

## ВПЛИВ ДИСИМЕТРИЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ГРЕБІНЦЕВИХ ЗОН НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧІВ

© Харчишин Б.М., Черніков В.І., 2006

Наведено результати дослідження впливу дисиметризації структури гребінцевих зон магнітоелектричних перетворювачів гідропідсилювачів на їхні енергетичні характеристики та показники за допомогою запропонованої математичної моделі. Розглянуто зубцеві зони зі скошеним зубцем, які дають змогу плавно змінювати крутизну механічної характеристики, а не дискретно.

The results of investigation of teeth zone structures dissymmetry of electro-magnetic transformers for hydroamplifiers on their power indexes obtained on the base offered mathematical model are cited. Teeth zone with oblique tooth which allow fluently changing the incline of mechanical characteristic, not discretely, are proposed.

**Постановка проблеми.** У сучасних гідросистемах керування літальними апаратами, металооброблювальними верстатами, оптичними телескопами та антенами поширеного застосування набули 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) зумовили подальше зацікавлення розробників у вдосконаленні конструкції.

**Аналіз останніх досліджень і постановка задачі.** Нові конструкції таких перетворювачів [1] позбавлені багатьох недоліків своїх прототипів, зокрема: конструктивної складності нерухомої частини магнітопроводу, непристосованості її до постійних магнітів (ПМ) на основі сучасних рідкісноземельних матеріалів.

Запропоновані у [2] конструкції, що забезпечують збільшення електромагнітного моменту, крутизни механічної характеристики та величини переміщення робочого органу за одночасної мінімізації вхідного електричного сигналу керування, габаритних розмірів та маси перетворювачів, базуються на принципі дисиметризації гребінцевої структури.

Дисиметризація структури здійснюється під різними полюсами індуктора або якоря шляхом внесення незначної асиметрії взаємної зміни магнітних провідностей гребінцевих зон від кута повороту ротора, зберігаючи в основному їхній характер. Наприклад, усувається дзеркальна симетрія структур щодо осі  $OO'$ , як показано на рис. 1, так, що інтенсивність зміни залежності від кута  $\alpha$  величин магнітних провідностей  $\lambda_3$  і  $\lambda_4$  відрізняється від інтенсивності зміни величин  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  при збереженні точкової симетрії між вказаними парами.

Отже, змінюючи геометричну структуру, можна суттєво впливати на статичну характеристику МЕП та її параметри – коефіцієнти крутизни механічної та моментної характеристик. Кількісне врахування цього впливу вимагає детального розгляду особливостей перетворення енергії у конструкціях МЕП із гребінцевими зонами на основі їхньої математичної моделі.

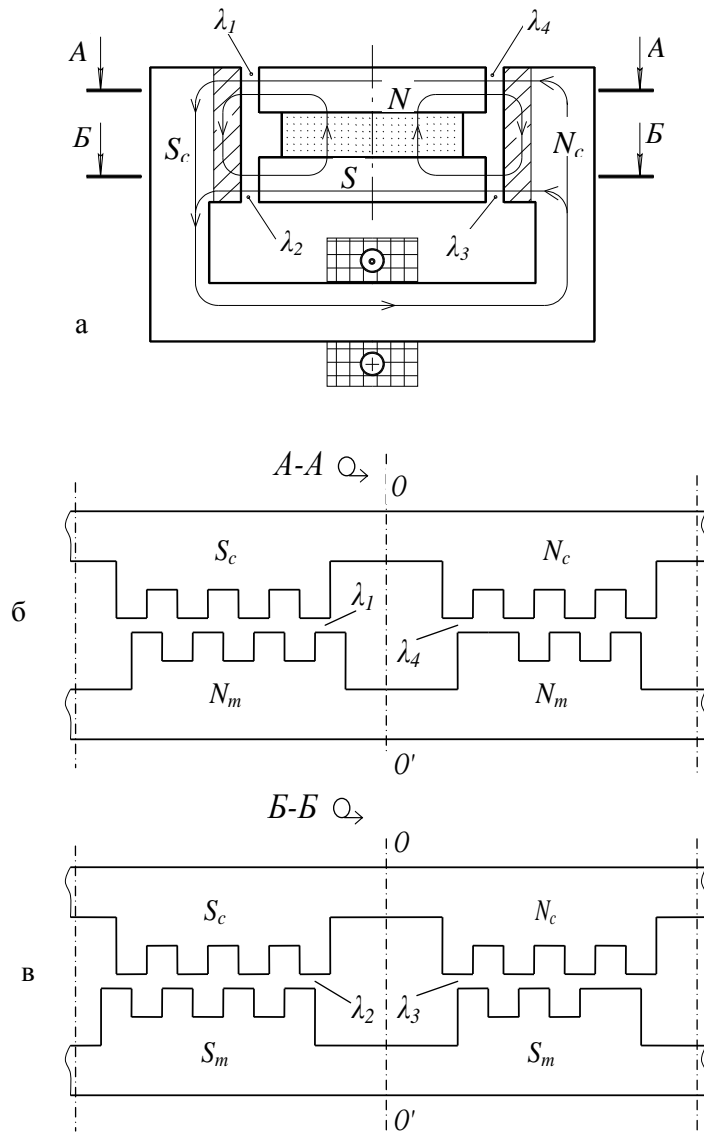


Рис. 1. Принципова структура МЕР з гребінцевими зонами (а) та один із способів її дисиметризації (б, в)

**Математична модель впливу дисиметрії структури МЕР на енергетичні показники.** На рис. 2 показана спрощена заступна магнітна схема конструкції МЕР з гребінцевими зонами, яка містить чотири магнітних опори гребінцевих зон  $r_i = \lambda_i^{-1}$  ( $i = \overline{1,4}$ ), з'єднаних за мостовою схемою, у діагоналі якої ввімкнені еквівалентні намагнічувальні сили  $i_m$  та  $i_c$  віток поляризації та керування разом із їхніми еквівалентними магнітними опорами  $r_m$  та  $r_c$ , що враховують і відповідні магнітні потоки розсіяння цих віток.

Ця заступна схема у термінах контурних потокозчеплень описується системою трьох рівнянь, яка за допомогою перетворення матриці опорів за одночасного вимкнення одного з пасивних контурів може бути зведена до системи двох лінійних рівнянь. Якщо ці рівняння записати у термінах потоко-

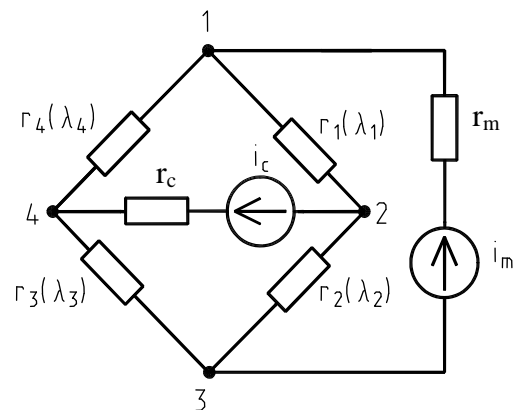


Рис. 2. Заступна магнітна схема МЕР з гребінцевими зонами

зчеплень контурів поляризації  $\psi_m$  та керування  $\psi_c$  і їхніх функцій збурення  $i_m$  та  $i_c$ , отримаємо

$$\begin{vmatrix} r_m + r_{mm} & r_{cm} \\ r_{cm} & r_c + r_{cc} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \Psi_m \\ \Psi_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i_m \\ i_c \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де  $r_{mm}$  та  $r_{cc}$  – еквівалентні магнітні опори кіл поляризації та керування, що визначаються магнітними провідностями  $\lambda_i$  гребінцевих зон,  $r_{mc} = r_{cm}$  (на основі теореми про взаємність) – взаємний магнітний опір між колами поляризації та керування.

Аналitичні залежності для опорів  $r_{mm}$ ,  $r_{cc}$  та  $r_{mc}$ , виражені через провідності  $\lambda_i$ , мають вигляд [3]

$$r_{mm} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_3 + \lambda_4)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_3 + \lambda_4) + \lambda_3 \cdot \lambda_4 (\lambda_1 + \lambda_2)};$$

$$r_{cc} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_4) \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_3 + \lambda_4) + \lambda_3 \cdot \lambda_4 (\lambda_1 + \lambda_2)};$$

$$r_{mc} = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_4 - \lambda_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 (\lambda_3 + \lambda_4) + \lambda_3 \cdot \lambda_4 (\lambda_1 + \lambda_2)}.$$

Магнітні провідності  $\lambda_i$  гребінцевих зон у функції кута повороту  $\alpha$ , визначені відповідно до способу дисиметризації структури, наведені нижче.

Електромагнітний момент  $M$ , крутизну механічної характеристики  $K_m$  та крутизну моментної характеристики  $K_i$  визначаємо з рівняння для узагальненої статичної характеристики МЕР

$$M(i_m, i_c, \alpha) = \frac{\partial W'}{\partial \alpha}, \quad K_m = \frac{\partial M}{\partial \alpha}, \quad K_i = \frac{\partial M}{\partial i_c},$$

де  $W' = \int_0^{i_m} \int_0^{i_c} \sum_{i=m}^{i=c} \psi_i(i_m, i_c, \alpha) di_i = \frac{1}{2} (\psi_m \cdot i_m + \psi_c \cdot i_c)$  – магнітна коенергія джерел намагнічувальних сил.

**Дослідження способів дисиметризації структури.** Найпростішим із способів дисиметризації зубцевої структури МЕР є організація на полюсах ПМ зон, магнітна провідність яких не залежить від кута повороту  $\alpha$  у межах робочих переміщень ротора [3] (рис. 1). У цьому випадку всі ці різновиди конструктивних виконань математично можна охопити однотипним рівнянням, записавши довільну питому провідність  $\lambda_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) як

$$\lambda_i = \lambda_0 (n_i + q_i (1 \pm \alpha)), \quad (2)$$

де  $q_i$  та  $n_i$  – еквівалентні кількості активних та пасивних зубців  $i$ -ї зубцевої зони, які залежно від типовиконання можуть бути як цілими, так і дробовими (для кількості пар полюсів обмотки керування, більшої від одиниці);  $\lambda_0$  – питома магнітна провідність між двома протилежними зубцями в нейтральному положенні ротора, що припадає на одиницю аксіальної довжини МЕР.

Результати дослідження проілюстровано на прикладі конструкції МЕР одиничної довжини з кількістю пар полюсів обмотки керування  $2p=4$ , кількістю зубців гребінцевої зони 4, шириною зубця 4 мм, величиною немагнітного проміжку  $\delta=0,0001$  м та радіусом розточки  $R=0,025$  м. На рис. 3 колами показано значення крутизни механічної та моментної характеристик для різної кількості пасивних зубців  $n$ .

Аналогічний за принципом спосіб дисиметризації, зображений на рис. 4, де асиметрія здійснена шляхом усунення одного чи кількох зубців. Цей спосіб відзначається збільшеним значенням крутизни механічної характеристики, але меншим значенням крутизни моментної характеристики, що показано на рис. 3 квадратами.

Ці способи дисиметризації дозволяють за допомогою конструктивних параметрів змінювати крутизну механічної характеристики тільки дискретно, що часто не є достатньо для налагодження коливних режимів роботи МЕР.

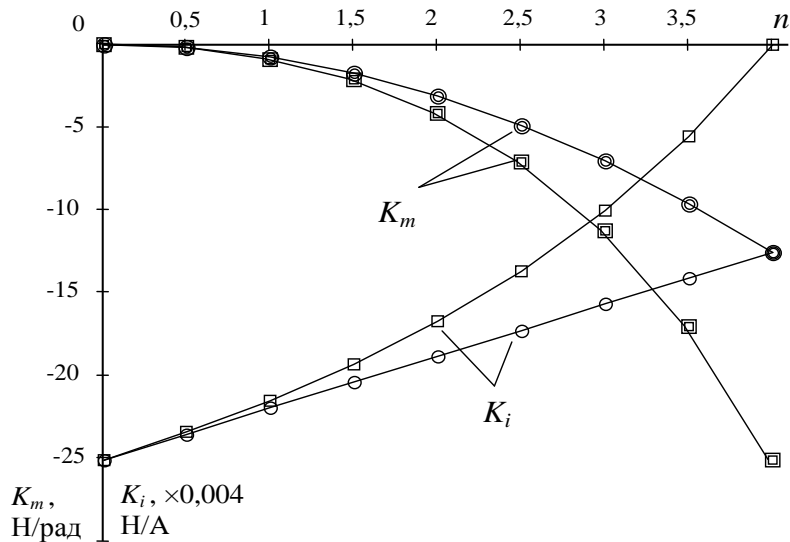


Рис. 3. Результати моделювання способів дисиметризації зубцевої структури МЕР

У зв'язку з цим запропоновано виконувати дисиметрію структури за допомогою скошених зубців (рис. 5), яка дозволить уникнути вказаного недоліку.

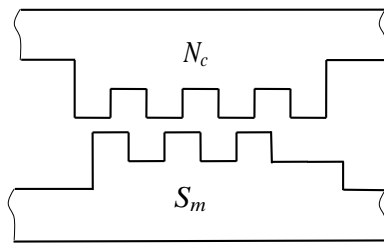


Рис. 4. Дисиметризація видаленням зубців

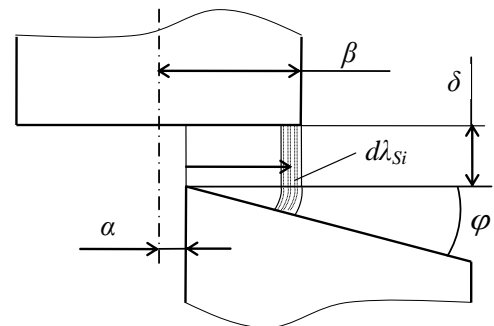


Рис. 5. Елемент зубцевої зони зі скошеним зубцем

Питомі провідності  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  такої зубцевої структури визначаємо з (2), а  $\lambda_3$  та  $\lambda_4$  з співвідношень

$$\lambda_{34} = \lambda_0 (q_{34} - n_{34}) (1 \mp \alpha) + n_{34} \cdot \lambda_{S34},$$

де  $\lambda_{S34} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \beta \cdot R}{\phi} \cdot \ln \left[ 1 + (1 \mp \alpha) \cdot \frac{\phi}{\delta} \right]$  – питома магнітна провідність між скошеним та прямим зубцем (рис. 5),  $n_i$  – тут еквівалентна кількість скошених зубців цієї зубцевої зони,  $\phi$  – кут скосу зубця,  $\beta$  – кутова ширина півзубця, виражена у рад.

Вплив параметра  $k = \frac{\phi}{\delta}$  на величину крутизни механічної характеристики має характерну залежність, показану на рис. 6 для деякого відношення довжини дуги до величини немагнітного проміжку  $\rho = \beta \frac{R}{\delta}$ , та кількості скошених зубців  $n$ .

Як видно, крутизною механічної характеристики  $K_m$  при заданих значеннях конструктивного параметра  $\rho$  можна ефективно маніпулювати в обмеженому діапазоні зміни відносної величини кута скосу  $k$ , що проілюстровано діаграмою на рис. 7.

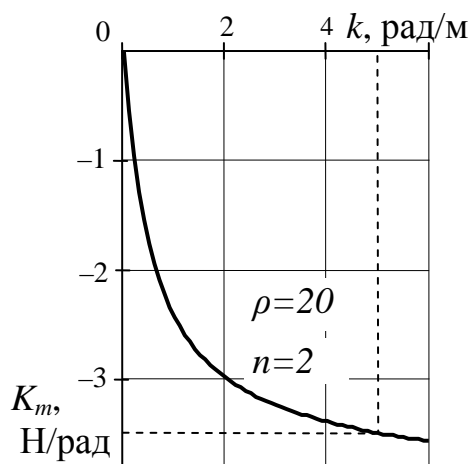


Рис. 6. Залежність крутисни механічної характеристики від параметра  $k$

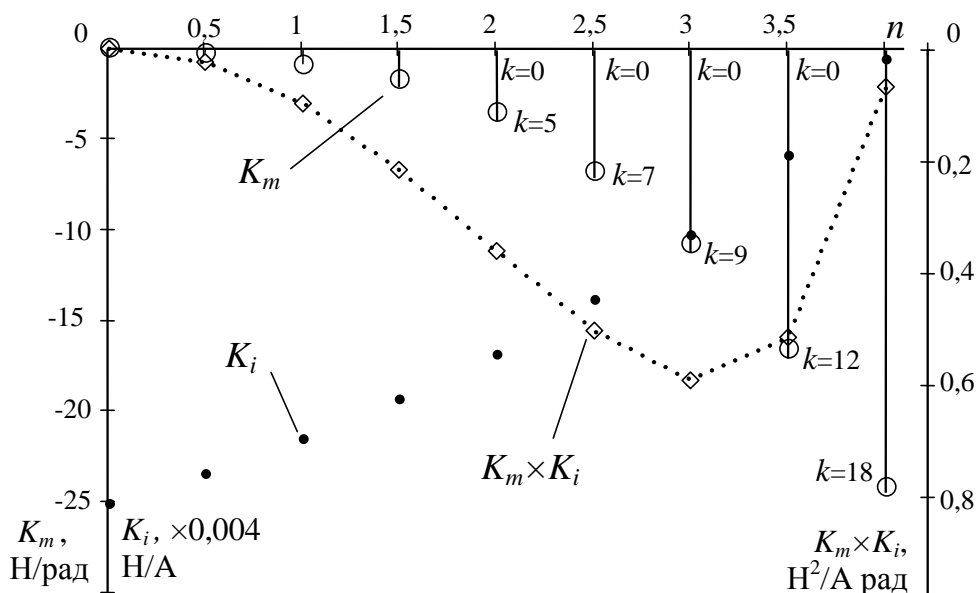


Рис. 7. Результати моделювання МЕР зі скошеними зубцями

Максимальне значення добутку величин крутисни механічної та моментної характеристик  $K_m \cdot K_i$  вказує на оптимальну з енергетичного погляду кількість скошених зубців.

Недоліком цього способу дисиметризації є відносна складність виконання відповідного скосу зубця, поверхня якого має форму Архімедової спіралі. Однак зважаючи на малу кутову ширину зубця, цим можна знехтувати, виконавши цю поверхню плоскою.

**Висновки.** Результати дослідження за допомогою описаної математичної моделі на конкретному прикладі конструкції МЕР підтверджують можливість забезпечення необхідної величини крутисни механічної характеристики за допомогою дисиметризації структури, а також шляхом виконання косих зубців.

1. Харчишин Б.М. Синтез генетично модифікованих конструкцій магнітоелектричних перетворювачів // Електротехніка і електромеханіка. – 2003. – № 4. – С. 83–86. 2. Харчишин Б.М. Синтез активної частини магнітоелектричних перетворювачів з гребінцевими зонами // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2000. – Вип. 403. – С. 175–180. 3. Завгородній В.Д., Харчишин Б.М. Математична модель гребінцевих зон магнітоелектричних перетворювачів та їх параметрів. Електроенергетичні та електромеханічні системи // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2000. – Вип. 400. – С. 43–48.