

*Магістр Карапка В.Д.
(ДП «Первомайськвугілля» м. Первомайськ, Україна)*

ЕНЕРГЕТИЧНА ДІАГРАМА АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНЕНОГО ДВИГУНА З КАСКАДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Приведена схема заміщення і описана енергетична діаграма каскадного короткозамкненого асинхронного двигуна з суміщеними обмотками.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.

В каскадних асинхронних двигунах зі суміщеними магнітопроводами та обмотками за рахунок одночасного існування магнітних потоків різних полюсностей і одночасного протікання в обмотках статора і ротора струмів різних частот більш ефективно використовуються електромагнітні матеріали, що дає можливість значно покращити масогабаритні показники таких двигунів в порівнянні з асинхронними двигунами звичайної конструкції.

Аналіз досліджень і публікацій. Каскадні асинхронні двигуни відомі давно [1,2], але каскадні двигуни з суміщеними магнітопроводами і обмотками виникли порівняно недавно [3], тому потребують більш детального вивчення.

Постановка задачі. Потрібно показати, що з допомогою схеми заміщення каскадного асинхронного двигуна з короткозамкненою суміщеною обмоткою на роторі можливе знаходження струмів в обмотках. З допомогою енергетичної діаграми, яка розглядається, вираховується електромагнітний момент і корисна механічна потужність.

Виклад матеріалу і його результати. Каскадний асинхронний двигун складається з двох асинхронних машин, ротори яких з'єднуються механічно і електрично, при цьому магнітне поле ротора другої машини повинне обертатись зустрічно магнітному полю ротора першої машини. Практична реалізація каскадних умов роботи асинхронного двигуна можлива, якщо дві асинхронні машини каскаду будуть об'єднані в одній машині, із спільним магнітопроводом і спільними (суміщеними) обмотками. Щоб дві асинхронні машини могли працювати в спільному магнітопроводі, вони повинні бути різнополюсні.

Короткозамкнену обмотку ротора необхідно сконструювати так, щоб при включенні статорної обмотки в мережу і утворенні $2p_1$ – по-

люсного поля короткозамкнена обмотка ротора крім $2p_1$ – полюсного поля могла утворювати ще й зворотно-обертове $2p_2$ – полюсне поле. Фази статорної обмотки повинні бути виконані із паралельних віток, які з'єднують так, щоб вони утворювали короткозамкнені контури відносно $2p_2$ – полюсного поля. При такому виконанні статорну обмотку можна вважати суміщеною $2p_1/2p_{2кз}$ - полюсною обмоткою.

Для двополюсної обмотки $2p_1=2$ найближче можливе число полюсів $2p_2$ -полюсного поля $2p_2=4$. Обмотку необхідно виконати двошаровою з кроком $y=0,75\tau_1$. На рис.1а показані $2p_1$ та $2p_2$ -полюсні поля, а на рис. 1б – одна фаза $2p_1$ -полюсної обмотки.

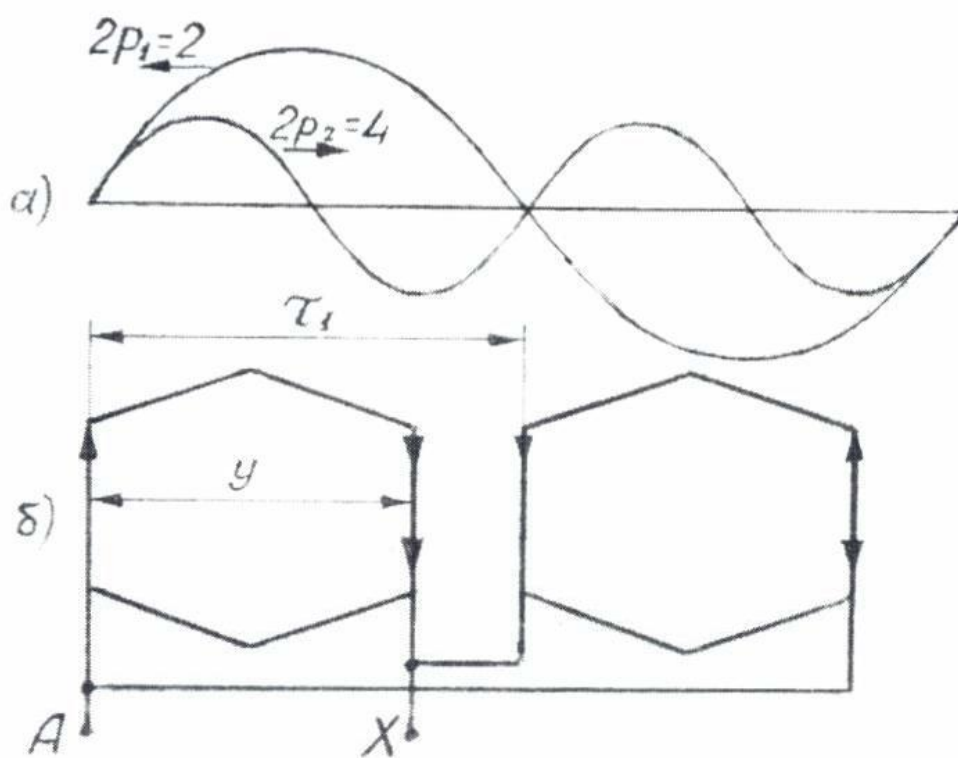


Рисунок 1 – а) $2p_1$ та $2p_2$ -полюсні поля; б) одна фаза $2p_1$ -полюсної обмотки.

Напрямок струму, що утворює $2p_1$ -полюсне поле, показаний стрілками у верхній частині пазів, напрям ЕРС від $2p_2$ – полюсного поля – у нижній частині пазів. Під дією ЕРС буде протікати струм I_4 в короткозамкненому контурі, утвореному з паралельно включених котушкових груп. Обмотковий коефіцієнт $k_{об.4}$ – це відношення геометричної суми ЕРС від $2p_2$ -полюсного поля у всіх провідниках паралельних віток фази статорної обмотки до їх арифметичної суми, $k_{об.4}=0,5$.

Для $2p_1/2p_2=4/2$ – полюсної одношарової обмотки схема показана на рис. 2б. На рис. 2а показані $2p_1$ та $2p_2$ -полюсні поля. Ця обмотка виконується з діаметральним кроком $y=\tau_1$. Обмотковий коефіцієнт $k_{об.4}$ дорівнює 0,5, $k_{об.4}=0,5$.

Для $2p_1/2p_2=4/2$ – полюсної двошарової обмотки схема показана на рис. 2в. Цю обмотку бажано виконувати з кроком y , максимально наближеним до τ_1 . При $y=\tau_1$, $k_{об.4}=0,5$.

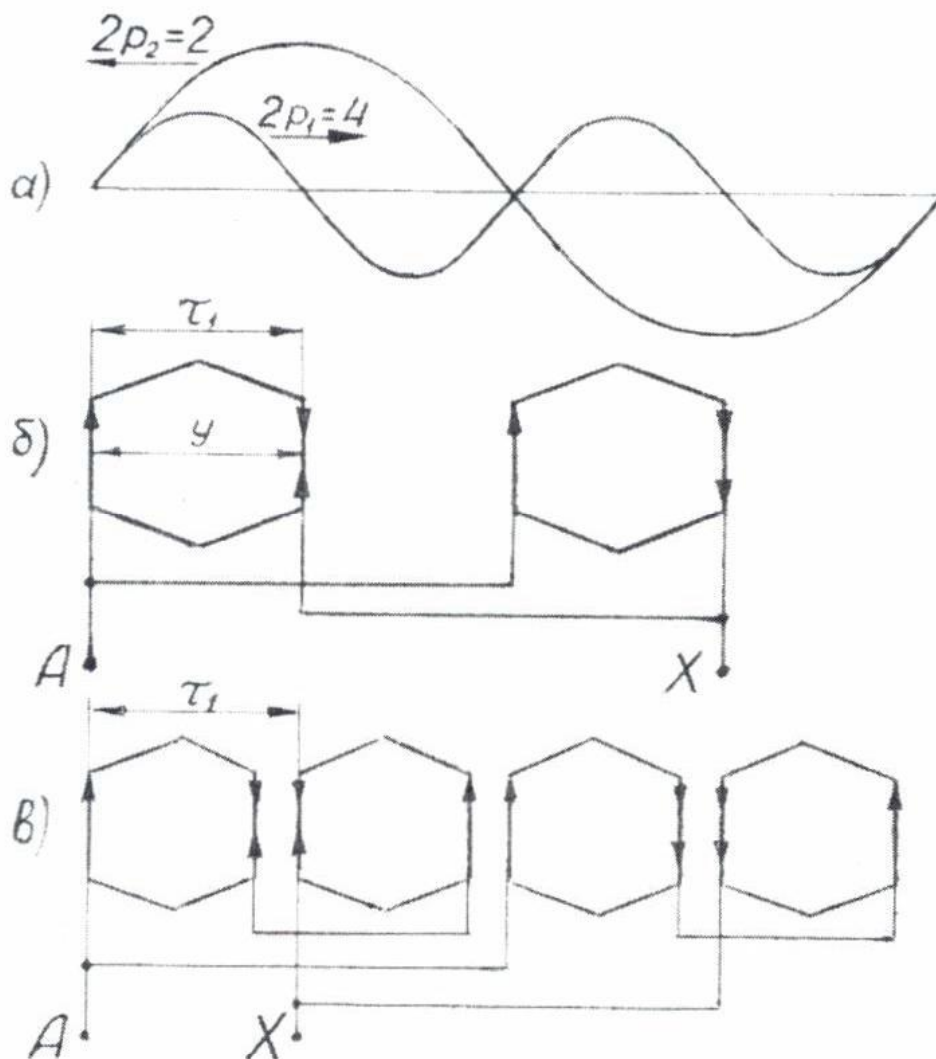


Рисунок 2 – а) $2p_1$ та $2p_2$ -полюсні поля; б) схема для $2p_1/2p_2=4/2$ – полюсної одношарової обмотки; в) схема для $2p_1/2p_2=4/2$ – полюсної двошарової обмотки.

Роторна короткозамкнена обмотка буде суміщеною $2p_1/2p_2$ -полюсною обмоткою, тобто поряд з $2p_1$ -полюсним полем буде утворю-

вати зворотно-обертове поле, якщо її виконати із (p_1+p_2) короткозамкнених контурів

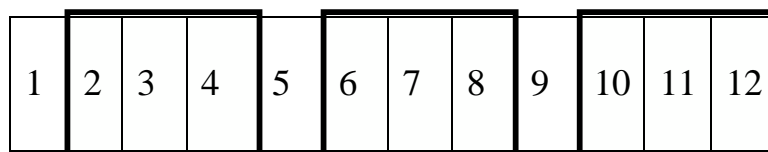


Рисунок 3 – Суміщені роторна $2p_1$ та $2p_2$ -полюсна обмотка; $2p_1=2$, $2p_2=4$, або $2p_1=4$, $2p_2=2$.

Показана на рис. 3 обмотка виконана з трьох короткозамкнених катушок і укладена в 12-пазний магніто провід. Така обмотка взаємодіє як з двополюсним магнітним полем статора, утворюючи при цьому чотириполюсне зворотнообертове поле, так і з чотириполюсним полем, утворюючи двополюсне зворотнообертове поле.

Щоб визначити струми в суміщених обмотках, можна скористатися схемою заміщення, яка приведена в [3] для безконтактного асинхронного перетворювача частоти.

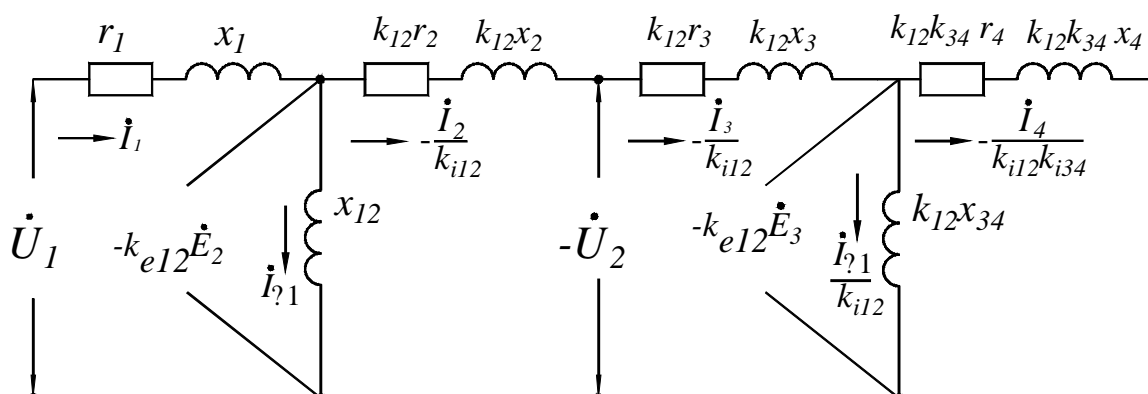


Рисунок 4 – Схема заміщення каскадного асинхронного двигуна.

В каскадних асинхронних двигунах можливо вимірювати тільки струм I_1 , що споживається статорною обмоткою з мережі. Всі інші струми: струми в роторі I_2 і I_3 , струм в паралельних вітках статорної обмотки I_4 вираховуються, використовуючи схему заміщення.

Так, нехтуючи струмами намагнічування

$$I_1 = \frac{I_2}{k_{i12}} ,$$

звідки

$$I_2 = I_3 = I_1 \cdot k_{i12} \quad , \quad [1]$$

а також

$$\frac{I_2}{k_{i12}} = \frac{I_3}{k_{i12}} = \frac{I_4}{k_{i12} \cdot k_{i34}} \quad ,$$

звідки

$$I_4 = I_2 \cdot k_{i34} = I_1 \cdot k_{i12} \cdot k_{i34} \quad , \quad [2]$$

де коефіцієнти приведення

$$k_{i12} = \frac{w_1 k_{об.1}}{w_2 k_{об.2}}$$
$$k_{i34} = \frac{w_3 k_{об.3}}{w_4 k_{об.4}}$$

Знаючи струми, вирахуємо втрати в міді і з допомогою енергетичної діаграми знайдемо корисну механічну потужність.

Індекси 1,4 відносяться до статорної обмотки, яка утворює відповідно поля числом полюсів $2p_1$ і $2p_2$; індекси 2,3 – до роторної обмотки, яка утворює поля такої ж полюсності $2p_1$ і $2p_2$.

$P_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$ -- активна потужність, що споживається двигуном з мережі.

Вона частково втрачається в статорній обмотці, це втрати в міді $p_{м1} = I_1^2 \cdot r_1$ та сталі $p_{ст1}$.

$P_{ем1} = P_1 - (p_{м1} + p_{ст1})$ -- електромагнітна потужність, яка передається через повітряний зазор δ від статора в ротор в першому каскаді.

Потім $P_{ем1}$ частково витрачається у вигляді втрат в міді $p_{м2}$ другої обмотки ротора числом пар полюсів $2p_1$, втрат в сталі ротора $p_{ст2}$ від потоку Φ_1 , який утворюється статорною $2p_1$ -полюсною обмоткою, втрат в міді $p_{м3}$ ротора обмотки, яка утворює $2p_2$ -полюсне поле, і втрат в сталі ротора $p_{ст3}$ від потоку Φ_2 , який утворюється роторною $2p_2$ -полюсною обмоткою

$$p_{м2} = I_2^2 \cdot k_{i21}^2 \cdot k_{i12} \cdot r_2 \quad ;$$

$$p_{м3} = I_3^2 \cdot k_{i21}^2 \cdot k_{i12} \cdot r_3 \quad ,$$

де

$$k_{i12} = k_{i12} \cdot k_{e12} \left(\frac{w_1 \cdot k_{об1}}{w_2 \cdot k_{об2}} \right)^2 \cdot \frac{f_1}{f_2}$$

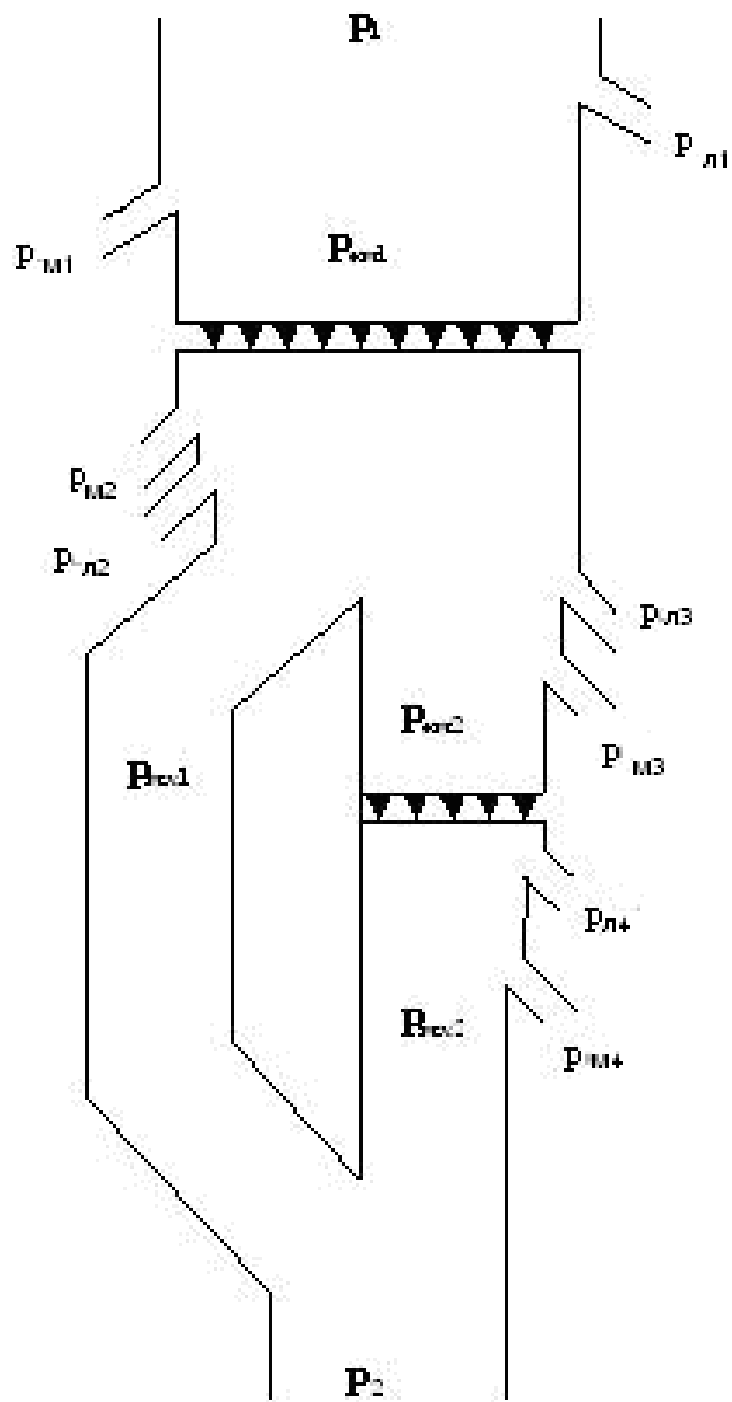


Рисунок 5– Энергетична діаграма асинхронного каскадного двигуна.

$P_{em2} = P_{em1} - P_{mx1} - (P_{m2} + P_{cm2} + P_{m3} + P_{cm3})$ -- електромагнітна потужність, яка передається через повітряний зазор δ від ротора в статор $2p_2$ -полюсним полем.

Потім P_{em2} частково витрачається у вигляді втрат в міді статора p_{m4} та сталі $p_{ст4}$ від потоку $2p_2$ -полюсного поля.

$$P_{m4} = I_4^2 \cdot k_{i21}^2 \cdot k_{i43}^2 \cdot k_{12} \cdot k_{34} \cdot r_4 ,$$

де

$$k_{34} = k_{i34} \cdot k_{e34} \left(\frac{w_3 \cdot k_{об3}}{w_4 \cdot k_{об4}} \right)^2 \cdot \frac{f_3}{f_4}$$

Таким чином, повна механічна потужність каскадного двигуна складається з двох складових: механічної потужності першого каскаду та механічної потужності другого каскаду.

$$P_{mex} = P_{mx1} + P_{mx2} ,$$

де

$$P_{mx1} = M_1 \cdot \omega ;$$

$$P_{mx2} = M_2 \cdot \omega .$$

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Каскадні асинхронні двигуни, які виготовлялись і досліджувались до теперішнього часу, відрізнялись від розглянутих в даній статті будовою роторної обмотки, і були призначені для поліпшення пускових характеристик. Результати їх досліджень позитивні, пускові характеристики значно покращуються, тому слід очікувати, що каскадні асинхронні двигуни і в номінальному режимі покажуть позитивні результати.

Приведена схема замещения и описана энергетическая диаграмма каскадного короткозамкнутого асинхронного двигателя с совмещенными обмотками.

The equivalent circuit is given; the energy level diagram of cascade asynchronous short-circuit motor with compatible windings is described.

Бібліографічний список.

1. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. *Электрические машины.* – Л.: Энергия. – 1973. – Ч.II. – 648 с.
2. Красношанка М.М. *Асинхронно-синхронные машины каскадного типа// Тр. Третьей Всесоюзной конференции по бесконтактным электрическим машинам.* – Рига: Зинанте. – 1966. –Т.2 – С.237-244.
3. Луцук В.Д. *Совмещенные электрические машины и аппараты.* – К.: Техника, 1993. – 203 с