

Висновки. Розглянуто особливості вибору фільтро-компенсуючих пристроїв для компенсації реактивної потужності змінних нелінійних навантажень на прикладі системи електропостачання з частотно регульованими електроприводами. Особливістю цієї системи електропостачання є наявність конденсаторних батарей, що істотно ускладнює проблему вибору фільтрів вищих гармонік.

Показано підхід до вибору можливих варіантів налаштування фільтрів у такій системі електропостачання з урахуванням конструктивних відхилень параметрів конденсаторів та реакторів від номінальних значень. Проаналізовано можливі впливи таких розташувань фільтрів на ефективність покращання показників якості напруги в системі.

1. ГОСТ 13109-97. *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт.* – Киев: Госстандарт Украины, 1999.
2. Kun-Ping Lin, Ming-Hoon Lin, and Tung-Ping Lin “An Advanced Computer Code for Single-Tuned Harmonic Filter Design”, *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 34, no. 4, July/August 1998.
3. Medora N.K., Kusko A. *Computer-Aided Design and Analysis of Power-Harmonic Filters // IEEE Transactions on industry applications.* – March/April 2000. – Vol. 36, no. 2. – P. 604–6123
4. Lemieux G. *Power system harmonic resonance – A documented case // IEEE Trans. Ind. Applicat.* – May/June 1990. – Vol. 26. – P. 483–488.
5. Gonzalez D.A. and McCall J.C. *Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems // IEEE Trans. Ind. Applicat.* – May/June 1987. – Vol. IA-23. – P. 504–511.

УДК 62-83: 621.382

І.І. Веклинець

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП

АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ АКТИВНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

© Веклинець І.І., 2008

Проаналізовано відомі топології активних випрямлячів, здійснено їх класифікацію, розроблено рекомендації щодо їх застосування в регульованих електроприводах та наведено їхні основні показники для порівняльного аналізу.

The analysis of the known topologies of active rectifiers is conducted, their classification is carried out, recommendations are developed in relation to their application in adjustable-speeds drive and their basic indexes are resulted for a comparative analysis.

Постановка проблеми. З введенням стандартів [1–3], які регламентують якість струму, що споживається від мережі, появилось велике різноманіття випрямлячів з функцією корекції коефіцієнта потужності та входним струмом, близьким до синусоїдального. Активні випрямлячі (АВ), особливо високочастотні, наближають форму струмів споживання до синусоїдальної та просто забезпечують потрібне значення $\cos\phi$, наприклад одиничне. Крім цих двох функцій, АВ можуть забезпечувати спрямоване передання енергії, а також дають змогу регулювати напругу в проміжній ланці постійного струму, що є важливим аспектом для регульованих електроприводів (ЕП).

Аналіз останніх досліджень. У зв'язку з розвитком автоматизованих технологічних процесів та з метою енергоощадності все більше сучасних ЕП стають регульованими, причому найчастіше з проміжною ланкою постійного струму в силовому колі. Ланка постійного струму традиційно реалізується у вигляді одно- чи трифазного напівпровідникового (діодного) випрямляча та емніс-

ного фільтра. Такі схеми, як відомо, споживають від мережі вузькі піки струмів у момент заряджання конденсаторної батареї, а отже, є нелінійними споживачами електроенергії, які спотворюють напругу мережі вищими гармоніками та породжують електромагнітні завади. Останні дослідження в галузі електроенергетики [4–7] показують, що цілу низку проблем, пов'язаних з електромагнітною сумісністю (EMC) та енергетичною ефективністю (EE) споживачів, можна вирішити, застосувавши замість традиційного діодного моста АВ. Для прикладу на рис. 1 відображено результати комп'ютерного моделювання роботи АВ.

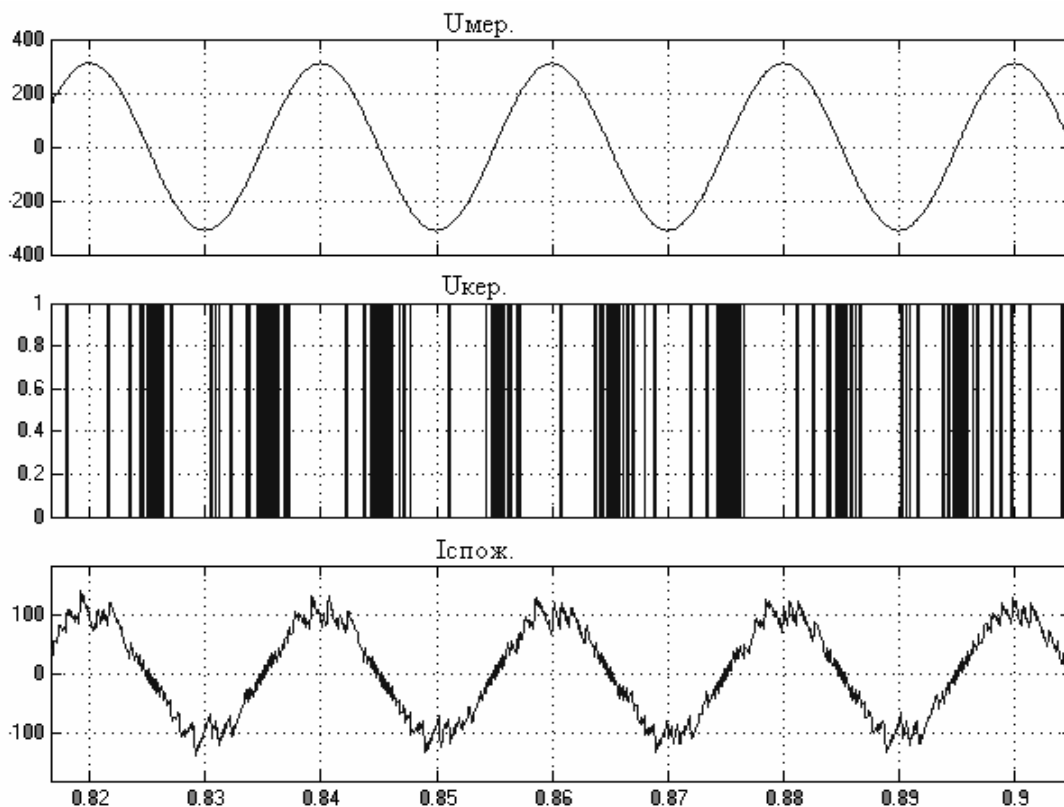


Рис. 1. Осцилограми напруги мережі, напруги керування та струму споживання в одній із фаз АВ

Метою роботи є класифікація високочастотних АВ, розроблення рекомендацій щодо застосування їх в сучасних регульованих ЕП та їх порівняльний аналіз.

Виклад основного матеріалу. Загалом класифікувати АВ можна за п'ятьма основними ознаками як показано на рис. 2.

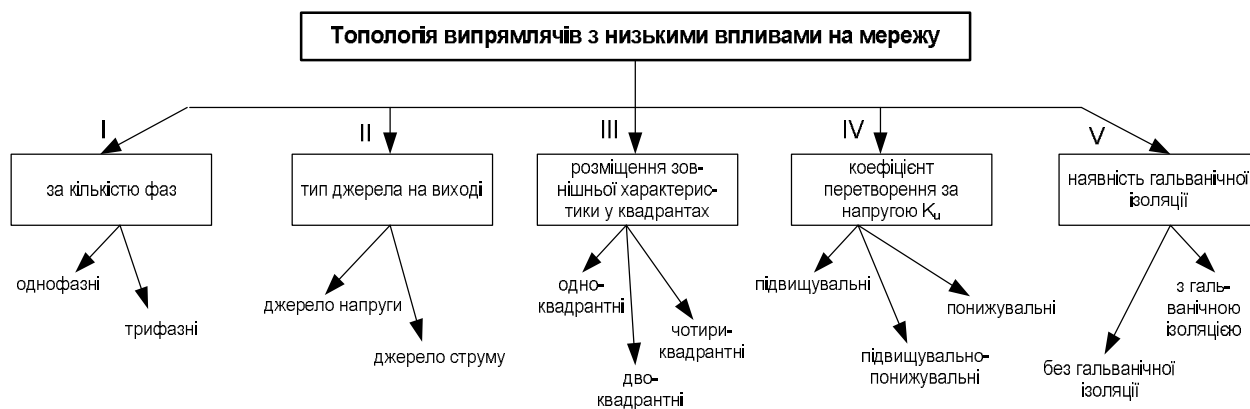


Рис. 2. Загальна класифікація високочастотних АВ

Розглянемо вказані на рис. 2 топології АВ з погляду застосування їх в ЕП.

I. Кількість фаз. Однофазні випрямлячі з покращеною якістю споживання електроенергії отримали своє вирішення внаслідок каскадного ввімкнення однофазного діодного моста та DC/DC-перетворювача. Стандарт [2] регламентує вимоги щодо ЕМС під час застосування однофазних випрямлячів потужністю 3,5 кВт, трифазних – до 10,5 кВт. Для потужних трифазних споживачів розроблені стандарти [3], вимогам яких відповідають споживачі, що живляться через трифазні АВ. Трифазні АВ мають низку відмінностей, що полягають у схемному вирішенні та методах керування вентилями.

II. Тип джерела на виході. Крім схемотехнічних відмінностей, такі випрямлячі різняться типами системи керування та особливостями застосування. Випрямлячі з джерелом струму на виході застосовуються в ЕП великих потужностей [8].

III. Розміщення зовнішньої характеристики у квадрантах. За цією ознакою найпоширеніше класифікувати АВ як однонаправлені (unidirectional) – напруга і струм на виході можуть бути лише однієї полярності (одноквадрантні), двонаправлені (bidirectional) – з можливим реверсом напруги чи струму (двоквадрантні) або обох величин (чотириквадрантні).

Одноквадрантні АВ використовують тоді, якщо згідно з визначеним застосуванням не потрібне зворотне передавання енергії з боку ланки постійного струму в мережу, наприклад, для ЕП, що працюють в усталених режимах (вентилятори, кондиціонери). Це дає змогу значно спростити схеми порівняно з двоквадрантними.

Двоквадрантні АВ використовуються тоді, коли в системі потрібно здійснювати рекуперацію енергії, наприклад, за гальмування ЕП, тобто такі випрямлячі забезпечують двонаправлений потік потужності.

Чотириквадрантні АВ не знайшли широкого застосування в ЕП.

IV. Діапазон значень коефіцієнта перетворення за напругою K_u . Коефіцієнт перетворення за напругою K_u – це відношення напруги на виході випрямляча до напруги на вході з врахуванням схемного коефіцієнта перетворення напруги найпасивнішого випрямляча. Враховуючи дефініцію, випрямлячі можуть бути понижувальні (buck) ($K_u < 1$), підвищувальні (boost) ($K_u > 1$) або підвищувально-понижувальні (buck-boost) ($K_u < 1, K_u > 1$).

V. Наявність гальванічної ізоляції. Під'єднуючи трансформатор на вхід АВ, отримуємо гальванічне розв'язання для вихідної напруги випрямляча. Проте, такі системи мають низьку питому потужність через великі габарити низькочастотного трансформатора. Системи випрямлячів з високочастотним розв'язанням вихідного контуру відображають дворівневу структуру. Тут частковими задачами є: випрямлення, формування вхідного струму, високочастотна гальванічна ізоляція, балансування рівня вхідної і вихідної напруг та точне керування вихідною напругою [5].

Для регульованих ЕП змінного струму особливу увагу мають одно- чи двонаправлені підвищувальні, понижувальні та підвищувально-понижувальні АВ. Аналіз останніх робіт з силової електроніки [4–9] дав змогу відібрати найперспективніші для ЕП змінного струму (табл. 1). У прямокутнику кожної однолінійної схеми показано плече трифазного моста.

Схема № 1 – найпростіший трифазний підвищувальний випрямляч. ЕМС та ЕЕ забезпечується в схемі внаслідок пасивного фільтра, під'єданого на вході діодного моста [5–6, 9].

Схема № 2 – віденський випрямляч, триключовий трирівневий. Кожна фаза цього АВ складається з двонаправленого силового електронного ключа (діодний міст з IGBT транзистором у діагоналі) та відсікальних діодів. Силкові ключі з'єднані зіркою зі спільною точкою. Перевагами схеми є: високі якісні показники за використання лише трьох транзисторів, трирівневий вихід (0, 0,5 і 1,0 вихідної напруги в ланці постійного струму), нижча номінальна напруга транзисторів, що дорівнює вихідній напруги АВ [5–6].

Схема № 3 – одноключовий однорівневий понижувальний випрямляч. Як і для схеми № 1 ЕМС та ЕЕ забезпечується внаслідок пасивного фільтра на вході [4, 6].

Схема № 4 – триключовий однорівневий понижувальний випрямляч. Це модифікація віденського випрямляча з понижувальним DC/DC перетворювачем та пасивним фільтром на вході [4, 6].

Найперспективніші АВ для застосування їх в ЕП змінного струму

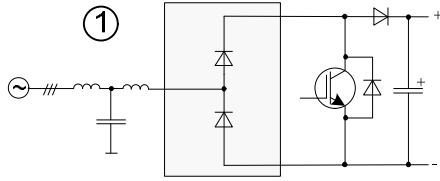
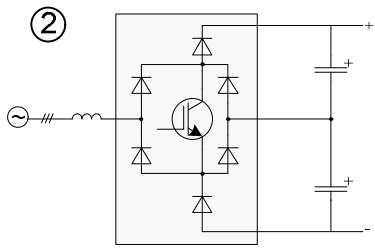
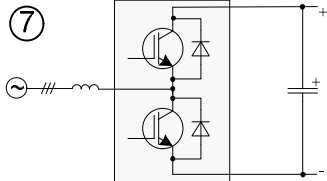
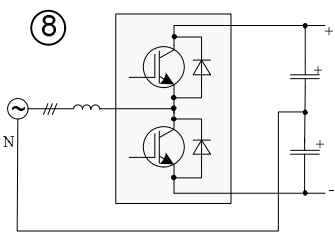
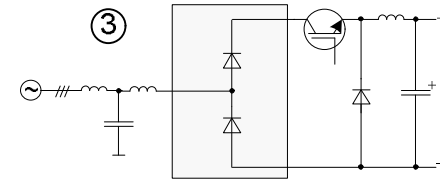
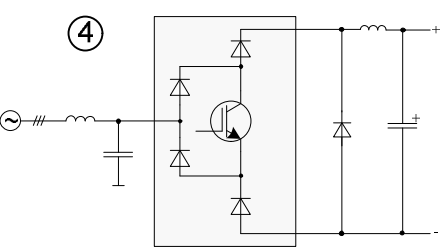
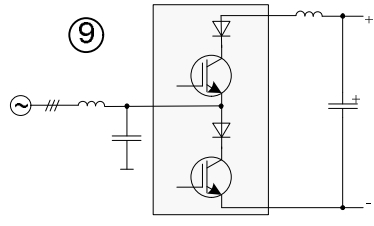
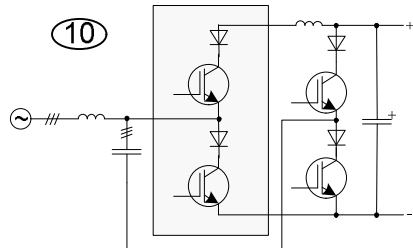
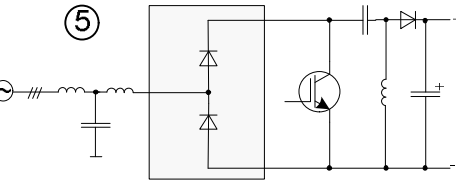
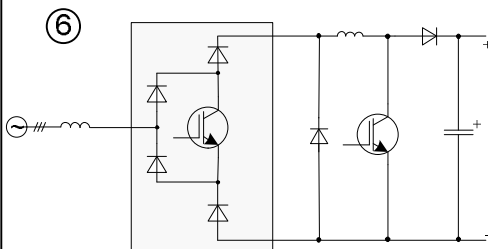
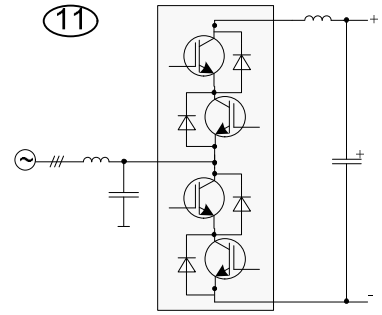
	ОдноквADRANTні	ДвоквADRANTні
Підвищувальні	<p>① </p> <p>② </p>	<p>⑦ </p> <p>⑧ </p>
Понижувальні	<p>③ </p> <p>④ </p>	<p>⑨ </p> <p>⑩ </p>
Підвищувально-понижувальні	<p>⑤ </p> <p>⑥ </p>	<p>⑪ </p>

Схема № 5 – підвищувально-понижувальний випрямляч, що складається з діодного моста, вхідного фільтра та підвищувально-понижувального DC/DC- перетворювача [4, 6].

Схема № 6 – це комбінація з понижувального АВ (схема №4) та підвищувального DC/DC-перетворювача.

Схема № 7 – шестиключовий АВ, що дає змогу забезпечити рекуперацію енергії гальмування ЕП до мережі [5–6].

Схема № 8 – трирівневий шестиключовий АВ з нульовою точкою, перевагою цієї схеми порівняно зі схемою № 7 є трирівневий вихід напруги в ланці постійного струму [6].

Схема № 9 – шестиключовий АВ, де IGBT транзистори ввімкнені послідовно з діодами. Така конфігурація дає змогу зменшити розміри фільтра, проте цей АВ застосовується лише для ЕП малої потужності [4]

Схема № 10 – чотириплечовий АВ, в якому, крім звичного трифазного моста, виконаного на транзисторах, є ще одне плече для під'єднання нульового проводу та ємнісного фільтра на вході [4].

Схема № 11 – матричний перетворювач, в якому під час високочастотного перемикання ключів величина вхідного фільтра та ємності в проміжній ланці істотно зменшуються [4, 6].

Для виконання порівняльного аналізу відібраних схем АВ (табл. 1) розглянемо основні показники АВ, які можна розділити на три групи (рис. 3).

Розглянемо показники, що входять до кожної групи [5]

Енергетичні показники якості споживання електроенергії

– сумарний коефіцієнт потужності (Power Factor)



Рис. 3. Класифікація критеріїв порівняння для АВ

$$PF = \frac{P_0}{\sum_{j=1}^3 U_{\phi,j} I_{\phi,j}}, \quad (1)$$

де P_0 – вихідна потужність АВ; $U_{\phi,j}$, $I_{\phi,j}$ – діючі значення відповідно напруги та струму j -ї фази на вході АВ;

– коефіцієнт гармонічних спотворень струму мережі (Total Harmonic Distortion)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_{\phi,i}^2}}{I_{\phi,1}}, \quad (2)$$

де $I_{\phi,i}$ – діюче значення i -ї гармоніки вхідного струму;

– сумарний коефіцієнт використання транзисторів за напругою і струмом,

$$m_{VT} = \frac{P_0}{\sum_k U_{VT,max,k} I_{VT,max,k}}, \quad (3)$$

де $U_{VT,max,k}$, $I_{VT,max,k}$ – максимальні значення відповідно напруги і струму k -го транзистора АВ, (аналогічно до загального коефіцієнта потужності ідеальним значенням було б $m_T = 1$; для схем з можливим двонаправленим перетворенням енергії приймають подвоєне значення m_T);

– сумарний коефіцієнт використання діода:

$$m_{VD} = \frac{P_0}{\sum_k U_{VD,max,k} I_{VD,max,k}} \quad (4)$$

де $U_{VD,max,k}$, $I_{VD,max,k}$ – максимальні значення відповідно напруги і струму k -го діода АВ.

Техніко-економічні показники

– потужність дроселів щодо номінальної:

$$s_{T.eq} = 2,2 \frac{1}{P_0} f_N L I_{rms} I_{max} k_B \quad (5)$$

де f_N – частота мережі живлення; L – індуктивність; I_{rms} – середньоквадратичне значення струму; I_{max} – максимальне значення струму; k_B – коефіцієнт поправки.

Масогабаритні показники

– питома маса:

$$M_s = \frac{M}{S}, \quad (6)$$

де M – маса АВ, кг; S – встановлена повна потужність АВ, кВА.

– питомий об'єм:

$$V_s = \frac{V}{S}, \quad (7)$$

де V – об'єм АВ, дм³.

Для порівняльного аналізу відібраних АВ для ЕП змінного струму за виразами (1)–(5) виконані розрахунки для АВ з такими параметрами: $P_0=50$ кВт, напруга ланки постійного струму на виході АВ $U_{вих} = 600$ В, напруга мережі 3х220В. Результати розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Показники найперспективніших АВ для їх використання в регульованих ЕП

Показник	Схема № 1	Схема № 2	Схема № 3	Схема № 4	Схема № 5	Схема № 6	Схема № 7	Схема № 8	Схема № 9	Схема № 10	Схема № 11
коефіцієнт потужності	0,981	0,997	~0,98*	>0,99*	~0,98*	>0,99*	0,997	>0,99*	>0,99*	>0,99*	>0,99*
коефіцієнт гармонічних спотворень	0,2	0,082	0,21*	0,09*	0,21*	0,09*	0,081	0,081*	0,09*	0,09*	0,09*
коефіцієнт використання транзисторів	0,26	0,47	0,24	0,24	0,24	0,18	0,117	0,119	0,06	0,08	0,015
коефіцієнт використання діодів	0,28	0,36	0,31	0,09	0,32	0,093	0,40	0,48	0,39	0,52	0,098
кількість діодів: – швидких – на частоті мережі	7 -	6 12	7 -	6 6	7 -	7 7	6 -	6 -	6 -	8 -	12 -
кількість транзисторів	1	3	1	3	1	4	6	6	6	8	12
потужність дроселів відносно номінальної	0,015	0,015	0,0325	0,0325	0,025	0,025	0,032	0,032	0,0325	0,0325	0,025
складність керування	низька	середня	низька	середня	низька	середня	висока	середня	висока	висока	висока
затрати	низькі	середні	низькі	середні	низькі	середні	високі	високі	високі	високі	високі

* Вказано орієнтовні значення показників, отримані моделюванням подібних за принципом роботи АВ.

Масогабаритні показники не наведені, оскільки для їх оцінювання потрібні конструктивні дані АВ.

Висновки. 1. Трифазні височастотні АВ з низькими впливами на мережу доцільно застосовувати в регульованих ЕП і як результат забезпечувати вимоги стандартів [1–3].

2. Виконаний аналіз та розроблена класифікація трифазних АВ дали можливість відібрати найперспективніші АВ для застосування їх в ЕП змінного струму.

3. Таблиця з отриманими показниками дає змогу оперативно порівняти відібрані АВ для ЕП змінного струму стосовно забезпечення ними вимог чинних стандартів [1–3].

ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Правила устройства электроустановок. – К.: Госстандарт Украины, 1999.
2. *Limits for Harmonics Current Emissions (Equipment Input Current up to and Including 16 A Per Phase), IEC 61000-3-2 International Standard, 2000.* 3. *IEEE Std 519–1992 // IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.* 4. *Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672 с.* 5. *Kolar J.W., Ertl H. Status of the Techniques of Three-Phase Rectifier Systems with Low Effects on the Mains. Conf., Copenhagen, Denmark, 1999.* 6. *Singh B., Singh B. N. A review of three-phase improved power quality AC-DC converters // IEEE Trans. on Indust. Elektron. – 2004. – Vol. 51, No 3. – P. 641–660.* 7. *Pienkowski K., Knapczyk M.. Przekształtniki energoelektroniczne AC/DC/AC i AC/AC – układy topologiczne i sterowanie // Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne. – 2005. – Nr. 72. – S. 247–252.* 8. *Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи / О.Г. Плахтина, С.С. Мазена, А.С. Куцик. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2002. – 228 с.* 9. *Prasad A.R., Ziogas P.D. and Manias S. An active power factor correction technique for three-phase diode rectifiers // IEEE Trans. on Power Elektron. – 1991. – Vol. 6, No 1. – P. 83–92.*

УДК 621.313.3

І.Р. Гавдьо, В.М. Гладкий, В.С. Маляр

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА

ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ МАГНІТНОГО ШУНТА НА ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ З ЕКРАНОВАНИМИ ПОЛЮСАМИ

© Гавдьо І.Р., Гладкий В.М., Маляр В.С., 2008

Розглянуто питання впливу геометрії магнітного шунта на перехідні процеси в асинхронному двигуні з екранованими полюсами на підставі використання математичної моделі двигуна, в якій магнітопрвід поданий розгалуженою заступною схемою.

The influence of magnetic shunt geometry of shaded-pole induction motor on transient processes has been considered. The motor magnetic circuit is presented by the ramified equivalent circuit.

Вступ. Однофазні асинхронні двигуни з екранованими полюсами (АДЕП) – широко розповсюджені асинхронні двигуни малої потужності. Їх застосовують у приводах приладів мікроклімату, особистої гігієни та інших приводах потужністю до 200 Вт, для яких основними є вимоги низької собівартості і надійності. Складність теоретичного дослідження та розрахунку процесів в АДЕП зумовлена необхідністю врахування електричної і магнітної несиметрій та реального насичення ділянок магнітної системи, яке змінюється в широких межах залежно від режиму роботи.