



УКРАЇНА

(19) UA (11) 83730 (13) C2
(51) МПК (2006)
H02K 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) АВТОНОМНИЙ АСИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР

1

(21) а200610561

(22) 05.10.2006

(24) 11.08.2008

(46) 11.08.2008, Бюл.№ 15, 2008 р.

(72) МІШИН ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, UA, КО-
ЗИРСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ВІКТОРОВИЧ, UA, КА-
ПЛУН ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, КУЛИНИЧ
АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ, UA, МАКАРЕВИЧ СВІТ-
ЛАНА СЕРГІЙВНА, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
UA

(56) GB 2019108, 24. 10.1979

EP 352354, 31.01.1990

UA 68049, 15.07.2004

SU 314267, 15.12.1971

2

(57) Автономний асинхронний генератор, який ви-
конаний на базі трифазного асинхронного елект-
родвигуна з короткозамкненим ротором, з конден-
саторами електричної ємності, включеними
паралельно навантаженню на виході генератора,
який **відрізняється** тим, що його вихідна обмотка
статора складається з основної і додаткової пара-
лельних півобмоток, з'єднаних між собою за схе-
мою поворотного автотрансформатора на додат-
кову електричну ємність, причому основна
обмотка є первинною обмоткою автотрансформа-
тора, а додаткова - його вторинною обмоткою, яка
просторово зміщена у пазах сердечника статора
відносно основної обмотки на кут 30° за напрямом
обертання магнітного поля машини ($\Theta = 30^\circ$).

Винахід відноситься до області електротехні-
ки, зокрема до електричних машин змінного стру-
му, а саме, до асинхронних генераторів.

Відомі асинхронні генератори на базі трифаз-
них асинхронних двигунів з короткозамкненим ро-
тором [Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.:
Энергия, 1978. - 832с], які характеризуються про-
стотою конструкції, високим ступенем надійності,
відсутністю кола збудження постійного струму і
контактних систем у системі збудження.

Автономні асинхронні генератори працюють за
принципом самозбудження при наявності залиш-
кового магнетизму у феромагнітному сердечнику
ротора і підмагнічуються ємнісним струмом, як
правило, від батареї конденсаторів, включених
паралельно обмотці статора на виході генератора.
Такі генератори застосовуються як джерело елек-
троенергії в автономних системах електроживлен-
ня. Приводним двигуном генератора часто є дизе-
льний двигун з системою регулювання подачі
палива для підтримки сталої швидкості обертання
ротора при змінному навантаженні генератора.

Недоліком автономного асинхронного генера-
тора зі збудженням від електричних конденсаторів
є значні коливання вихідної напруги і частоти при
змінному електричному навантаженні. Так, при
зростанні навантаження, напруга й частота зни-

жуються, незважаючи на підтримку постійної
швидкості обертання валу привідного двигуна.
Пропоновані способи стабілізації напруги і частоти
автономного асинхронного генератора при зміні
навантаження (підмагнічуванням сердечника ста-
тора постійним струмом, зміною ємності батареї
конденсаторів, повздовжньою ємнісною компенса-
цією та ін.) ускладнюють установку і є малоефек-
тивними.

Винаходом ставиться завдання підвищення
якості електроенергії, що продукується генерато-
ром, шляхом стабілізації напруги і частоти або
звуження діапазону їх зміни в допустимих межах
при широкій зміні величини й характеру наванта-
ження, підвищення надійності генератора шляхом
удосконалення його конструкції.

Поставлене винаходом завдання досягається
тим, що в автономному асинхронному генераторі,
виконаному на базі трифазного асинхронного еле-
ктродвигуна з короткозамкненим ротором, і кон-
денсаторами електричної ємності на виході гене-
ратора, згідно винаходу вихідна обмотка статора
складається із двох паралельних віток (основної і
додаткової обмоток), просторово зміщених у пазах
сердечника одна відносно одної на кут Θ і з'єдна-
них між собою за схемою поворотного автотранс-
форматора (АТ) на електричну ємність C_Δ додат-

(13) C2

(11) 83730

(19) UA

кового підмагнічування генератора. При цьому, основна обмотка АТ є первинною, а додаткова - вторинною обмоткою АТ з поворотом її осі за напрямом обертання магнітного поля генератора на кут 30° , тобто приймаємо кут $\Theta = -30^\circ$. Ємність на виході АТ є його навантаженням і забезпечує внутрішню ємнісну компенсацію реактивної потужності генератора, підвищує власний коефіцієнт потужності генератора, знижує споживання реактивної потужності від зовнішнього джерела, підвищує ступінь жорсткості зовнішніх характеристик генератора.

Для забезпечення технологічної простоти при виконанні компенсованого асинхронного генератора на базі серійного асинхронного двигуна кут Θ зручно прийняти рівним -30° . Це пояснюється простотою поділу 60° фазної зони трифазної обмотки на дві рівні частини з просторовим зсувом між ними 30° . При неможливості одержати $\Theta = -30^\circ$, його приймають $-(20 \div 40^\circ)$ з виконанням основної і додаткової обмоток у двох різних шарах пазів сердечника.

Такий автономний асинхронний генератор в поєднанні з внутрішньою ємнісною компенсацією за автотрансформаторною схемою розщепленої обмотки статора і зовнішньою ємністю на виході машини, назвемо компенсованим (Фіг.1, 2).

На Фіг.1 представлена принципова електрична схема (а) і векторна діаграма (б) фази приведеного компенсованого автономного асинхронного генератора при індуктивно - активному навантаженні, в - фрагмент векторної діаграми з додатковою ЕРС $\dot{E}_{\Delta m}$ у колі основної обмотки.

На Фіг.2 представлена принципова електрична схема трифазного компенсованого автономного генератора.

На Фіг.3 зображені фрагменти електричних схем статора і векторних діаграм при переводі компенсованої асинхронної машини з режиму двигуна (а) в генераторний режим (б) без відключення від мережі з напругою U , в) - фрагмент суміщеної векторної діаграми режимів двигуна і генератора.

Принцип створення ЕРС на виході як відомого асинхронного генератора, так і пропонованого, заснований на використанні явища самозбудження від ємнісного струму при наявності залишкового магнетизму у сталі ротора. При обертанні ротора від приводного двигуна залишковий потік ротора індукуює ЕРС у вихідних обмотках статора, які включені на електричні ємності. Ємнісний струм обмоток статора підмагнічує систему, збільшує обертовий магнітний потік, відповідно зростають ЕРС і струм, генератор збуджується як звичайна асинхронна машина [Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, 1978. - 832с]. На виході генератора створюється напруга, що відповідає перетину вольтамперних характеристик машини і еквівалентної ємності C_0 . При холостому ході генератора частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ коливального контуру лан-

цюга машини дорівнює швидкості обертання приводного двигуна $\omega_0 = \omega$, де L_0 - еквівалентна індуктивність генератора при холостому ході.

При навантаженні індуктивно-активного характеру на виході генератора виникає струм $\dot{I} = \dot{I}_{\Delta a} - j\dot{I}_{\Delta p}$. У випадку, якщо активна складова навантаження зі струмом $I_{\Delta a}$ урівноважується моментом і потужністю приводного двигуна, то збільшення реактивного навантаження зі струмом $I_{\Delta p}$ при постійній ємності розмагнічує систему, що приводить до зниження струму намагнічування I_0 , потоку Φ , ЕРС \dot{E}_1 , напруги \dot{U}_1 на виході генератора і його частоти. Швидкість обертання магнітного поля генератора зменшується $\omega_1 < \omega_0$. При постійній швидкості ω привідного двигуна ковзання $S = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}$ буде від'ємним і збільшуватиметься за величиною.

Так працює відомий автономний асинхронний генератор з однією обмоткою статора і постійною ємністю на виході. У відповідності з відомим принципом оберненості [Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, 1978. - 832с] асинхронна машина без відключення її від мережі з напругою U , переходить з режиму двигуна у генераторний режим при швидкості обертання ω ротора більше швидкості ω_1 обертання поля статора.

При цьому змінюється знак ковзання S , який стає від'ємним, $S = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} < 0$, змінюють знаки

ЕРС (E_2) ротора, активні складові струмів ротора (I_{2a}) і статора I_{1a} , але без зміни напрямку їх реактивних складових. Активна енергія з валу приводного двигуна електромагнітним шляхом перетворюється в електричну і віддається в мережу, а реактивна для створення змінного магнітного поля надходить з мережі, тобто відбувається обмін реактивної енергії між джерелом і асинхронною машиною.

У компенсованій асинхронній машині (КАМ) при швидкості $\omega > \omega_1$ ковзання також змінює знак ($S < 0$), що змінює знаки активних складових струмів ротора (I_{2a}) і основної обмотки статора I_{1a} . Але не змінюється струм I_{Δ} вторинної обмотки АТ, напрям якого залежить від напрямку вектора \dot{U}_{Δ} вихідної напруги АТ, яка, в свою чергу, залежить від взаємного розташування векторів ЕРС \dot{E}_1 і \dot{E}_{Δ} первинної і вторинної обмоток поворотного АТ. У компенсованому асинхронному двигуні (КАД) [декларційний патент України 68049 H02K17/34] при конструктивному зміщенні вторинної обмотки АТ відносно первинної на 30° проти напрямку обертання магнітного поля машини ($\Theta = +30^\circ$), тобто ЕРС \dot{E}_{Δ} випереджає \dot{E}_1 на 30° , що визначає напрям вектора вихідної напруги АТ $\dot{U}_{\Delta} \approx \dot{E}_{\Delta} - \dot{E}_1$, і струму \dot{I}_{Δ} як робочого струму додаткової обмотки статора двигуна і ємнісного навантаження АТ (Фіг.3а).

Зміна знаку ковзання S при незмінному напрямку обертання поля і положення обмоток статора не змінює напрям їх ЕРС, вектора напруги \dot{U}_{Δ} і \dot{I}_{Δ} , але змінюється напрям струмів I_2 ротора і I_1

основної обмотки статора. Це призводить до електромагнітного обміну енергією між основною і додатковою (первинною і вторинною для АТ) обмотками статора без виходу її в мережу, що знижує ефективність генераторного режиму КАМ.

Для виключення цього недоліку необхідно поводити зміну напрямку дії всіх струмів КАМ при переході її з режиму двигуна у режим генератора.

Вирішення цього питання полягає у зміні знаку кута Θ просторового зміщення основної і додаткової обмоток статора КАМ. У генераторному режимі кут Θ повинен бути від'ємним, тобто додаткова обмотка повинна бути зміщена відносно основної у напрямку обертання поля і ЕРС E_{Δ} відстає від E_1 на кут $\Theta = -30^\circ$, що призводить до необхідної зміни напрямку векторів напруги $\dot{U}_{C\Delta}$ і струму \dot{I}_{Δ} (Фіг.3б), у відповідності до генераторного режиму КАМ (див. Фіг.1а, б). На Фіг.3в зображено зміну знака кута Θ і активних складових $I_{\Delta a}$ струму I_{Δ} при незмінному реактивному $I_{\Delta p}$ струму.

Отже, особливістю умови оберненості компенсованої асинхронної машини є одночасна зміна знаків ковзання S і кута Θ просторового зміщення додаткової обмотки статора відносно основної при переводі машини з режиму двигуна в режим генератора. Зміщення додаткової обмотки статора у пазах сердечника його відносно основної обмотки на кут 30° за напрямком обертання магнітного поля ($\Theta = -30^\circ$) є конструктивною відмінністю асинхронного генератора, що забезпечує його функціональні особливості.

У компенсованому асинхронному генераторі обидві обмотки статора перетинаються одним обертовим магнітним потоком Φ , але у зв'язку з просторовим зсувом їх одна відносно одної, в обмотках індукуються однакові за величиною (при однаковій кількості витків обмоток) ЕРС, зміщені між собою по фазі на кут Θ . В основній обмотці статора і в обмотці ротора, приведенного до статора, ці ЕРС можна представити як $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -jX_m(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_{\Delta}e^{-j\Theta})$. Додаткова обмотка статора зміщена щодо основної на кут Θ за напрямком обертання поля, тому її ЕРС \dot{E}_{Δ} відстає від \dot{E}_1 на кут Θ , тобто $\dot{E}_{\Delta} = \dot{E}_1 e^{j\Theta}$ або $\dot{E}_{\Delta} = -jX_m[(\dot{I}_1 + \dot{I}_2)e^{-j\Theta} + \dot{I}_{\Delta}]$, при $\Theta < 0$, ($\Theta = -30^\circ$) де $\dot{I}_1, \dot{I}_{\Delta}, \dot{I}_2$ - відповідно струми основної, додаткової обмоток статора та обмотки ротора. Спільна їх дія у фазах статора визначає створення обертового магнітного потоку, взаєміндуктивний зв'язок між всіма обмотками і їх ЕРС; X_m - опір взаємної індукції; $e^{j\Theta}$, $e^{-j\Theta}$ - поворотні множники, що враховують просторовий зсув обмоток одна відносно одної і приведення струмів до осі відповідної обмотки.

Просторовий зсув обмоток статора одна відносно одної на кут Θ дає зсув по фазі ЕРС цих обмоток на такий же кут, що забезпечує на виході АТ необхідну для ефективної роботи напругу на конденсаторі з ємністю C_{Δ} , що дорівнює

$\dot{U}_{C\Delta} \approx \dot{U}_{\Delta} - \dot{U}_1$, а без врахування спаду напруги в обмотках $\dot{U}_{C\Delta} \approx \dot{E}_{\Delta} - \dot{E}_1$ (Фіг.1а, б).

Під дією напруги $U_{C\Delta}$ у конденсаторі C_{Δ} протікає струм \dot{I}_{Δ} , що випереджає $\dot{U}_{C\Delta}$ на 90° (Фіг.1б). Цей струм містить активну та реактивну складові по відношенню до її ЕРС \dot{E}_{Δ} і напруги \dot{U}_{Δ} , і тому одночасно є робочим струмом додаткової обмотки.

Додаткова і основна обмотки статора є робочими, енергонесучими за активною і реактивною потужностями, але їх реактивна потужність має протилежний характер. У колі додаткової обмотки за рахунок конденсатора C_{Δ} вона є ємнісною, а в основній - індуктивною. При взаємно індуктивному зв'язку між обмотками реактивна потужність електромагнітним шляхом переходить з додаткової обмотки в основну, змінюючи величину і фазу її струму. У цьому полягає сутність внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності, при якій знижується реактивний намагнічуючий струм основної обмотки, підвищується коефіцієнт її потужності і усього генератора загалом, знижується величина необхідної основної ємності на виході генератора.

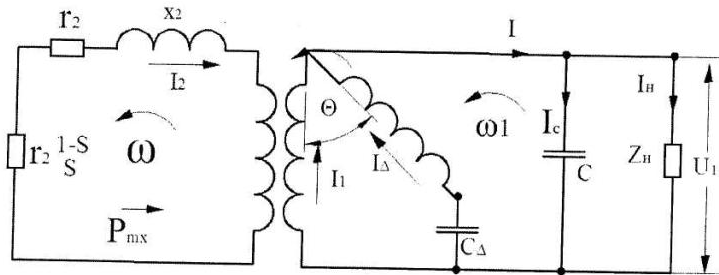
З ростом навантаження генератора збільшуються робочі струми обох обмоток статора - основної \dot{I}_1 і додаткової \dot{I}_{Δ} . Але струм \dot{I}_{Δ} є одночасно і струмом ємності C_{Δ} , яка включена в коло додаткової обмотки. Збільшення струму \dot{I}_{Δ} , викликане збільшенням навантаження, призводить до збільшення напруги на конденсаторі і виробітку ним реактивної потужності $Q_{C\Delta} = I_{\Delta}^2 X_{C\Delta} = I_{\Delta}^2 \omega_1 C_{\Delta}$, що надходить у генератор. Це упереджує або послабляє розмагнічування магнітопроводу генератора з ростом навантаження. Крім цього \dot{I}_{Δ} додаткової обмотки індуктивним зв'язком з основною обмоткою визначає дію у ній додаткової складової ЕРС $\dot{E}_{\Delta m} = -jX_m \dot{I}_{\Delta} e^{-j\Theta}$, що збільшує основну ЕРС до значення E'_1 (Фіг.1.в), що сприяє зростанню напруги $\dot{U} = \dot{E}'_1 - \dot{I}_1 Z_1$. Напруга на виході генератора і його частота з ростом навантаження спадає менше, ніж у звичайного асинхронного генератора, а при певних співвідношеннях між ємностями C і C_{Δ} вони можуть практично стабілізуватися.

Таким чином, з точки зору впливу на зовнішні характеристики, компенсований автономний асинхронний генератор подібний до генератора постійного струму змішаного збудження, у якого паралельна обмотка збудження визначає напругу холостого ходу, а послідовна з ростом навантаження підбуджує генератор і забезпечує стабілізацію напруги.

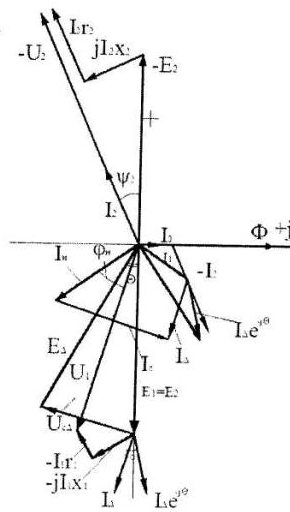
У компенсованому автономному асинхронному генераторі ємність на виході генератора своїм струмом в основному намагнічує генератор при холостому ході і компенсує реактивну потужність при навантаженні. А ємність у колі автотрансформаторної схеми додаткової обмотки статора з ростом струму навантаження збільшує виробіток реа-

ктивної потужності, що перешкоджає розмагнічуванню генератора при накиді навантаження і сприяє стабілізації або незначній зміні його напруги і частоти (до 5% - 6% з ростом навантаження

від холостого ходу до номінального при $\cos \varphi_H = 0,8$).

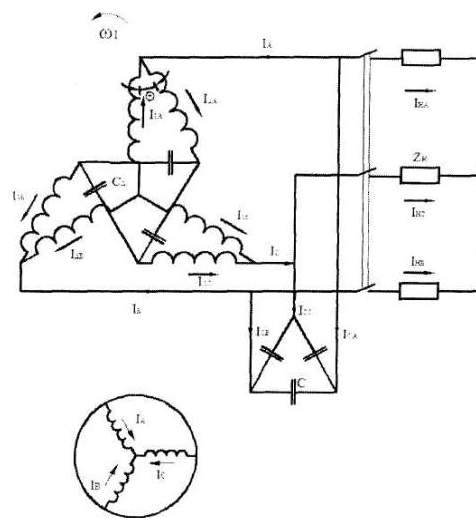


(a)

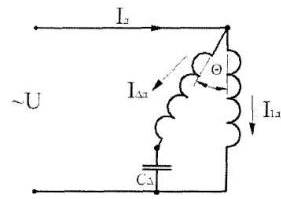


(б)

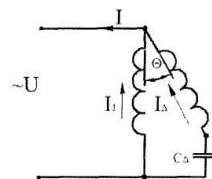
Фиг. 1.



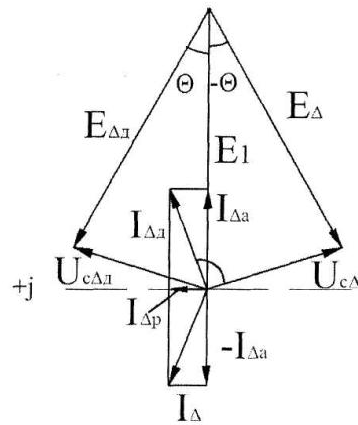
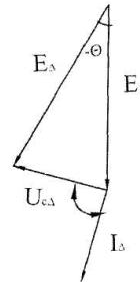
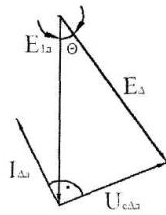
Фиг. 2.



а



б



Фіг.3 в