

УДК 621.313.17: 621.313.8

КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ВИСОКОВИКОРИСТАНОГО МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ДИСКОВОГО ТИПУ ДЛЯ СЕРВОПРИВОДУ

Білий П.М., Опришко В.В.

Кременчуцький державний політехнічний університет

Вступ. Дискова конструкція електродвигуна (ЕД) представляє на сьогоднішній день для дослідників особливий інтерес, який зумовлений покращеними в порівнянні з ЕД другої топології її масогабаритними показниками [1, 2, 3].

Так, згідно з [1], дискова конструкція при розмірі фланця більше ніж 165 мм перевищує за своїми показниками ЕД циліндричного типовиконання. Найбільш високі характеристики мають електроприводи (ЕП) типу "Acom-Line" – які відносяться до італійської промислової групи Paletti Osta та ДВУ (Росія), а також ЕП таких відомих фірм як Бош, Інфранор (Німеччина), Мікроелектрик (Швейцарія); Jeumont Industrie (Франція), Toshiba Corporation (Японія) [1, 2]. При цьому прогрес в області станкобудування, побутової техніки, різного роду сервосистем, де основна роль відведена ЕП, висуває постійно до нього ще більш високі вимоги. Звідси перед дослідниками стоїть задача інтенсивного пошуку нових ідей створенню ЕП нового покоління.

лів, що генеруються. Традиційна конструкція ЕМ не може сприймати повний спектр сигналів. Звідси виникає протиріччя між потенційними можливостями електромеханічної системи та електроніки.

Мета роботи. В даній статті передбачається здійснити опис конструктивної схеми високовикористаного магнітоелектричного двигуна, яка базується на нових принципах та підходах, для застосування її в сучасному ЕП.

Зміст. ЕД включає трифазний двохсторонній статор 1, обмотки керування (ОК) 2, дисковий ротор 3 з висококоерцитивними постійними магнітами (ПМ) 4 (рис. 1). До корпусу ЕД прикріплено систему датчиків фотоелектричного типу 5.

На рис. 2 показано напрямки струмів в обмотках керування. Кожна фаза ЕД розміщена на обох

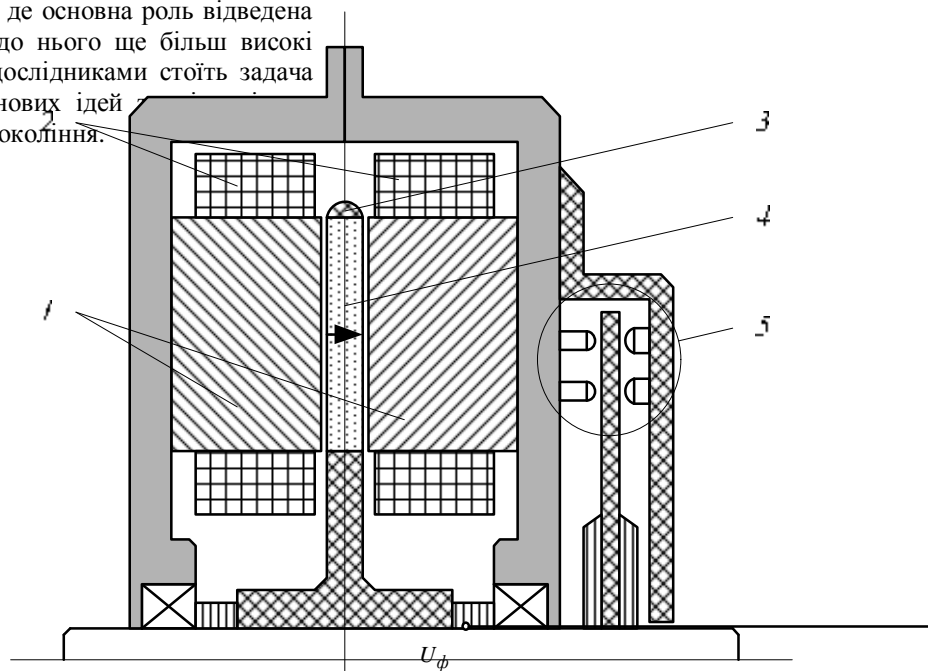


Рисунок 1 - Конструктивна схема МС високовикористаного магнітоелектричного двигуна дискового типу

Класична схема ЕП включає дві складові: силову частину – ЕД; систему керування – комутатор. Перша складова в значній мірі по причині визначеної своєї консервативності не відповідає вимогам до електричних машин (ЕМ) та технологій майбутнього. Проблема другої складової є простішою. Так, розвиток силової електроніки дозволив створити нові ефективні транзисторні комутатори, які не мають обмежень на величину, вид, форму, частоту та закони зміни в часі електричних сигна-

лі. Кожна фаза ЕД розміщена на обох магнітопроводах статора, тобто складається з двох напівфаз, в кожній з яких є чотири обмотки керування (рис. 3), з'єднані між собою послідовно з кроком $T_{cm} = 90^\circ$ і укладені в пази торіoidalного шихтованого магнітопроводу. ОК розташовані навпроти одна одної по обидві боки робочого зазору δ . Між дванадцятьма обмотками керування (рис. 2), які охоплюють головні полюси прямокутноклиноподібної форми (рис. 4, б) і рівномірно розміщені по колу кожного з магнітопроводів статора

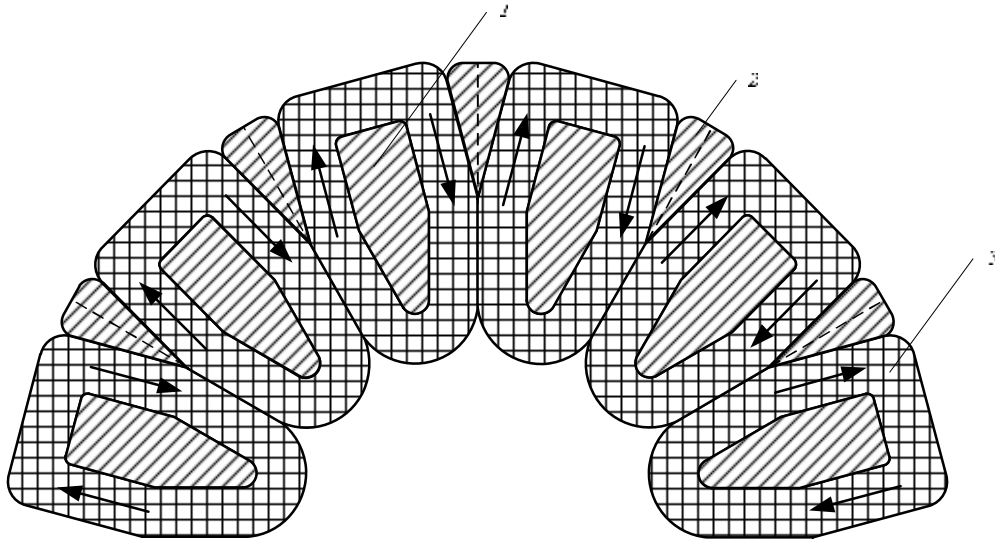


Рисунок 2 - Фрагмент магнітної системи статора:
1 - основний полюс; 2 - допоміжний полюс; 3 - ОК

з кроком $\tau_{cm} = 30^\circ$, розташовані допоміжні укорочені полюси (рис. 4, в) клиноподібної форми, що є однією з характерних рис даної конструкції ЕД, в якому укорочені полюси статора теж приймають участь у створенні електромагнітного моменту, тобто активна зона статора використовується з високою ефективністю. Ротор ЕД (рис. 5) жорстко закріплено на валу. Він включає немагнітний диск 1, в якому з кроком $\tau_p = 18^\circ$ рівномірно розміщені по колу з чергуванням полюсів двадцять ПМ 2 системи Nd-Fe-B розмірами $20 \times 30 \times 3 \text{ мм}$.

Живлення ОК здійснюється від силового напівпровідникового комутатора фаз (СНКФ) у вигляді трьох реверсивних мостових інверторів напруги, зібраних на транзисторах та шунтуючих їх зворот-

них діодах, які слугують для захисту транзисторів від комутаційних перенапруг, з подачею на кожну фазу двополярних напруг прямокутної форми (рис. 6) з зсувом фаз на величину $T/6 = 60 \text{ ел.градусів}$, де T – період зміни фазної напруги.

На рис. 6 електричний кут повороту ротору ϕ_e зв'язаний з механічним кутом ϕ відомим співвідношенням $\phi_e = p\phi$, де p – число пар полюсів.

Розглянемо роботу ЕД в кроковому режимі [4] з дискретністю зміщення ротора, яка дорівнює одиничному кроку, умовно розгорнувши в лінію його сектор області енергоперетворення, рівний періоду $T_{cm} = 3\tau_{cm} = 5\tau_p$. На рис. 7 показано електричний стан збуджених фаз А, В, С статора і відповідне їм стале положення (1÷6) ПМ ротора.

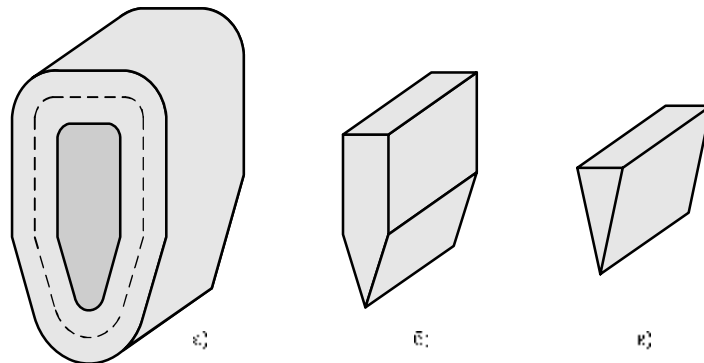


Рисунок 4 - Елементи статора: а) обмотка керування; б) основний полюс; в) допоміжний полюс

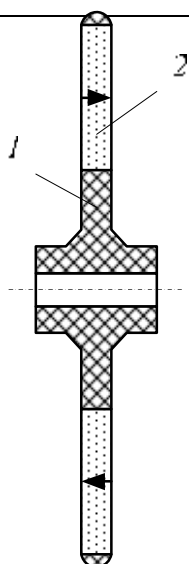


Рисунок 5 - Ротор Ld

вправо (див. рис. 7), що відповідає його обертанню за годинниковою стрілкою, а сила F_a , яка гальмує в зворотному напрямку. Таким чином, в положенні 1 з п'яти елементарних сил лише одна сила F_B має тільки поперечну складову, а F_A і F_C мають як поперечну так і поздовжні складові, причому останні діють у взаємно протилежних напрямках і є прискорюючими або гальмуючими. В положенні МР запас енергії магнітного поля в системі досягає свого максимального значення. Таким чином, завершиться 1 такт комутації фазних обмоток керування (ОК) (рис. 7), в кінці якого ротор відпрацює одиничний крок і ОК фази B прийде в положення МР. З діаграм сил, діючих на ротор зі сторони фаз A, B, C (рис. 8), видно, що сила $F_B = 0$, а $F_A = F_C$. Для переміщення ротора на один крок вправо необхідно на ОК фази A подати імпульс напруги зворотної полярності, залишаючи незмін-

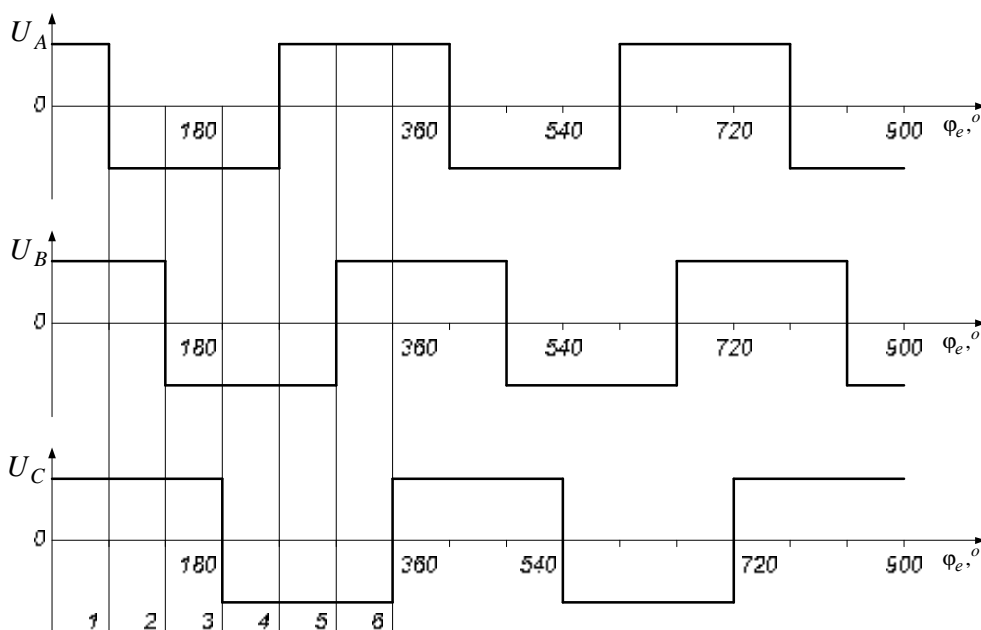


Рисунок 6 - Форми напруги живлення

Припустимо, що на початку відліку часу на обмотку керування трьох фаз подаються імпульси напруги позитивної полярності. Відбудеться намагнічування полюсів з черговою полярністю $N-S-N-S-N$ та подальша взаємодія магнітного потоку полюсів ротора зі збудженими полюсами статора з утворенням рушійних сил та обертаючих моментів, які прагнуть змістити ротор в стійке положення 1 магнітної рівноваги (МР) (рис. 7), відповідне максимальній магнітній провідності для потоку фази B . При цьому полюс S встановиться на вісі Oy фази B , а сили взаємодії полюсів фаз A і C з відповідними полюсами ротора будуть рівні по величині та протилежно направлені з одночасним прагненням змістити ротор в положення МР для фаз A і C відповідно, причому сила F_C буде діяти в напрямку зміщення ротора

ною полярність напруги в двох інших фазних ОК (рис. 6, 7). Зміна напрямку струму у фазі A призведе до відповідного перемагнічування полюсів цієї фази статора і встановленню нової протилежної полярності. Тоді під дією сил притягання та відштовхування, діючих на ротор з боку фаз C і A відповідно, ротор зміститься на величину одиничного кроку вправо та займе положення 2 МР, в якому вже буде знаходитися фаза C . Закінчиться 2 такт комутації (рис. 6), при цьому сила $F_A = 0$, а $F_B = F_C$ (рис. 8). Наступна зміна полярності живлячої напруги та напрямку струму в фазі, яка створює силу гальмування в результаті взаємодії її полюса з відповідним полюсом ротора (рис. 7), призведе до подальшого дискретного зміщення ротора вправо з фіксацією його положення після відпрацювання кроку.

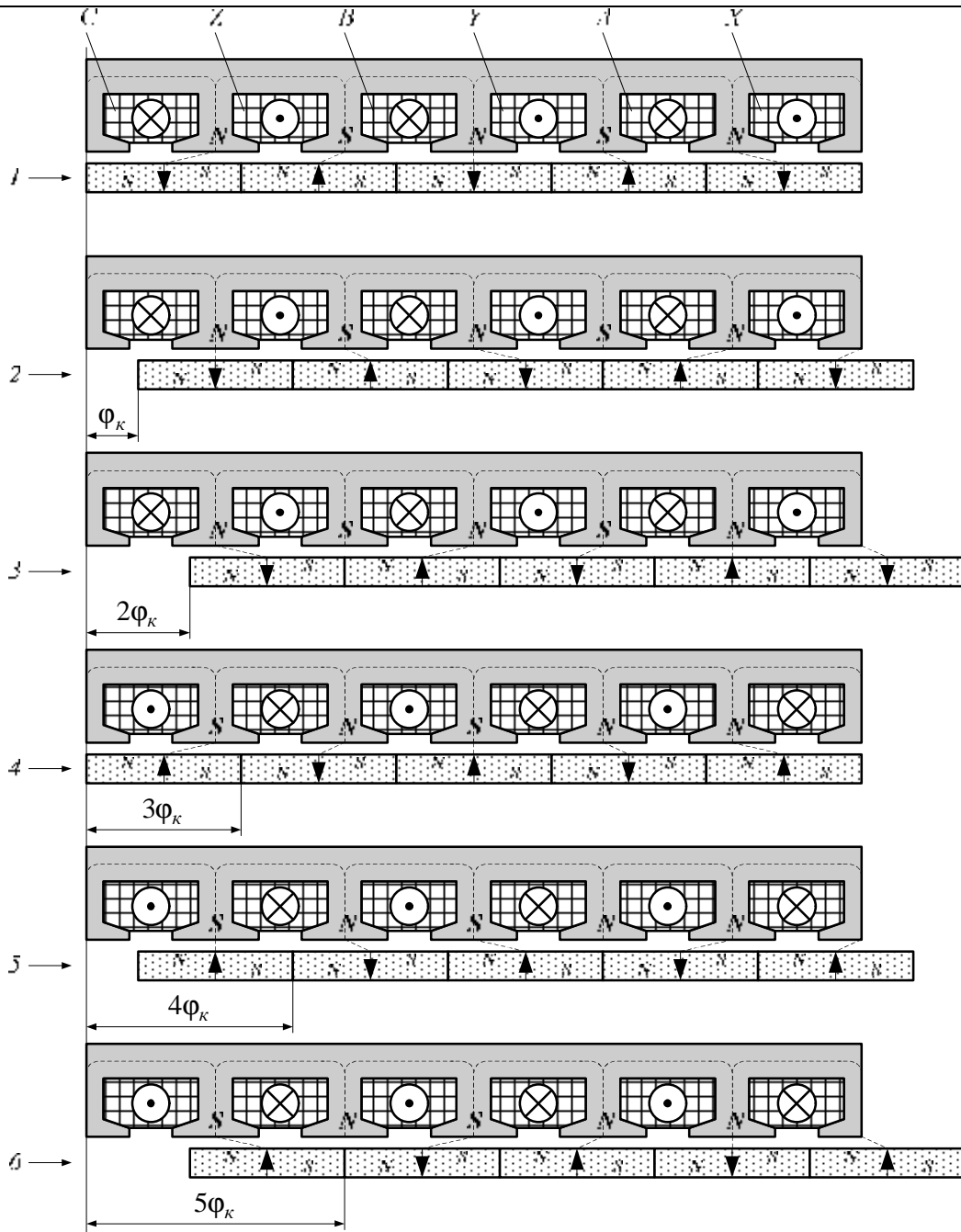


Рисунок 7 - Область енергоперетворення Алгоритм роботи ЕД в кроковому режимі

Звідси, за 6 тактів комутації фазних ОК, ротор буде мати шість стійких положень МР відносно полюсів збуджених фаз (рис. 7) і зміститься на величину шести одиничних кроків (рис. 8), рівну просторовому періоду зміни магнітного поля ПМ, який переміщується дискретно з ротором:

$$T_r = 2\tau_r = 6\tau_{cm} / 5 = 6\phi_k$$

Розподіл індукції B_δ магнітного поля в робочому зазорі δ має близько-трапецеїдальну форму, при $\delta \ll \tau_p$ [5]. Розрахунок магнітного поля трапецеїдальної форми описано в роботі [6].

На рис. 8 показано систему сил, що діють на ротор, в залежності від кутового переміщення ротора у вигляді трьох трапецеїдальних функцій

$F(\phi)$. Складання цих трьох трапецеїдальних функцій забезпечує постійне результуюче зусилля ЕД, тобто:

$$F_\Sigma(\phi) = F_A(\phi) + F_B(\phi) + F_C(\phi).$$

При цьому слід відмітити, що в кроковому режимі роботи ЕД на ротор діють як корисні прискорюючі сили, так і гальмуючі. Звідси маємо такий факт: частина електромагнітної енергії витрачається на гальмування на кожному кроці зміщення ротора, що відображається на енергетичних показниках двигуна.

Розглянемо режим використання зворотнього зв'язку по положенню ротора (рис. 9) [7]. Схема включає в себе: електродвигун, датчик кроків (ДК), мікропроцесор (МП), силовий напівпровід-

никовий комутатор фаз (СНКФ). Така схема дозволяє реалізувати режим автокомутації фаз із забезпеченням безперервного (автосинхронного) руху ротора.

дозволяє сформувати легку і поряд з цим в механічному відношенні конструкцію роторного диску, пристосовану для витримування без руйнування під дією надто значних на високій швидкості обер-

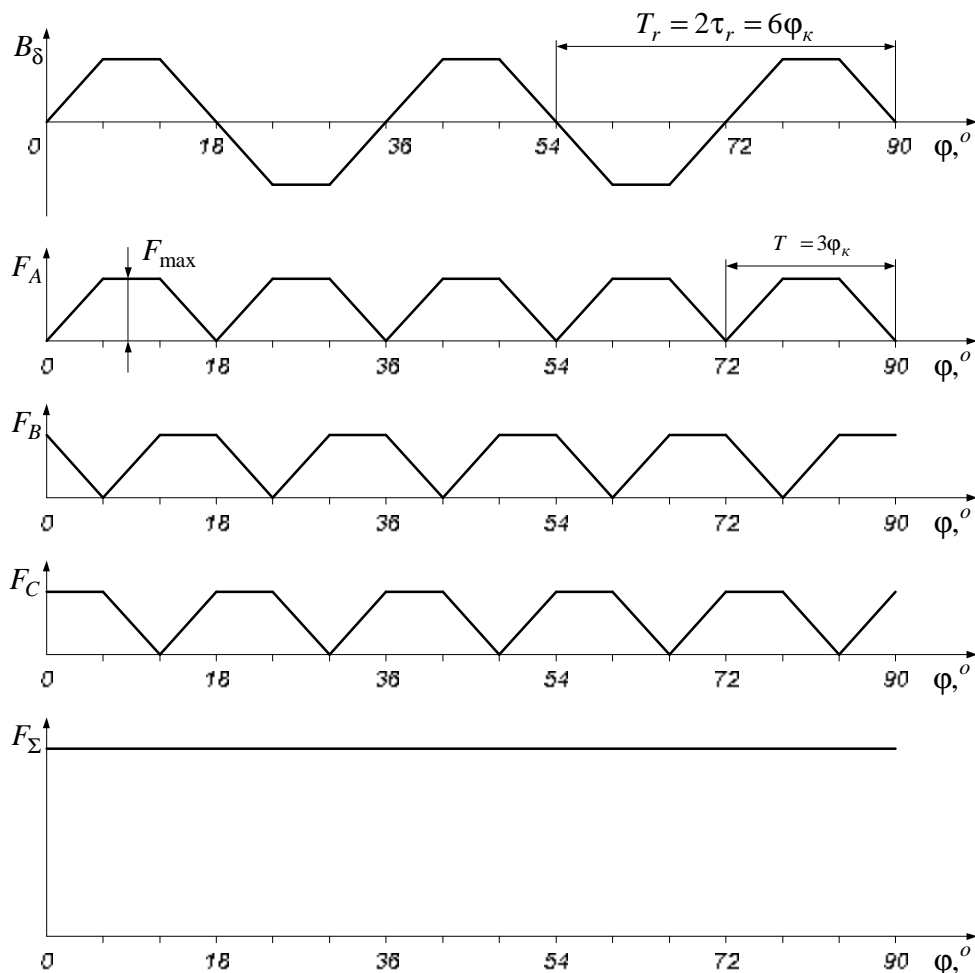


Рисунок 8 - Діючі сили на ротор ЕД

Короткий аналіз технологічних аспектів по створенню ЕД.

Статор ЕД намотується зі стрічкової електротехнічної сталі, далі йде традиційний процес просочування та просушування. Після цього фрезерується необхідна кількість основних та допоміжних укорочених полюсів. Навколо основних розміщується ОК (рис. 4, а).

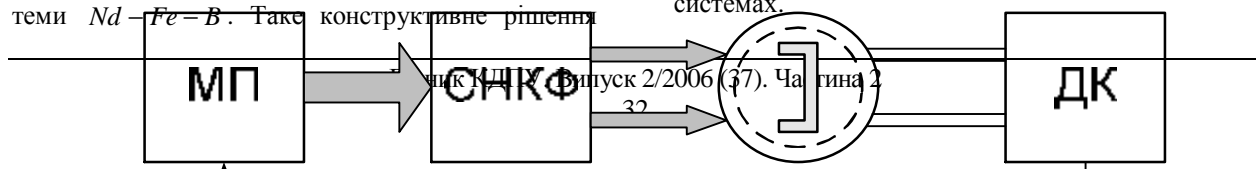
ОК представляє собою каркасну котушку, тобто намотується на вже підготовлений ізоляційний каркас. В якості електропровідного матеріалу застосовується: традиційний мідний провідник круглого поперечного перерізу; також можна застосувати для досягнення високого коефіцієнту заповнення $k_3 = (0,8 \div 0,9)$ робочого простору (активна частина ОК) провідники прямокутного поперечного перерізу зі стрічкової фольги.

При виготовленні ротора (рис. 5) застосовано оригінальне конструктивне рішення, яке заключається в установці в дюралюмінієвий диск ПМ системи $Nd-Fe-B$. Таке конструктивне рішення

дозволяє знизити вплив центробіжних сил і не сильно впливати на підшипникові вузли.

На рис. 10 представлена діюча фізична модель ЕД (один модуль). В цій фізичній моделі застосовано корпус асинхронного двигуна, який складається з двох частин, тобто конструктивна схема (рис. 1) розміщена в цьому корпусі. Слід відмітити, що набір дискових модулів ЕД, дозволяє створити осьовий ЕД, де кількість модулів визначається необхідним вихідним моментом.

Представлена в статті конструктивна схема керованого дискового високовикористаного магнітоелектричного двигуна, яка дозволяє забезпечити режим як крокового, так і безперервного (автосинхронного) руху ротора і характеризується підвищеною величиною моменту, що розвивається, в порівнянні з циліндричною конструкцією ЕД при рівних величинах електромагнітних навантажень, що робить її перспективною для застосування в сервоприводі та різних виконавчих механізмах та системах.



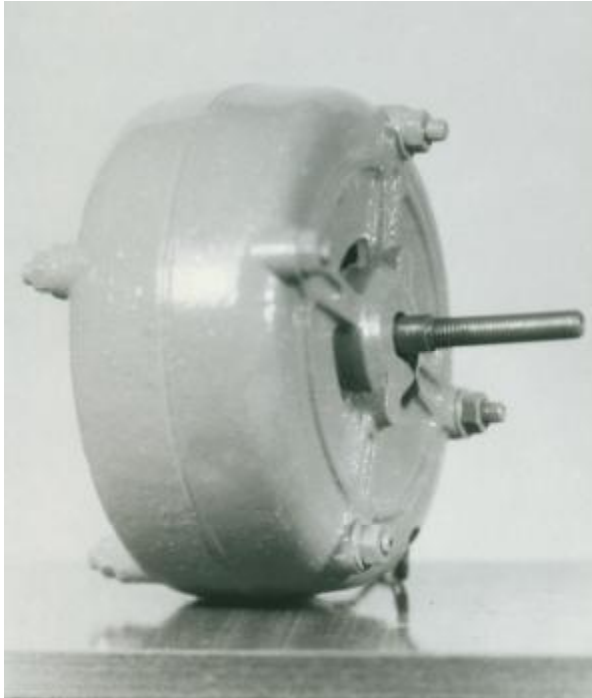
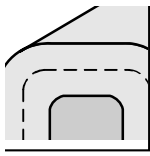


Рисунок 10 - Діюча фізична модель ЕД

Висновки.

1. Здійснено детальний опис конструктивної схеми високовикористаного магнітоелектричного двигуна дискового типу, а саме силової частини, наведено алгоритм роботи в кроковому режимі, а також загальну схему роботи ЕД в режимі автокомутації.
2. Наведено основні технологічні аспекти, які необхідні для виготовлення такого двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адволоткин Н.П., Овчинников И.Е. Состояние и перспективы развития вентильных электродвигателей для станкостроения и робототехники// Бесколлекторные регулируемые электрические машины: Сб. науч. тр. – Ленинград: ВНИИ Электромаш, 1988. – с. 5 – 19.
2. Адволоткин Н.П., Вдовиков А.Г., Выплавин Ю.И. и др. Унифицированная серия вентильных двигателей с постоянными магнитами ДВУ для станкостроения и робототехники// Электротехника. – 1988. – №2. – с. 37 – 40.
3. Афонин А.А., Гребенников В.В., Цежневски П. Дисковые двигатели с постоянными магнитами// Техн. Электродинамика. – 1997. – №4. – с. 36 – 44.
4. Ратмиров В.А., Ивоботенко Б.А. Шаговые двигатели для систем автоматического управления.– М.– Л.: Госэнергоиздат, 1962.–128с.– (Библиотека по автоматике, Вып. 66).
5. Афонин А.А., Белый П.Н., Фурсенко С.Л. Магнитное поле в системах высококоэрцитивными постоянными магнитами// Техн. Электродинамика.– 1992.– №4.– с. 48 – 53.
6. Белый П.Н. Упрощенная математическая модель для описания магнитного поля в рабочем зазоре магнитоэлектрических двигателей// Електротехніка і електромеханіка, 2004, №4.– с. 13 – 14.
7. Белый П.Н. Электропривод на основе торцевого электродвигателя с высококоэрцитивными постоянными магнитами// Электротехника. 2000. №5. с. 23 – 26.

Стаття надійшла 14.04.06
Рекомендована до друку к.т.н., доц.
Стрижаком В.Д.