DOI 10.62731/mcnd-02.05.2025.003

СТРУКТУРА ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН З ПОГЛЯДУ ТЕОРІЇ ЧИСЕЛ

Олег Бабей
аспірант кафедри електромехатроніки
та комп'ютеризованих електромеханічних систем
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Науковий керівник: Богдан Харчишин
канд.техн.наук., ст.наук.співробітник
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Синтезу багатофазних багатополюсних обмоток машин змінного струму, визначенню їх обмоткових коефіцієнтів присвячено багато публікацій. Однак вони не є простими у сприйнятті та інженерному використанні. Це дослідження присвячено розгляду з погляду теорії чисел принципів синтезу багатофазних обмоток двошарового виконання, адже саме вони дозволяють отримати більшу кількість можливих структур та ефективніше використовувати обмотку завдяки меншим лобовим частинам, особливо у неперехресних обмотках. Представлені дослідження є можливими для застосування в модульних машинах, незалежно від кількості модулів.

Досі для побудови схем багатофазних обмоток якорів електромашин змінного струму застосовують традиційний класичний спосіб, що базується на створенні зірки пазових електрорушійних сил. Складання схеми обмотки принципово полягає в досягненні найбільшого значення фазних ЕРС, маючи задану кількість полюсів $2p$, пазів Z та кроку обмотки для двошарового виконання.

Для побудови віяла пазових ЕРС будують вектори електрорушійних сил, що виходять з однієї точки та зсунуті на кут $\alpha = 360º\, p / Z$. [1,2]. Застосування цього принципу для двошарових обмоток вимагає скористатись зіркою секційних електрорушійних сил, що не відрізняється від зірки пазових ЕРС, якщо вважати напрям вектора ЕРС секції не з віссю симетрії секції, а напрямом ЕРС паза, до прикладу, лівої активної сторони секції [1]. Отже для одношарових, де кількість секцій $S = Z / 2$, та двошарових, де $S = Z$, обмоток незалежно від величини

укорочення кроку зірка ЕРС буде мати однаковий вигляд, тільки відрізнятиметься кількістю векторів. Після побудови зірки ерс секції ділять на зони для однозонної ζ = 1 чи двозонної ζ = 2 обмотки. Ширина фазної зони при цьому буде 360º / (*m* ζ) електричних градуси.

На рисунку 1 показано приклад зірки ЕРС двозонної двофазної (*m* = 3) обмотки для випадку кількості секцій (пазів) *S* = 24, пар полюсів *p* = 11 (*α* = 360º ×11 / 24 = 165 ел. град.).

Це дозволяє скласти схему обмотки. Секції з однієї фази (наприклад, зони –U та U) вмикають послідовно або паралельно, при тому секції зони –U вмикаються зустрічно до секцій зони U.

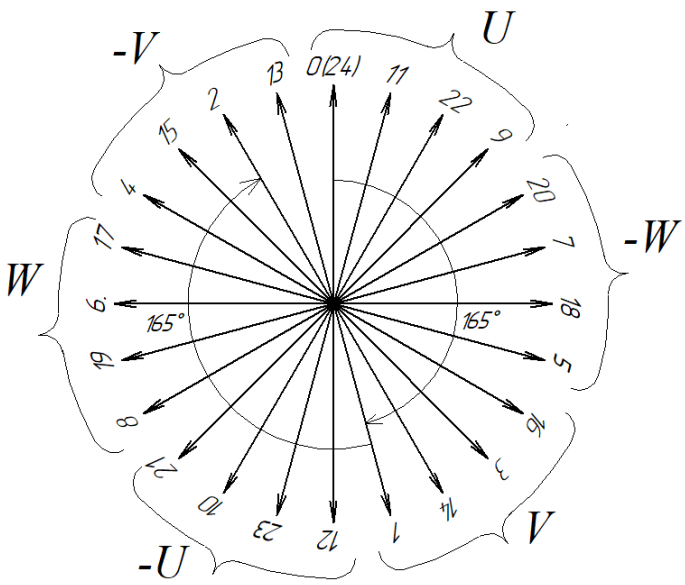

Рис. 1. Зірка ЕРС для обмотки з Z=24, p=11, m=3, ς = 2

Такий спосіб змушує застосувати евристичні засади з творчим елементом підбору структур фаз, обов'язково графічно будуючи зірку електрорушійних сил, а це затрудняє алгоритмізацію процесу синтезу схем обмоток. Існують спроби комп'ютеризації побудови схем деяких простих обмоток [3], але вони не є універсальними, не охоплюють усі випадки, наприклад, модульні структури.

Пропонований алгоритм дозволяє позбутись цих недоліків. Належність секції *i* до фазної зони $g = \overline{0, m\zeta - 1}$ визначається за виразом $g(i) = \zeta\,\mathrm{Int}\left(\frac{i'}{t}\right) + \mathrm{Int}\left(\zeta\,\mathrm{Fr}\left(\frac{i'}{t}\right)\right)$, де ζ =1 або ζ =2 для однозонної або двозонної обмотки відповідно; $t = S / m$ – кількість секцій у фазі; $i' = \frac{S n + i}{y}$ – номер секцій фазної зони; *k* – найменше ціле додатне число, за якого крок $y = \frac{S k \pm 1}{p}$ буде цілим числом; *n* – ціле додатне або нуль число, за якого *i'* буде цілим числом; *i* – номер секції в порядку її фізичного розташування по розточці якоря.

Належність секції *i* до фази $j = \overline{0, m-1}$ визначається $\mathrm{j(i)} = \mathrm{Int}\left(\mathrm{m\ Fr}\dfrac{\mathrm{g(i)}}{\mathrm{m}\,\chi} \right)$,

де: χ – кількість модулів обмотки якоря.

Належність секції *i* до модуля *u* = $\overline{0, v-1}$ визначається $\mathrm{u(i)} = \mathrm{v\ Fr}\dfrac{\mathrm{g(i)}}{\chi}$.

Напрям намотування секцій *i* для непарної кількості фаз *m* можна визначити знаком виразу $\mathrm{sign\,(i)} = (-1)^{\mathrm{Int}\frac{2\cdot \mathrm{g(i)}}{\chi\zeta}}$,

За отриманою таким чином нумерацією секції обмотки з'єднують у відповідні фази конкретного модуля згідно або зустрічно відповідно до визначеного напряму намотування, в результаті чого отримують багатофазну обмотку модульної електричної машини змінного струму.

Співвідношення на основі теорії чисел є простими в застосуванні і прийнятними для алгоритмізації та автоматизації синтезу структури багатофазних, багатомодульних, двошарових обмоток, а також для для інженерних розрахунків. Зірку ЕРС секцій доцільно застосовувати для теоретичних узагальнень, навчання чи пояснень.

Список використаних джрел:

1. Яцун М.А. Електричні машини: підручник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 464 с.
2. Zavgorodniy V. Multiphase electromechanical convertors nonoverlapping windings creating algorithms. Unconventional electromechanical and electrotechnical systems (2-nd ISTC UEES'96), Szczecin and Miedzyzdroje, dec. 15-17, 1996, p. 415-420.
3. Б. М. Харчишин, І. З. Щур, О. В. Макарчук, М. В. Хай. Спосіб побудови неперехресних обмоток багатополюсних електричних машин змінного струму. Заявка на винахід № а202204266, бюл. № 29/2023 від 19.072023.