

ОДНОФАЗНИЙ АВТОНОМНИЙ АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР

Мішин В. І., Лут М. Т., Брагіда М. В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ)

Теоретично обґрунтовані умови роботи однофазного автономного асинхронного генератора, запропоновані електричні схеми та векторний аналіз електромагнітних процесів.

Постановка проблеми. Однофазний конденсаторний асинхронний електродвигун, у якому просторове зміщення у пазах осердя статора двох робочих обмоток складає кут рівний 90° , увімкнений в однофазну електричну мережу змінного струму за схемою поворотного автотрансформатора (АТ) повинен мати електричну ємність на виході. При певній величині ємності струми обмоток однакові за величиною і зміщені між собою по фазі в часі теж на 90° , що створює магнітне поле, яке обертається відносно осердя статора зі швидкістю $\omega_0 = 2\pi/p$.

Така система електричних струмів є двофазною. Завдяки просторовому зсуву на 90° двох однакових обмоток статора і увімкнення їх за схемою поворотного АТ на електричну ємність, як фазо зсувний елемент, відбувається перетворення однофазного кола у двофазну систему або у загальному випадку створюється подвоєння числа фаз пристрою [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обертове магнітне поле, перетинаючи обмотку ротора (найбільш поширений короткозамкнений ротор), індукуює в ній ЕРС і через короткозамкнені стержні її протікає струм, взаємодія якого з полем статора створює обертотворний момент. Машина працює у режимі асинхронного електродвигуна зі швидкістю обертання ротора $\omega = \omega_0(1-s)$. Поле статора перетинає обмотку ротора зі швидкістю $\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \omega_0 s$, де ковзання ротора двигуна s змінюється у межах $0 \leq s \leq 1$. При цьому одна з обмоток статора увімкнена на напругу \dot{U} мережі живлення і є основною і первинною обмоткою АТ, друга – додаткова або вторинна обмотка АТ, послідовно з'єднана з електричною ємністю C_Δ на виході АТ, просторово зміщена відносно основної обмотки у режимі двигуна на 90° проти напрямку обертання магнітного поля. На рис. 1 наведена принципова електрична схема двигуна (а) і його векторна діаграма (б). Обертове магнітне поле статора індукуює в обмотках його ЕРС, причому ЕРС \dot{E}_Δ вторинної обмотки АТ випереджає ЕРС \dot{E}_1 основної обмотки на кут $\theta = 90^\circ$, тому $\dot{E}_\Delta = \dot{E}_1 e^{j\theta} = j\dot{E}_1$. Напруга на виході АТ дорівнює $\dot{U}_{c\Delta} = \dot{U} - \dot{U}_\Delta$, що без урахування спадів напруги в обмотках, при $\dot{U} = \dot{E}_1 + \dot{I}z_1 \approx -\dot{E}_1$, $\dot{U}_\Delta = -\dot{E}_\Delta + \dot{I}_\Delta z_\Delta \approx -\dot{E}_\Delta$, виражається як $\dot{U}_{c\Delta} = \dot{E}_\Delta - \dot{E}_1$. Тут $z_1 = z_\Delta = r_1 + jx_1 = r_\Delta + jx_\Delta$ – власні опори обмоток статора – основної W_1 та додаткової W_Δ при рівних числах їх витків. Струм у колі ємності C_Δ вторинної обмотки АТ дорівнює $\dot{I}_\Delta = \dot{U}_{c\Delta} / -jx_{c\Delta}$ при $x_{c\Delta} = 1/\omega_0 C_\Delta$. Намагнічуючий струм \dot{I}_0 дорівнює сумі струмів основної обмотки \dot{I}_1 , додаткової обмотки, просторово приведений до осі основної обмотки як $\dot{I}_\Delta e^{-j\theta}$ та струму ротора \dot{I}_2 , також приведенного до осі основної обмотки статора $\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta e^{-j\theta} + \dot{I}_2$.

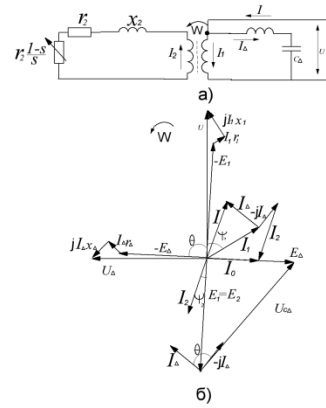


Рисунок 1 – Принципова електрична схема однофазного асинхронного електродвигуна (а) та його векторна діаграма (б)

У двигуна з приведенням вторинної (роторної) обмотки до нерухомої первинної (основної) обмотки статора їх ЕРС рівні між собою і дорівнюють добутку реактивного опору намагнічуючого контуру jx_m на струм намагнічування \dot{I}_0 . $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -jx_m \dot{I}_0$.

Відповідно до принципу оборотності електрична машина може працювати у режимі двигуна або генератора. Відомі умови оборотності асинхронної машини, тобто умови переведення її з режиму двигуна в генераторний режим без відключення її від електричної мережі. Це перевищення швидкості обертання ротора ω над швидкістю обертання основного магнітного поля ω_0 , $\omega > \omega_0$. Для цього застосовують зовнішній приводний двигун. Напрями обертання ротора та основного магнітного поля в обох режимах залишаються незмінними. Але при $\omega > \omega_0$ напрям швидкості перетинання провідників обмотки ротора полем статора змінюється на протилежний, $\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \omega_0 s < 0$ при ковзанні $s < 0$. Відповідно на протилежний напрямок змінюється ЕРС \dot{E}_2 обмотки ротора, що, в свою чергу, приводить до зміни напрямку активних складових струмів ротора і статора при незмінному напрямі дії реактивних складових цих струмів.

Машина переходить в генераторний режим з перетворенням механічної енергії ротора в активну електричну в статорі з передаванням її в мережу або споживачу в автономному режимі роботи. Реактивну енергію, яка необхідна для створення магнітного поля (основного поля збудження та поля розсіювання) асинхронні машини споживають в будь-якому режимі із електричної мережі або від зовнішніх джерел. Так в автономному асинхронному генераторі (ААГ) загальна електрична ємність на виході служить для збудження його і компенсації реактивної потужності споживача. Але однофазна конденсаторна машина з

просторовим зміщенням в пазах осердя статора додаткової обмотки відносно основної на кут $\theta = 90^\circ$ проти напрямку обертання ротора в режимі двигуна при підвищенні приводним двигуном швидкості обертання ротора вище швидкості обертання складової основного магнітного поля $\omega > \omega_0$ не переходить в режим генератора.

При цьому в обмотці ротора і в основній обмотці статора, які взаємоіндуктивні по основній осі в просторі, як і в класичній асинхронній машині, при ковзанні $s < 0$ змінюється напрям ЕРС \vec{E}_2 ротора, активних складових струмів ротора та основної обмотки статора при незмінних напрямках дії реактивних складових струмів, хоча напрям дії ЕРС \vec{E}_1 основної обмотки статора не змінився. В додатковій обмотці статора, зміщеній на 90° відносно основної обмотки проти напрямку обертання ротора машини і її магнітного поля, де відсутня взаємоіндуктивність між ними, напрям дії ЕРС \vec{E}_Δ , напруги $\vec{U}_{c\Delta} \approx \vec{E}_\Delta - \vec{E}_1$ на виході генератора, струму $j_\Delta = \frac{\vec{U}_{c\Delta}}{-jx_{c\Delta}}$, його активної і реактивної складових не змінилися.

При незмінній активній складовій струму додаткової обмотки та при зміні напрямку активної складової струму в основній обмотці активні складові струмів їх замикаються по колу основної і додаткової обмоток через конденсатор. Це режим короткого замикання. Машина не перейшла в генераторний режим і знаходиться в аварійному стані.

Мета досліджень – визначення умов оборотності однофазної конденсаторної асинхронної машини та їх реалізація для переведення машини із режиму двигуна в генераторний, створення однофазного конденсаторного автономного (компенсованого) асинхронного генератора (ОКААГ) зі стабільними вихідними напругою та частотою.

Основні матеріали дослідження. Таким чином, умова перевищення швидкості обертання ротора ω понад величину швидкості обертання магнітного поля статора ω_0 ($\omega > \omega_0$), для переведу з режиму двигуна в генераторний, однофазної конденсаторної машини без від'єднання її від електричної мережі є обов'язковою, але недостатньою. Невідомі до цього часу умови оборотності однофазної конденсаторної асинхронної машини не привели до можливості використання її в режимі генератора, хоча прості, надійні, однофазні асинхронні генератори, особливо автономні зі стабільною напругою та частотою необхідні у виробництві. Для подолання цього недоліку при переведенні однофазної конденсаторної машини із режиму двигуна в режим генератора необхідно при підвищенні швидкості обертання ротора до $\omega > \omega_0$ одночасно змінити напрям активної складової струму і в додатковій обмотці статора при незмінному напрямку реактивних складових струмів. Це можна виконати шляхом зміни просторового положення додаткової обмотки статора, зсунувши її на кут $\theta = 90^\circ$ відносно основної обмотки за напрямком обертання ротора. Таку зміну просторового положення додаткової обмотки статора, при переведенні машини із режиму двигуна в генераторний, можна виконати при нерухомому роторі, тобто, відключивши її від електричної мережі. То-

му однофазний, конденсаторний асинхронний генератор доцільно використовувати в автономному режимі.

Електромагнітні процеси, що мають місце в ОКААГ мають багато спільного із компенсованим автономним асинхронним генератором (КААГ) [2, 3]. Дві обмотки фази статора компенсованого автономного асинхронного генератора (КААГ) виконані аналогічно обмотці статора однофазної конденсаторної машини за схемою поворотного АТ з включенням на виході його електричної ємності. Обмотки фази просторово зміщені між собою в пазах осердя статора в загальному вигляді на кут $\theta = \pi/2m = 90^\circ/m$, що в трифазному варіанті ($m=3$) складає $\theta = 30^\circ$, а в однофазній конденсаторній машині ($m=1$) $\theta = 90^\circ$. Ефективність машини проявляється при подвоєнні числа фаз обмотки статора, яка включена за схемою поворотного АТ з фазо зсувною ємністю на виході. Але різне функціональне призначення аналогічних схем подвоєння числа фаз: в однофазній конденсаторній машині вона служить для створення обертового магнітного поля струмів обмоток статора; в трифазній, де уже є обертове магнітне поле, для створення ефекту внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронної машини та підвищення її енергоефективності. Мета досягається завдяки використанню способу внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності аналогічно як для фази трифазного компенсованого автономного асинхронного генератора (КААГ) [2,3], при обмотці статора, яка складається із двох однакових частин, зміщених у просторі одна відносно іншої на кут $\theta = \pi/2m = 30^\circ$ при числі фаз $m=3$, з'єднаних за схемою поворотного АТ на ємність, шунтуванні вторинної обмотки АТ додатковою ємністю при загальній ємності на виході генератора, яка служить для збудження генератора та компенсації реактивної потужності навантаження. Такі генератори з зовнішнім ємнісним збудженням C та додатковим внутрішнім ємнісним збудженням C_Δ називають компенсованими і позначають КААГ – компенсований автономний асинхронний генератор.

На відміну від трифазного аналога КААГ [2,3] в однофазному компенсованому (конденсаторному) автономному асинхронному генераторі (ОКААГ) обмотки фази статора зміщені у просторі між собою в пазах осердя на кут $\theta = \pi/2m = 90^\circ$ при числі фаз $m=1$.

На рис. 2 наведена принципова електрична схема та векторна діаграма ОКААГ при роботі його на навантаження опором $Z_n = R_n + jx_n = var, \cos \varphi_n = const$, а на рис. 3 – схема та векторна діаграма ОКААГ-2, з подвійним внутрішнім ємнісним збудженням.

Результати досліджень. Зі збільшенням струму навантаження трифазного автономного асинхронного генератора (ААГ) [1] його активна складова збільшує загальний струм генератора, а реактивна компенсується частіною ємнісного струму ємності C , внаслідок чого зменшується доля ємнісного струму для збудження генератора. Це проявляється у розмагнічуванні генератора і різкому спаді ЕРС, напруги та частоти (крива C , рис. 4). Щоб зменшити цей недолік доцільно використовувати однофазний компенсований автономний асинхронний генератор за схемою рис. 2. Зі збільшенням струму навантаження ОКААГ активна складова його збільшує струми в обох обмотках, які є

також обмотками поворотного АТ. У вторинній (до-
датковій) обмотці АТ збільшується активно-ємнісний
струм \dot{I}_Δ , що приводить до деякого збільшення реак-
тивної потужності ємності $C_A \sim Q_{cA} = \dot{I}_\Delta^2 x_{cA}$.

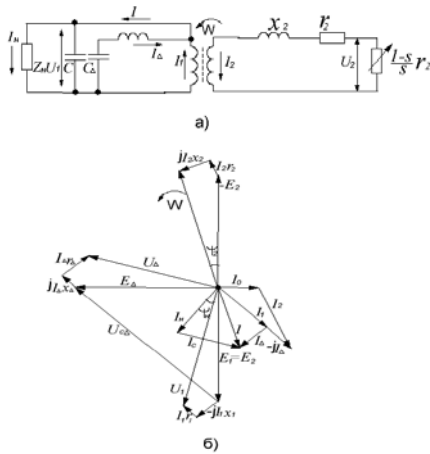


Рисунок 2 – Принципова електрична схема одно-
фазного компенсованого автономного асинхронного
генератора (а) та його векторна діаграма (б)

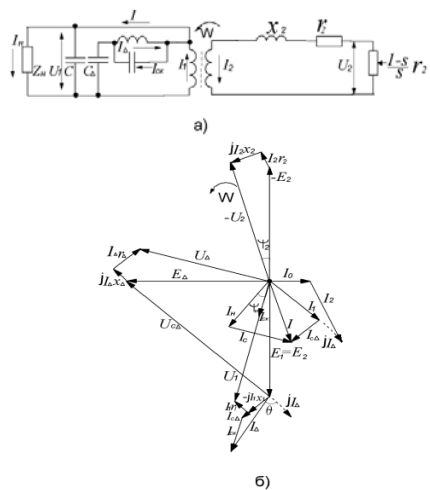


Рисунок 3 – Принципова електрична схема
однофазного компенсованого автономного
асинхронного генератора з подвійним внутрішнім
ємнісним збудженням (а) та його векторна
діаграма (б)

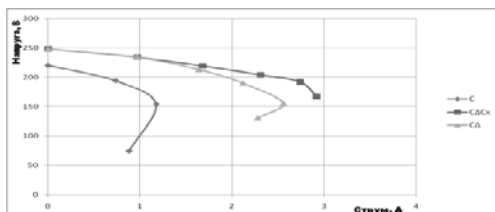


Рисунок 4 - Зовнішні характеристики генератора
при різних схемах з'єднань

Вона додатково підмагнічує генератор внаслідок
чого зниження вихідної ЕРС, напруги та частоти з
ростом навантаження дещо зменшується. Але при
відносно малій величині ємності C_A на виході поворо-
тного АТ її вплив на зниження напруги з ростом на-

вантаження незначний. Вона падає на 15÷20% з рос-
том навантаження від холостого ходу до номінально-
го (криві C, C_A, рис. 4). При послідовному з'єднанні
активно-індуктивної вторинної обмотки поворотного
АТ та ємності C_A на виході його зі збільшенням стру-
му \dot{I}_Δ збільшується напруга $\dot{U}_{cA} = jx_{cA} \dot{I}_\Delta$ на ємності C_A
та напруга на вторинній обмотці поворотного АТ
 $\dot{U}_\Delta = \dot{I}_\Delta (r_\Delta + jx_\Delta)$. Шунтування цієї обмотки додатковою
ємністю C_K також приводить до збільшення виробітку
реактивної потужності $Q_{CK} = \dot{I}_{CK}^2 x_{CK}$ при струмі
 $i_{CK} = \frac{U_\Delta}{jx_{CK}}$, завдяки чому додатково підмагнічується ге-
нератор і падіння напруги та частоти зі збільшенням
навантаження незначне. При певних величинах внут-
рішніх ємностей C_A та C_K подвійного ємнісного збу-
дження, вихідна напруга \dot{U} генератора та його частота
зі збільшенням навантаження від холостого ходу до
номінального залишається стабільною, або зменшу-
ється в заданих межах, наприклад до 5%.

Висновки. Обґрунтовані умови оборотності од-
нофазного компенсованого автономного асинхронно-
го генератора (КААГ), запропоновані електричні схе-
ми та проведені їх векторний аналіз.

Список використаних джерел

1. Вольдек А. И. Электрические машины: [учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений] /А. И. Вольдек. — [2-е изд. перераб. и доп.].— Л.: Энергия, 1974. — 840 с.
2. Методика розрахунку характеристик автономних асинхронних генераторів зі змішаним ємнісним збудженням / (Мішин В. І., Каплун В. В., Кулинич А. М., Макаревич С. С.) – К.: "Видавничий центр НАУ", 2007. – 44 с.
3. Мішин В. І. Методика розрахунку характеристик компенсованого асинхронного двигуна / Мішин В. І., Чусенко Р. М., Міклін О. А. – К.: "Видавничий центр НАУ", 2005. – 31 с.

Аннотація

ОДНОФАЗНЫЙ АВТОНОМНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Мишин В. И., Лут Н. Т., Брагида М. В.

*Теоретически обоснованы условия работы одно-
фазного автономного асинхронного генератора,
предложены схемные решения устройства, выполнен
векторный анализ электромагнитных процессов.*

Abstract

THE MONOPHASE INDEPENDENT ASYNCHRONOUS OSCILLATOR

W. Mischin, N. Lut, M. Bragida

*Working conditions of the monophasе independent
asynchronous oscillator are theoretically proved, circuit
solutions of the device are offered, the vector analysis of
electromagnetic processes is made.*