міжнародною участю, 21-22 жовтня 2009 р. – Видавець Ю.А. Чабаненко, 2009. – С. 386–391.

6. . Розен В.П. Системи моніторингу енергозберігаючих проектів / В.П. Розен, Є.М. Іншеков, В.І. Литвин // Реконструкція житла.– 2009. – Вип. 11. – С. 179–186.

СИСТЕМА ПОМОЩИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОМЕНЕДЖЕРОВ ПО ПРОЦЕССАМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗДАНИЯМИ

В. И. Литвин, Е.В. Шелиманова

Предложены математические модели и методы, которые позволяют создавать эффективные системы управления потреблением тепловой энергии зданиями.

Ключевые слова: энергоменеджмент, автоматическое регулирование потребления тепловой энергии, эффективность теплопотребления

SYSTEM DECISION SUPPORT FOR ENERGY MANAGERS ON THE PROCESS OF HEAT CONSUMPTION OF THE BUILDING

V.Lytvyn, O. Shelimanova

Mathematical models and methods which allow to create effective system of heat energy consumption buildings.

Keywords: energy management,, automatic heat consumption, heat consumption efficiency

УДК 621.313.33

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ЯК ОСНОВНИЙ ЕЛЕМЕНТ НАВАНТАЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

С. С. Макаревич, кандидат технічних наук
e-mail: birma@ukr.net

Проведено аналіз впливу асинхронного двигуна на асинхронний генератор сумірної потужності автономної системи електроживлення (АСЕЖ).

Ключові слова: автономна система електроживлення, автономний асинхронний генератор, асинхронний двигун сумірної потужності

© С. С. Макаревич, 2015

Автономні системи електроживлення призначені для забезпечення будь-яких споживачів як симетричних, так і несиметричних, з лінійними і нелінійними характеристиками при статичному і динамічному навантаженнях.

Мета досліджень – вивчення впливу асинхронного двигуна як основного електричного навантаження АСЕЖ.

Матеріали та методика досліджень. Найважчим режимом для автономної системи електроживлення є процес пуску від нього асинхронного короткозамкнутого двигуна. При зміні ковзання двигуна у процесі пуску від $S=1$ до навантажувального $S_н$ відбувається значна зміна величини пускового опору і коефіцієнта потужності у процесі розгону двигуна. Особливо різка зміна опору відбувається при $S=1$ (мінімальний опір $Z_д$) та $S=0{,}2\ldots0{,}1$ при включенні паралельно двигуну конденсатора для збудження машин в автономній системі. Сумарний опір визначається як

$$Z=\frac{-jxc}{Z_n-jxc}, \qquad (1)$$

де $Z_n=Z_д$ – опір навантаження, хс – опір ємності.

Опір системи двигун – конденсатор змінюється ще більш різко як за величиною, так і характером.

В автономному електромеханічному комплексі процес пуску двигуна задає режим роботи генератора. При цьому у системі двигун-генератор спільна напруга, робочий струм (у двигуна з урахуванням конденсаторів), єдина частота, але змінюється опір двигуна з конденсаторами, його характер, що створюють важкі умови як для генератора, так і для самого двигуна. Тобто змінюється напруга, механічна характеристика двигуна, частота, струми і т.д. Для забезпечення надійного розгону двигуна генератор повинен створювати у процесі пуску момент, що перевищує момент навантаження не менше, ніж на 10–15 %, що відповідає ковзанню навантаження $S_н$ при $S'=S_н+0{,}01$.

В усталеному режимі моменти двигуна і навантаження повинні бути врівноважені. Напруга генератора і момент двигуна різко падають при першому накиді, під час розгону двигуна вони дещо збільшуються., але в діапазоні при $S=0{,}2\ldots0{,}1$ відбувається другий накид зниження напруги і провал у механічній характеристиці. При задовільному розгоні двигуна механічна характеристика не повинна потрапляти у провал механічної характеристики навантаження двигуна.

Для цього необхідно виключити провал шляхом впливу на пусковий режим двигуна та його характеристики.

При розрахунках характеристики генератора приймається його основний енергетичний параметр: основна ЕРС E_1 обмоток статора. Навантаження характеризується його опором Z_n або з урахуванням

опору ємності $Z = \frac{-jx_c}{Z_n - jx_c}$. При роботі генератора на двигун опір навантаження замінюється на опір двигуна $Z_n = Z_д$.

Методика розрахунку характеристик генератора аналогічна розрахунку на статичне навантаження [2]. При цьому, сумісна робота генератора і двигуна у комплексі має свої особливості: двигун вносить елементи новизни у розрахунки характеристик при їх сумісній роботі. У загальному випадку приймаємо компенсований асинхронний генератор при роботі на компенсований асинхронний двигун сумірної потужності. Внутрішня ємнісна компенсація генератора підвищує величину його напруги, рівень стабілізації наруги при зміні навантаження. В компенсованому асинхронному двигуні підвищується пусковий момент, знижуються робочі струми. Зовнішня ємнісна компенсація як генератора, так і двигуна призводить до максимального наближення величин базових потужностей при задовільному пуску у процесі розгону двигуна. Найгірший варіант прийняття генератора і двигуна на базі серійних машин.

Результати досліджень. Як приклад розрахунків прийняті компенсований асинхронний генератор на базі серійного двигуна 4А71В2 номінальною потужністю 1,1 кВт і компенсований асинхронний двигун на базі серійного 4А71А2 потужністю 0,75 кВт. Вибір обґрунтовано необхідністю порівняння прийнятої АСЕЖ із класичною системою, що складається із синхронного генератора та асинхронного двигуна. Задовільний режим пуску класичної АСЕЖ при чотири – п’ятикратному форсуванню збудження генератора забезпечує співвідношення потужностей двигуна і генератора, що дорівнює 0,7 [3].

Методика розрахунку характеристик генератора приймається по [2]. Наведемо методику розрахунку характеристик двигуна в складі АСЕЖ.

Для розрахунку характеристики генератора при роботі його на статичне навантаження враховано зміну опору x_m намагнічуючого контуру при зміні його навантаження і параметрів генератора , а також використано типову криву намагнічення базової асинхронної машини [2]. Крива намагнічення як базова може бути використана і для розрахунку характеристик двигуна, але у генератора основним енергетичним параметром є ЕРС, що залежить від режимів намагнічування $E_1 = f\left(x_m\right)$. У процесі зміни навантаження режим намагнічення генератора різко змінюється (x_m – змінна). У двигуна основним енергетичним параметром є напруга, що прикладена від генератора. Напруга перешкоджає намагнічуванню двигуна, бо магнітний потік пропорційний напрямку магнітного потоку $F = \frac{U}{4.44 f W k_1}$ при зміні навантаження двигуна, а опір x_{mg}, намагнічуючого контуру змінюється менше, ніж генератора і попередньо прийнятий постійним, що відповідає номінальному опору

намагнічуючого контуру x_m базової машини (в подальшому враховується зміна x_{mg} із врахуванням кривої намагнічування).

В АСЕЖ режими роботи генератора і двигуна взаємозалежні, тому розрахунки їх ведуть спільно. Для генератора опором навантаження є розрахункове значення опору двигуна Z_∂ з урахуванням опору ємності С ($x_c = \frac{1}{\omega_1 c}$) (залежить від схеми, модифікації, параметрів і ковзання двигуна). Опір двигуна при заданому ковзанні S_∂ у процесі розгону відповідно до схеми (рис. 1) при роботі його від УКААГ визначається так:

$$Z_\partial = Z_{1\partial} + \frac{jx_{m\partial} \cdot Z_{2\partial}}{Z_{2\partial} + x_{m\partial}};\ Z_{2\partial} = \frac{r_2}{S} + jx_2. \qquad (2)$$

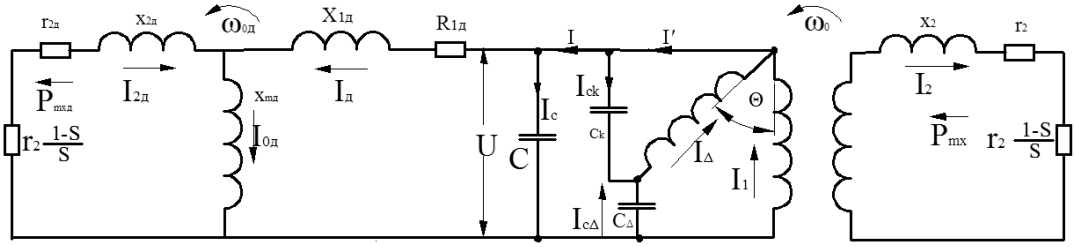

Рис. 1. Принципова електрична схема АСЕЖ: узагальнений компенсований автономний асинхронний генератор (УКААГ) і асинхронний двигун (АД)

Загальний опір двигуна з паралельним ємнісним x_c опором визначається за формулою:

$$Z = \frac{-jx_c Z_\partial}{Z_\partial - jx_c} = r + jx;\ r = \frac{x_c^2 r_\partial}{r_\partial^2 + (x_\partial - x_c)^2};\ x = -x_c \frac{r_\partial^2 - x_\partial x_c + x_\partial^2}{r_\partial^2 + (x_\partial - x_c)^2}, \qquad (3)$$

де x_c може бути постійним, а Z_∂ є змінним і залежить від ковзання S_∂ двигуна і частково від $x_{m\partial}$ - опору намагнічуючого контуру двигуна.

Повний опір фази серійного асинхронного двигуна визначається так: $Z_\partial = Z_{10} + Z_s = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_\partial}$ де $Z_{10} = R_{10} + jX_{10}$ – власний опір обмотки статора [4]; $Z_s = \frac{jx_{m\partial} Z_2}{Z_2 + jx_{m\partial}}$ – опір кола ротора відносно ЕРС E_2, I_∂ – повний струм кола статора, $\dot{U}$ – робоча напруга обмотки статора. Опір Z_S входить у формули для параметричних коефіцієнтів $\gamma, \Delta = \varphi(Z_s)$ компенсованих двигунів (КАД, УКАД) і їх повних опорів Z_∂, які визначаються за формулами:

для КАД $Z_\partial = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{1}{\gamma + \Delta}$ при $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta;\ \dot{I}_1 = \gamma \dot{U};\ \dot{I}'_\Delta = \Delta \dot{U};$

для УКАД $Z_\partial = \dfrac{\dot{U}}{\dot{I}_\partial}$ при $\dot{I}_\partial = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta + \dot{I}_{ck}$; $\dot{I}_1 = \gamma\dot{U}$; $\dot{I}'_\Delta = \Delta\dot{U}$,

$$\dot{I}_{ck} = \frac{j\dot{U}}{x_{ck}}\left[(1 - \gamma Z_1 - jx_1\cos\Theta\cdot\Delta)e^{j\Theta} + \Delta Z_1 + jx_1\cos\Theta\cdot\gamma\right]. \qquad (4)$$

Зміна ковзання S_∂ в межах $S'_н \le S_\partial \le 1$ при розгоні АД значно впливає на опір $Z_{2\partial} = \dfrac{r_{2\partial}}{S_\partial} + jx_{2\partial}$, $Z_s = \dfrac{jx_{m\partial}Z_2}{Z_2 + jx_{m\partial}}$ і повний опір двигуна $Z_\partial = r_\partial + jx_\partial$, що відображається кривими залежності r_∂, x_∂, $\cos\varphi_\partial = f(S_\partial)$. Характер зміни цих опорів при розгоні двигуна 4А71А2 з ємнісним опором x_c (x_c=50; 100 Ом) наведений на рис. 2

Опір $x_{m\partial}$ контуру намагнічування АД відповідно до кривої намагнічування АМ $E = \varphi(x_m)$ змінюється у широкому діапазоні і залежить від ЕРС (див. рис. 2). З рівняння електричної рівноваги $\dot{U} = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{1\partial}Z_{1\partial}$ очевидно, що ЕРС E залежить від струму навантаження $\dot{I}_{1\partial}$, тобто від ковзання S_∂ двигуна. У режимі двигуна при $0 \le S_\partial \le 1$ ЕРС $E_1 < U$ менше напруги, тому при U=220 В при навантаженні $E < E_0 = U_н$ (E_0 – ЕРС ідеального холостого ходу), якій відповідає $x_{m\partial 0}$ (для АД 4А71А2 $x_{m\partial 0}$=337,2 Ом). Опір $x_{m\partial} > x_{m\partial 0}$ при пуску і розгоні АД до номінального ковзання $S_{\partial н}$ відповідно до кривої намагнічування (див. рис. 2) змінюється у діапазоні $580 - 400$ Ом. Опір $x_{m\partial}$ значний за величиною, включений паралельно з опором $Z_{2\partial} = \dfrac{r_{2\partial}}{S_\partial} + jx_{2\partial}$ кола ротора (див. рис. 1) несуттєво впливає (особливо при $S_{\partial к} \le S_\partial \le 1$) на загальний опір навантаження АД, відповідно на його ЕРС і струм, тому значення його приймається постійним. При розгоні АД 4А71А2 $x_{m\partial}$=$550 - 580$ Ом (див. рис. 2) у діапазоні зміни ковзання від пускового $S_{\partial п} = 1$ до критичного $S_{\partial к}$, а при $S_\partial < S_{\partial к}$ $x_{m\partial}$=$450 \div 480$ Ом. Залежно від заданого ковзання $x_{m\partial}$ асинхронного двигуна попередньо приймається у межах $580 - 450$ Ом при роботі у складі автономного електромеханічного комплексу. У процесі розрахунку величина $x_{m\partial} = \psi(S_\partial)$ уточнюється згідно з прийнятим методом послідовних наближень.

Приймається загальна методика розрахунку з її особливостями для КААГ з додатковим ємнісним намагнічуванням (див. рис. 1).

Після визначення для заданих Z_∂, x_c, $x_{c\Delta}$, x_{ck} електричних величин генератора (основної ЕРС E_1, струмів $\dot{I}_1, \dot{I}_\Delta, \dot{I}_2, \dot{I}_0$, напруги $\dot{U}_1$ та ін.) знаходять струми двигуна $\dot{I}_{1\partial} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta - \dot{I}_{ck} - \dot{I}_c$, струм ротора

$\dot{I}_{2\partial} = \dfrac{\dot{E}_{2\partial}}{\dfrac{r_{2\partial}}{S_\partial} + jx_{2\partial}}$, де $\dot{E}_{2\partial} = \dot{E}_{1\partial} = -\left[\dot{U}_1 - \dot{I}_{1\partial}\left(r_{1\partial} + jx_{1\partial}\right)\right]$ – основні ЕРС двигуна; електромагнітний момент, що розвивається двигуном $M_\partial = m\dfrac{I_{2\partial}^2 r_{2\partial}}{\omega_\partial S_\partial}$ при заданому ковзанні S_∂.

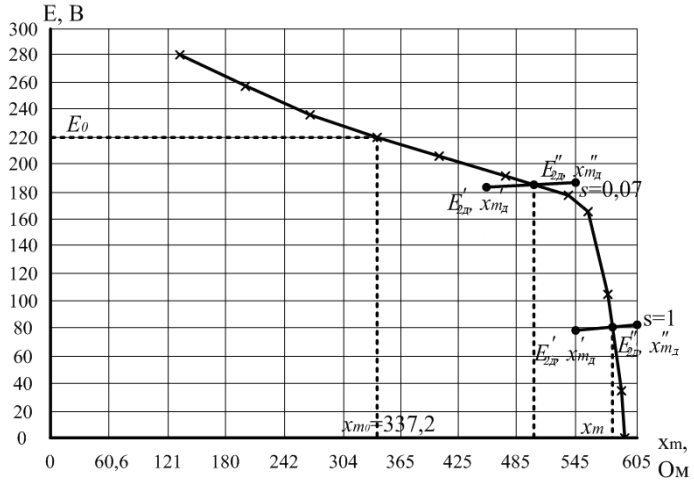

Рис. 2. Графік залежності $E = \varphi\left(x_m\right)$ на основі типової кривої намагнічування асинхронної машини 4А71А2

За отриманою величиною $E_{2\partial}$ і кривою $E = \varphi\left(x_m\right)$ (див. рис. 2) уточнюється розрахункове значення $x_{m\partial}$. Якщо попередньо прийняте значення $x'_{m\partial}$ відрізняється від знайденого значення $E_{2\partial}$ і кривої $E = \varphi\left(x_{m\partial}\right)$ більше, ніж на 5 %, то приймається нове значення $x_{m\partial}$ і розрахунок повторюється при $x_{m\partial} \approx x'_{m\partial}$. Для більш точного визначення $x_{m\partial}$ при заданому ковзанні S_∂ приймається два значення $x'_{m\partial}$ та $x''_{m\partial}$, знаходять для них ЕРС вторинної обмотки АД $E'_{2\partial}$, $E''_{2\partial}$. На перетині з кривою $E = \varphi\left(x_{m\partial}\right)$ ліній, що утворені з'єднанням точок $E'_{2\partial}$, $x'_{m\partial}$ і $E''_{2\partial}$, $x''_{m\partial}$, знаходяться уточнені розрахункові значення $x_{m\partial}$.

Будується механічна характеристика, зовнішня характеристика генератора, оцінюється за ними умови пуску двигуна від генератора сумірної потужності в автономній системі.

Наведений приклад варіанта розрахунку компенсованого асинхронного генератора для компенсованого асинхронного двигуна, де значення опорів внутрішньої та зовнішньої ємності відповідно у генератора складають: $x_{c\Delta}$= 60 Ом, x_c =102 Ом – у номінальному режимі; додаткової внутрішньої ємності x_{ck}=300 Ом при пуску двигуна; у двигуна $x_{c\Delta}$= 110 Ом, x_c =20 Ом. [5]. Двигун створює максимальний пусковий

момент і мінімальний робочий струм у номінальному режимі при x_c =21,6 Ом та $x_{c\Delta}$ =110 Ом.

Висновки

Встановлено, що прийнята методика процесу пуску двигуна від генератора в АСЕЖ застосовується для різноманітних варіантів компенсованих і базових серійних асинхронних двигунів і генераторів.

Сумісна робота КАД та КААГ у автономному електромеханічному комплексі відбувається з покращенням робочих характеристик асинхронного генератора (підвищення рівня напруги і ступеня жорсткості зовнішніх характеристик) і пускових характеристик двигуна, зниження споживання реактивної потужності машин за рахунок ефекту внутрішньої ємнісної компенсації.

Для асинхронного генератора, як і для двигуна, в АЕК можна використовувати різні способи ємнісної компенсації.

Список літератури

1. Вольдек А. И. Электрические машин / А. И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
2. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин : Учебник для вузов / И. П. Копылов. – [3-е изд. перераб. и доп.].– М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
3. Методика розрахунку характеристик автономних асинхронних генераторів зі змішаним ємнісним збудженням [Мішин В. І, Каплун В. В., Макаревич С.С. та ін.]. – К. : ВЦ НАУ, 2007 – 44 с.
4. 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.
5. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.-Л.: ГЭИ, 1963. – 528 с.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ НАГРУЗКИ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

С.С. Макаревич

Проведен анализ влияния асинхронного двигателя на асинхронный генератор соизмеримой мощности автономной системы электропитания (АСЭП).

Ключевые слова: автономная система электропитания, автономный асинхронный генератор, асинхронный двигатель соизмеримой мощности

INDUCTION MOTOR AS THE MAIN ELEMENT OF THE AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM LOAD

S. Makarevych

The effect of the asynchronous motor asynchronous generator power commensurate autonomous power supply system.

Keywords: autonomous power supply system, a stand-alone induction generator, induction motor of comparable capacity

УДК621.355.9

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОРБЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко, кандидат технических наук
e-mail: petrenko.a80@mail.ru

Приведена математическая модель гидродинамики гетерогенных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии. Выполнен анализ исследований течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется. Рассмотрены диффузионные процессы в сорбционных термотрансформаторах.

Ключевые слова: математическое моделирование, термодинамическое равновесие, химический потенциал Гиббса, постоянная Больцмана, макроскопическая диффузия, энтропия

В основу исследования гидродинамики многофазных сред положены математические модели. Уравнение движения и состояния для всей среды в целом, задающее напряжение и внутреннюю энергию, записываются в предложении локального термодинамического равновесия, когда в каждой точке можно определить температуру среды *T*. При этом принимается, что тензор скоростей деформируется, и определяется полем бароцентрических скоростей смесей *v*.

Цель исследований – рассмотрение диффузионных процессов в сорбционных аккумуляторах с анализом течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется.

Материалы и методика исследований. Исследования выполнены на базе математических моделей с использованием метода стохастического моделирования.

Результати исследования. Считается, что влияние состава смеси (ρ_i, i = 1, 2, .., N, где ρ – плотность) непосредственно проявляется через физико-химические параметры, входящие в уравнение движения и состояния (теплоемкость, коэффициент вязкости, модуль упругости и т.д.).

После общей постановки задачи запишем систему уравнений одномерного движения двухфазных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии:

© А.В. Петренко, 2015