

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ШЛЯХОМ ЗМІНИ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ

Гайденко Ю.А., к.т.н., доцент, Жовнуватий О.С., магістр
КПІ імені Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. Необхідність впровадження дешевих та надійних технологій регулювання швидкості обертання роторів машин змінного струму є давно відомою проблемою. Особливо це стосується електричних машин які використовуються в побутових приладах, таких як, наприклад, побутові вентилятори вартість яких має бути доступною для більшості споживачів. Для подібних пристроїв найчастіше використовуються однофазні асинхронні двигуни (ОАД). Найкращим способом регулювання швидкості обертання роторів цих машин, як і загалом всього класу асинхронних машин, як відомо, є застосування перетворювачів частоти. Проте такий спосіб є надзвичайно дорогим, що робить його недоцільним для використання в дешевій побутовій техніці.

Іншим способом плавного регулювання швидкості обертання є зміна величини ковзання ротору шляхом регулювання напруги живлення при постійній частоті струму. Цей метод, на відміну від першого, хоч і не забезпечує дуже широкого діапазону регулювання швидкості обертання, проте є в десятки разів дешевшим і досить надійним.

Разом з тим, характеристики ОАД сильно залежать від величини напруги живлення, і при деяких її значеннях можуть не відповідати принципам енергозбереження і загрожувати надійному функціонуванню двигуна. Тому проблема визначення оптимального діапазону регулювання швидкості ротора для конкретних типів ОАД є надзвичайно актуальною.

Мета роботи – оцінка ефективності роботи однофазного АД в умовах регулювання швидкості обертання ротора зміною напруги живлення та визначення оптимального діапазону такого регулювання.

Об'єкт та методи дослідження. За дослідний зразок був взятий однофазний асинхронний мікродвигун, який використовується для приводу побутових каналних вентиляторів.

Дані двигуна: корисна потужність на валу $P_2 = 30\text{Вт}$; номінальна напруга $U = 220\text{В}$; номінальна швидкість обертання ротора $n_2 = 2920\text{об/хв}$; коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,6$.

Дослідження проводилось чисельними методами розв'язання диференціальних рівнянь. Для цього була розроблена спеціальна модель в програмному середовищі MATLAB-Simulink (рис. 1).

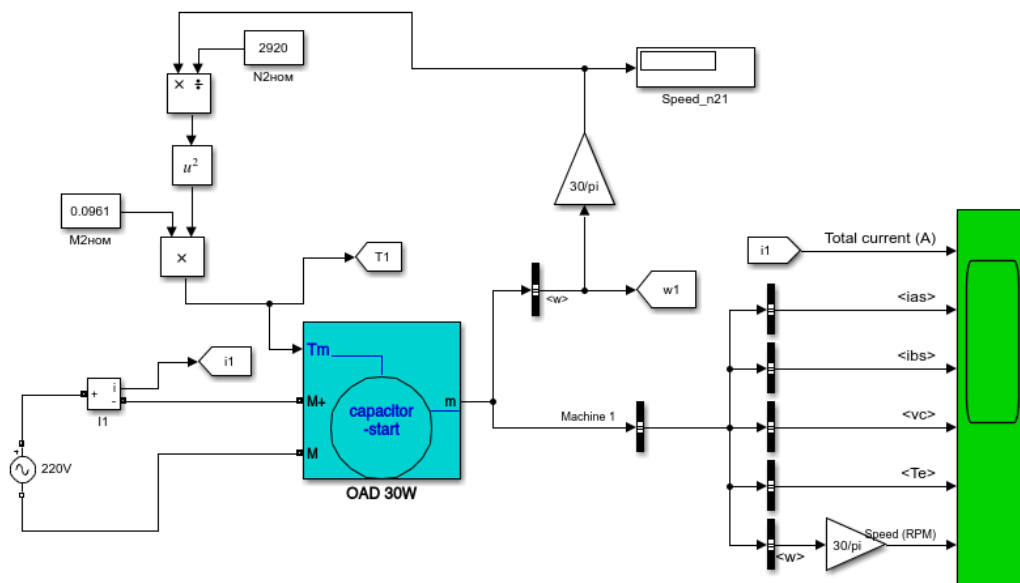


Рисунок 1 – Модель в середовищі MATLAB-Simulink для дослідження характеристик ОАД

Результати та обговорення. Як відомо, для створення обертового магнітного поля в ОАД обов'язковим є наявність фазозміщуючого елемента – як правило конденсатору. Разом з тим, існує ряд схем підключення конденсатору серед яких найчастіше використовуються дві: «з пусковим конденсатором (ПК)» та «з робочим конденсатором (РК)» (рис. 2).

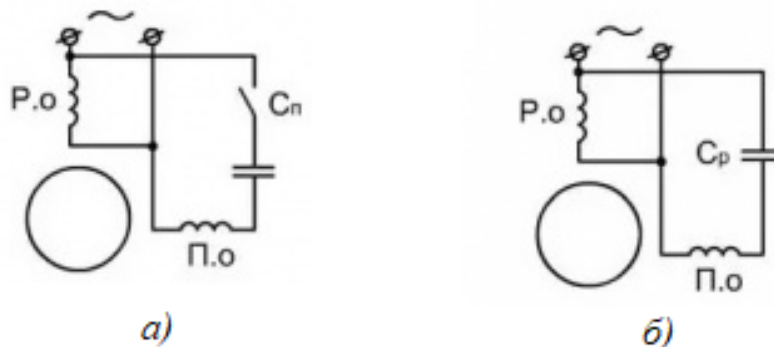


Рисунок 2 – Схеми підключення конденсатору в ОАД: а) з пусковим конденсатором; б) з робочим конденсатором (Позначення: C_n – пусковий конденсатор (ПК), C_p – робочий конденсатор (РК), $П.о.$ – пускова обмотка, $Р.о.$ – робоча обмотка).

Дослідження проводилось для обох зазначених схем з метою визначення оптимальних меж регулювання швидкості обертання ротора шляхом зміни напруги живлення обмотки статора.

Оскільки об'єкт дослідження призначений для використання в якості приводу вентилятора, то і представлена на рис. 1 модель також імітувала вентиляторний тип навантаження коли виконується рівність

$$M = M_{НОМ} \left(\frac{n_2}{n_{2,НОМ}} \right)^2,$$

де M і $M_{ном}$ – поточне та номінальне значення моменту; n_2 і $n_{2,ном}$ – поточна та номінальна величина швидкості обертання ротора.

На рис. 3 представлена залежність швидкості обертання ротора при зміні напруги живлення в діапазоні від 100 В до 220 В.

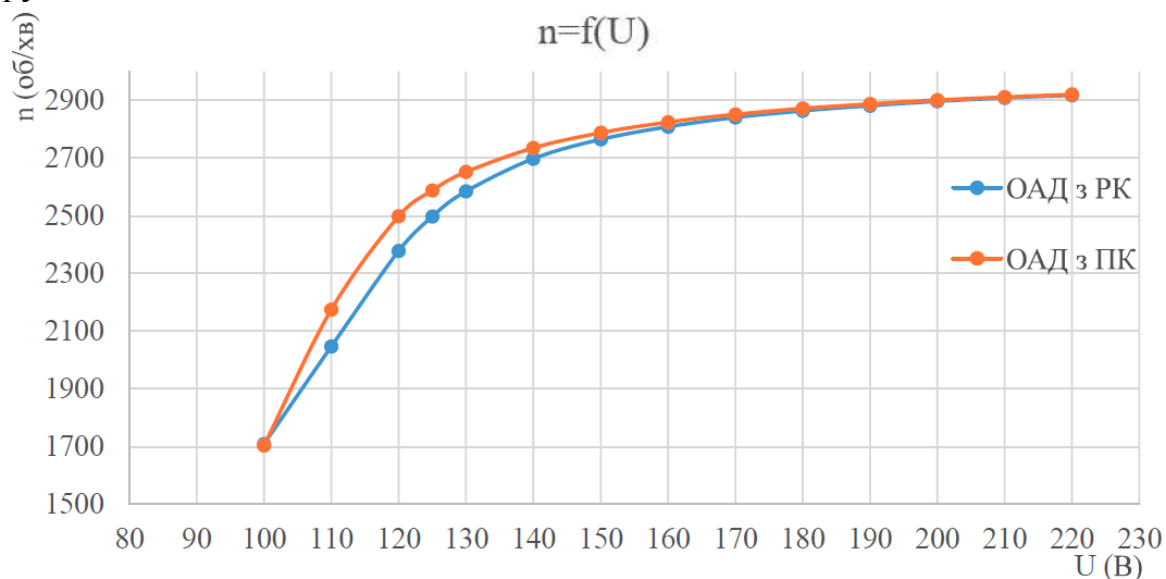


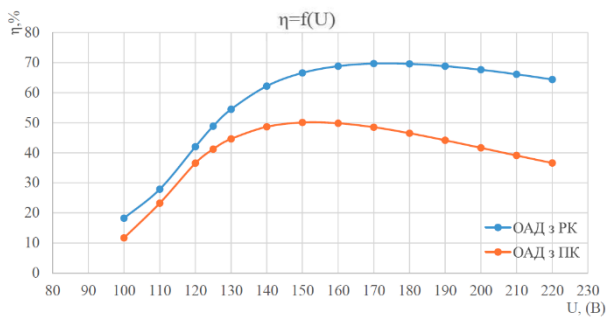
Рисунок 3 – Залежність швидкості обертання ротора ОАД з робочим конденсатором (РК) та пусковим конденсатором (ПК) при регулюванні напруги

Одержані залежності практично ідентичні для обох типів ОАД (схем включення конденсаторів). При цьому швидкість обертання ротора може змінюватись від 1700 об/хв (при $U = 110$ В) до 2920 об/хв (при $U = 220$ В). Таким чином діапазон регулювання швидкості обертання ротора складає 1220 об/хв, тобто 42% від номінальної швидкості. Подальше зменшення напруги живлення (менше 100 В) призводить до повільної зупинки ротора оскільки електромагнітний момент ОАД, який пропорційний квадрату напруги живлення, стає менше ніж момент навантаження.

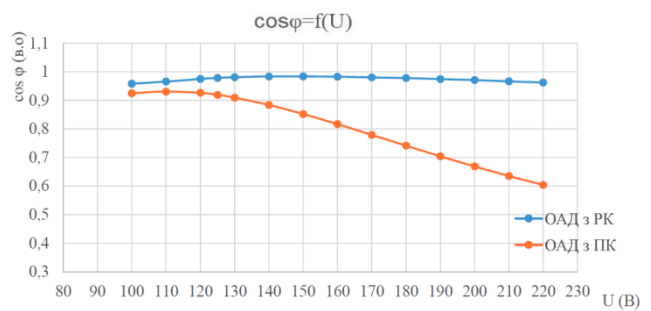
Після визначення допустимого діапазону регулювання напруги живлення (від 100 В до 220 В), були проаналізовані енергетичні характеристики ОАД для обох схем включення конденсатора. На рис. 4 представлені залежності коефіцієнта корисної дії (η) та $\cos \varphi$ при регулюванні напруги. А на рис. 5 представлені залежності сумарних втрат (у відносних одиницях) в ОАД і енергетичного коефіцієнту (ЕК, %) який є добутком ККД и $\cos \varphi$:

$$ЕК = \eta \cdot \cos \varphi .$$

Аналізуючи представлені залежності можна побачити суттєве збільшення електричних втрат в обмотках ротора і статора, що обумовлене збільшенням ковзання і, як наслідок, збільшенням струмів. Так, при напрузі 130 В струм в обмотці статора збільшується на 36% порівняно з його значенням при напрузі 220 В. На збільшення ковзання при пониженні напруги також впливає збільшення гальмівного моменту зворотної послідовності адже поле в ОАД еліптичне. Ці обставини зменшують ККД ОАД, що добре видно на рис. 4 (а).

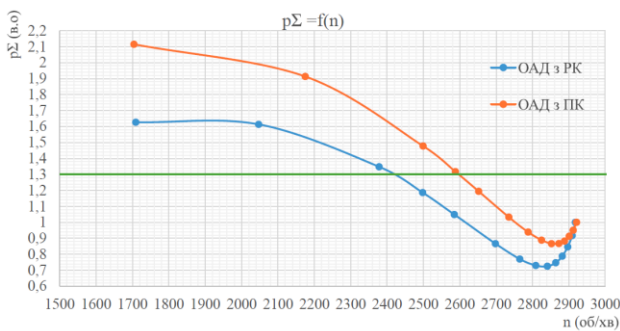


а)

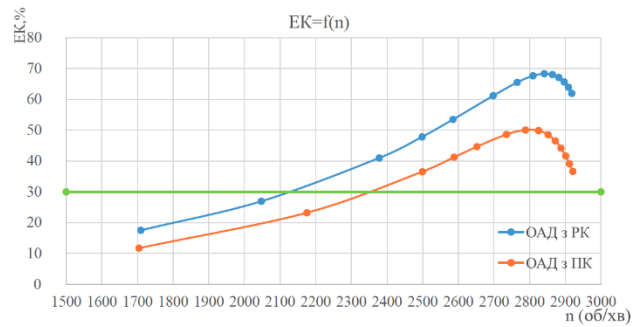


б)

Рисунок 4 – Вплив регулювання напруги живлення ОАД з робочим конденсатором (РК) та пусковим конденсатором (ПК) на: а) ККД; б) $\cos\varphi$.



а)



б)

Рисунок 5 – Вплив регулювання швидкості обертання ОАД з робочим конденсатором (РК) та пусковим конденсатором (ПК) на: а) сумарні втрати; б) енергетичний коефіцієнт (ЕК).

Якщо прийняти допустиме перевантаження ОАД при тривалій роботі в 30% від номіналу, що справедливо для двигунів даного типу, то можна визначити допустимий діапазон регулювання швидкості обертання ОАД з різними схемами (рис. 2):

- для **ОАД з пусковим конденсатором** діапазон регулювання швидкості від 1704 об/хв до 2921 об/хв, тобто 1217 об/хв, що складає 41,5% від $n_{2,ном}$;

- для **ОАД з робочим конденсатором** діапазон від 1709 об/хв до 2920 об/хв, тобто 1211 об/хв, що складає 41,4% від номінальної швидкості обертання.

Висновки: 1) Для вибору допустимого діапазону регулювання швидкості обертання ротора ОАД обов'язково потрібно враховувати тепловий стан машини обумовлений величиною електричних втрат. Збільшення зазначеного діапазону можна досягти шляхом закладання в двигуни ізоляційних матеріалів більшого класу нагрівостійкості. 2) ОАД з робочим конденсатором має кращі характеристики на всьому діапазоні регулювання швидкості обертання ротора порівняно з ОАД з пусковим конденсатором.

Перелік посилань

1. Лопухина Е.М., Самихина Г.С. Расчёт асинхронных микродвигателей однофазного и трёхфазного тока – М.: Госэнергоиздат, 1961 - 312с.
2. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах – М.: ИП Радио Софт, 2004. - 128 с.