

УДК 621.314.5

ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПІДМАГНІЧУВАННЯМ ДРОСЕЛІВ**Решетняк А.В., Некрасов А.В.****Кременчуцький державний політехнічний університет**

Вступ. Деякі технологічні механізми потребують застосування електроприводу зі стабілізацією моменту (волоочильні пристрої, шнеки, канатні дороги). Надійними і простими для цієї мети є системи з короткозамкненими асинхронними двигунами (АД), які живляться від індуктивно-ємнісних перетворювачів (ІСП) джерела напруги в джерело струму [1]. Схеми таких перетворювачів відомі: у трифазному варіанті вони мають три дроселі і три конденсатори, які налагоджені у резонанс (рис. 1) [2].

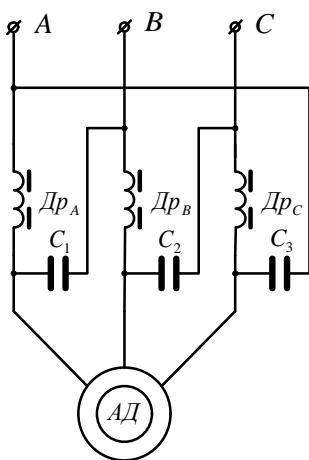


Рисунок 1 – Трифазна система живлення АД від ІСП

АД з короткозамкненим ротором, який живиться від системи стабілізованого струму, має більш жорстку механічну характеристику, що дозволяє деякі технічні задачі реалізовувати простіше і надійніше, ніж при живленні АД від джерела напруги. Але пусковий момент двигуна при живленні від джерела струму, в 10÷15 разів менший, ніж при живленні від джерела напруги [1]. Для збільшення пускового моменту в літературі пропонується підключити АД спочатку до джерела напруги, а по завершенні процесу пуску – до джерела струму, використовуючи при цьому пускачі [1]. Недолік такого рішення – наявність контактів в колі живлення АД: якщо технологічний механізм потребує частих режимів “пуск-зупинка-пуск”, то це зменшить надійність роботи системи за рахунок зносу контактів.

Мета роботи. Метою є розробка ІСП, у якому індуктивність дроселя можна змінювати шляхом підмагнічування його магнітопроводу, а також доказ можливості його використання для пуску АД, який живиться від джерела струму.

Матеріал та результати досліджень. При підмагнічуванні магнітопроводів дроселів ІСП їхній індуктивний опір x_{Dr} зменшується і статор дви-

гуна буде живитись від лінійної напруги через опір дроселів

$$Z = \sqrt{r_{Dr}^2 + x_{Dr}^2},$$

де Z - повний опір, r_{Dr} і x_{Dr} - активна та індуктивна складові опору дроселя. Змінюючи величину x_{Dr} шляхом підмагнічування дроселів, можна встановлювати пускові струм і момент такими, які потрібні для даного технологічного механізму і забезпечують тим самим безаварійність його роботи.

Змінюючи величину x_{Dr} шляхом підмагнічування дроселів, можна встановлювати пускові струм і момент такими, які потрібні для даного технологічного механізму і забезпечують тим самим безаварійність його роботи.

Конструктивно трифазний дросель з підмагнічуванням складається з двох однакових магнітопроводів, з'єднаних у верхній та нижній частинах перемичками з електротехнічної сталі. Робочих обмоток шість: вони розташовані на кожному із шести осердь і розраховані на половину лінійної напруги.

Обмотки підмагнічування розташовані на робочих осердях: на кожному з них, або так, щоб вони охоплювали по три осердя (рис. 2).

Індуктивність дроселів регулюється шляхом зміни зазору між Ш-подібними магнітопроводами і перемичками, які зображені на рисунку у верхній частині цих магнітопроводів.

На рис. 3 наведено фото дослідного зразка дроселя ІСП з підмагнічуванням.

Електрична схема з'єднань зображена на рисунку 4, де W_{P1} і W_{P2} – робочі обмотки, а $W_{П1}$ і $W_{П2}$ – обмотки підмагнічування: при проходженні постійного струму по цих обмотках в осердях створюється магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 , які їх підмагнічують, що призводить до зменшення індуктивності дроселів.

Цей принцип загальновідомий: він використовується, наприклад, для управління магнітними підсилювачами. Але принциповою різницею є те, що дроселі ІСП мають магнітний зазор d , а магнітні підсилювачі – ні. Тому струм, необхідний для насичення магнітопроводу дроселів, у сотні-тисячі разів більший, ніж для насичення магнітних систем без зазору. Постає задача вивчити принципові можливості технічної реалізації такого дроселя. Для цього розрахуємо параметри обмотки намаг-

нічування і величину струму, при яких буде насиченим осердя.

Для цього зобразимо магнітне коло підмагнічування (рис. 5) і скористаємося законом повного струму [4]:

$$2IW = \sum H_k l_k = 2(H_{др} l_{др} + H_{II} L_{II} + H_{II} d_{II} + H_d d), \quad (1)$$

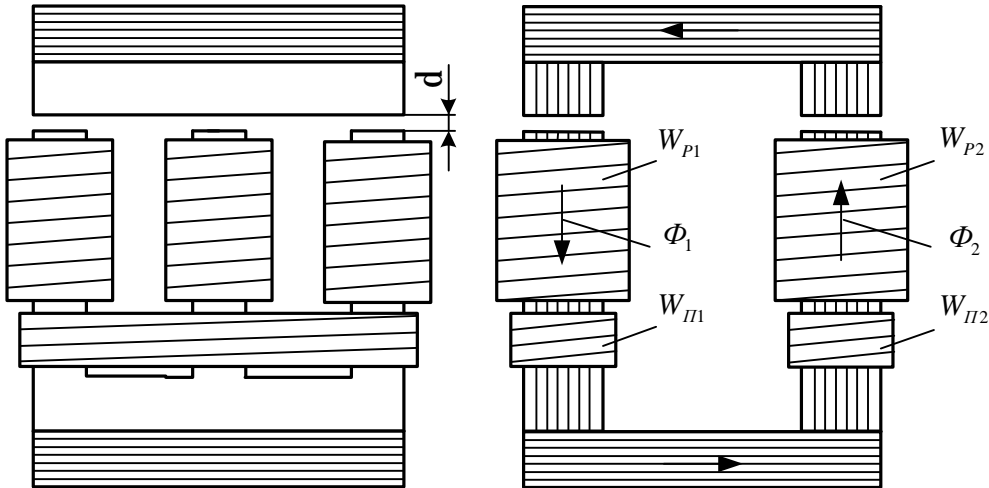


Рисунок 2 – Конструкція двох трифазних дроселів, що об’єднані магнітними перемичками



Рисунок 3 – Дросель ІСП з підмагнічуванням

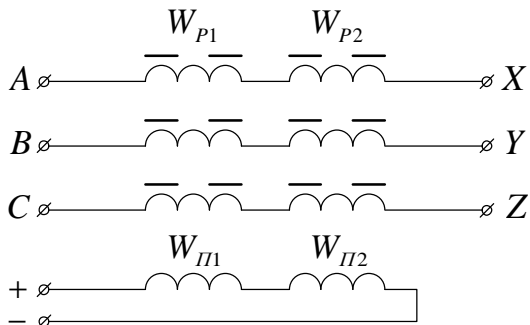


Рисунок 4 – Схема з’єднань обмоток дроселів

де $H_{др}$, H_{II} і H_d – напруженість магнітних полів в осердях дроселів, у перемичках та в зазорі;

$l_{др}$, l_{II} , d і d_{II} – середні довжини осердь дроселя, перемичок, зазору та сумарного зазору між пластинами верхньої та нижньої перемичок за рахунок ізоляції цих пластин.

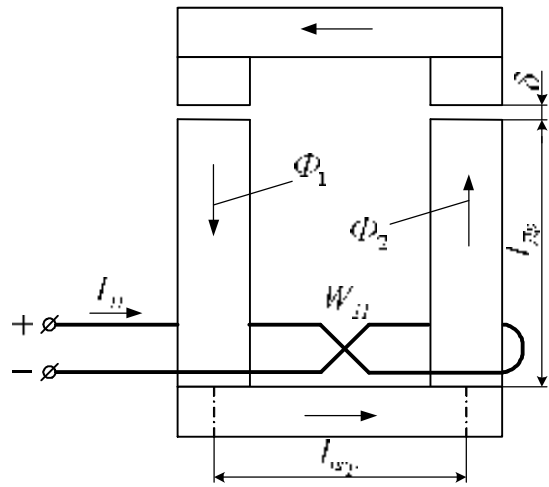


Рисунок 5 – Магнітне коло у магнітопроводі дроселя при проходженні струму по обмотці підмагнічування

Якщо прийняти величину ізоляції, рівну 0,06 [3] пакету пластин “а”, то

$$s_{II} = 0,06 \frac{a}{2} = 0,03a.$$

Струм намагнічування із (1):

$$I = \frac{1}{W} (H_{др} l_{др} + H_{II} l_{II} + H_{II} d_{II} + H_d d). \quad (2)$$

Для насичення магнітопроводів необхідно створити індукцію $1,5 \div 1,6 \text{ Тл}$ (для сталі 3413). Для цього необхідна напруженість в осердях $H = 1000 \div 2000 \text{ А/м}$ [3]; у повітряному зазорі – $H_d = 0,8 \times 10^6 \text{ В}$ [4].

Якщо прийняти $B = 1,5 \text{ Тл}$, то

$$H_d = 0,8 \times 10^6 \times 1,5 = 1,4 \times 10^6 \text{ А/м.}$$

Визначимо величину струму підмагнічування для зразку дроселя з наступними характеристиками

$$l_{dp} = 0,15 \text{ м}; l_{п} = 0,1 \text{ м}; d = 2 \text{ мм} = 2 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$W = 100; a = 40 \text{ мм} = 4 \times 10^{-2} \text{ м}; B = 1,5 \text{ Тл}:$$

$$I = \frac{1}{100} (1000 \times 0,15 + 1000 \times 0,1 + 0,03 \times 4 \times 10^{-2} \times 1,4 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-3}) = 47 \text{ А.}$$

Таким чином, для насичення магнітної системи постійний струм в обмотці з $W = 100$ витків повинен бути рівним приблизно 50А. Якщо прийняти коефіцієнт розсіювання рівним 2, то цю цифру необхідно подвоїти. Для постійного протікання такого струму перетин проводу повинен бути рівним 30÷40мм. Зрозуміло, що розмістити обмотку з $W = 100$ при такому перетині у вікні магнітопроводу в нашому прикладі неможливо.

Однак ця обмотка використовується тільки під час запуску АД, тобто максимум 10÷20с. За таких умов щільність струму в обмотці можна збільшити в багато разів. Ця щільність обмежена нагрівом обмотки: температура не повинна бути більшою, ніж допустима для обмотувального проводу, наприклад 155°C (емалева ізоляція з температурним індексом 155). Температуру нагріву при короткочасному протіканні струму можливо визначити за формулою [5]:

$$t = \frac{P}{cM} t, \quad (3)$$

де P – потужність втрат у провіднику при проходженні по ньому струму;

c – питома теплоємність;

M – маса котушки.

На рис. 6 побудовані експериментальні залежності температури проводу котушки від часу при різних величинах струму підмагнічування, які зняті для котушки масою 0,2кг з проводом діаметром 1мм.

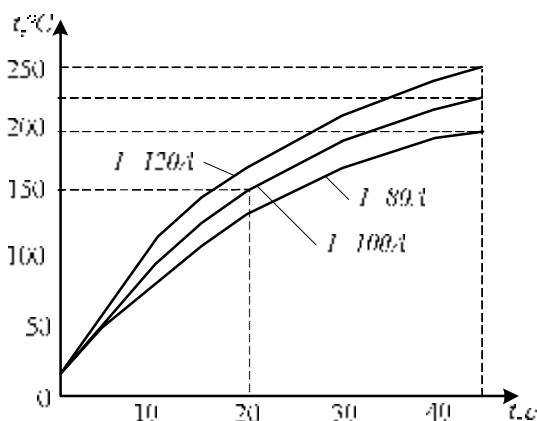


Рисунок 6 – Залежність температури проводу котушки від часу при різних величинах струму

З рис. 6 видно, що при струмі 100А котушка нагрівається до температури 150°C за 20с, тобто її можна використати для підмагнічування дроселя. В якості джерела струму можливе використання як окремого випрямляча, так і конденсатора, який попередньо заряджений до напруги U_0 (рис. 7). Можливість короткочасного протікання струму з високою щільністю в проводах обґрунтована також в [6].

При замиканні ключа K_1 конденсатор заряджається, а ключа K_2 – розряджається на обмотку дроселя, яка має активний опір r_k та індуктивність L . Для зменшення сталої часу послідовно з дроселем ввімкнений додатковий опір $r_{доп}$.

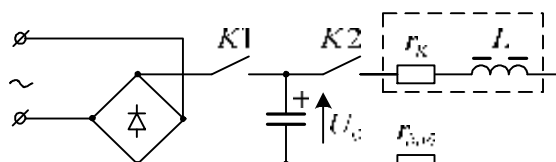


Рисунок 7 – Однофазна схема для ілюстрації розряду конденсатора

Для ланки (рис. 7) справедливе рівняння [4]

$$\frac{du_c^2}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC} u_c = 0,$$

де $r = r_k + r_{доп}$.

Характеристичне рівняння

$$p^2 + \frac{r}{L} p + \frac{1}{LC} = 0$$

має два корені

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}. \quad (4)$$

Розряд конденсатора повинен бути аперіодичним (рис. 8), тому $r = r_k + r_{\text{доо}}$ вибирається таким, щоб $r > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

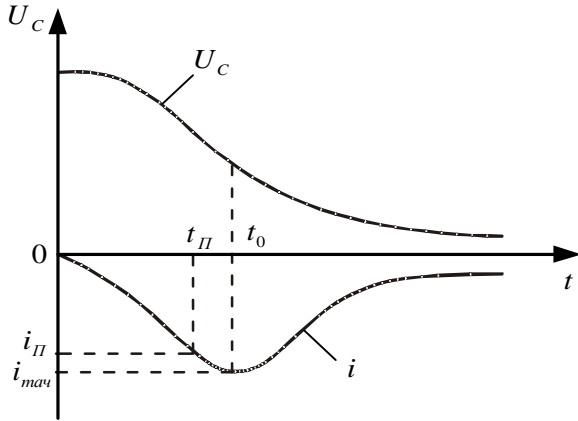


Рисунок 8 – Графіки залежності напруги на конденсаторі і струму в обмотці підмагнічування дроселя

Параметри ланки (рис. 7) і величину U_0 необхідно вибрати такими, щоб при розряді конденсатора була одержана потрібна для намагнічування дроселя величина струму в момент t_0 з тим, щоб АД запустився в деякий момент $t_{\text{П}}$ (рис. 8).

Ці значення можна визначити за формулами [4]

$$t_0 = \frac{\ln p_2 / p_1}{p_1 - p_2};$$

$$i(t_0) = -\frac{U_0}{2L\sqrt{r^2 - \frac{1}{LC}}}(e^{p_1 t_0} - e^{p_2 t_0}).$$

Для експериментального зразка дроселя і АД потужністю 1,5кВт при $2t_0 = 0,5\text{с}$; $r_k + r_{\text{доо}} = 1\text{Ом}$; $L = 0,1\text{Гн}$ були одержані значення $C = 0,5\text{Ф}$; $i(t_0) = 40\text{А}$. Під час експериментів ці параметри забезпечили запуск АД при живленні його від джерела струму як при холостому ході, так і при навантаженні. Відповідні залежності приведені на рис. 9, криві 1 і 2.

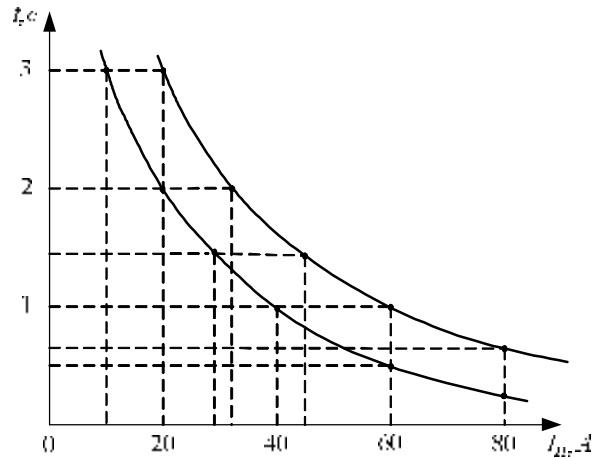


Рисунок 9 – Залежність часу запуску АД від струму підмагнічування

Висновки. У роботі доведено, що простим засобом збільшення пускового моменту АД, який живляться від ІСП, є підмагнічування магнітопроводів дроселів цих ІСП. Для цього необхідно дроселі виконати з додатковою обмоткою, яка при запуску підключається до джерела постійної напруги або до зарядженого конденсатора. Параметри ланки і джерела живлення вибираються такими, щоб струм в додатковій обмотці намагнічував сердечники магнітопроводів і зменшував таким чином індуктивний опір дроселів до необхідної величини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков И.В., Исаков В.Н. Электроприводы со стабилизированным током в силовых цепях. М.: "Радио и связь", 1991. – 215с.
2. Волков И.В., Губаревич В.Н., Исаков В.Н., Кабан В.П. Принципы построения и оптимизация индуктивно-ёмкостных преобразователей. Киев: Наукова думка, 1981. – 176с.
3. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. Москва, "Высшая школа", 1986. – 352с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Москва, "Высшая школа", 1977. – 775с.
5. Загірняк М.В., Кузнецов Н.И. Электрические аппараты. Кременчуг, 2005. – 319с.
6. Котов В.Э. „К расчету температурного поля проводника при его медленном нагреве током высокой плотности”, Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. "Естественные науки", 1(6), 2001, с.51-60.

Стаття надійшла 09.03.2006р.

Рекомендовано до друку д.т.н, професор Андрусенко О.М.