

## СИНТЕЗ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Харчишин Б.М.

Національний університет "Львівська політехніка"  
Україна, 79000, Львів, вул. Ак.Колесси, 2, СКБ ЕМС  
тел./факс (0322)74-01-44, E-mail: nil68@polynet.lviv.ua

*Наведено результати синтезу на основі геометричного моделювання нових конструкцій магнітоелектричних перетворювачів гідронідсилювачів, пристосованих до використання рідкісноземельних постійних магнітів. Розглянуті конструкції характеризуються підвищеними енергетичними показниками при одночасній мініатюризації їхніх розмірів.*

*Приведены результаты синтеза на основании геометрического моделирования новых конструкций магнитоэлектрических преобразователей гидроусилителей, приспособленных к использованию редкоземельных постоянных магнитов. Рассматриваемые конструкции характеризуются повышенными энергетическими показателями при одновременной миниатюризации их размеров.*

### ВСТУП

У сучасних гідросистемах керування літальними апаратами, металообробними верстатами, оптичними телескопами та антенами широко застосування знайшли магнітоелектричні перетворювачі (МЕП) вхідного електричного сигналу в обмежене пропорційне переміщення вихідного елемента.

Вдале поєднання їхніх позитивних якостей як виконавчих елементів (швидкодія, високий коефіцієнт віддачі), так і метрологічних перетворювачів (лінійність та симетрія характеристик, мала зона нечутливості) гарантують перспективність подальшого застосування МЕП в системах гідроприводів.

Однак існуючим конструкціям МЕП притаманні і деякі недоліки. Наприклад: відносна конструктивна складність нерухомої частини магнітопровода, наявність значних потоків розсіяння постійних магнітів (ПМ) та обмотки керування (ОК) (рис.1). Основним же недоліком традиційної конструкції слід вважати непристосованість її до ПМ на основі сучасних рідкісноземельних матеріалів, оптимальне використання яких можливе при відношенні гідравлічного діаметра їх форми  $d$  до довжини  $l$  вздовж осі намагнічення  $d/l > 1$ .

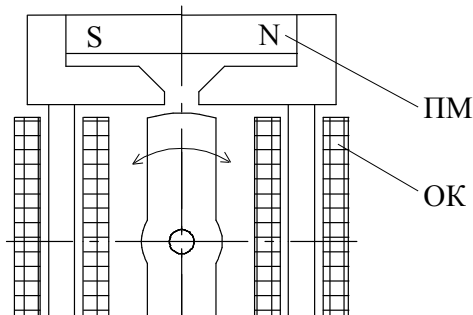


Рис. 1. Традиційна конструкція МЕП типу МП-220

Зважаючи на не використані досягнення у галузі створення новітніх матеріалів, перед інженерами-розробниками МЕП відкривається можливість вирішити такі важливі задачі, як збільшення електромагнітного моменту, крутисни механічної характеристики та величини переміщення робочого органу при одночасній мінімізації вхідного електричного сигналу керування, га-

баритних розмірів та маси перетворювачів.

### СИНТЕЗ КІЛЬЦЕВОЇ СТРУКТУРИ МЕП

Генерування нових конструкцій МЕП базується на використанні первинної генетичної інформації, яку несуть геометричні примітиви – елементарні об'єкти для здійснення перетворень і побудови складніших просторових структур [1].

За базовий об'єкт приймемо примітив (рис.2), адаптований до застосування рідкісноземельних ПМ, з переміщенням якоря впоперек ліній магнітної індукції (МЕП першого типу) та від'ємним значенням крутисни механічної характеристики, як найперспективніший до подальшого його використання та вдосконалення [2].

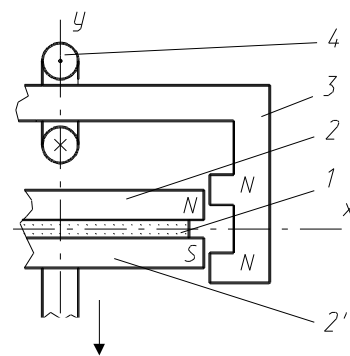


Рис. 2. Геометричний примітив конструкції МЕП, пристосований до постійних магнітів рідкісноземельної групи

Якір геометричного примітиву складається з ПМ 1 з полюсними наконечниками 2 та 2'. Магнітопровід 3 обмотки керування 4 закінчується розчепленим полюсом, елементи якого симетрично зсунуті відносно полюсних наконечників якоря в напрямі його руху. Маючи степінь свободи по осі  $y$ , внаслідок взаємодії потоку підмагнічування ПМ та потоку, створеного ОК, якір може переміщуватися поступально вздовж цієї осі в напрямі, що залежить від напрямку струму ОК.

Доповнивши геометричний примітив дзеркальним його відображенням відносно площини  $yOz$ , отримаємо обертову конструкцію МЕП з рухом якоря

відносно осі  $z$  (рис.3). Тут і надалі позначення тіж, що і на рис. 2.

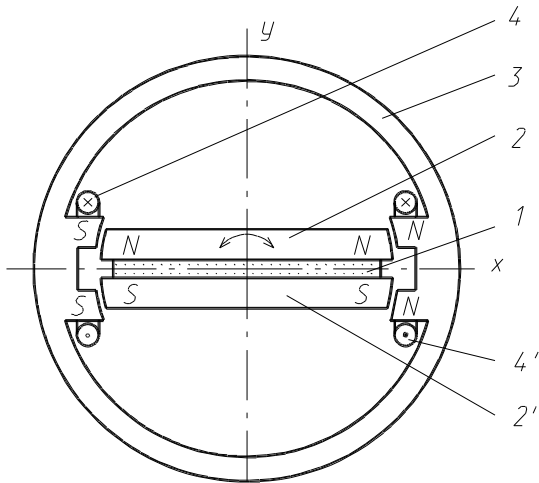


Рис. 3. Конструкція обертового МЕР на основі вибраного примітиву

Усуваючи основний недолік такого перетворювача – перпендикулярне розташування площин магнітопроводів якоря і статора здійснимо топологічне перетворення його конструкції поворотом на  $90^\circ$  сандвіч-якоря навколо осі  $x$ , практично не змінюючи конфігурацію виступів полюсних наконечників якоря (рис. 4). При такій трансформації ці виступи набувають кігтеподібної форми.

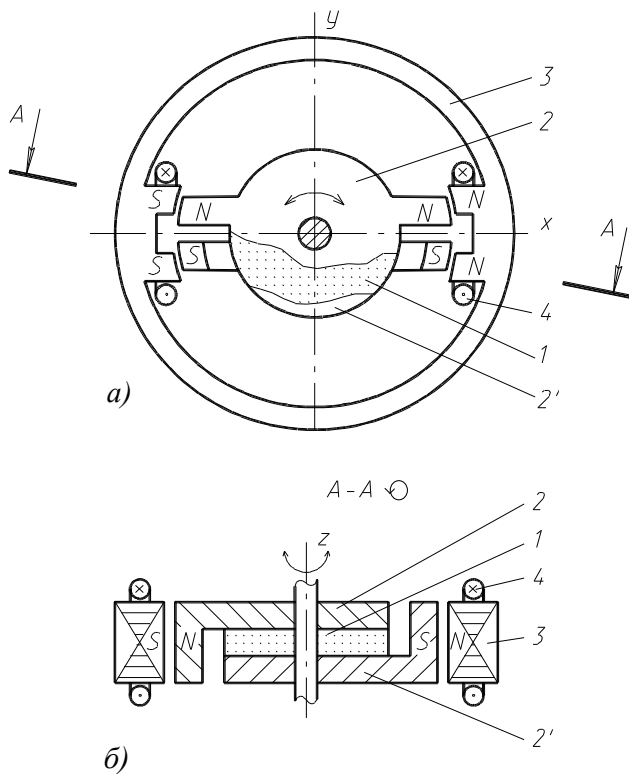


Рис. 4. Трансформована обертова конструкція МЕР

При заміні П-подібних полюсних виступів магнітопроводу ОК на суцільні і переносі обмотки керу-

вання на ці полюси (рис. 5), характер взаємодії магнітних потоків ПМ і ОК не змінюється.

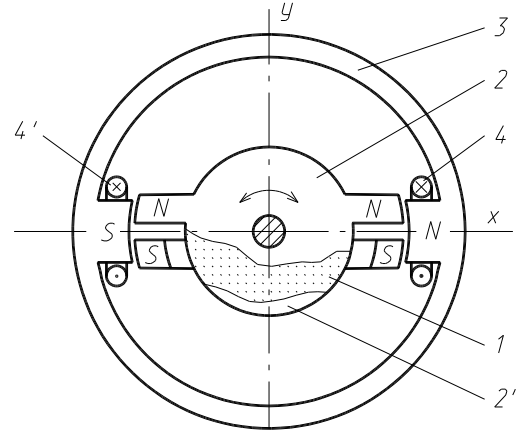


Рис. 5. Топологічно перетворена обертова конструкція МЕР

Подальша топологічна трансформація полягає у заміні  $180^\circ$ -градусного зсуву активних зон на кут  $\alpha$  і трансляції їх по колу, що допомагає повніше використати об'єм МЕР і збільшити сумарний об'єм простору електромеханічного перетворення енергії (рис.6).

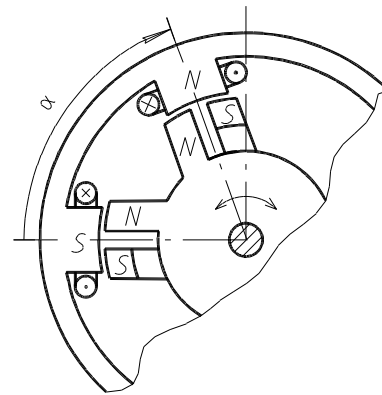


Рис. 6. Формування багатополосної структури обертового МЕР

Аналогом такої конструкції є МЕР кільцевої структури (рис. 7), що відрізняється тільки кільцевою ОК та кігтеподібними полюсними виступами її магнітопровода. Магнітопроводи ротора 1 та 2, зрештою, як і статора 4 та 5, є абсолютно ідентичними. Кільцева структура МЕР забезпечує можливість використання тільки одного магніту 3 для поляризації  $p$ -полюсної системи ротора та однієї обмотки для створення  $p$ -полюсного потоку керування, що разом із збільшенням сумарного об'єму простору перетворення енергії забезпечує більш раціональне використання міді ОК та матеріалу ПМ.

Інший варіант кільцевої конструкції МЕР, синтезований на базі цього ж примітиву, показаний на рис. 8. Ця конструкція є оберненою до вище описаної і відрізняється рухомою обмоткою керування, що зменшує надійність перетворювача, особливо при значному робочому діапазоні кута повороту ротора. Однак зменшення об'єму міді зумовлює зниження потужнос-

ті керування. Ротор може виконуватись як зіркоподібний магнітопровід з обмотаними полюсами (рис. 8а), так і з кільцеподібною ОК.

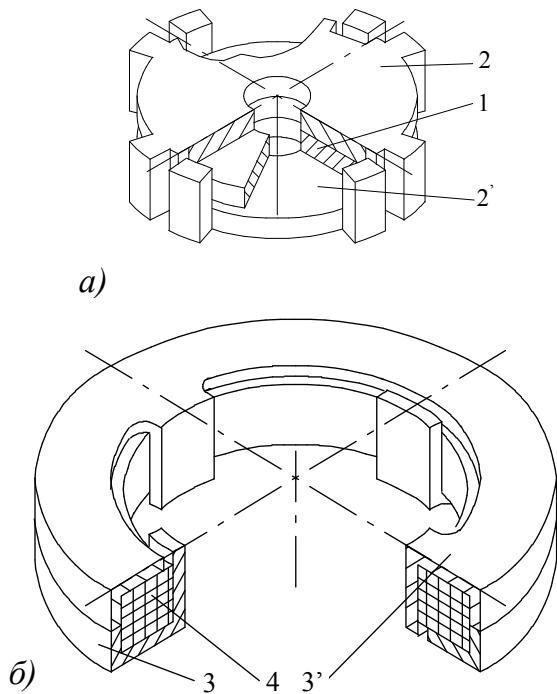


Рис. 7. МЕРП кільцевої структури  
а) - ротор з ПМ; б) - статор з ОК

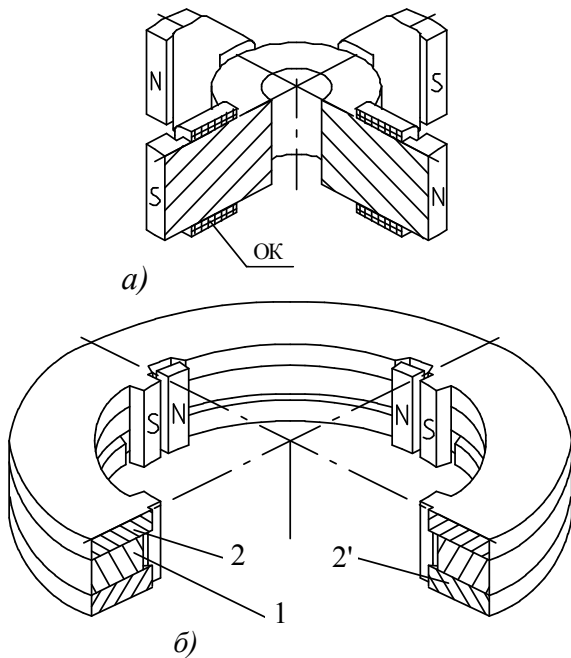


Рис. 8. МЕРП оберненої кільцевої структури  
а) ротор з ОК, б) статор з ПМ

Аналогічним чином можна генерувати кільцеві структури МЕРП і на базі інших геометричних примітивів [2]. Доцільність конкретної з них визначається складом обмежень на область синтезу та експлуатаційними вимогами.

### СИНТЕЗ ГРЕБІНЦЕВОЇ СТРУКТУРИ МЕРП

Дослідження показали, що електромагнітний момент МЕРП прямопропорційний аксальній довжині перетворювача та радіусу його розточки, оберненопропорційний величині повітряного проміжку і не залежить від ширини полюсів. Останнє твердження наштовхує на створення МЕРП із збільшеною кількістю взаємодіючих елементів зменшеної ширини, завдяки чому можна значно збільшити сумарний електромагнітний момент та крутизну механічної характеристики перетворювача при незмінних його масі й габаритах.

Однак спроба подальшої мініатюризації у рамках прийнятих конструкційних рішень наштовхується на певні труднощі зумовлені як технологічними, так і феноменологічними факторами. Перші виникають внаслідок обмеженого мінімального розміру кітгеподібного зубця, який можливо виконати на доступному обладнанні. Інші виникають через зменшення міжполюсних проміжків у багатополосних статорах і роторах МЕРП, що призводить до зростання потоків розсіювання полюсних систем і може звести нанівець переваги кільцевої конструкції. Таким чином кількісні зміни переходять у якісні, й усунути наявні протиріччя між потенційними можливостями кільцевої конструкції МЕРП та технологічно-феноменологічними наслідками подальшої її мініатюризації можна шляхом інтегрального виконання окремих груп зубцевих зон. Виконання на кожному з полюсів статора і ротора так званих гребінцевих зон дозволяє знизити полюсність, а відтак, і потоки розсіювання конструкції. Ці структури подібні до полюсних систем крокових двигунів і виконуються з величиною зубцевої поділки  $1,5 \div 2$  мм.

Відмова від Г-подібної форми полюсних виступів якоря дає змогу суттєво зменшити їхні магнітні потоки розсіювання, а наконечники ПМ виконати у вигляді двох ідентичних зубчастих шайб, розташованих на валі із зміщенням на полюсну поділку статора (рис. 9). Така трансформація дозволяє виконати полюсні наконечники ротора та статора зубчастими, не змінюючи характер зміни магнітної провідності між ними і перейти до конструкції МЕРП з гребінцевими зонами (рис. 10) [3].

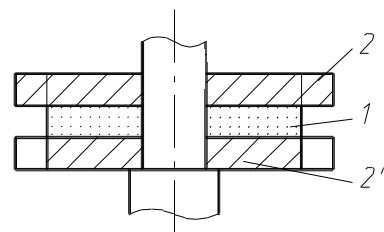


Рис. 9. Модифікована конструкція якоря МЕРП

Намагання зберегти симетрію розташування полюсів індуктора призвело до появи великих і малих вікон між зубцевими зонами якоря, що чергуються між собою.

При цьому крок нарізання пазів ротора не збивається, що видно з рис. 11, на якому показана гребінцева структура МЕРП у розгорнутому вигляді для чотириполюсного МЕРП з кількістю зубців кожного полюса індуктора  $n = 3$ , кількості зубцевих поділок ро-

тора  $z = 18$ , шириною його міжполюсного вікна  $s = 2$  зубцеві поділки та шириною малого  $t = 1,5$  та великого  $q = 2,5$  вікон ротора.

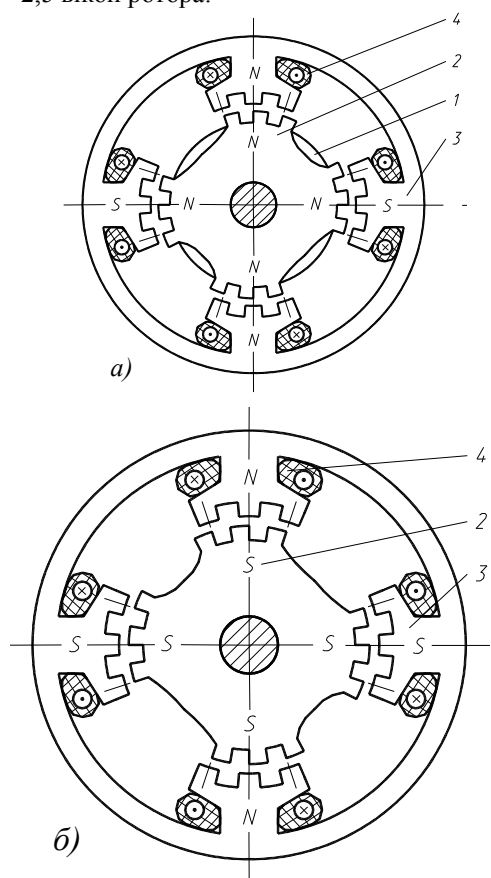


Рис. 10. Конструкція чотирьохполюсного МЕР з гребінцевими зонами:

а) структура активної зони у площині верхнього магнітопроводу; б) структура активної зони у площині нижнього магнітопроводу

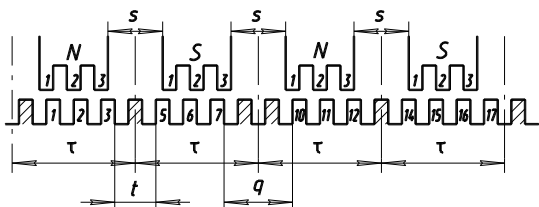


Рис. 11. До визначення структурних співвідношень активної зони МЕР гребінцевої конструкції

Для забезпечення функціонування МЕР структури гребінцевих зон необхідно виконувати з наступними співвідношеннями між вказаними величинами

$$z = p(2(n + s) - 1); \quad q - t = 1; \quad q + t = 2s \quad (1)$$

Подібно можна синтезувати конструкції МЕР з гребінцевими зонами, показані на рис. 12 та 13. Перша з них має кільцеподібний магніт, встановлений на статорі, а ротор виконано з ОК. На відміну від всіх інших гребінцевих конструкцій тут вал повинен бути феромагнітним.

Інша конструкція (рис.13) має одну тороїдну катушку керування і ПМ, встановлені на роторі радіально. Тут беззубцеві зони різної ширини тепер знаходяться на статорі.

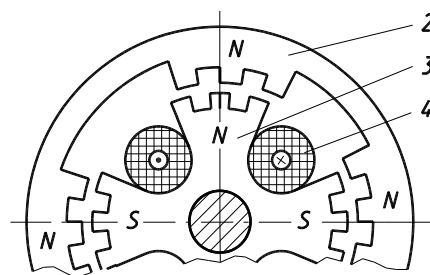


Рис. 12. Конструкція МЕР з гребінцевими зонами з рухомих індуктором

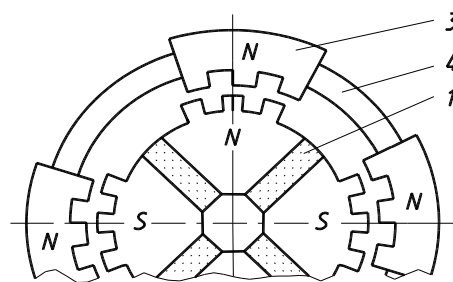


Рис. 13. Гребінцевий аналог МЕР кільцевої структури

## ВИСНОВКИ

У процесі свого вдосконалення топологія структури магнітного кола МЕР змінювалась у відповідності як із зростаючими вимогами до параметрів та характеристик, так і з досягненнями у галузі електротехнічних та конструкційних матеріалів.

Синтезована на основі геометричного підходу кільцева конструкція дозволила:

- покращити технологічність конструкції шляхом заміни елементів призматичної форми елементами тіл обертання;
- зменшити масо-габаритні показники за рахунок застосування постійних магнітів рідкісноземельної групи;
- збільшити питомий електромагнітний момент завдяки збільшенню об'єму активного простору перетворення енергії;

Подальше вдосконалення МЕР на базі синтезу активної частини з гребінцевими зонами дозволило перейти до значно більшої кількості взаємодіючих елементів ротора та статора і збільшити електромагнітний момент МЕР, уникаючи зростання магнітних потоків розсіяння полюсних систем.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. - К.: Наукова думка, 2002. - 288 с.
- [2] Харчишин Б., Завгородній В. Тенденції розвитку конструкції електромеханічних преобразовачів для електрогідроприводів. // 3rd ISTC on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. 19-21 september 1997, -Alushta (Ukraine) - P. 255 - 260.
- [3] Харчишин Б.М. Синтез активної частини магнітоелектричних перетворювачів з гребінцевими зонами. // Електроенергетичні та електромеханічні системи. Вісник НУ "Львівська політехніка". Вип. 403. 2000. - С.175 - 180.

Надійшла 30.08.2003