

УДК 621.313

МОДЕРНІЗАЦІЯ НАСОСА ПОДАЧІ ТЕПЛОНОСІЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

А.І. АНТОНЕНКО, Д.Ю. ЧАЦУХІН

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто рівняння рівноваги напруги та їх рішення для асинхронного двигуна зі зміною схеми живлення при регулюванні швидкості обертання. Показано, що при вентиляторному характері навантаження можна досягти регулювання швидкості в діапазоні 1,5 зміною ковзання двигуна при збереженні втрат в допустимих по нагріванню межах

У системах індивідуального опалення житлових приміщень застосовують відцентрові насоси подачі теплоносія з регулюванням швидкості обертання для підтримання комфортної температури. В якості електропривода насоса використовують однофазний конденсаторний двигун.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є однофазний конденсаторний двигун з регулюванням швидкості обертання. Для аналізу його регулювальних та робочих властивостей скористаємось методами симетричних складових двофазної системи струмів та напруги. Параметри двигуна вважаємо лінійними.

Постановка завдання

Регулювання швидкості обертання такого двигуна досягається зміною величини ковзання ротора відносно обертового магнітного поля при зміні схеми живлення і перемиканні частини числа витків з допоміжної фази в роботу (рис. 1).

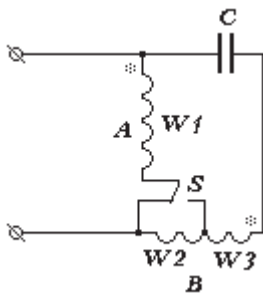


Рис.1. Схема живлення двигуна

Граничним випадком живлення цього двигуна для отримання найменшої швидкості є схема, при якій вся допоміжна обмотка *B* вмикається послідовно з робочою обмоткою *A*, а конденсатор ввімкнено паралельно робочій обмотці ($W3=0$). В цьому випадку буде найменша напруга на виток, а значить найменше значення магнітної індукції в повітряному зазорі і електромагнітного моменту.

Таке регулювання швидкості обертання супроводжується збільшенням втрат в двигуні при збільшенні ковзання. Знайдемо умови, при яких буде забезпечуватись регулювання швидкості обертання двигуна для підтримання комфортної температури системою опалення з допустимими по нагріванню двигуна втратами. Розглянемо граничний випадок перемикання живлення двигуна.

Результати та їх обговорення

Враховуючи вентиляторний характер навантаження відцентрового насоса подачі теплоносія, можна стверджувати [1], що при зміні продуктивності насоса в k_q раз момент на валу двигуна зміниться в k_q^2 раз.

Допустимий по нагріву момент двигуна зменшується із збільшенням ковзання зворотно пропорційно ковзанню $M_{дон} = M_{ном} \frac{s_{ном}}{s}$. Оскільки продуктивність насоса пропорційна швидкості

обертання, то $k_q = \frac{1-s_{ном}}{1-s}$, а $s = \frac{k_q - 1 + s_{ном}}{k_q}$. При цьому момент двигуна $M = \frac{M_{ном}}{k_q^2}$ і повинен

бути не більшим ніж допустимий по нагріву момент $M_{доп}$. Ці умови визначають номінальне значення

ковзання двигуна $s_{ном} \geq \frac{k_q - 1}{k_q^3 - 1}$. При діапазоні регулювання 1,5 номінальне ковзання асинхронного

двигуна повинно бути більшим 0,21. Це досягається виконанням обмотки ротора із сплавів з підвищеним активним опором. Ковзання асинхронного двигуна можна регулювати зміною ступені еліптичності, а також зміною значення максимальної індукції обертового магнітного поля, тобто зміною напруги, яка припадає на один виток. На рис.2 приведені векторні діаграми напруги і струмів фаз двигуна для двох схем живлення. При схемі для більшої швидкості вся напруга мережі живлення припадає на робочу обмотку (фазу A). Якщо струм фази відстає від напруги на 45 градусів (рис. 2а), то числа витків фази A і фази B однакові, напруга на конденсаторі більша напруги мережі живлення в $\sqrt{2}$ рази, а результуючий коефіцієнт потужності двигуна дорівнює одиниці. При схемі для меншої швидкості напруга фази менша напруги мережі живлення. Якщо струм фази відстає від напруги на 45 градусів (рис. 2б), а числа витків фази A і фази B однакові, то напруга фази і на конденсаторі менша напруги мережі живлення в $\sqrt{2}$ рази. Струм конденсатора більший струму фази також в $\sqrt{2}$ рази, тобто ємність конденсатора повинна бути більшою від попереднього значення вдвічі.

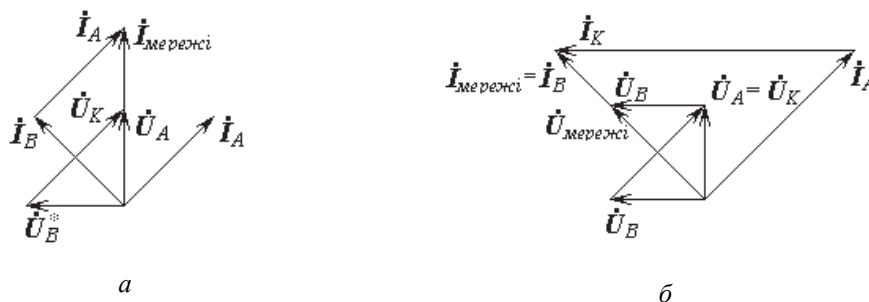


Рис. 2. Векторні діаграми напруги і струмів двигуна з регулюванням швидкості:
а – для схеми на більшу швидкість, б) – для схеми на меншу швидкість

Система рівнянь рівноваги напруги для схеми живлення двигуна при більшій швидкості обертання має вигляд [2]:

$$\begin{aligned}
 U_A &= I_{A1}Z_{A1} + I_{A2}Z_{A2}; \\
 U_B &= I_{B1}(Z_{B1} + Z_C) + I_{B2}(Z_{B2} + Z_C); \\
 I_{B1} &= jI_{A1} / k; \\
 I_{B2} &= -jI_{A2} / k; \\
 U_B &= U_B^* + U_K.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

У цих рівняннях $k = \frac{W_B}{W_A}$ – коефіцієнт трансформації, рівний відношенню ефективних чисел

витків фаз B і A , відповідно; $I_{A1}, I_{B1}, I_{A2}, I_{B2}$ - діючі значення симетричних складових струмів фаз A і B прямої (індекс 1) і зворотної (індекс 2) послідовності; $Z_{A1}, Z_{B1}, Z_{A2}, Z_{B2}$ опори фаз A і B обмотки двигуна струмам прямої (індекс 1) і зворотної (індекс 2) послідовності; Z_C - опір конденсатора, ввімкненого послідовно з фазою B ; $\dot{U}_A = \dot{U}_B = U$ - напруга живлення двигуна. Рішення системи рівнянь (1) відносно симетричних складових струму фази A прямої (індекс 1) і зворотної (індекс 2) послідовності дає:

$$I_{A1} = \frac{U(Z_{B2} + Z_C) - jkUZ_{A2}}{Z_{A1}(Z_{B2} + Z_C) + (Z_{B1} + Z_C)Z_{A2}}; I_{A2} = \frac{U(Z_{B1} + Z_C) + jkUZ_{A1}}{Z_{A1}(Z_{B2} + Z_C) + (Z_{B1} + Z_C)Z_{A2}}.$$

Система рівнянь рівноваги напруги для схеми живлення двигуна при меншій швидкості обертання має вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= I_{A1}Z_{A1} + I_{A2}Z_{A2}; \\ \dot{U}_B &= I_{B1}Z_{B1} + I_{B2}Z_{B2}; \\ U &= \dot{U}_A + \dot{U}_B; \\ \dot{U}_A &= I_k Z_C; \\ I_{B1} &= jI_{A1} / k; \\ I_{B2} &= -jI_{A2} / k; \\ I_B &= I_A + I_k; \\ I_A &= I_{A1} + I_{A2}; \\ I_B &= I_{B1} + I_{B2}. \end{aligned} \tag{2}$$

У цих рівняннях I_k - діюче значення струму конденсатора.

Рішення системи рівнянь (2) відносно симетричних складових струму фази A прямої і зворотної послідовності, при врахуванні, що $(1 - j/k) \cdot (1 - jk) + (1 + j/k) \cdot (1 + jk) = 0$, дає:

$$I_{A1} = \frac{-U(jkZ_{A2} + (jk - 1)Z_C)}{Z_{A1}Z_{B2} + Z_{B1}Z_{A2} + ((1 - jk)Z_{A1} + (1 - j/k)Z_{B2} + (1 + j/k)Z_{B1} + (1 + jk)Z_{A2})Z_C}$$

$$I_{A2} = \frac{U(jkZ_{A1} + (jk + 1)Z_C)}{Z_{A1}Z_{B2} + Z_{B1}Z_{A2} + ((1 - jk)Z_{A1} + (1 - j/k)Z_{B2} + (1 + j/k)Z_{B1} + (1 + jk)Z_{A2})Z_C}$$

Для випадку однакових фаз A і B їх параметри відносно прямої (індекс 1) і зворотної (індекс 2) послідовності однакові ($Z_{A1} = Z_{B1} = Z_{\phi 1}; Z_{A2} = Z_{B2} = Z_{\phi 2}$), а коефіцієнт трансформації $k = 1$. Тоді симетричні складові струму визначаються виразами:

$$I_{\phi 1} = \frac{U(Z_C - j(Z_C + Z_{\phi 2}))}{2(Z_{\phi 1}Z_{\phi 2} + Z_{\phi 1}Z_C + Z_{\phi 2}Z_C)}; I_{\phi 2} = \frac{U(Z_C + j(Z_C + Z_{\phi 1}))}{2(Z_{\phi 1}Z_{\phi 2} + Z_{\phi 1}Z_C + Z_{\phi 2}Z_C)}$$

Момент двигуна можна знайти по симетричних складових струму фази і активних складових еквівалентного опору $r_{RA1} = f(s)$ та $r_{RA2} = f(2-s)$ паралельних гілок схеми заміщення – гілки взаємодукції і гілки ротора для відповідних складових струму:

$$M = 9,55 \frac{2(I_{A1}^2 r_{RA1} - I_{A2}^2 r_{RA2})}{n_c}$$

Механічну характеристику асинхронного двигуна можна описати, використавши формулу Клосса для прямої та зворотної складових обертового магнітного поля:

$$M = M_{\max np} \frac{2}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} - M_{\max зб} \frac{2}{2 - \frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{2 - s}}, \text{ де } M_{\max np}, M_{\max зб} - \text{максимальні}$$

моменти, обумовлені прямою та зворотною складовими обертового магнітного поля, відповідно. На рис.3 приведені механічні характеристики насоса (крива 1) та двигуна.

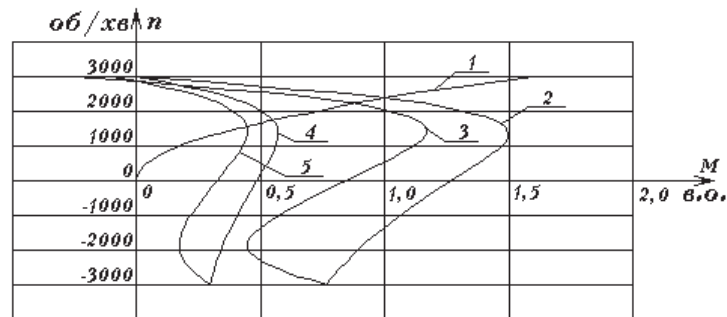


Рис. 3. Механічні характеристики насоса та асинхронного двигуна

При живленні по схемі для більшої швидкості і круговому полі з $M_{\max np} = 1,5$ у відносних одиницях характеристика двигуна має вигляд кривої 2, а при еліптичному полі з $M_{\max зб} = 0,5$ характеристика має вигляд кривої 3. При живленні по схемі для меншої швидкості і круговому полі з $M_{\max np} = 0,57$ характеристика двигуна має вигляд кривої 4, а при еліптичному полі з $M_{\max зб} = 0,19$ - характеристика має вигляд кривої 5. Більша швидкість двигуна становить 2370 об/хв., а менша – 1580 об/хв. Діапазон регулювання швидкості – 1,5.

Висновки

Бажано, при регулюванні швидкості збільшенням ковзання двигуна, здійснювати перемикання витків робочої та допоміжної фаз таким чином, щоб обертове магнітне поле було наближене до кругового як при одній так і при іншій швидкості. Цього можна досягти застосуванням додаткової ємності, постійно ввімкненої паралельно робочій фазі. На роботу при більшій швидкості додаткова ємність не впливає.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеєва и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с. ил.
2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. Учебник для вузов. – М.: «Высш. школа», 1976. – 416 с. с ил.

Надійшла