

5. Кондратьев К.Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К.Я. Кондратьев, З.М. Пивоваров, М.П. Федорова. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 340 с.
6. Рабинович М.Д. Сравнение различных методов представления климатической информации при расчетной производительности гелиосистем / М.Д. Рабинович // Гелиотехника. – 1986. – №3.
7. Системы солнечного тепло – и хладоснабжения / [Э.Р. Авязов, М.А. Барский – Зорин, Н.М. Васильев и др.]; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича.– М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
8. Теплотрия в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, С.А. Сажина, Ю. М. Сергиенко, В.Г. Федоров; под ред. Б.Х. Драганова. – К.: Изд-во УСХА, 1993. – 280 с.
9. Look D.C. Shopt method for the analytical determination of atmospheric model parameters // Solar Energy. – 1975. – Vol.17 – p. 265
10. Morrison C.A., Feber E.A. Development and use of solar insolation data in northern tatitube for south facing surfaces // Solar Energy. – 1976. – Vol. 17. – P. 116 – 120
11. Norris D.G. Correlation of solar radiation with cloud // Solar Energy. – 1968. – Vol. 12. – P. 107 – 112

Приведен метод оценки интенсивности солнечной инсоляции, приходящейся на вертикальную или наклонную поверхность.

Интенсивность излучения, зенитный угол, вероятность распределения, статистический метод.

A method for measuring the intensity of solar insolation falling on a vertical or inclined surface.

The intensity of radiation, zenith angle, the probability distribution, the statistical method.

УДК:621.313.322

ОСОБЛИВОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В АВТОНОМНОМУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ З КОМПЕНСОВАНИМИ АСИНХРОННИМИ МАШИНАМИ

С.С. Макаревич, асистент

Проаналізовано енергетичні перетворення в автономному електромеханічному комплексі з компенсованими асинхронними машинами, проведено порівняння основних енергетичних показників автономного асинхронного генератора та компенсованого автономного асинхронного

генератора при роботі на серійний асинхронний двигун у складі автономного електромеханічного комплексу.

Автономний електромеханічний комплекс, компенсований автономний асинхронний генератор, компенсований асинхронний двигун, енергетичні перетворення.

Метою досліджень є визначення основних енергетичних показників автономного електромеханічного комплексу з компенсованими асинхронними машинами та їх аналіз.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення енергетичних показників автономного електромеханічного комплексу (АЕК) з компенсованими асинхронними машинами (КАМ) прийнятий двигун АИР71А2 і генератор АИР71В2. Вибір серії обґрунтовано доступністю вихідних параметричних даних асинхронних машин (АМ) [1], хоча запропонований принцип розрахунку справедливий для асинхронних машин різноманітних серій і способів компенсації реактивної потужності. Струми, ЕРС, напруги використовуються з розрахунку усталеного процесу компенсованого асинхронного генератора (КААГ) при роботі на компенсований асинхронний двигун (КАД) сумірної потужності [2,3]. Ємнісні параметри приймаються, враховуючи результати попередньо розрахованих і побудованих сімейств зовнішніх характеристик асинхронних серійних і компенсованих машин [4,5,6].

Результати досліджень. Побудова енергетичних діаграм активної та реактивної потужності АЕК з КАМ здійснена відповідно до схеми рис.1.

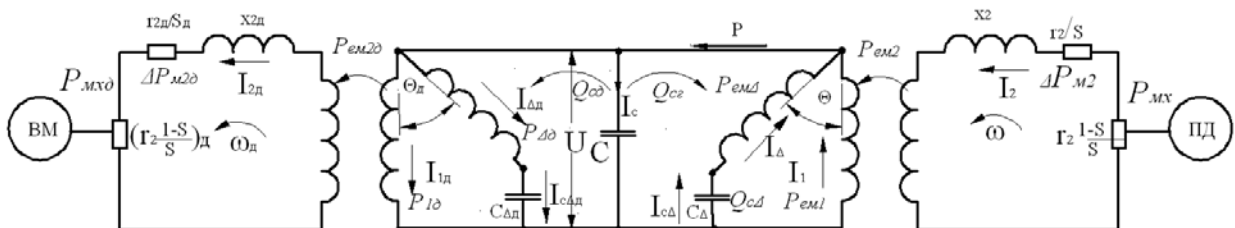


Рис.1. Принципова електрична схема заміщення фази автономного електромеханічного комплексу з компенсованим автономним асинхронним генератором і компенсованим асинхронним двигуном

При розрахунку застосована схема КААГ, де обмотка ротора приведена до обмотки статора генератора, еквівалентна поворотному автотрансформатору. Активну потужність КААГ отримує з вала приводного двигуна, електричний еквівалент якої у колі ротора (рис. 1, 2) визначається як:

$$P_{mx} = M\omega = I_2^2 r_2 \frac{1-S}{S}. \quad (1)$$

Електромагнітним шляхом з первинного кола (ротор) у вторинне коло (статор) передається активна потужність фази $P_{mx} - P_{m2} - \Delta P_{mx} = P_{em2}$, де частина витрачається на втрати на нагрів в обмотці ротора:

$$P_{m2} = I_2^2 r_2. \quad (2)$$

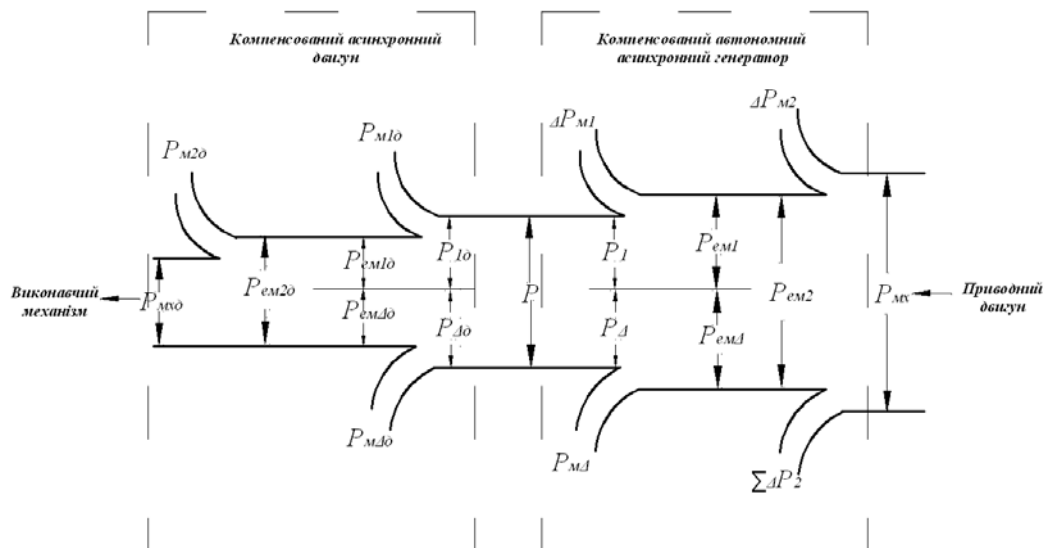


Рис.2. Енергетична діаграма активної потужності автономного електромеханічного комплексу з КААГ і КАД в квазіусталеному процесі

Сумарні втрати корисної механічної потужності або вторинної потужності (складають 2–3 %, при розрахунку ними нехтують) визначаються так:

$$\sum \Delta P_2 = \Delta P_{мх} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{доод} \cdot \quad (3)$$

Потужність $P_{ем2}$ передається у вторинну обмотку (статор) як $P_{ем}$ і становить:

$$P_{ем} = P_{ем2} = P_{ем1} + P_{ем\Delta} \cdot \quad (4)$$

Повна електромагнітна потужність, що передається з ротора (первинного кола) у статор (вторинне коло автотрансформатора):

$$S_{ем2} = \dot{E}_2 \dot{I}_2^* = P_{ем2} + jQ_{ем2} \cdot \quad (5)$$

Повна електромагнітна потужність первинної та додаткової напівобмоток статора (АТ) визначається як $S_{ем1} = \dot{E}_1 \dot{I}_1^* = P_{ем1} + jQ_{ем1}$, $S_{ем\Delta} = \dot{E}_\Delta \dot{I}_\Delta^* = P_{ем\Delta} + jQ_{ем\Delta}$. Частина активної потужності P розподіляється між навантаженням (асинхронним двигуном) і втратами в напівобмотках статора:

$$\Delta P_{м1} = I_1^2 r_1, \quad \Delta P_{м\Delta} = I_\Delta^2 r_\Delta, \quad (x_\Delta = x_1) \quad (6)$$

При чому потужності напівобмоток статора КААГ визначаються як $P_1 = P_{ем1} - P_{м1}$ та $P_\Delta = P_{ем\Delta} - P_{м\Delta}$, тобто $P_2 = P_1 + P_\Delta$.

Компенсований асинхронний двигун отримує активну потужність

$$P = P_2 \quad (7)$$

У КАД частина потужності P розподіляється між напівобмотками статора двигуна: первинною $P_{1\delta} = P_{em\delta} + P_{m1\delta}$, додатковою $P_{\Delta\delta} = P_{em\delta} + P_{m\Delta\delta}$ та втратами у вигляді $P_{m1\delta} = I_{1\delta}^2 r_1$, $P_{m\Delta\delta} = I_{\Delta\delta}^2 r_1$ ($r_1 = r_\Delta$).

Повна електромагнітна потужність напівобмоток статора визначається як $S_{em1\delta} = \dot{E}_{1\delta} \dot{I}_1^* = P_{em1\delta} + jQ_{em1\delta}$; $S_{em\Delta\delta} = \dot{E}_{\Delta\delta} \dot{I}_\Delta^* = P_{em\Delta\delta} + jQ_{em\Delta\delta}$. Активна електромагнітна потужність $P_{em\delta}$, що передається зі статора у ротор визначається як $P_{em\delta} = P - P_{m1\delta} - P_{m\Delta\delta} = P_{em1\delta} + P_{em\Delta\delta}$. При цьому $P_{em1\delta} + P_{em\Delta\delta} = P_{em2\delta}$ – електромагнітна потужність, що потрапляє у ротор КАД. Частина потужності $P_{em2\delta} = P_{mx\delta} + P_{m2\delta}$ йде на нагрівання обмотки ротора

$$P_{m2\delta} = I_{2\delta}^2 \cdot r_{2\delta}, \quad (8)$$

а залишок

$$P_{mx\delta} = I_{2\delta}^2 r_{2\delta} \frac{1 - S_\delta}{S_\delta} \quad (9)$$

перетворюється у механічну потужність ротора.

Коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна визначається як

$$\eta_\delta = \frac{P_{mx\delta}}{P}. \quad (10)$$

Втрати $\Delta P_{\delta od}$ (ΔP_{mx} – механічні, ΔP_{cm} – в сталі, $\Delta P_{\delta od}$ – додаткові) не включені до розрахунку при визначенні активної потужності АЕК.

Енергетичну діаграму реактивної потужності АЕК з КАМ зображено на рис.3.

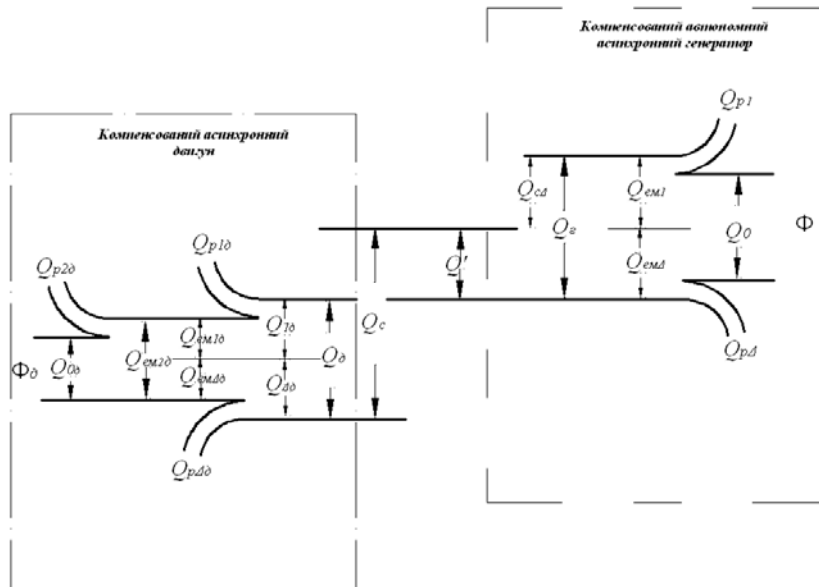


Рис.3. Енергетична діаграма реактивної потужності автономного електромеханічного комплексу КААГ і КАД у квазіусталеному процесі

Реактивна потужність (див.рис.3)

$$Q_c = Ux_c = I_c^2 x_c, \quad (11)$$

вироблена конденсатором, розподіляється між КАД (навантаженням) $Q_{\delta} = Q_c - Q'$ і КААГ $Q' = Q_z - Q_{c\Delta}$ (реактивна потужність, що споживає генератор на збудження та компенсацію), де $Q_{c\Delta} = I_{\Delta}^2 x_{c\Delta}$.

Частина реактивної потужності компенсованого автономного асинхронного генератора

$$Q_z = Q_0 + Q_{p1} + Q_{p\Delta}, \quad (12)$$

де $Q_{p1} = I_1^2 x_1$, $Q_{p\Delta} = I_{\Delta}^2 x_{\Delta}$, витрачається на створення поля розсіювання напівобмоток статора, а частина $Q_0 = Q_{em1} + Q_{em\Delta} - Q_{p1} - Q_{p\Delta}$ – на намагнічування генератора і створення основного магнітного потоку Φ ($Q_{em1} = \text{Im}[\dot{E}_1 I_1^*]$ та $Q_{em\Delta} = \text{Im}[\dot{E}_{\Delta} I_{\Delta}^*]$ – передаються у ротор КААГ для створення поля розсіювання).

У КАД частина реактивної потужності Q_{δ} витрачається на створення поля розсіювання напівобмоток $Q_{p1\delta} = I_{1\delta}^2 x_1$, $Q_{p\Delta} = I_{\Delta\delta}^2 x_{\Delta\delta}$. Напівобмотки статора беруть участь у створенні основного електромагнітного поля КАД, потужність

$$Q_{em2\delta} = Q_{em1\delta} + Q_{em\Delta\delta},$$

де $Q_{em1\delta} = \text{Im}[\dot{E}_{1\delta} I_1^*]$, $Q_{em\Delta\delta} = \text{Im}[\dot{E}_{\Delta\delta} I_{\Delta}^*]$.

Реактивна потужність $Q_{em2\delta}$ розподіляється у роторі для створення поля розсіювання обмотки ротора $Q_{p2\delta} = I_{2\delta}^2 \cdot x_2$, а $Q_{0\delta} = I_{0\delta} \cdot x_{m\delta}$ – йде на намагнічування КАД і створення основного магнітного потоку Φ_{δ} . Тобто $Q_{em2\delta} = Q_{0\delta} + Q_{p2\delta}$.

Порівняльна розрахункова характеристика основних параметрів, що визначають енергетичну ефективність, здійснена для автономного асинхронного генератора та компенсованого автономного асинхронного генератора при роботі на серійний асинхронний двигун у складі автономного електромеханічного комплексу [2].

В усталеному режимі асинхронного двигуна (АД) з номінальним навантаженням ($S_{нд} = 0,1565$) при моменті навантаження $M_{нд} = 2,645$ Нм АД при роботі від ААГ і $M_{нд} = 2,67$ Нм від КААГ енергетичні показники генераторів відповідно становлять:

- вихідна напруга генератора: $U = 223,5$ і $U = 224,2$ В;
- загальний робочий струм: $I = 1,922$ А і $I = 1,567$ А;
- виробіток реактивної потужності в АЕК загальною батареєю конденсаторів: $Q_c = 415,6$ ВАр і $Q_c = 279,5$ ВАр;
- реактивна потужність внутрішньої ємнісної компенсації $Q_{c\Delta} = 0$ ВАр і $Q_{c\Delta} = 116$ ВАр;
- загальна витрата реактивної потужності у АЕК $Q_c + Q_{c\Delta} = 415,6$ ВАр і $Q_c + Q_{c\Delta} = 395,5$ ВАр, для створення основного магнітного потоку

генератора $Q_0 = 256,5$ ВАр і $Q_0 = 241,9$ ВАр;

- повна потужність генератора $S = 428,5$ ВА і $S = 351,5$ ВА;
- коефіцієнт потужності генератора, $\cos \varphi = 0,726$ і $\cos \varphi = 0,894$;
- загальний енергетичний коефіцієнт генератора $\eta_2 = 0,627$ і $\eta_2 = 0,702$ (без урахування втрат у сталі і додаткових витрат).

Висновки

Сукупність наведених основних енергетичних показників ААГ і КААГ визначають підвищену енергетичну ефективність КААГ у номінальному режимі роботи у порівнянні з ААГ - загальний робочий струм зменшився на 22,6 %, виробіток реактивної потужності в АЕК загальною батареєю конденсаторів зменшився на 48,7%, реактивна потужність внутрішньої ємнісної компенсації становить 116 ВАр, загальна витрата реактивної потужності у АЕК зменшилась на 5 %, а для створення основного магнітного потоку генератора на 6 %; коефіцієнт потужності генератора $\cos \varphi$ збільшився на 23 %, а загальний енергетичний коефіцієнт генератора на 11,9 %.

Основною перевагою АЕК з АД і КААГ (узагальненого компенсованого асинхронного генератора) є стійка робота системи у динамічних режимах (пуск АД). Робота традиційної системи у складі АЕК з АД і ААГ нестійка (незначні відхилення ємності у зовнішньому колі або ковзання від необхідних величин призводять до порушення режимів намагнічування машин, змін струму і напруги, виникають явища ферорезонансу, автоколивань.).

Використання у якості робочого асинхронного двигуна КАД [3,6] з поліпшеними пусковими і робочими характеристиками впливає на покращення умов сумісної стійкої роботи асинхронних машин у АЕК.

Список літератури

1. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / [А.Э Кравчик., М.М. Шлаф и др.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504с.
2. Методика розрахунку характеристик автономних асинхронних генераторів зі змішаним ємнісним збудженням / [В.И Мишин, В.В. Каплун, А.М, Кулинич, С.С. Макаревич] – К.: Видавничий центр НАУ, 2007. – 44с.
3. Мишин В.И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях /В.И.Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – 2009. – №8. – С. 30 – 36.
4. Мишин В.И., Каплун В.В., Макаревич С.С. Автономный асинхронный генератор с внутренним ёмкостным возбуждением. /В.И. Мишин, В.В Каплун, С.С. Макаревич// Электротехника – 2011. №3 – С. 20 – 25.
5. Мишин В.И. Асинхронный электромеханический комплекс в автономной системе. / В.И. Мишин, В.В Каплун, С.С. Макаревич // Электротехника і електромеханіка. – 2008. – №1. – С. 30 – 35.
6. Мишин В.И., Лут Н.Т. Асинхронные электродвигатели с улучшенными энергетическими и пускорегулирующими характеристиками / Мишин В.И., Лут Н.Т. // Вісник Національного техн. уні-ту „ХПІ”. – 2001. – №17. – С.110-112.

Проанализированы энергетические преобразования в автономном электромеханическом комплексе с компенсированными асинхронными машинами, проведено сравнение основных энергетических показателей автономного асинхронного генератора и компенсированного автономного асинхронного генератора при работе на серийный асинхронный двигатель в составе автономного электромеханического комплекса.

Автономный электромеханический комплекс, компенсированный автономный асинхронный генератор, компенсированный асинхронный двигатель, энергетические преобразования.

The energy conversion are analysed in the autonomous electromechanical complex with the compensated asynchronous machines. The comparison of main energy indication of autonomous asynchronous generator and compensated autonomous asynchronous generator is conducted during work on a serial asynchronous engine in an autonomous electromechanical complex.

The autonomous electromechanical complex, compensated autonomous asynchronous generator, compensated asynchronous engine, the energy conversion

УДК 621.365

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ЦИЛІНДРИЧНОГО ІНДУКТОРА ДЛЯ НАГРІВУ ФЕРОМАГНІТНИХ ТРУБ

***І.П. Кондратенко, доктор технічних наук
А.О. Березюк, аспірант****

Проведено порівняльний аналіз результатів аналітичних розрахунків циліндричного індуктора із завантаженням у вигляді феромагнітної труби та результатів моделювання електрофізичних процесів, які протікають в індукторі методом скінченних елементів за допомогою програмного середовища COMSOL Multiphysics.

Циліндричний індуктор, індукційний нагрів, феромагнітне завантаження.

Математичне моделювання пристроїв індукційного нагріву є однією з поширених традиційних задач електротехніки. Останні досягнення електротехнічної науки базуються на використанні чисельних методів розрахунку на основі методу скінченних елементів, недоліком яких є

*Науковий керівник – доктор технічних наук І.П. Кондратенко

© І.П. Кондратенко, А.О. Березюк, 2012