

**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.

Під час проектування двигуна необхідно здійснювати перевірку його робочих властивостей в усталених та перехідних режимах роботи, а достовірні результати розрахунку, які дають змогу відмовитись від натурних експериментів, можна отримати лише на підставі використання математичних моделей високого рівня адекватності.

**Суть проблеми.** У багатьох публікаціях, присвячених дослідженню АДЕП, відзначено, що наявність магнітних шунтів в АДЕП призводить до покращання кривої поля, що позитивно впливає на його характеристики [1]. Магнітний потік, який входить з полюса в магнітний шунт, можна умовно поділити на дві частини. Одна частина магнітного потоку шунта  $\Phi_{ш\delta}$  відгалужується через повітряний проміжок у ротор і разом з потоком у проміжку під полюсами утворює робочий магнітний потік  $\Phi_{\delta}$ , який створює електромагнітний момент. Інша частина цього потоку  $\Phi_{ш}$  є наскрізним потоком шунта, який минає ротор і не створює моменту (рис. 1).

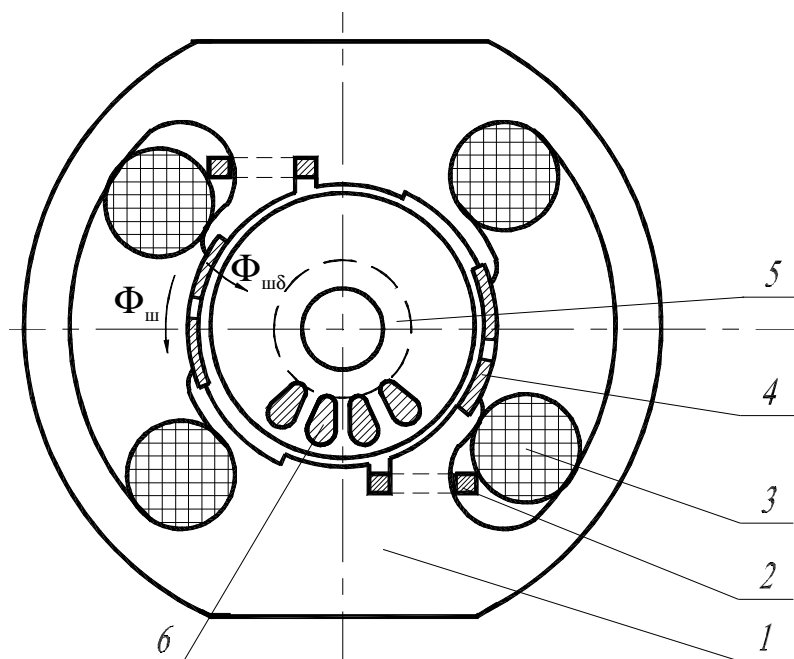


Рис. 1. Ескіз магнітної системи АДЕП:

1 – пакет статора; 2 – КЗ виток; 3 – обмотка збудження;  
4 – магнітний шунт; 5 – пакет ротора; 6 – КЗ обмотка ротора

Вставні магнітні шунти АДЕП виготовляються з окремих феромагнітних пластин постійного або змінного перерізу. У шунтах змінного перерізу виконують так званий “місток” насичення – щілину, яка паралельна до осі обертання ротора. Призначення щілини у магнітному шунті полягає у тому, щоб за достатньої товщини шунта (з погляду технології виготовлення) обмежити наскрізний магнітний потік  $\Phi_{ш}$  через нього. У статорах АДЕП складеної конструкції в ярмо статора встановлюються полюси, з’єднані перемичками, які утворюють магнітні шунти з пакета листів. У цьому разі “місток” насичення утворюють виїмки у перемичках між полюсами.

Отже, геометричні розміри та характеристика намагнічування матеріалу магнітного шунта впливають на криву поля АДЕП, а отже, на перебіг перехідних процесів у ньому.

Відомі аналітичні методи розрахунку [1, 2] вимагають прийняття істотних допущень, дають змогу виявити лише якісний вплив магнітних шунтів на вихідні характеристики АДЕП та не дозволяють розраховувати перехідні процеси.

**Аналіз останніх досягнень.** Метод скінченних елементів для оптимізації пускового моменту АДЕП за рахунок зміни розмірів стрижня ротора та повітряного проміжку розглянуто в [3]. За

допомогою рівнянь Максвелла в [4] розраховане поле АДЕП зі складеною конструкцією статора за різних розмірів “містка” насичення та проаналізовано вплив геометрії магнітного шунта на пускові властивості АДЕП. Внаслідок трудомісткості застосування теорії електромагнітного поля для інженерних розрахунків АДЕП, на нашу думку, прийнятнішими є простіші методи, які забезпечують високу точність розрахунків за меншого обсягу обчислень.

Розроблена в [5] математична модель АДЕП має у своїй основі зображення магнітного кола машини розгалуженою заступною схемою з високим рівнем деталізації магнітопроводу. Ця модель дає змогу досліджувати вплив геометрії магнітного шунта на розподіл магнітної індукції у проміжку АДЕП і дає змогу розраховувати процеси з урахуванням нерівномірного насичення різних ділянок магнітопроводу, довільної зміни у часі струмів обмоток, реального негармонічного розподілу намагнічуючих сил контурів статора.

**Метою** статті є дослідження впливу геометрії магнітного шунта на перехідні процеси в АДЕП на основі використання розробленої в [5] математичної моделі двигуна високого рівня адекватності

**Виклад основного матеріалу.** Запропонована в [5] математична модель ґрунтується на розгалуженій заступній схемі магнітного кола з високим рівнем деталізації магнітопроводу, для якої записана нелінійна система алгебричних рівнянь магнітного стану АДЕП.

Для заданих миттєвих значень струмів обмоток розраховуються значення магнітних потоків (індукцій) в усіх ділянках магнітного кола, потокозчеплення та диференційні індуктивності обмоток. Отримані величини потокозчеплень та диференційних індуктивностей використовуються на кожному кроці інтегрування системи диференційних рівнянь електричного стану та рівняння руху ротора під час розрахунку перехідних процесів.

На основі розробленої математичної моделі виконані розрахунки перехідних процесів пуску за вентиляторного навантаження АДЕП з шунтом постійного перерізу та з шунтом, що містить “місток” насичення. Товщина шунта постійного поперечного перерізу вибрана з умови незмінності наскрізного магнітного потоку  $\Phi_{ш}$  цього шунта та шунта з “містком” насичення.

Зображені на рис. 1–2 залежності демонструють істотний вплив геометрії магнітного шунта на часову зміну струму в обмотці збудження. При шунті постійного перерізу струм збудження має сплеск на початку пуску, який відсутній при шунті з “містком” насичення. Збільшення в 1,75 раза амплітудного значення усталеного струму при шунті з “містком” насичення можна пояснити зменшенням загального магнітного опору для потоку обмотки збудження.

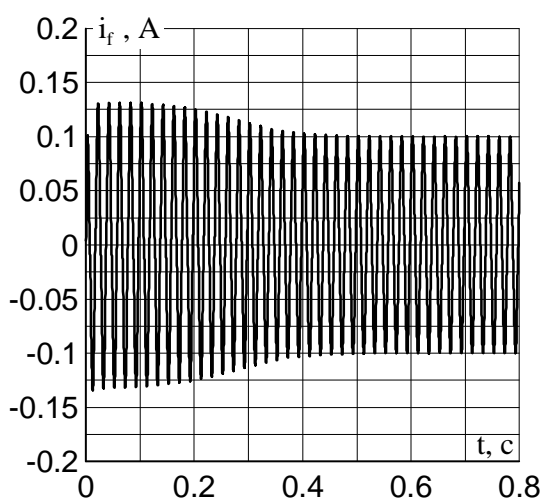


Рис. 1. Часові залежності струму збудження при шунті постійного перерізу

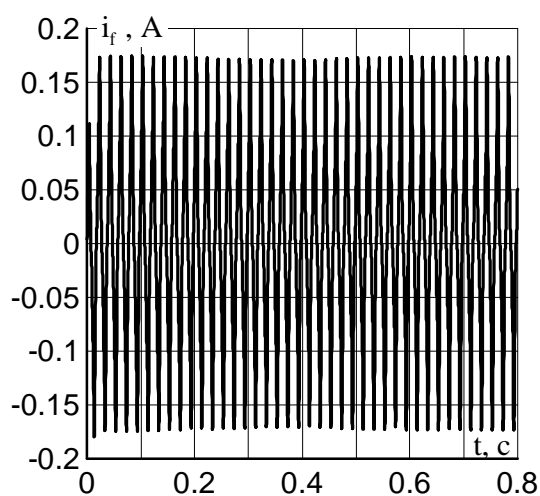


Рис. 2. Часові залежності струму збудження при шунті з “містком” насичення

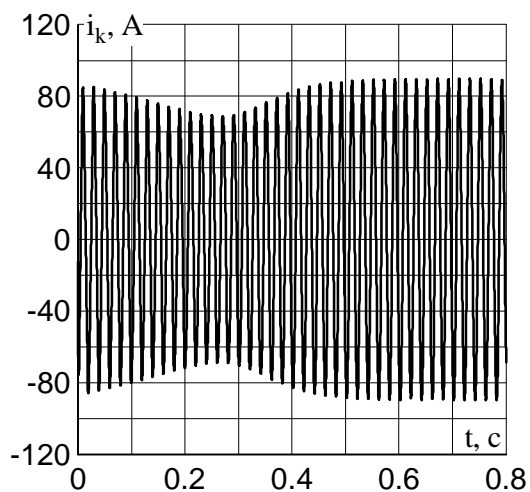


Рис. 3. Часові залежності струму КЗ витка при шунті постійного перерізу

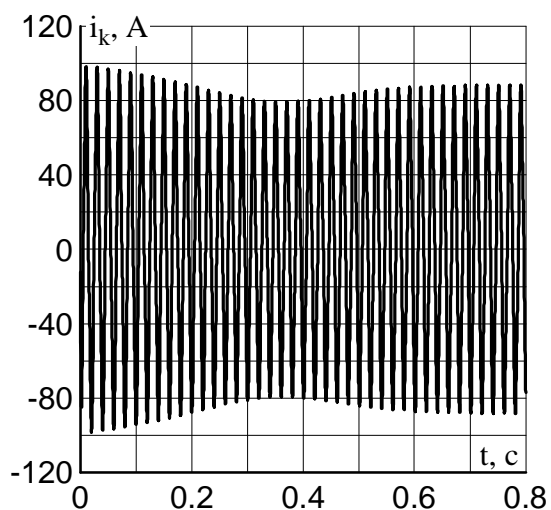


Рис. 4. Часові залежності струму КЗ витка при шунті з "містком" насичення

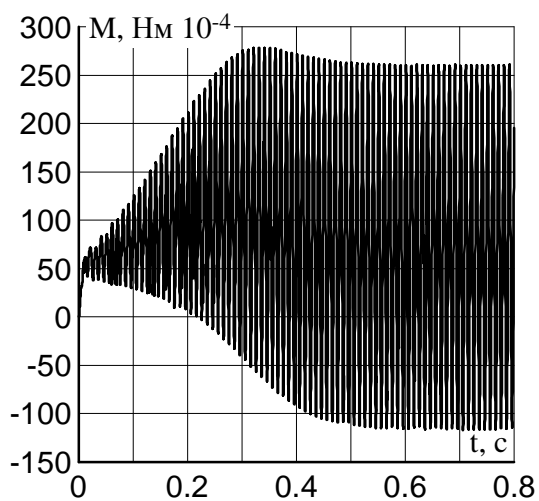


Рис. 5. Часові залежності електромагнітного моменту при шунті постійного перерізу

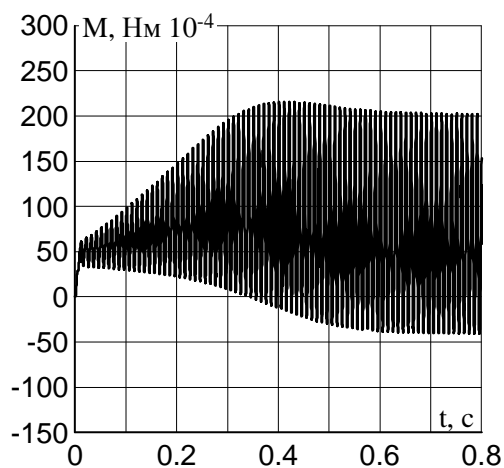


Рис. 6. Часові залежності електромагнітного моменту при шунті з "містком" насичення

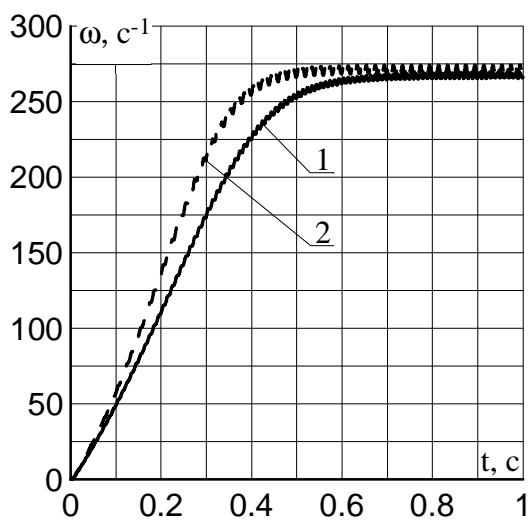


Рис. 7. Залежності  $\omega = f(t)$  пуску з вентиляторним навантаженням при:  
1 – шунті з "містком" насичення; 2 – шунті постійного перерізу

Аналіз часових залежностей струму короткозамкненого витка, зображений на рис. 3–4, дає змогу зробити висновок про те, що вони практично не залежать від геометрії магнітного шунта.

Електромагнітний момент досягає усталеного значення через 0,5 с від початку пуску при шунті постійного перерізу (рис. 5) та через 0,6 с при шунті з “містком” насичення (рис. 6). Відповідно процес розгону при шунті з містком насичення відбувається повільніше, ніж при шунті рівномірної товщини (рис. 7).

**Висновки.** Математична модель АДЕП, розроблена на підставі зображення магнітопроводу розгалуженою заступною схемою з високим рівнем деталізації магнітопроводу, дає змогу досліджувати вплив геометрії магнітного шунта на перехідні процеси в АДЕП. Виконані дослідження показали істотний вплив геометрії магнітного шунта на перебіг перехідних процесів.

1. Иванов В.В. *Магнитные шунты в двухполюсных двигателях с экранированными полюсами* // *Электротехника*. – 1980. – № 5. – С. 19–22. 2. Ефименко Е.И., Владимиров Э.В. *Расчет магнитной цепи и полей двигателя с экранированными полюсами* // *Электрические машины*. – Чебоксары, 1976. – Вып. 1. – С. 49–58. 3. Lhou D., Rajanathan C. B., Sapeluk A. T., Ozveren Q. S. *Finite – element – aided design optimization of a shaded – pole induction motor for maximum starting torque* // *IEEE Trans. Magn.* – 2000. – 36, № 5, p. 1. – P. 3551–3554. 4. Anuszczyk J., Blaszczyk P. *Obliczenia bocznika magnetycznego silnika indukcyjnego z faza zwarta* // *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne*. – Katowice, 2004. – № 69. – S. 41–44. 5. Гавдьо І.Р. *Електромагнітні процеси в асинхронних двигунах з екранованими полюсами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук*. – Львів, 2005. – 17 с.

УДК 621.316.925

В.Г. Гапанович, О.І. Маврін, В.П. Олійник  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електричних станцій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЕНСАЦІЇ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДУГОВОЇ СТАЛЕТОПНОЇ ПЕЧІ

© Гапанович В.Г., Маврін О.І., Олійник В.П., 2008

**Отримано порівняльну характеристику ефективності роботи різних типів систем регулювання статичного тиристорного компенсатора, обладнаних різними давачами координат регулювання.**

**Obtained compared characteristics of work efficiency of different system types of control static thyristor compensator equipped with different transducers of control parameter.**

**Постановка проблеми.** Робота дугових сталетопних печей (ДСП) супроводжується деякими небажаними явищами, серед яких найбільш “неприємними” для системи електропостачання дугових сталетопних печей (ССП ДСП) є коливання напруги та несиметрія напруги, причому ці процеси мають випадковий характер. Для зменшення негативного впливу ДСП на мережі живлення застосовуються статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності (СТК).

Ефективність компенсації статичним тиристорним компенсатором коливань напруги і її симетрування насамперед залежить від еквівалентного запізнювання компенсації, обумовленого дискретністю керування вітками тиристорно-реакторної групи (ТРГ) і особливістю формування