

Лекция № 13

Будова частотно-регульованих двигунів

Номінальні значення частоти і швидкості можна вибирати максимально наближеними до оптимальних з погляду отримання мінімальної маси, вартості, габаритних розмірів і його економічної роботи в заданому діапазоні регулювання.

Частотно-регульовані двигуни виконують на основі двигунів загального призначення з урахуванням максимальної уніфікації основних конструктивних елементів. При цьому змінюють магнітопроводи, обмотки статора і ротора і підшипникові вузли. У двигунах передбачають незалежну вентиляцію, оскільки при самовентиляції тепловий режим машини при низькій частоті обертання різко погіршується, і виведення другого кінця валу для розміщення давача частоти обертання.

Основні конструктивні заходи направлені на те, щоб зменшити додаткові втрати і полягають у наступному:

1. Двигуни виконують із збільшеним повітряним проміжком в порівнянні з двигунами загального призначення. У двигунах з меншим числом полюсів, а також з більшою кратністю максимального моменту повітряний проміжок повинен бути більшим.

2. Обмотку статора виконують як з діаметральним кроком, так і з вкороченим. Діаметральна обмотка дозволяє отримати більшу потужність при заданих довжині і діаметрі статора, а обмотка зі скороченим кроком – зменшення активних і індуктивних опорів при заданій довжині статора і менший виліт лобових частин. Діаметральну обмотку доцільно застосовувати в двигунах з відносно великим значенням відношення l/τ , при якому довжина пазової частини обмотки більше лобової частини, а також в двигунах з кратністю максимального моменту $k_m < 2,5$.
3. Пази статора виконують напіввідкритими або відкритими, і в них розташовують прямокутні провідники з метою отримання максимального заповнення паза. Цим досягається зменшення активного опору обмотки, а значить, електричних втрат. При цьому підвищується електрична міцність обмотки, а отже, надійність машини. Із-за більшого повітряного проміжку вплив відкриття пазів на пульсацію поля і поверхневі втрати, а також на збільшення еквівалентного повітряного проміжку проявляються у меншій мірі, чим в двигунах загального призначення.
4. Вибір форми паза ротора проводиться на підставі отримання мінімально можливих активних і індуктивних опорів обмотки, що забезпечує зменшення втрат і підвищення максимального моменту. Немає необхідності заглиблювати пази, їх слід виконувати по можливості широкими. Допускається більше насичення зубців, оскільки збільшення магнітного опору при більшій величині повітряного проміжку приводить до незначного погіршення коефіцієнта потужності, але за те до підвищення максимального моменту.
5. *Найбільш ефективною мірою для зменшення електричних втрат є виконання мідної короткозамкненої обмотки ротора.*

Основи векторного керування асинхронних двигунів

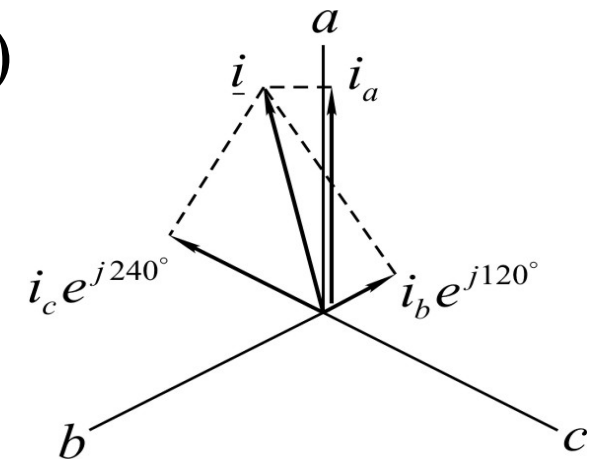
Розкладання струму на складові, що створюють магнітний потік і момент, характерне для векторного керування асинхронних двигунів. Проте це розкладання можна здійснити в розрахунковій моделі, в якій застосовують рівняння узагальненої електричної машини.

У повітряному проміжку трифазної асинхронної машини у процесі живлення обмотки статора симетричною трифазною напругою в результаті дії МРС усіх трьох фаз виникає обертова сумарна МРС постійної амплітуди, яка дорівнює $3/2$ амплітуди МРС однієї фази.

Для асинхронної машини замість МРС вводиться поняття фіктивного просторового (сумарного) вектора результуючого струму статора, який обертається з постійною частотою та визначається миттєвими значеннями фазних струмів:

$$\underline{i} = \frac{2}{3} (i_a + \underline{a} i_b + \underline{a}^2 i_c)$$

де \underline{a} , \underline{a}^2 – поворотні множники, $\underline{a} = e^{j120^\circ}$; $\underline{a}^2 = e^{j240^\circ}$



Виходячи із даних миттєвих значень струмів фаз i_a , i_b , i_c визначається просторовий вектор \underline{i} , виходячи із умови:

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

Далі, згідно будуються вектори $i_b e^{j120^\circ}$ та $i_c e^{j240^\circ}$. Сума побудованих векторів дає вектор $3/2 \underline{i}$.

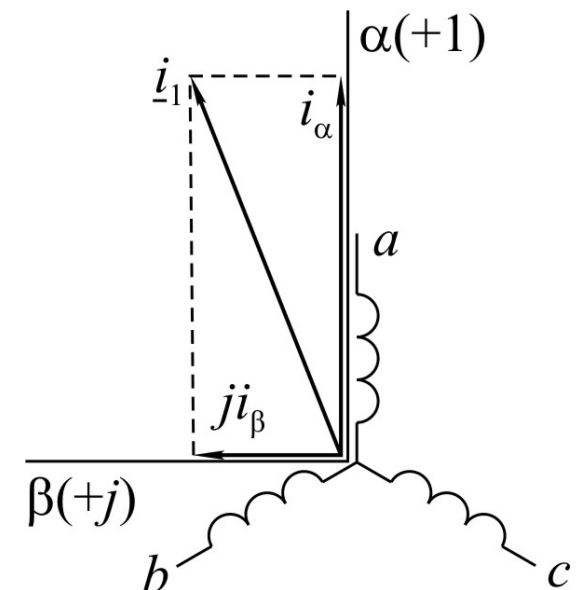
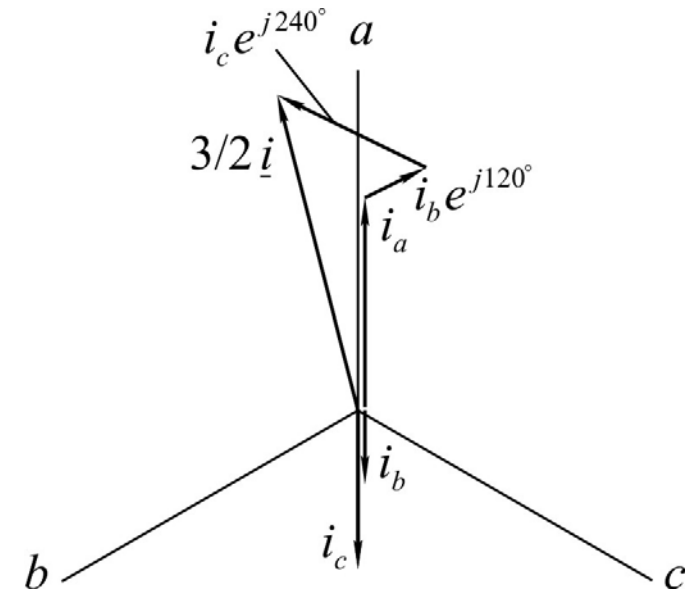
У розрахунковому алгоритмі має бути підпрограма, в якій за миттєвими значеннями струмів визначається просторовий вектор струму для кожного моменту часу.

Результуючий вектор струму \underline{i} можна розкласти за напрямками комплексних осей координат $(+1, +j)$ на дійсну i_α та уявну i_β складові:

$$\underline{i}_1 = i_{1\alpha} + j i_{1\beta} \quad (6)$$

де $i_{1\alpha} = \text{Re}(\underline{i}_1)$; $i_{1\beta} = \text{Im}(\underline{i}_1)$, переходом від трифазної машини до двофазної маємо:

$$i_\alpha = i_a; \quad i_\beta = (i_b - i_c) / \sqrt{3}$$



У розрахунковому алгоритмі має бути підпрограма, яка дає можливість визначити складові комплексного вектора для кожного моменту часу.

Аналогічно визначається напруга \underline{u}_1 і потокозчеплення $\underline{\Psi}_1$ обмотки статора та напруга \underline{u}_2 і потокозчеплення $\underline{\Psi}_2$ обмотки ротора у вигляді складових за осями α і β .

$$\begin{aligned}
 \underline{u}_1 &= \underline{\square}_1 \square_1 + d\underline{\Psi}_1/d\square ; \\
 \underline{u}_2 &= \underline{\square}_2 \square_2 + d\underline{\Psi}_2/d\square ; \\
 \underline{\Psi}_1 &= \Psi_{1\alpha} + j\Psi_{1\beta} ; \\
 \underline{\Psi}_2 &= \Psi_{2\alpha} + j\Psi_{2\beta} ; \\
 u_{1\alpha} &= \square_{1\alpha} \square_1 + d\Psi_{1\alpha}/d\square \\
 u_{1\beta} &= \square_{1\beta} \square_1 + d\Psi_{1\beta}/d\square ; \\
 u_{2\alpha} &= \square_{2\alpha} \square_2 + d\Psi_{2\alpha}/d\square - \omega\Psi_{2\beta} ; \\
 u_{2\beta} &= \square_{2\beta} \square_2 + d\Psi_{2\beta}/d\square - \omega\Psi_{2\alpha} .
 \end{aligned} \tag{a}$$

Незалежно від вибраної системи координат :

$$\begin{aligned}
 \underline{\Psi}_1 &= L_1 \underline{i}_1 + L_m \underline{i}_2 = \underline{\Psi}_{11} + \underline{\Psi}_{12} ; \\
 \underline{\Psi}_2 &= L_m \underline{i}_1 + L_2 \underline{i}_2 = \underline{\Psi}_{21} + \underline{\Psi}_{22}
 \end{aligned}$$

де L_m – взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора; L_1 і L_2 – індуктивності розсіювання обмоток статора й ротора.

При використанні нерухомої системи координат ротора ЕРС ротора розкладається на дві складові:

перша – $d\Psi_2/d\omega$, пов'язана зі зміною потокозчеплення у часі внаслідок зміни у часі струмів, називається *ЕРС трансформації*;

друга – $\omega\Psi_2$, пов'язана зі зміною потокозчеплення внаслідок обертання ротора, називається *ЕРС обертання*.

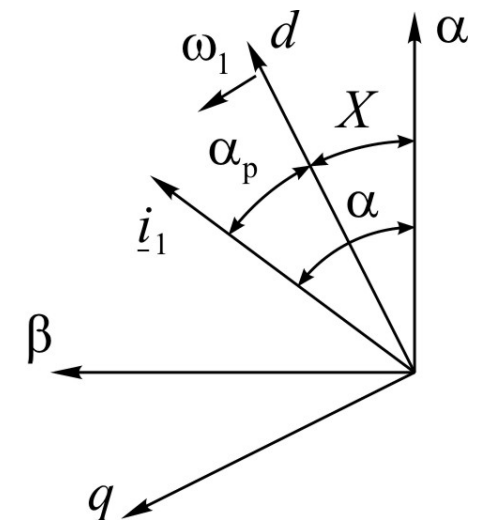
Наведеному розкладанню результуючих векторів струмів та напруг статора і ротора асинхронної машини можна дати таке фізичне тлумачення: трифазна електрична машина замінюється двофазною, *узагальненою електричною машиною*, що відповідає електричній машині з однією парою полюсів і двома обмотками як на статорі, так і на роторі, розміщеними на взаємно-перпендикулярних осях і нерухомими одна відносно одної.

Для спрощення моделі керування частотою обертання асинхронних двигунів переходять до обертової системи координат,

що обертається із синхронною частотою (осі d і q).

Нехай X кут між відповідними осями нерухомої (α , β) та обертової (d , q) системами координат.

Похідна від цього кута dX/dt є кутовою швидкістю обертання потокозчеплення ротора та пов'язаної з ним системи координат d , q відносно статора.



Основою алгоритму є рівняння напруг (а), у яких за формулою (б) визначаються складові струмів за осями α і β , аналогічно напруг та потокозчеплень, повороти векторів, а також рівняння моментів, які складаються на підставі рівнянь узагальненої електричної машини.

Для практичної реалізації система керування асинхронним двигуном повинна мати такі блоки:

- програма, що задає потрібну закономірність регулювання частоти обертання;
- модуль для розкладання струму статора на складові;
- регулятори складових струму статора;
- модуль для розкладання напруги статора на складові;
- блоки для виміру частоти обертання та розрахунку кута повороту потоку;
- модуль для перетворення величини струму у площину просторового вектора та повороту вектора в системі обертових координат ротора;
- модуль для повороту вектора розрахованої напруги у нерухому систему координат і модулятор для створення пульсацій несучої частоти;
- модуль визначення необхідного магнітного потоку машини на основі виміряних струмів статора і параметрів машини та розрахунку складової струму статора, що забезпечує визначений магнітний потік.