхгофа для схемы рис. 11 запишем следующим образом:

$$F_M(\Phi_{\delta}) = F_{\delta}(\Phi_{\delta}) + F_z(\Phi_{\delta}) + F_y(\Phi_{\delta}) = \frac{\Phi_{\delta}}{P_{\delta}} + F_z(\Phi_{\delta}) + F_y(\Phi_{\delta}). \quad (18)$$

Воспользовавшись кривыми намагничивания стали зубцов и ярма с учетом уравнений (9)–(16), можно построить графики функций $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$, $F_z(\Phi_{\delta})$, $F_y(\Phi_{\delta})$ и суммарный график $F_M(\Phi_{\delta})$ (рис. 13).

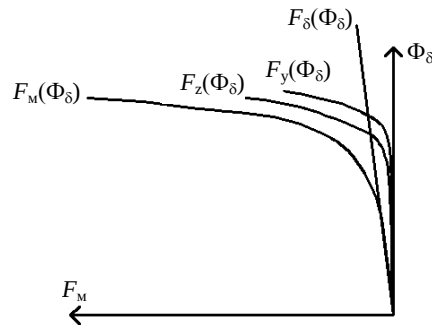


Рис. 13. Графики функций $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$; $F_z(\Phi_{\delta})$; $F_y(\Phi_{\delta})$; $F_M(\Phi_{\delta})$

ВЫВОДЫ

1. Получена эквивалентная схема магнитной цепи синхронного двигателя с инкорпорированными магнитами.
2. На основе эквивалентной схемы составлена система уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для магнитных цепей.
3. Полученная система уравнений позволяет графически или аналитически решить две задачи расчета:
 - найти требуемые размеры магнитов по заданному значению магнитного потока и заданным размерам ротора и статора двигателя;
 - определить магнитный поток, рабочую точку магнита при известной конструкции ротора и статора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш т е л т и н г, Г. Электрические микромашины: пер. с нем. / Г. Штелтинг, А. О. Байссе. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 229 с.
2. Б у л ь, О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: магнитные цепи, поле и программа FEMM: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. Б. Буль. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
3. Б у т, Д. А. Бесконтактные электрические машины: учеб. пособие для электромех. и электроэнерг. спец. вузов / Д. А. Бут. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.
4. S é g u i e r, G. Electrotechnique Industrielle / G. Séguier, F. Notelet. – Paris: Technique & Documentation, 1996. – 484 p.
5. О с и н, И. Л. Электрические машины: синхронные машины: учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И. Л. Осин, Ю. Г. Шакарян; под ред. И. П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1993. – 304 с.
6. Б е с с о н о в, Л. А. Теоретические основы электротехники: электрические цепи: учеб. для студ. в электротехн., энергетич. и приборостроит. спец. вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.
7. Л е д о в с к и й, А. Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А. Н. Ледовский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.
8. M i l l e r, T. J. E. Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives / T. J. E. Miller. – Oxford: Clarendon Press, 1989. – 207 p.
9. И в а н о в-С м о л е н с к и й, А. В. Электрические машины: учеб. для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
10. Б р о н ш т е й н, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. лит.-ры, 1981. – 720 с.

REFERENCES

1. S t e l t i n g, G., & Baisse, A. O. (1991) *Electric Micromachines*. Moscow, Energoatomizdat. 229 p. (in Russian).
2. B u l', O. B. (2005) *Computational Techniques for Magnetic Systems of the Electric Apparatuses: Magnetic Circuits, Field and Program FEMM*. Moscow, Publication Center 'Akademiy'. 336 p. (in Russian).
3. B u t, D. A. (1990) *Noncontact Electric Machines*. Moscow, Vysshaya Shkola. 416 p. (in Russian).
4. S é g u i e r, G., & Notelet, F. (1996) *Electrotechnique Industrielle*. Paris, Technique & Documentation. 484 p.
5. O s i n, I. L., Shakarian, Yu. G., & Kopylov, I. P. (1993) *Electrical Machinery: Synchronous Machines*. Moscow, Vysshaya Shkola. 304 p. (in Russian).

6. B e s s o n o v, L. A. (1978) *Theoretical Basis of Electrotechnics: Electric Circuits*. 7th ed. Moscow, Vysshaya Shkola. 528 p. (in Russian).
7. L e d o v s k i y, A. N. (1985) *Electric Machines with High-Coercivity Constant Magnet*. Moscow, Energoatomizdat. 168 p. (in Russian).
8. M i l l e r, T. J. E. (1989) *Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives*. Oxford, Clarendon Press. 207 p.
9. I v a n o v-S m o l e n s k i y, A. V. (1980) *Electrical Machinery*. Moscow, Energy. 928 p. (in Russian).
10. B r o n s h t e i n, I. N., & Semendyaev, K. A. (1981) *Book of Reference on Mathematics for Engineers and Students of Technical Colleges*. Moscow, Nauka. Chief-Editorial Office of Physico-Mathematical Literature. 720 p. (in Russian).

Представлена кафедрой электропривода
и автоматизации промышленных установок
и технологических комплексов

Поступила 13.04.2015

УДК 621.316

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ ИНДУЦИРУЕМЫХ ТОКОВ В ЭКРАНАХ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Магистр техн. наук ОЛЕКСЮК И. В.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: ilya.oleks@gmail.com

Силовые электрические кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена в настоящее время применяются при проектировании систем электроснабжения новых объектов, но более высокая стоимость, отсутствие полной нормативно-технической базы для проектирования, монтажа и эксплуатации, а также некоторые конструктивные особенности кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена затрудняют их широкое внедрение.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена выпускаются преимущественно в однопроволочном исполнении и имеют комбинированный медный экран, площадь поперечного сечения которого может быть различной при одинаковом сечении токопроводящей жилы. Заземление экранов кабелей с обоих концов приводит к появлению токов в экранах. В ходе эксплуатации кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена выяснилось, что индуцируемые токи в экранах кабелей могут достигать величин, соизмеримых с токами в жилах, что, в свою очередь, приводит к снижению уровня электробезопасности, повреждению кабельных линий и экономическому ущербу. Токи в экранах могут индуцироваться как в симметричных (нормальных и аварийных), так и в несимметричных режимах работы сети, причем значение индуцируемых токов может достигать 80 % от тока в жиле. Величина индуцируемого в экране тока зависит от многих факторов: режима нейтрали электрической сети, значений продольных токов в жилах в нормальных и аварийных режимах, вида повреждения, площади поперечного сечения экрана, расположения кабелей друг относительно друга, расстояния между ними.

Экспериментально подтверждено наличие индуцированного тока в экране кабеля под действием тока в жиле, измерено его значение. Установлено, что индуцирование опасных токов в экранах кабелей требует разработки мероприятий по снижению их значений.

Ключевые слова: индуцируемый ток, силовой электрический кабель, сшитый полиэтилен, изоляция.

Ил. 6. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.