

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИЛИ ЛІНІЙНОЇ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСЛАБЛЕНОЮ РЕАКЦІЄЮ ЯКОРЯ

В статті показано, що для визначення електромагнітної сили лінійної машини постійного струму, у яких конструктивними засобами сильно послаблено магнітне поле поперечної реакції якоря, можна використовувати формулу, за якою ця сила визначається у звичайної машини постійного струму.

Ключові слова: реакція якоря, машина постійного струму, магнітне поле.

This article has shown that to determine the electromagnetic force linear direct current machine in which design tools greatly weakened magnetic field transverse reaction anchors, you can use the formula by which this force is determined by the usual direct current machine.

Keywords: reaction anchor, machine DC, magnetic field.

Постановка проблеми

Відомо, що в звичайних машинах постійного струму повітряний проміжок між полюсами і якорем обирається з умови збереження знаку магнітної індукції під полюсом з урахуванням поперечної реакції якоря [3], що суттєво збільшує його величину порівняно з технологічним повітряним проміжком.

В лінійній машині постійного струму, що приведена на рис. 1, у якій обмотки збудження та якоря розташовані на рухомому елементі, запропоновано вторинний елемент розділяти повітряним проміжком на дві частини, що дозволяє зменшити магніторушійну силу (МРС) обмотки збудження на 25...30% [1].

На рис. 1 позначено: 1 – рухомий (первинний) елемент лінійної машини постійного струму з обмоткою збудження 2 та обмоткою якоря 3; 4 – нерухомий (вторинний) елемент, що складається з окремих феромагнітних брусків розділених навпіл неферомагнітними вставками 5. Неферомагнітні вставки 5 не перешкоджають протіканню магнітного потоку збудження, котрий замикається в перпендикулярному до напрямку руху напрямку i , в той же час, створюють для потоку реакції якоря додатковий опір.

Також для лінійної машини постійного струму розроблена технологія виготовлення індуктора [2], що дозволяє звести робочий повітряний проміжок до технологічного. Така конструкція наведена на рис. 2. Бачимо, що тут на шляху замикання поля поперечної реакції якоря велика кількість повітряних проміжків і це поле суттєво послаблене.

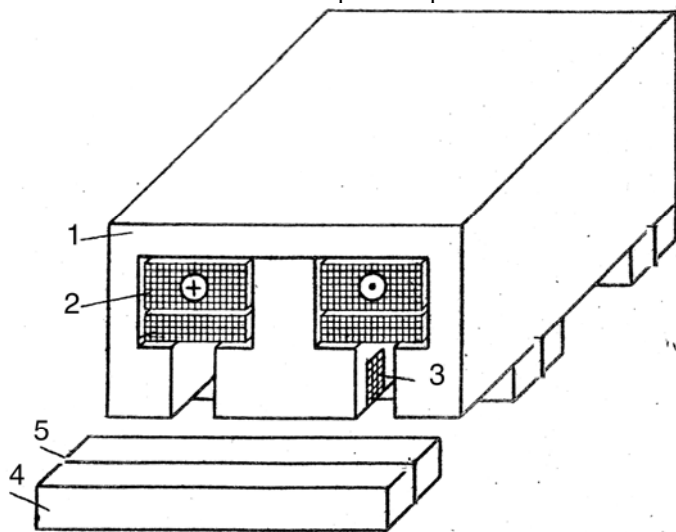


Рис. 1. Лінійна машина постійного струму вторинний елемент якої розділений на дві частини повітряним проміжком

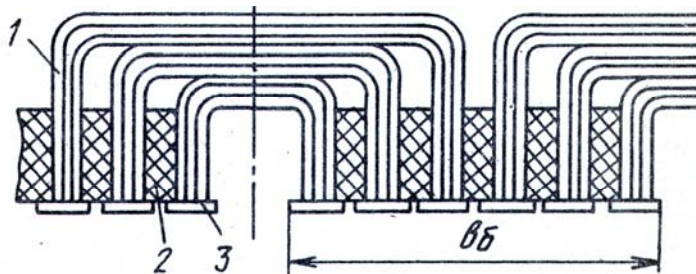


Рис. 2. Конструкція індуктора лінійної машини постійного струму, що дозволяє звести робочий повітряний проміжок до технологічного

На рис. 2 показано: 1 – індуктор лінійної машини постійного струму, що набраний з феромагнітних пластин; 2 – неферомагнітні прокладки; 3 – суцільні феромагнітні накладки, що служать для більш рівномірного розподілу магнітного поля в робочому повітряному проміжку.

Відомо [4], що механічні сили в магнітному полі можна звести до внутрішніх сил магнітного поля. Так, провідник зі струмом, розташований, наприклад, в однорідне поле, змінює навкруг себе поле. Поле струму накладається на зовнішнє поле, в результаті чого магнітна індукція з однієї сторони провідника посилюється, а з протилежної – послаблюється. Сила поля, що діє на провідник, з однієї сторони виявляється

більшою ніж з протилежної, і на провідник діє результуюча механічна сила, що намагається пересунути його в бік більш слабого поля. Цей наочний метод запропонований академіком Міткевичем В. Ф. [5].

В нашому випадку сказане потрібно віднести до всієї сукупності провідників, що знаходяться на полюсному діленні первинного елемента лінійної машини. Тоді виникає питання до формул, за якими визначати величину електромагнітної сили у випадку сильно послабленої реакції якоря.

Основні результати

Проведемо визначення величини електромагнітної сили через зміну енергії поля при мікропереміщенні якоря без комутації обмотки якоря. Для цього прийемо такі припущення:

- 1) магнітна проникливість сталі дорівнює нескінченності;
- 2) робочий повітряний проміжок зведений до технологічного;
- 3) зубчастість якоря та полюса враховується відповідним збільшенням робочого повітряного проміжку;
- 4) поперечна реакція якоря відсутня;
- 5) коефіцієнт полюсної дуги $\alpha_\delta \approx 1$.

Тепер будемо вважати, що якір разом зі щітками змістився відносно індуктора на малу величину ξ . В цьому випадку з'являється поле поздовжньої реакції якоря.

На рис. 3 наведено розподіл напруженості магнітного поля в робочому повітряному проміжку на проміжку двох полюсних ділень τ при прийнятих припущеннях: 3а – розподіл напруженості основного магнітного поля H_0 ; 3б – розподіл напруженості магнітного поля поздовжньої реакції якоря H_{0P} ; 3в – розподіл результуючої напруженості двох полів.

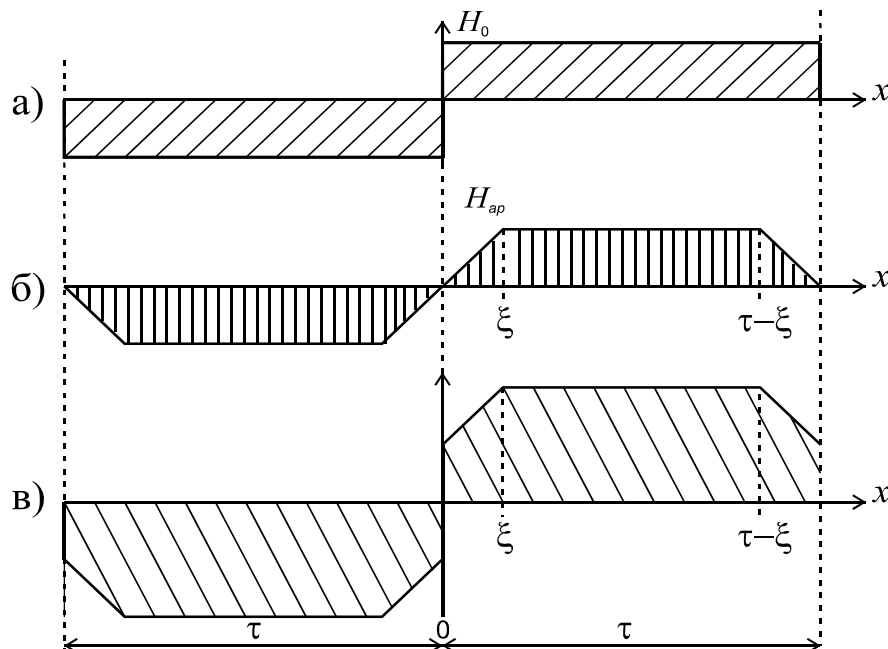


Рис. 3. Розподіл напруженості магнітного поля в робочому повітряному проміжку

На ділянці $0 \dots \xi$ напруженості поля поздовжньої реакції якоря визначається формулою:

$$H_{a\xi} = \frac{A}{\delta} x, \tag{1}$$

де A – лінійне навантаження якоря; δ – величина робочого повітряного проміжку.

На ділянці від ξ до $x - \xi$ напруженості поля поздовжньої реакції якоря незмінна і визначається формулою:

$$H_{a\xi} = \frac{A}{\delta} \xi. \tag{2}$$

Тоді сумарна напруженість від основного поля та поля поздовжньої реакції якоря буде:

$$0 \leq x \leq \xi: \quad H = H_0 + \frac{A}{\delta} x, \tag{3}$$

$$\xi \leq x \leq \tau - \xi \quad H = H_0 + \frac{A}{\delta} \xi, \tag{4}$$

де H_0 – напруженість основного магнітного поля.

З урахуванням першого припущення будемо вважати, що вся енергія магнітного поля зосереджена в робочому повітряному проміжку. Тоді енергія поля на один полюс:

$$\begin{aligned}
 W &= \int_V \frac{BH}{2} dv = \frac{\mu_0 l_\delta \delta}{2} \cdot \int_0^\tau H^2 dx = 2 \frac{\mu_0 l_\delta \delta}{2} \int_0^\xi \left(H_0 + \frac{A}{\delta} x \right)^2 dx + \frac{\mu_0 l_\delta \delta}{2} \int_0^{\tau-\xi} \left(H_0 + \frac{A}{\delta} \xi \right)^2 dx = \\
 &= \mu_0 l_\delta \tau \left(H_0^2 \xi + H_0 \frac{A}{\delta} \xi^2 + \frac{A^2}{3\delta^2} \xi^3 \right) + \\
 &+ \mu_0 l_\delta \tau \left(H_0^2 \tau + 2H_0 \frac{A}{\delta} \xi \tau + \frac{A^2}{\delta^2} \xi^2 \tau - 2H_0^2 \xi - 4H_0 \frac{A}{\delta} \xi^2 - 2 \frac{A^2}{\delta^2} \xi^3 \right), \quad (5)
 \end{aligned}$$

тут l_δ – довжина робочого повітряного проміжку у напрямку перпендикулярному руху; μ_0 – магнітна проникливість пустоти.

Похідна від енергії по координаті зміщення ξ :

$$\frac{dW}{d\xi} = \mu_0 l_\delta \delta \left(H_0 \frac{A}{\delta} \tau + \frac{A^2}{\delta^2} \xi \tau - 2H_0 \frac{A}{\delta} \xi - 2 \frac{A^2}{\delta^2} \xi^2 \right). \quad (6)$$

Тоді електромагнітна сила на один полюс визначається формулою:

$$F = \left(\frac{dW}{d\xi} \right)_{\xi \rightarrow 0} = \mu_0 l_\delta \delta \cdot H_0 \frac{A}{\delta} \tau = B_0 A l_\delta \tau. \quad (7)$$

Таким чином і для машини з сильно послабленою реакцією якоря отримана формула визначення електромагнітної сили, як і в звичайній машині постійного струму.

В конструкції [2] при переміщенні рухомого елемента на величину ξ без комутації якірної обмотки повздовжнє поле реакції якоря утворює пазова частина якірної обмотки.

Інша картина спостерігається в машині з поперечним шляхом замикання магнітного потоку, де магнітопровід індуктора виконаний також з окремих частин з метою послаблення поперечної реакції якоря. На рис. 4 представлена конструктивна схема такої машини, а на рис. 5 – вид магнітопроводу однієї пари полюсів.

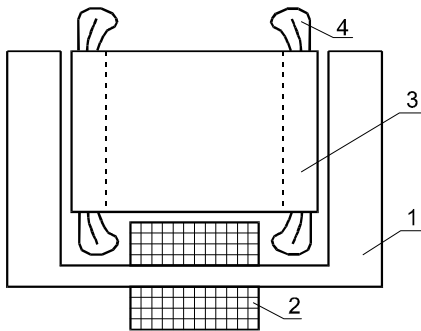


Рис. 4

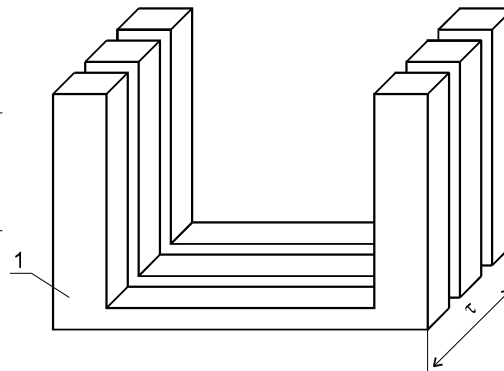
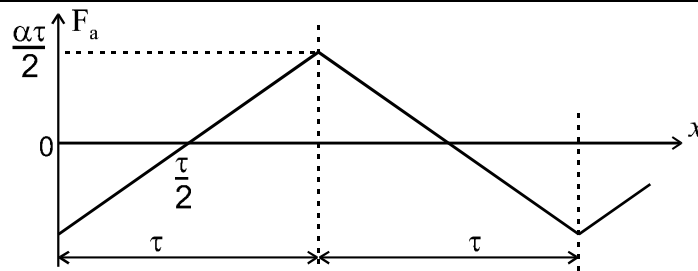


Рис. 5

На рис. 4 та 5 позначено: 1 – магнітопровід індуктора; 2 – обмотка збудження; 3 – магнітопровід якоря; 4 – обмотка якоря.

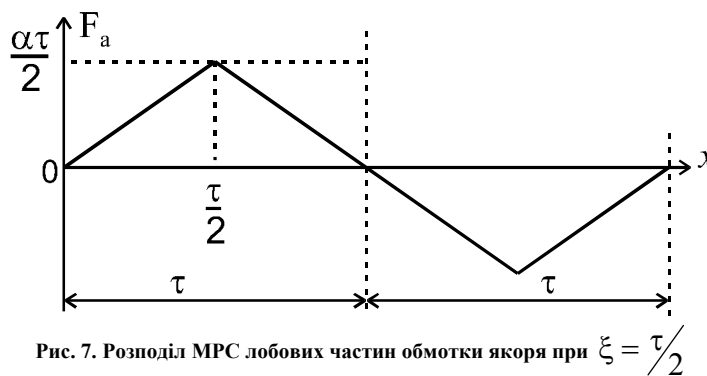
В такій конструкції пазова частина обмотки якоря не може утворювати потік, що замикається шляхом основного потоку, при зміщенні рухомого елемента без комутації обмотки якоря в будь-якому положенні. Тут слід розглянути розподіл МРС лобових частин обмотки якоря, які охоплені магнітним потоком.

На рис. 6 наведена картина розподілу МРС лобових частин обмотки якоря по його довжині. Під одним полюсом маємо таку ж картину, як і звичайної обертової машини постійного струму.

Рис. 6. Розподіл МРС лобових частин обмотки якоря при $\xi = 0$

Без комутації обмотки якоря рухомий елемент переміщується на $\tau/2$, тобто в положенні, в якому поле лобових частин підмагнічує основне поле і енергія поля буде максимальна (дивись рис. 6)

Проводячи аналогічний аналіз для зміни енергії результуючого магнітного поля по координаті зміщення ξ ми знову, незважаючи на практичну відсутність поля поперечної реакції якоря, приходимо до формули (7) для визначення електромагнітної сили двигуна.

Рис. 7. Розподіл МРС лобових частин обмотки якоря при $\xi = \tau/2$

Висновки

В результаті теоретичного аналізу встановлено, що в лінійних машинах постійного струму, у яких конструктивними засобами сильно послаблено магнітне поле поперечної реакції якоря, електромагнітну силу можна визначити за тією формулою, що і для звичайної машини постійного струму.

Література

1. Косенков В.Д. Особенности выполнения вторичного элемента линейной машины с поперечным потоком в ярме индуктора / В.Д. Косенков, Л.В. Скубий, В.Т. Беликов. – Одесса, 1979. – 11 с. Рук. представлена Одесским политехническим институтом. Деп. в УкрНИИТИ 26.11.1979, № 1799.
2. А.с. 1578791 СССР, МКИ Н 02 К 1/14. Магнитопровод индуктора машины постоянного тока / В.Д. Косенков, Л.В. Скубий. – № 4239677/24-07; Заявлено 25.03.87; Опубл. 15.07.90, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. – 1990. – № 26. – С. 242.
3. Сергеев П.С. Проектирование электрических машин: Изд. 3 – е перераб. и доп. : Учебник [для студ. высш. техн. учебн. заведений] / П.С. Сергеев, Н.В. Виноградов, Ф.А. Горяинов. – М.: Энергия, 1969. – 632 с., ил.
4. Основы электротехники / Даревский А.И., Зевеке Г.В., Ионкин В.Ю. и др.) : под ред. К. А. Круга – М-Л: ГЭИ, 1952. – 432с.
5. Миткевич В.Ф. Физические основы электротехники, 3 изд., Л.: Кубич, 1933.

Надійшла до редакції
13.3.2013 р.