

2. Проведені дослідження на цифровій моделі підтверджують ефективність АЛАР-Ц для селективного виявлення аварійних режимів роботи ЕЕС.

1. Коновал В. Аналіз аварійних ситуацій складних ЕЕС з врахуванням дії пристроїв автоматики ліквідації асинхронних режимів / В. Коновал, О. Скрипник, Т. Товстяк // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 654: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 101–106. 2. Цифровая автоматика ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц (модификации АЛАР-Ц-02, АЛАР-Ц-03, АЛАР-Ц-04) //Руководство по эксплуатации ТИЯК.648229.001.РЭ. – СПб., 2008. – 36 с. 3. АЛАР-Ц модификация 02, 03, 04. Методика выбора уставок. – СПб.: НИИПТ, 2008. – 31 с.

УДК 621.313.333

А.С. Куцук, М.Б. Семенюк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ В УСТАНОВЦІ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ З ФАЗОВИМ КОМПАУНДУВАННЯМ

О Куцук А.С., Семенюк М.Б., 2011

Наведено результати аналізу режимів коротких замикань в установці генерування електроенергії синхронним генератором з фазовим компаундуванням. Дослідження виконані математичним моделюванням із застосуванням методу середньокрокових напруг другого порядку.

Ключові слова: синхронний генератор, фазове компаундування, коротке замикання, метод середньокрокових напруг.

The article presents mathematical model of phase compound synchronous generator and research results of three phase short circuit in out of sectional transformer.

Key words: synchronous generator, phase compound excitation system, three phase short circuit middle voltage method.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень.

До систем збудження синхронних генераторів (СГ) висувають підвищені вимоги з погляду якості регулювання вихідної напруги, коефіцієнта потужності генератора, забезпечення стійкої роботи СГ в енергосистемі [4]. Значний інтерес становить поведінка системи збудження у разі виникнення аварійних ситуацій, зокрема, коротких замикань у лінії, найважчим з яких є трифазне коротке замикання. Завдання розроблення нових та модернізації існуючих систем збудження СГ з фазовим компаундуванням (ФК) вимагає проведення досліджень цих режимів роботи енергосистеми. Застосування в цьому разі спрощених лінеаризованих математичних моделей СГ із системою збудження, зокрема описаних в [5], не забезпечує отримання адекватного результату. Натомість такі дослідження доцільно проводити за допомогою математичних моделей, що враховують нелінійність синхронної машини, вплив демпферних контурів, дискретність вентилів напівпровідникових перетворювачів.

Завдання дослідження

Завданням дослідження є аналіз аварійних режимів у системі генерування електроенергії СГ з ФК, пов'язаних з трифазним коротким замиканням на виході блокового трансформатора.

Установки генерування електроенергії СГ з ФК

У системах генерування електроенергії СГ з ФК (рис. 1) струм збудження формується з врахуванням геометричного додавання зображувальних векторів напруг чи струмів, які пропорційні струму та напрузі на виході генератора. Це реалізується за допомогою послідовного з'єднання вторинних обмоток силового трансформатора напруги (ТН) та вольтододавального трансформатора (ВДТ). Електро-рушійна сила (ЕРС) вторинної обмотки ВДТ пропорційна струму статора генератора та зсунута по відношенню до струму статора генератора на 90° , причому залежно від під'єднання вторинних обмоток ТН і ВДТ (узгоджено чи зустрічно) ця ЕРС, відповідно, додається або віднімається від ЕРС вторинної обмотки ТН, пропорційної напрузі генератора. На рис. 1 також позначено: ВТН – вимірювальний трансформатор напруги, АРЗ – автоматичний регулятор збудження, БЗЗ – блок зворотних зв'язків, СК – система імпульсно-фазового керування ТП.

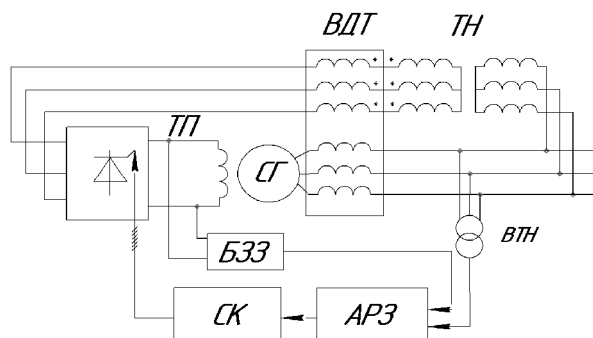


Рис. 1. Генераторна установка з фазовим компаундуванням

Як і в інших схемах систем збудження СГ з компаундуванням, контур компаундування у цій схемі забезпечує зміну струму збудження під час завантаження генератора. Перевагою даної схеми є те, що у ній забезпечується регулювання вхідної напруги тиристорного перетворювача системи збудження залежно від режиму роботи СГ (величини і характеру навантаження). Це наближає систему до адаптивних систем регулювання збудження.

Математична модель

Для аналізу аварійних режимів у системі генерування електроенергії СГ з ФК розроблено математичну модель на основі теорії математичного моделювання електромашини-вентильних систем [3] з застосуванням методу середньокрокових напруг другого порядку [2]. Застосування цього методу дає змогу підвищити числові стійкість та швидкодію математичних моделей, що підтверджують результати досліджень, опублікованих в [1]. Математична модель враховує нелінійність синхронної машини, дискретність вентилів напівпровідникових перетворювачів, взаємні впливи між генератором, його системою збудження та електромережею. До складу моделі згідно з розрахунковою схемою на рис. 2 входять об'єктно-орієнтовані моделі окремих елементів: синхронної машини СМ, мережі МЕР, випрямного та блокового трансформаторів ВТр, БТр, катодної і анодної вентильних груп АВГ і КВГ тиристорного перетворювача, RL-ланок з ЕРС, системи керування. На розрахунковій схемі (рис. 2) позначено: $i_0 \dots i_{28}$ – струми електричних віток структурних елементів, $\phi_1 \dots \phi_{14}$ – потенціали незалежних вузлів системи.

У цій системі використано автоматичний регулятор сильної дії типу АРВ-СДП1, структура якого детально описана в [5].

Реалізація фазового компаундування у математичній моделі здійснюється послідовним ввімкненням до вторинних обмоток ТН трьох RL-ланок з ЕРС, пропорційними до струмів статора синхронної машини, і величини яких визначаються з таких виразів:

$$e_{RL1} = k_n \cdot \frac{I_{s \max}}{k_i} \cdot \sin(g + 90^\circ),$$

$$e_{RL2} = k_n \cdot \frac{I_{s \max}}{k_i} \cdot \sin(g - 120^\circ + 90^\circ),$$

$$e_{RL3} = k_n \cdot \frac{I_{s \max}}{k_i} \cdot \sin(g + 120^\circ + 90^\circ),$$

де I_{smax} – модуль зображувального вектора струму статора, k_i – коефіцієнт компаундування, який визначається електромагнітними параметрами ВДТ (А/В), γ – кут між зображувальним вектором струму статора та віссю фази А, $k_{п}$ – коефіцієнт, що визначає спосіб під'єднання вторинних обмоток ТН і ВДТ ($k_{п} = 1$ – узгоджене, $k_{п} = -1$ – зустрічне). Величини активного опору та індуктивності RL ланок дорівнюють активному опору та індуктивностям вторинної обмотки ВДТ.

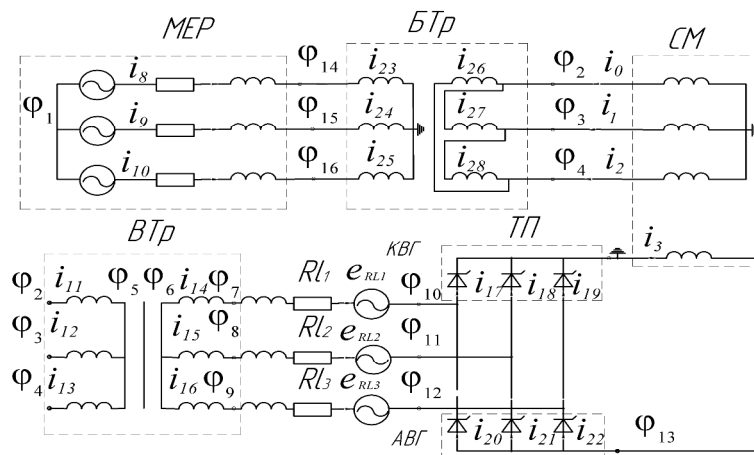


Рис. 2. Розрахункова схема силової частини системи генерування електроенергії синхронним генератором з фазовим компаундуванням (позначення ВТр, ВТН)

Турбіна в цій моделі представлялася джерелом постійної активної потужності на валу СГ. Величина потужності турбіни впродовж короткого замикання залишалася незмінною.

Результати досліджень

Параметри системи генерування електроенергії СГ з ФК для цієї схеми є такими. Для синхронного турбогенератора (типу ТГВ-200-2МУ3): $P_{ном} = 210$ МВт; номінальні напруга та струм $U_{ном} = 15750$ В, $I_{ном} = 9060$ А; струм збудження неробочого ходу $i_{fn.x.} = 715$ А; номінальний струм збудження $i_{fn.x.} = 1945$ А; активні опори обмоток статора та збудження $r_{ст} = 0.0024$ Ом, $r_f = 0.174$ Ом; індуктивні опори $X_d = 1.997$ в.о., $X_{ад} = 1.723$ в.о., $X'_d = 0.34$ в.о., $X''_d = 0.223$ в.о. Кількість пар полюсів $p_0 = 1$. Момент інерції агрегату 18500 кг·м². Для ТН типу ТСЗП-3000/20 ВУ3: $S_{ном} = 2540$ кВА; номінальні напруги первинної і вторинної обмоток $U_{1н} = 15750$ В, $U_{2н} = 455$ В; струм неробочого ходу $I_{нх} = 0.9$ %; напруга к.з. $U_{кз} = 6.5$ %; активна потужність втрат $\Delta P_{кз} = 22$ кВт. Для ВДТ – коефіцієнт компаундування $k_k = 50$ А/В, під'єднання вторинних обмоток ТН і ВДТ зустрічне.

На рис. 3–9 наведені результати дослідження режиму трифазного короткого замикання на виході блокового трансформатора для систем генерування електроенергії СГ з системою збудження з ФК та системою збудження СГ без ФК. Коротке замикання відбувається за номінального завантаження турбогенератора, а його тривалість становить 0,2 с, після чого відбувається ліквідація короткого замикання.

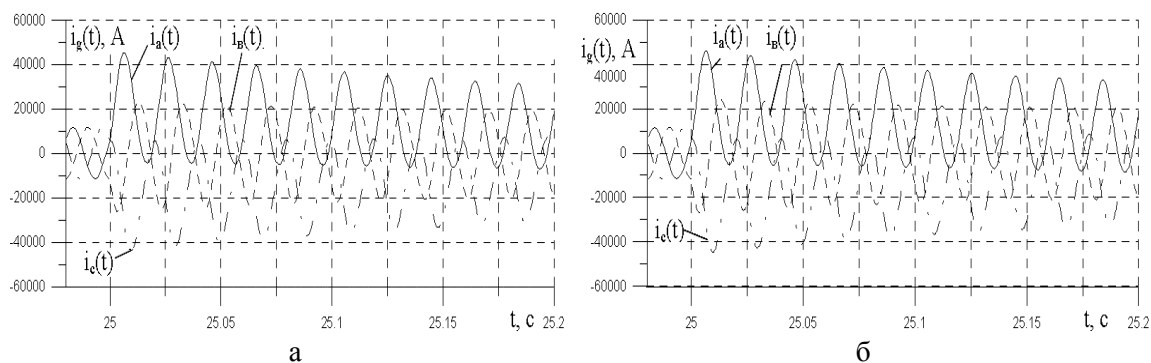


Рис. 3. Струми статора СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

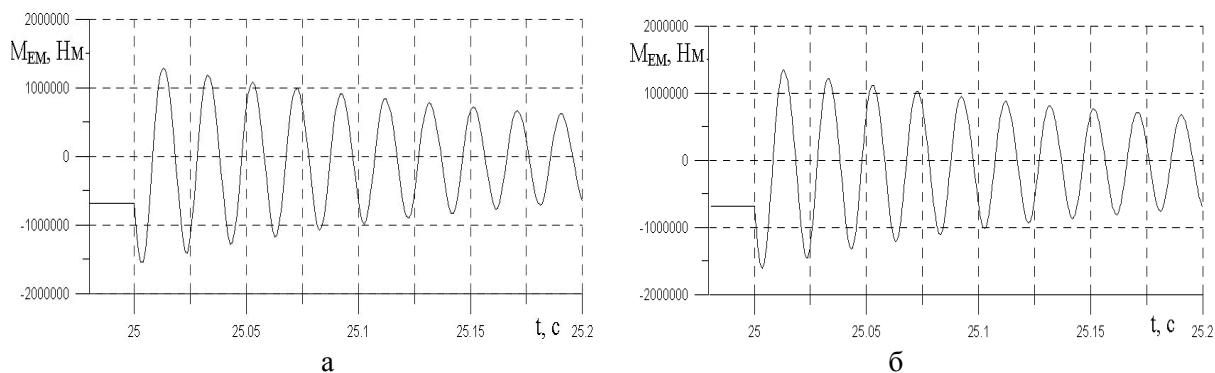


Рис. 4. Електромагнітний момент для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

Під час трифазного короткого замикання (здійснюється на 25 с), середнє значення електромагнітного моменту зменшується практично до 0 (рис. 4), кутова швидкість СГ зростає (рис. 5). Відзначимо, що впродовж короткого замикання система регулювання швидкості турбіни не може вплинути на величину швидкості через значну інерційність.

Завдання системи збудження в цьому режимі є форсування струму збудження СГ для підвищення запасу стійкості і недопущення випадання СГ з синхронізму. Можливості статичної системи самозбудження з форсування струму збудження при коротких замиканнях на виході СГ обмежуються через просідання напруги на виході СГ, і відповідному зменшенні напруги на вході ТП системи збудження. Наявність контуру компаундування, в цьому разі, забезпечує добавку до вхідної напруги ТП від ВДГ. Відповідно середнє значення струму збудження СГ в системі з ФК (рис. 5, б) під час короткого замикання є в 1,2 раза більшим порівняно з системою без ФК (рис. 5, а). Збільшення струму збудження в системі з ФК, в такому разі, дозволяє втримати СГ в синхронізмі, тоді як СГ з системою збудження без компаундування випадає з синхронізму. Випадання з синхронізму супроводжується коливаннями струму збудження СГ (рис. 5, а), струму та напруги на виході СГ (рис. 6, а; 7, а) та електромагнітного моменту (рис. 8, а). Частота коливань зростає зі зростанням швидкості СГ та відповідним збільшенням ковзання.

Відзначимо, що трифазне коротке замикання безпосередньо на виході блокового трансформатора є найважчим аварійним режимом для турбогенератора. Проте випадання генератора з синхронізму в цьому разі спостерігається не завжди, і залежить від запасу стійкості СГ, зумовленому значною кількістю параметрів (параметрами системи збудження і налаштуванням регулятора збудження, величиною та характером навантаження СГ тощо).

Результати досліджень підтверджують, що введення контуру компаундування в систему самозбудження дає змогу збільшити стійкість роботи СГ в аварійних режимах, пов'язаних з короткими замиканнями на його виході.

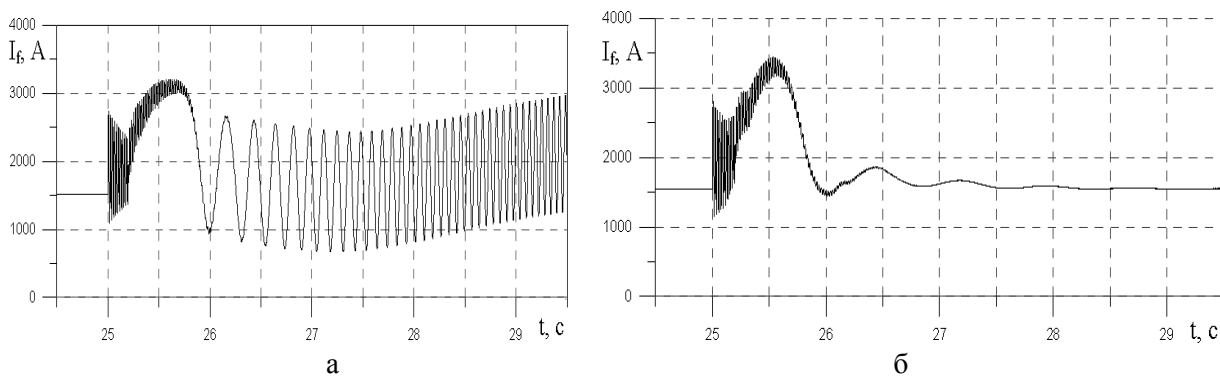
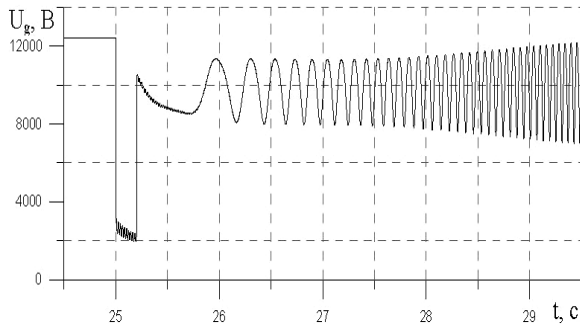
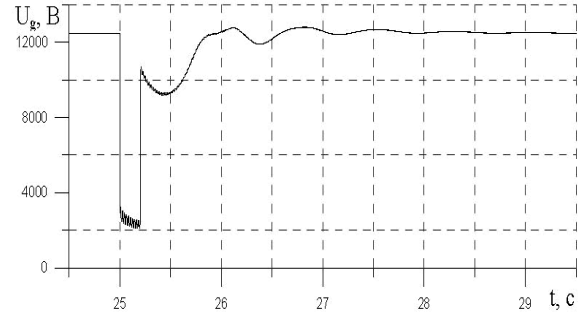


Рис. 5. Струм збудження СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

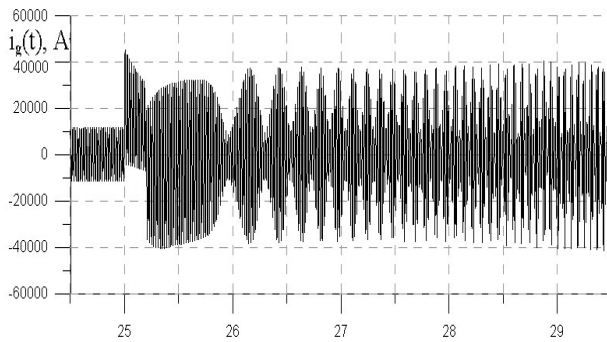


а

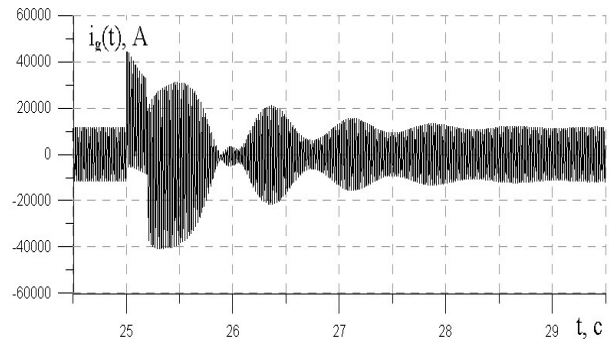


б

Рис. 6. Обвідна напруги статора СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

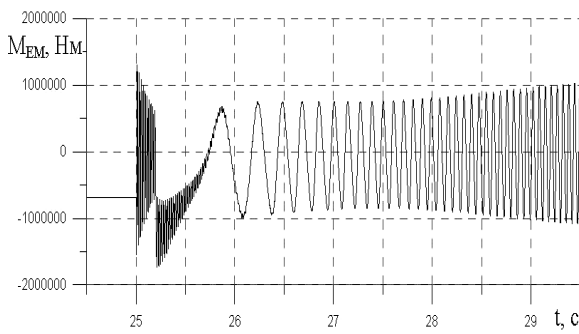


а

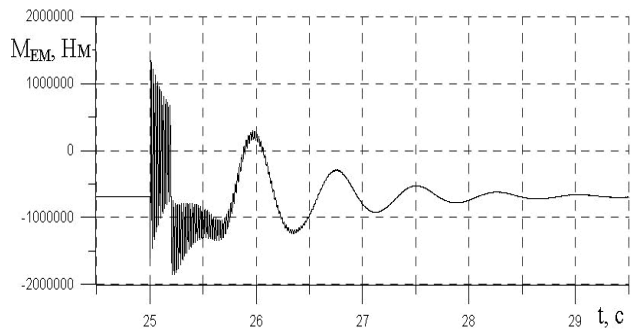


б

Рис. 7. Струм статора СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

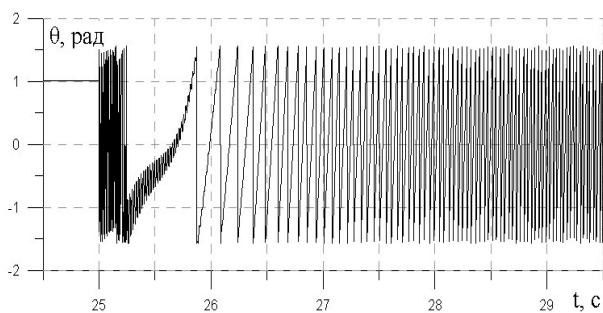


а

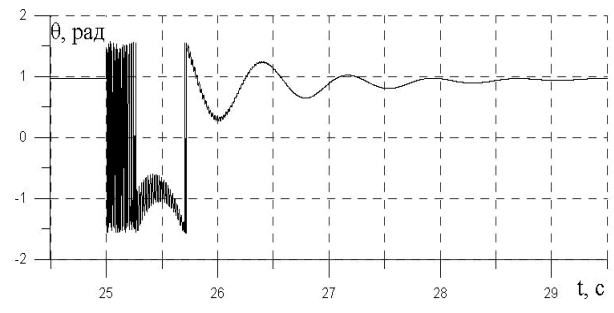


б

Рис. 8. Електромагнітний момент СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)



а



б

Рис. 9. Кут навантаження СГ для системи без ФК (а) та для системи з ФК (б)

Висновки

Результати дослідження систем генерування електроенергії СГ свідчать, що використання систем збудження з ФК в системах генерування електроенергії СГ з самозбудженням дає змогу підвищити стійкість системи в аварійних режимах роботи, зокрема в режимі трифазного короткого замикання, збільшуючи форсування збудження у разі просідання напруги на виході генератора та перешкоджає випаданню генератора з синхронізму навіть у разі тривалих коротких замиканні на виході СГ. Це визначає переваги використання систем збудження СГ з ФК у системах з самозбудженням порівняно з системами, що не містять контуру компаундування.

1. Куцик А.С. Застосування методу середньокрокових напруг для математичного моделювання електромеханічних систем з синхронною машиною / А.С. Куцик, М.Б. Семенюк // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – №. 671: Електромеханічні та електроенергетичні системи. – 2010. – С. 45–51. 2. Плахтина О.Г. Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки / О.Г. Плахтина // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 30. – С. 223–225. 3. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинновентильных систем / Е.Г. Плахтына – Л.: Вища шк., 1986. – 161 с. 4. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: ГОСТ 21558-2000 – [Действующий от 2003-07-1]. – Межгосударственный стандарт, 2003. – 24 с. 5. Юрганов А.А. Регулирование синхронных генераторов / А.А. Юрганов, В.А. Кожевников. – СПб.: Наука, 1996. – 138 с.

УДК 621.313.3

В.С. Маляр, І.Р. Гавдьо

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ЕМА

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ З ЕКРАНОВАНИМИ ПОЛЮСАМИ

О Маляр В.С., Гавдьо І.Р., 2011

Розглянуто вплив параметрів на тривалість перехідних процесів в асинхронному двигуні з екранованими полюсами у разі вмикання на навантаження вентиляторного типу на підставі використання математичної моделі двигуна, в якій магнітопровід подано розгалуженою заступною схемою.

Ключові слова: асинхронний двигун, екрановий полюс, параметри, перехідні процеси.

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

Key words: induction motor, shded-pole, parameters, transient processes.

Вступ

Асинхронні двигуни з екранованими полюсами (АДЕП) завдяки своїй надійності та простоті конструкції широко застосовують у приводах приладів мікроклімату, особистої гігієни та в системах автоматики, телемеханіки, обчислювальної техніки, для яких основними є вимоги низької собівартості і надійності. Під час проектування двигуна необхідно перевіряти його робочі властивості 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. Складність теоретичного дослідження та розрахунку процесів в АДЕП зумовлена необхідністю врахування несиметрії