

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНАХ БЕЗ ГАЛЬВАНІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМ ЯКОРЕМ

Викладено огляд конструкцій електричних двигунів без гальванічного зв'язку з рухомим якорем та праць, в яких описані особливості конструкцій таких двигунів, наведені рекомендації щодо вибору деяких їх параметрів. Наведені переваги та недоліки двигунів вказаної конструкції порівняно зі звичайними двигунами постійного струму.

Ключові слова: двигун постійного струму, магнітний потік, індуктор, гальванічний зв'язок.

V.D. KOSENKOV, L.V. SKUBIY
Khmelnytsky National University

REVIEW STRUCTURES AND ANALYSIS OF PROCESSES IN ELECTRIC MOTOR NO GALVANIC CONNECTION WITH THE MOVEMENT OF ANCHORS

The view of designs of electric motors without galvanic connection with the movable anchor and works, which describes the structural features of these engines are some recommendations on the selection of their parameters. These advantages and disadvantages of engines specified design compared to conventional DC motors. Analysis of the structure and operation of such engines has shown that along with the above-mentioned advantages over conventional DC motors are inherent in them and the number of defects such as low efficiency and softer mechanical characteristics of large dimensions.

Keywords: DC motor, the magnetic flux inductor, galvanic connection.

Вступ

Регульовальні характеристики двигунів постійного струму, як з електромеханічними так і напівпровідниковими комутаторами, добре відомі. Ця робота є оглядовою в плані опису принципу дії та вибору деяких параметрів двигунів, які, маючи властивості двигунів постійного струму, працюють без гальванічного зв'язку з рухомим якорем.

В основі принципу дії таких двигунів лежить створення струму в секції трансформаторною електрорушійною силою (ЕРС), яка наводиться змінним магнітним потоком спеціального індуктора, з наступним її випрямленням некерованим випрямлячем, ввімкнутим прямо в кожну секцію обмотки рухомої частини двигуна.

В попередніх публікаціях [2] авторами проводився аналіз особливостей таких конструкцій але на даний час їх спектр розширився і виникла необхідність провести більш детальніший огляд.

Основна частина

В даний час відомі дві принципово різні конструкції таких двигунів, наприклад, описаних в роботах [1] та [2]. Кожна з указаних конструкцій може мати по два основних варіанти виконання.

В першому варіанті конструкції на рухомій частині двигуна (якорі) розташовані додаткові трансформаторні секції, в яких наводиться змінна ЕРС, і які з'єднані з секціями якорної обмотки через одно- чи двопівперіодні випрямлячі [3]. Для такого варіанту схема з'єднання обмоток рухомої частини та розташування полюсів індукторів постійного та змінного магнітних потоків показана на рис. 1.

Враховуючи, що струм в секції, через наявність випрямляча, не може змінити свій напрямок, на протязі одного полюсного ділення τ секція якорної обмотки повинна знеструмлюватись, тому полюси індуктора змінного магнітного потоку розташовані через полюсне ділення.

Різновидом конструкції двигуна з наявністю додаткових трансформаторних секцій є конструкція, що наведена на рис. 2, де суміщені магнітні системи індукторів постійного та змінного магнітних потоків [4].

По обидві сторони магнітопроводу 1 розташовані два індуктори, що складаються з ярма 2, сердечників полюсів 3, на яких з чергуванням розміщені обмотки 4 і 5 постійного і змінного струмів. Обмотки 4 створюють різнойменно полюсну, уздовж руху, систему з подовжнім потоком у магнітопроводі 1. На рис. 2 показана полярність полюсів N - S, створюваних обмотками 4. Обмотки 5 обох індукторів увімкнені узгоджено, забезпечуючи поперечне замикання змінного потоку через магнітопровід 1 і відсутність змінного потоку в тих полюсах індукторів, що не несуть обмоток 5. Пунктиром показаний шлях

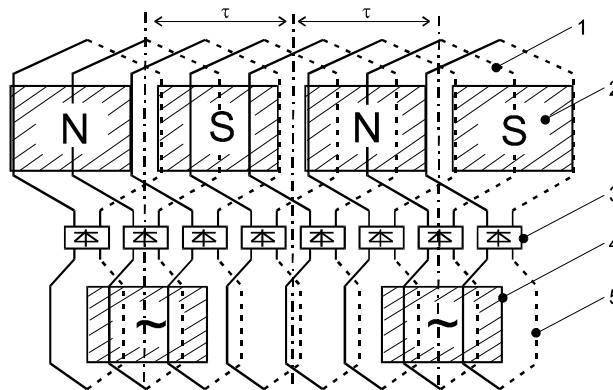


Рис. 1. Конструктивна схема двигуна першого варіанту
1 – секції якорної обмотки; 2 – полюси індуктора постійного магнітного потоку; 3 – випрямлячі; 4 – полюси індуктора змінного магнітного потоку; 5 – додаткові трансформаторні секції

замикання змінного магнітного потоку. Магнітопровід двигуна виконується шихтованим чи з фериту. Рухомий вторинний елемент двигуна включає немагнітний каркас 6 коробчатого профілю, що охоплює магнітопровід 1, і розміщені на ньому секції 7 кільцевої обмотки і секції 8 шаблонової плоскої обмотки. Кожна секція 8 плоскої обмотки з'єднана через випрямляч 9 із секцією 7 кільцевої обмотки, що відстоїть від її осі на величину полюсного ділення τ .

Для підвищення жорсткості механічної характеристики двигуна послідовно з трансформаторними секціями може включатись конденсатор, ємність якого обирається з умови резонансу.

У другому варіанті конструкції кожна секція виконує функції як трансформаторної, так і якірної [5]. На рис. 3 показано розташування полюсів індукторів постійного та змінного магнітних потоків відносно обмотки рухомої частини двигуна та схема ввімкнення діодів в обмотку.

Очевидно, що у другому варіанті конструкції принципово можливим є використання тільки однопівперіодних випрямлячів. Враховуючи, що при ширині секції приблизно рівній τ , ЕРС в ній буде наводитись при пересуванні на 2τ , то полюс індуктора змінного магнітного потоку повинен бути розташований через пару полюсів індуктора постійного магнітного потоку [5]. При цьому на проміжку пересування, що дорівнює τ , трансформаторна ЕРС в секції не наводиться. Амплітудні значення змінної ЕРС секції суттєво залежить від її положення відносно полюса індуктора змінного магнітного потоку і графік зміни ЕРС наведений на рис. 4.

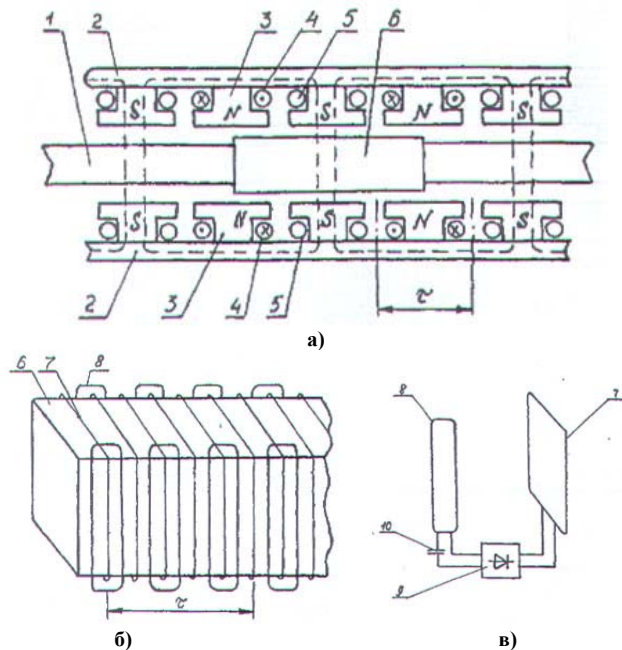


Рис. 2. Конструктивна схема (а), схема укладки обмотки (б) та схема з'єднання обмоток (в) двигуна у якого суміщені магнітні системи індукторів постійного та змінного магнітних потоків

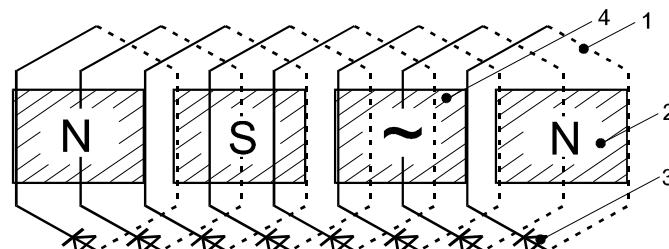


Рис. 3. Конструктивна схема двигуна другого варіанту.

1 – секції обмотки рухомої частини двигуна; 2 – полюси індуктора постійного магнітного потоку; 3 – діоди випрямлячів; 4 – полюси індуктора змінного магнітного потоку

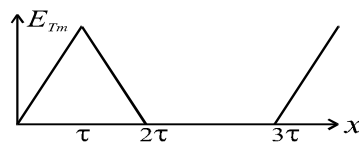


Рис. 4. Обвідна амплітуд трансформаторної ЕРС двигуна другого варіанту

Для покращення використання обмотки якоря запропонована конструкція двигуна, в кожен секцію якого зустрічно-паралельно увімкнуті два магнітодіоди [6].

В такій конструкції полюси індукторів постійного та змінного магнітних потоків суміщені (на полюсах одночасно розташовані обмотки збудження постійного та змінного магнітних потоків), а наявність магнітопроводів забезпечує використання обмотки якоря на протязі всього шляху. Так, змінний магнітний потік наводить електрорушійну силу в кожній секції якірної обмотки, що знаходиться під індуктором 4, але напрямок струму в кожній секції залежить від розташування цієї секції відносно полюсів 2 чи 3. Коли секції та увімкнуті в них магнітодіоди змінюють своє положення відносно полюсів N-S, то автоматично змінюється опір магнітодіодів. Якщо магнітодіоди верхнього по рис. 5 ряду збільшують свій опір, то магнітодіоди нижнього ряду – зменшують і навпаки. Таким чином усі секції якірної обмотки будуть створювати однонаправлені тягові зусилля у будь-якому положенні якоря.

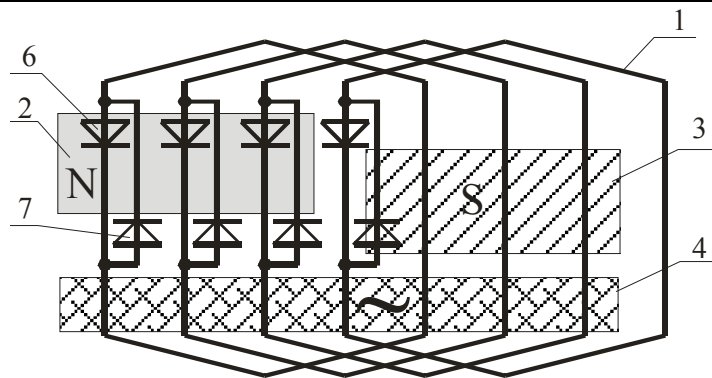


Рис. 5. Схема розташування полюсів та обмотки з магнітодіодами.

1 – секції обмотки рухомої частини двигуна; 2 – N-полюси індуктора постійного магнітного потоку; 3 – S-полюси індуктора постійного магнітного потоку; 4 – полюси індуктора змінного магнітного потоку (на рисунку він умовно показаний окремо); 6, 7 – магнітодіоди

Теорія електромагнітних процесів двигунів з однопівперіодною схемою випрямлення розглянута в роботі [7]. Особливістю є те, що під час руху в секції наводиться трансформаторна ЕРС та ЕРС, що наводиться постійним магнітним потоком. З врахуванням цього, рівняння електромагнітного стану секції для відрізка часу, в якому діод відкритий:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = e - E_o = -\frac{k}{\omega} \cos \omega t + kt \cdot \sin \omega t - E_o \quad (1)$$

Розв'язок цього рівняння [4] дає наступний графік зміни струму в секції.

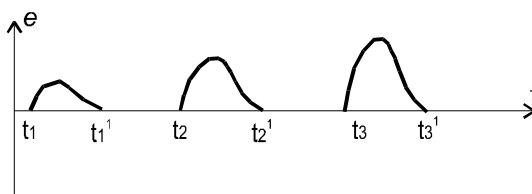


Рис. 6. Графік зміни струму в секції.

Середнє значення струму

$$I_{CP} = \frac{1}{nT} \sum_{k=1}^{k=n} \int_{t_k}^{t_k'} i_k dt \quad (2)$$

Недоліком конструкції двигунів з однопівперіодною схемою випрямлення є те, що середнє значення струму в секції залежить від частоти, що, в принципі описано в [8] при аналізі роботи однопівперіодних випрямлячів на активно – індуктивне навантаження. Тому кращі властивості притаманні конструкціям першого типу з мостовою схемою випрямляча, або шунтувальним діодом, тому далі ми більш детально зупинимось на конструкції двигуна саме цього типу.

Основні співвідношення для двигуна з розділними магнітними системами та мостовою схемою випрямляча візьмемо з роботи [1].

При виборі ширини додаткової трансформаторної секції b_{dc} можна скористуватись рекомендаціями роботи [9]:

$$(1 - \alpha)\tau < b_{dc} < 2(1 - \alpha)\tau, \quad (3)$$

де α – коефіцієнт полюсного перекриття.

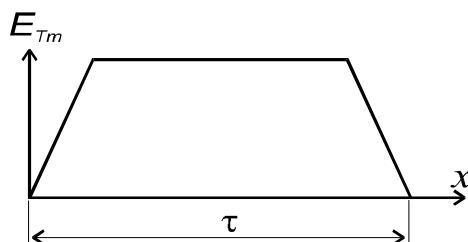


Рис.7. Обвідна амплітуд трансформаторної ЕРС

Обвідна амплітуд трансформаторної ЕРС, що наводиться в додатковій трансформаторній секції при її проходженні під полюсом індукторів змінного магнітного потоку при рівномірному повітряному проміжку ($\delta = const$) показана на рис. 3.

Максимальна значення трансформаторної ЕРС e_T в додатковій трансформаторній секції відповідає розташуванню обох сторін секції під полюсом і описується виразом:

$$E_{Tm.max} = \omega \cdot B_m \cdot W_{dc} \cdot b_{dc} \cdot l_{dc}, \quad (4)$$

де ω – кутова частота; B_m – амплітуда магнітної індукції індуктора змінного магнітного потоку; l_{dc} – активна довжина провідника додаткової секції; W_{dc} – число витків додаткової секції.

В ті моменти, коли під полюсом індуктора знаходиться тільки одна сторона додаткової секції, амплітуда e_T при $\delta = const$ змінюється практично пропорційно відстані ξ від активної сторони секції до краю полюса:

$$E_{Tm} = \omega \cdot B_m \cdot W_{dc} \cdot \xi \cdot l_{dc}. \quad (5)$$

Крім трансформаторної, в додатковій секції наводиться ЕРС e_v , амплітуда якої пропорційна швидкості пересування. Якщо ширина додаткової секції b_{dc} менша ніж добуток $\alpha \cdot \tau$, то e_v не дорівнює нулю тільки при $\xi < b_{dc}$, а амплітуда цієї ЕРС визначається з виразу:

$$E_{v.m} = v \cdot B_m \cdot W_{dc} \cdot l_{dc}. \quad (6)$$

ЕРС e_T та e_v змінюються з частотою зміни магнітного потоку індуктора змінного поля, причому вони знаходяться в квадратурі. Таким чином амплітуда результуючої ЕРС в додатковій секції при $\xi < b_{dc}$ визначається з виразу:

$$E_m = B_m \cdot W_{dc} \cdot l_{dc} \cdot \sqrt{(\omega \xi)^2 + v^2}, \quad (7)$$

а в ті моменти, коли обидві сторони секції знаходяться під полюсом, з виразу (2).

Середнє значення випрямленого струму в секції якірної обмотки двигуна можна визначити згідно теорії, викладеної в [8], де розглядається робота реального трансформатора, від якого живиться випрямляч, що працює на двигун постійного струму. Тут слід відмітити, що цей струм при мостовій схемі випрямляча та схемі з шунтувальними діодами не залежить від індуктивності якірної обмотки.

В ті проміжки часу, коли в додаткових секціях відсутня ЕРС e_T , по відношенню до ЕРС якірної секції два з діодів мостового випрямляча або шунтувальний діод схеми з таким діодом будуть увімкнуті в пряму напрямку, але в обох випадках схема випрямлення струму, викликаного цією ЕРС, буде однопівперіодною і його середнє значення буде швидко зменшуватись з зростанням частоти, тобто швидкості пересування рухомої частини двигуна.

При виборі густини струму обмотки слід враховувати, що струм в кожній секції протікає тільки на протязі половини часу роботи двигуна.

При виборі частоти струму в обмотках індуктора змінного магнітного потоку слід враховувати, що підвищення цієї частоти дозволить зменшити число витків додаткових секцій та застосувати конденсатори меншої ємності для забезпечення необхідної жорсткості механічної характеристики [4]. Тому цю частоту слід вибирати найвищою наскільки це дозволяє магнітна система індуктора змінного магнітного потоку. При виборі частоти струму в обмотках індуктора змінного магнітного потоку можна скористуватись рекомендаціями [10], де показано, що частоту слід вибирати з умови:

$$f > \frac{1}{2} \frac{B_0 \cdot W_c \cdot v}{B_m \cdot W_{dc} \cdot b_{dc}}, \quad (8)$$

де B_0 – індукція в повітряному проміжку; W_c – число витків секції якірної обмотки; v – швидкість пересування рухомої частини.

Для зменшення числа додаткових секцій та кількості випрямлячів можна секції якірної обмотки, які розташовані на відстані 2τ одна від одної, увімкнути паралельно.

Регулювання швидкості двигуна розглянутої конструкції можна здійснювати двома шляхами: зміною напруги на обмотках індуктора змінного магнітного потоку та зміною напруги на обмотках індуктора постійного магнітного потоку. Розрахунок магніторушійної сили індуктора змінного магнітного потоку слід проводити з врахуванням розмагнічувальної дії додаткових секцій [7].

Для експериментального підтвердження отриманих результатів була створена установка, в якій використовувався звичайний 4-полюсний двигун постійного струму з простою петлевою обмоткою якоря $2\delta = 2a$ та універсальний 2-полюсний двигун. Вали обох двигунів були з'єднані між собою і на спільний вал було жорстко закріплене кільце на якому розташовувались діоди випрямлячів. Обмотка якоря універсального двигуна була перемотана з першим частковим кроком $y_1 = 2$. Виводи секцій як обмотки якоря двигуна постійного струму так і секцій обмотки якоря універсального двигуна були відпаяні від колекторів та підпаяні до відповідних точок випрямлячів, розташованих на кільці. На спільному валу двигунів було також встановлено три кільця, до яких були підпаяні виводи однієї з основних секцій, що

давало можливість записати осцилограми струмів в секції якоря та напруги на ній в процесі руху.

Експеримент повністю підтвердив працездатність двигуна розглянутої конструкції і наведені в даній роботі основні співвідношення.

Висновки. Поставлена задача опису основних конструкцій двигунів без гальванічного зв'язку з рухомих якорем в роботі виконана. Аналіз будови та роботи таких двигунів показав, що поряд з названими раніше перевагами над звичайними двигунами постійного струму їм притаманні і ряд таких недоліків як нижчий коефіцієнт корисної дії та більш м'яка механічна характеристика, більші габарити.

Література

1. Косенков В. Д. Особливості конструкцій та процесів в електричних двигунах без гальванічного зв'язку з рухомих якорем / В. Д. Косенков, Л. В. Скубій // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту. – 2004 – № 12. – С. 117–120.
2. Косенков В. Д. До розрахунку електричних двигунів без гальванічного зв'язку з рухомих якорем / В. Д. Косенков, Л. В. Скубій // Вісник ТУП. – 2008. – № 2. Т.1. – С. 108–111.
3. А. с. 1026251 СССР. Линейный электрический двигатель / В. Д. Косенков, Л. В. Скубий. – 1983. – Бюл. изобр. № 24.
4. Патент України 15105А. Безконтактний лінійний електричний двигун / В. Д. Косенков, Л. В. Скубий, Л. В. Пастернак. – 1987. – Бюл. №3.
5. А. с. 1179494 СССР. Линейный электрический двигатель / В. Д. Косенков, Л. В. Скубий, А. И. Зуборовский, Б. П. Мельник. – 1985. – Бюл. изобр. № 34.
6. Патент на корисну модель № 85121. Лінійний безколекторний електричний двигун / В.Д. Косенков, Л.В. Скубій. – Опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
7. Косенков В. Д. Особливості електромагнітних процесів в якорі, секції якого замкнуті на напівпровідникові діоди / В. Д. Косенков, Л. В. Скубій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 2. – С. 93–96.
8. Здрок А. Г. Выпрямительные устройства электропитания и управления / А. Г. Здрок, А. А. Салютин. – М.: Энергия, 1975. – 258 с.
9. Конструкция и особенности работы линейного двигателя без гальванической связи с подвижным якорем / [В. Д. Косенков, Л. В. Скубий и др.]. – (Деп. в УкрНИИТИ 26.12.84 № 2197 Ук). – 84 с.
10. Косенков В. Д. До вибору частоти змінного магнітного поля лінійного двигуна з безконтактним живленням рухомого якоря / В. Д. Косенков, Л. В. Скубій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1997. – № 2. – С. 170–173.

References

1. V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy. Osobennosti konstruksyy u protsessov v ilektrycheskykh dvyhatelyakh bez halvanycheskoy svyazy s podvyzhnym yakorem // Visn. Skhidnoukr. nats. un-tu. 2004 - № 12, str. 117... 120.
2. V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy. K raschetu ilektrycheskykh dvyhateley bez halvanycheskoy svyazy s podvyzhnym yakorem. Vestnyk TUP №2, T1, 2008, s. 108-111.
3. A. S. 1026251 SSSR. Lyneynyy ilektrycheskyy dvyhatel / V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy // Byul. yzobr.- 1983.- № 24.
4. Patent Ukrainy 15105A. Beskontaktnyy lyneynyy ilektrycheskyy dvyhatel / V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy, L. V. Pasternak // Byul. №3, 1987.
5. A. S. 1179494 SSSR. Lyneynyy ilektrycheskyy dvyhatel / V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy, A. Y. Zuborovskyy, By. P. Melnyk // Byul. yzobr. - 1985.- № 34.
6. Patent na korysnu model № 85121. Liniynyy bezkolektornyy elektrychnyy dvyhun / V.D. Kosenkov, L.V. Skubiy. Opubl. 11.11.2013, Byul. № 21.7. V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy. Osobennosti ilektromahnytnykh protsessov
7. V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy. Osoblyvosti elektromahnytnykh protsesiv v yakori, sektsiyi yakoho zamknuti na napivprovodnykovy diody // Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh.–1999.– №2. – s. 93-96.
8. A. H. Zdrok, A. A. Salyutin. Vypryamytelnye ustroystva ilektropytanyya u upravlenyya.- M.: Inerhyua, 1975. - 258 s.
9. Konstruksyya u osobennosti raboty lyneynoho dvyhatelya bez halvanycheskoy svyazy s podvyzhnym yakorem / V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy u dr.- Dep. v UkrNYNTY 26.12.84 № 2197 Uk.- 84.
10. V. D. Kosenkov, L. V. Skubiy. K vyboru chastoty peremennoho mahnytnoho polya lyneynoho dvyhatelya s beskontaktnym pytanyem podvyzhnoho yakorya // Yzmyertelnaya u vychyslytelnaya tekhnika v tekhnolohycheskykh protsessakh.-1997.- №2. - s. 170-173.

Рецензія/Peer review : 16.11.2014 р. Надрукована/Printed :29.11.2014 р.
Стаття рецензована редакційною колегією