

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Любарський Борис Григорович

УДК 621.313.2:621.318.13

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО ЗБУДЖЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ
ГЕНЕРАТОРІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МЕТОЮ ПОЛПШЕННЯ ЇХ
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ**

Спеціальність 05.09.01 - Електричні машини і апарати

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Харків - 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут",
Міністерство освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Новіков Юрій Дмитрович,
Національний технічний університет "Харківський політехнічний
інститут", професор кафедри електричних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Калініченко Сергій Петрович,
Харківська державна академія залізничного транспорту, професор
кафедри систем електричної тяги;

кандидат технічних наук, доцент,
Рудницький Леонід Михайлович,
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків
старший науковий співробітник.

Провідна установа

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Міністерство
освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться "5" квітня 2001 р. о 12³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.08 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за
адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий "3" березня 2000 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Болух В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Електричні машини постійного струму знаходять широке застосування в різноманітних галузях промисловості. У наш час більша частина машин постійного струму виконується з електромагнітною системою збудження, проте останнім часом накреслилась тенденція заміни електромагнітного збудження на магнітоелектричне, обумовлена зниженням вартості матеріалів, що застосовувалися раніше для постійних магнітів, появою нових магнітотвердих матеріалів із високими енергетичними показниками, з одного боку, і підвищенням вартості міді, зростанням вимог до надійності електричних машин, з іншого боку.

Магнітоелектричні системи збудження мають ряд переваг перед електромагнітними, такі, як: ці системи більш надійні, не потребують додаткових витрат енергії в процесі експлуатації електричної машини. Але поряд із гідностями є і недоліки, такі, як: у них більш низькі енергетичні показники системи з постійними магнітами в порівнянні з традиційним електромагнітним збудженням, висока вартість постійних магнітів, неможливість регулювати магнітний потік, більш складна технологія виготовлення, що у свою чергу призвело до обмеженого застосування таких систем збудження на практиці. У наш час такі системи збудження знаходять застосування в галузі машин невеликої потужності.

У громадському господарстві України широко розповсюдженні автономні зварювальні пости для дугового зварювання. Для забезпечення високої якості зварних швів пости комплектуються джерелом живлення — зварювальним генератором постійного струму. Звичайно такі генератори мають електромагнітне збудження. Виходячи з потреб України в економії енергоресурсів, виникає задача підвищення ККД зварювальних генераторів. Одним із засобів підвищення ККД генераторів є зниження витрат на збудження машини шляхом застосування постійних магнітів у системі збудження.

Повна заміна електромагнітного збудження магнітоелектричним у таких електричних машинах неможлива тому, що регулювання режимів роботи здійснюється за рахунок зміни потоку збудження машини. Проблема створення таких машин полягає, насамперед, у розробці методик розрахунку їхніх характеристик. Потому доцільно було б роздивитися питання про моделювання і розробку комбінованої магнітоелектричної та електромагнітної системи збудження зварювальних генераторів постійного струму.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. На кафедрі електричних машин Харківського державного політехнічного університету разом з ВАТ “Електромашина” ведуться розробки в області електричних машин постійного струму з магнітоелектричним і комбінованим збудженням. Робота виконана відповідно до координаційного плану Міністерства освіти тема М3211 “Розробка уточнених багаторівневих математичних моделей, що забезпечують

оптимальний вибір параметрів електричних машин при їх проектуванні з метою підвищення енергетичних показників” (наказ №37 від 13.02.97 р.), ДР №0197U001921.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток теоретичних основ проектування машин постійного струму шляхом створення методик розрахунку електромагнітних характеристик зварювальних генераторів із комбінованою електромагнітною і магнітоелектричною системою збудження.

Для здійснення мети необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати вплив різноманітних чинників на робочі властивості систем збудження генераторів постійного струму з комбінованим збудженням;
- створити загальну схеми розрахунку зварювального генератора з комбінованим збудженням;
- провести дослідження шляхом цифрового і фізичного моделювання робочих властивостей експериментального зварювального генератора з комбінованою електромагнітною і магнітоелектричною системою збудження;
- розробити дослідний зварювальний генератора комбінованого збудження з підвищеним ККД.

Об'єкт дослідження: зварювальний генератор постійного струму з комбінованим електромагнітним і магнітоелектричним збудженням.

Предмет дослідження: електромагнітні характеристики зварювальних генераторів з комбінованим збудженням.

Методи дослідження: математичне і фізичне моделювання досліджуваних процесів. У математичному моделюванні застосовані методи:

- скінчених елементів;
- скінчених різниць;
- магнітного кола;
- планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше запропонована комбінована система збудження для зварювальних генераторів постійного струму і створена методика її розрахунку;
- встановлено, що застосування комбінованого збудження дозволяє підвищити ККД генератора такого типу на 5..15%;
- показано, що довжину повітряного зазору в зварювальному генераторі з комбінованим збудженням необхідно вибирати не з розміру потоку реакції якоря, а брати мінімальну, виходячи з конструктивних порозумінь;
- встановлено, що розміри потоків магнітного й електромагнітного полюсів у

зварювальному генераторі з комбінованим збудженням повинні бути приблизно однаковими

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

— розроблені алгоритми і програми наближеного розрахунку на ПЕОМ плоскопаралельного поля комбінованої системи збудження зварювального генератора постійного струму з урахуванням насичення для різноманітних режимів роботи генератора і поля торцевого розсіювання магнітоелектричної системи збудження;

— створений алгоритм спрощеного розрахунку характеристик зварювального генератора з комбінованим збудженням;

— створений експериментальний зварювальний генератор із комбінованою системою збудження; відпрацьовані конструкція і технологія створення електричних машин подібного типу;

— розраховано дослідний зварювальний генератор із комбінованим збудженням.

Практична цінність роботи підтверджена актом про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Особистий внесок автора:

У роботі, що виконана у співавторстві, [1] автором розраховані і побудована картина магнітного полючи. У роботі [4] автором розроблена програма розрахунку зовнішньої характеристики генератора. У роботі [5] автор створив методику розрахунку зовнішньої характеристики. У роботі [10] автору належить методика розрахунку магнітних полів.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідались на щорічних конференціях кафедри електричних машин 1997—1999 р.р., на науково-технічних конференціях: “Third International scientific and technical conference on Unconventional electromechanical and electrical system”, Алушта, Україна, 1997, VII міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми автоматизованого електропривода”, 1999 р., VIII міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми автоматизованого електропривода”, 2000 р.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в десятих статтях у восьми наукових журналах та в матеріалах однієї науково-технічної конференції.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і додатку. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 170 сторінок, 25 ілюстрацій на 21 сторінці та 22 ілюстрацій по тексту, 5 таблиць на 7 сторінках та 9 таблиць по тексту, 1 додаток на 1 сторінці, список використаних літературних джерел із 115 найменувань на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми згідно зі зв'язком з науковими програмами, планами. Визначено об'єкт та предмет досліджень, визначені методи досліджень, сформульована

мета роботи, показана її наукова новизна і позначено практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено порівняльний аналіз існуючих конструкцій та принципів дій зварювальних генераторів постійного струму для ручного дугового зварювання. Визначені основні вимоги до електричних машин цієї групи. Порівняльний аналіз надав можливість викрити основний недолік існуючих конструкцій генераторів — їх низький ККД порівняно з електричними машинами постійного струму загальнопромислового використання. Причина його низького ККД лежить у відносно великих втратах в обмотці збудження.

У роботі розглянуті основні принципи роботи зварювальних генераторів постійного струму, особливості цих електричних машин і принципи формування зовнішньої крутопадаючої характеристики, що забезпечує стійке горіння дуги.

Далі в першому розділі розглянуті системи збудження машин постійного струму. Більш докладно розглянуті магнітоелектричні системи збудження через те, що в них відсутні витрати на збудження. Проте магнітоелектричні системи збудження не дозволяють регулювати величину основного магнітного потоку, що неприпустимо для зварювальних генераторів. Тому у роботі запропоновано створити комбіновану магнітоелектричну й електромагнітну систему збудження.

Було відзначено, що основною проблемою при проектуванні таких зварювальних генераторів є відсутність методик розрахунку електромагнітних характеристик. Розрахунок характеристик генератора нерозривно зв'язаний з розрахунком магнітного поля машини в різноманітних режимах роботи. Тому в першому розділі розглянуті методики розрахунку магнітного поля електричних машин.

З урахуванням досліджень, проведених вченими раніше, позначена ціль дослідження і визначені основні задачі дисертаційної роботи, що наведені в розділі "Загальна характеристика роботи".

Другий розділ присвячений математичному моделюванню зварювального генератора з комбінованим збудженням.

У ньому був проведений порівняльний аналіз чисельних методів розрахунку. В результаті для проведення подальших досліджень магнітного поля були обрані три методи: метод скінчених елементів, метод скінчених різниць, метод магнітного кола.

Розглянутий принцип дії зварювального генератора з комбінованим збудженням полягає в паралельному вмиканні в магнітне коло обмотки збудження та постійного магніту. При цьому конструктивно магнітоелектричний й електромагнітний полюси виконані роздільно, мають однакову полярність і складають розщеплений полюс. Електромагнітний полюс встановлений з боку розщепленого полюса, що набігає. При холостому ході потік збудження дорівнює сумі потоків електромагнітного і магнітоелектричного полюсів. При виникненні струму в обмотці якоря, створений їм потік реакції якоря розмагнічує електромагнітний полюс і намагнічує

магнітоелектричний. Проте через жорсткість кривої намагнічування постійного магніту потік магнітоелектричного полюса залишається практично постійним. У результаті сумарний магнітний потік зменшується, знижуючи ЕРС генератора і напругу на якорі.

Обрано розрахунковий метод дослідження магнітного поля генератора — метод скінчених елементів. Метод скінчених елементів для стаціонарного магнітного поля в двомірній розрахунковій моделі і прямокутній системі координат полягає в мінімізації енергетичного функціоналу:

$$F = \int_S \left(\int_0^{B_x} \frac{1}{\mu} B_x dB_x + \int_0^{B_y} \frac{1}{\mu} B_y dB_y \right) dS - \int_S A \delta dS,$$

де S — область розрахунку магнітного поля;

B_x, B_y — складові вектори магнітної індукції;

A — векторний магнітний потенціал, обумовлений співвідношенням: $B = \text{rot } A$.

Обрані скінчені елементи у виді трикутників. Апроксимуюча функція — лінійна. Відповідно до цього методу розрахункова область розбита на скінчені трикутні елементи (див. рис. 1). Прийнято прямокутну систему координат із центром на перетинанні осей полюсів.

Задано граничні умови: на межах А,В (рис. 1) $A=0$.

Розрахункове рівняння має вид :

$$T \bar{\times} A = \Delta. \quad (1)$$

Матриця коефіцієнтів $[T]$ складається з матриць коефіцієнтів трикутників $[G]$ поелементним підсумовуванням коефіцієнтів з однаковими індексами і розставлянням їх у матриці $[T]$ на відповідні до індексів положення. Матриця $[G]$ описується виразом:

$$T = \frac{1}{4\mu} \begin{matrix} i \\ j \\ k \end{matrix} \begin{matrix} i & j & k \\ \left[\begin{array}{ccc} b_i^2 + c_i^2 & b_i b_j + c_i c_j & b_i b_k + c_i c_k \\ b_i b_j + c_i c_j & b_j^2 + c_j^2 & b_j b_k + c_j c_k \\ b_i b_k + c_i c_k & b_j b_k + c_j c_k & b_k^2 + c_k^2 \end{array} \right] \end{matrix},$$

де, $[T]$ — матриця трикутників;

i, j, k — номери елементів матриці $[G]$;

b, c — коефіцієнти, що визначаються по координатах вершин трикутника.

Магнітна проникність для трикутних елементів, що знаходяться у нелінійних середовищах, є змінною і залежить від величини векторних магнітних потенціалів. Тому рішення такої системи нелінійних рівнянь повинно провадитися ітераційними методами.

Вектор-стовпчик Δ складається з векторів-стовпчиків трикутних елементів δ таким же

методом, як і матриця коефіцієнтів $[T]$ Вектор-стовпчик δ визначається по формулі:

$$\delta = \frac{J S_m}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

де J — щільність струму в трикутнику.

Після упорядкування матриці $[T]$ і Δ виконується завдання граничних умов методом порівнювання до нуля всіх елементів того рядка і того стовпчика матриць $[T]$, у яких номер діагонального елемента відповідає номеру точки з заданим векторним потенціалом. Діагональний елемент із цим номером дорівнюється до одиниці, а елемент вектора стовпчика до величини векторного магнітного потенціалу в даній точці.

Області 2 на рис. 1 є областями з постійними магнітами. Базуючись на методиках розрахунку поля в постійних магнітах методом скінчених елементів, наведених у роботах інших авторів, постійний магніт замінено на сердечник та котушку із струмом. При застосуванні даної заміни в розрахунку не враховуються торцеві потоки розсіювання постійних магнітів. Для еквівалентності даної заміни у роботі розглянуто поля розсіювання постійного магніту в торцевій зоні машини. Через складність форм граничних поверхонь комбінованої системи збудження і складності завдання граничних умов торцевої зони розсіювання постійного магніту, потоки розсіювання оцінюємо, помістив постійний магніт у магнітоелектричну систему збудження з прямими магнітами, що має близьку за геометрією магнітну систему.

Розрахунковим шляхом зроблено дослідження застосування секціонування постійних магнітів у магнітоелектричній системі збудження.

У роботі здійснена методика оцінки впливу торцевих потоків розсіювання на точність розрахунку коефіцієнта розсіювання. Дана методика полягає в порівнянні коефіцієнтів розсіювання, отриманих за результатами розрахунку плоскопаралельного магнітного поля і поля з урахуванням торцевих полів розсіювання. Введено поняття відносної помилки, що виникає при зневазі торцевими потоками розсіювання. Створено методики розрахунку коефіцієнтів розсіювання на підставі розрахунку магнітного поля розсіювання методом скінчених різниць. Використавши розроблену вище методику визначення коефіцієнтів розсіювання і теорію планування експерименту, побудовані математичні моделі залежності розміру похибки, внесеної при зневазі торцевими полями розсіювання. Аналіз математичної моделі показав, що у розглянутих генераторах ця похибка значно нижча 5% і нею можна зневажити.

Методика розв'язання системи рівнянь (1) заснована на методі простих ітерацій. Відповідно до цього методу для рішення системи рівнянь матриця коефіцієнтів $[T]$ складається, виходячи із значення векторних магнітних потенціалів, обумовлених за формулою:

$$A_i = A_{i-1} + k \cdot (F(A_{i-1}) - A_{i-1}),$$

де A_{i-1} — розмір вектора стовпчика векторного магнітного потенціалу, із якого визначалися значення матриці коефіцієнтів $[T]$ на попередній ітерації;

$F(A_{i-1})$ — розмір вектора стовпчика векторного магнітного потенціалу, визначеного з розв'язання системи лінійних рівнянь;

k — коефіцієнт релаксації.

Відповідно до даної методики створені алгоритм і програма розрахунку магнітного поля зварювального генератора з комбінованим збудженням. Побудовано картини магнітного поля при різноманітних режимах роботи генератора (див. рис. 2,3 та 4).

Отримана розрахункова формула для визначення напруги генератора за результатами розрахунку магнітного поля:

$$U = \frac{p N}{60} \cdot n \cdot (A_n - A_1) l_\delta - I \cdot R - U_{ц}, \quad (2)$$

де p — число пар полюсів;

N — число активних провідників у пазу;

n — частота обертання якоря;

A_n, A_1 — потенціали у точках на перетинанні окружності якоря й вісі додаткових полюсів;

l_δ — довжина якоря;

I — струм якоря;

R — опір кола якоря;

$U_{ц}$ — падіння напруги в щітковому контакті.

Електромагнітні характеристики генератора при різноманітній геометрії магнітної системи були розраховані з використанням методики розрахунку магнітного поля і формули (2). Використавши отриману методику розрахунку характеристик зварювального генератора комбінованого збудження і теорію планування експерименту, була отримана математична модель впливу довжини повітряного зазору і струму збудження на усталеність горіння дуги:

$$s = \left(\frac{I_\delta + 1}{5}\right)^{-0,6336} \cdot \left(\frac{\delta}{1,5}\right)^{-0,0125} \cdot (5,0649 + 2,122(0,25 \cdot I_\delta - 1) - 0,4905((0,25 \cdot I_\delta - 1)^2 - 0,667) + 0,0966(\delta - 1,5) + 0,0425(0,25 \cdot I_\delta - 1) \cdot (\delta - 1,5) - 0,0985((\delta - 1,5)^2 - 0,667)),$$

де I_δ — струм збудження;

δ — довжина повітряного зазору.

Побудований графік цієї функції (рис. 5).

Дослідження цієї математичної моделі показали, що довжина повітряного зазору під голо-

вним полюсом повинна бути мінімальною і вибиратися з конструктивних розумінь.

У третьому розділі розроблена загальна схема розрахунку зварювального генератора з комбінованим збудженням. Розрахунок таких машин можна виконувати на основі методик, розроблених іншими вченими, проте при виборі ряду параметрів і розрахунку характеристики холостого ходу і зовнішніх характеристик необхідно користуватися спеціально розробленими в даному розділі методиками. Подані рекомендації щодо вибору основних розмірів генератора, довжини повітряного зазору, ширини сердечника електромагнітного полюса і вибору напруги живлення обмотки збудження.

Особливу увагу було приділено розрахунку електромагнітних характеристик генератора. Була запропонована спрощена інженерна методика розрахунку характеристики холостого ходу і зовнішньої характеристики генератора на основі розрахунку магнітного кола. Дана методика заснована на розрахунку магнітного кола генератора на підставі закону повного струму. При розгляді методики розрахунку було обрано двополюсну машину. На рис. 6. показано магнітні потоки в поперечному перетин двополюсного зварювального генератора з комбінованим збудженням. Основні потоки від електромагнітних полюсів – Φ_e і магнітних полюсів — Φ_m перетинаються в спинці якоря й у станині. При цьому на половині ділянки в спинці якоря і станині магнітні потоки однонаправлені, а в іншій половині спрямовані зустрічно. Отже магнітний опір основному потоку електромагнітного полюса залежить не тільки від розміру потоку електромагнітного полюса, але і від потоку магнітного полюса, а опір основному магнітному потоку магнітного полюса залежить від потоку магнітного та електромагнітного полюсів.

У роботі наведено алгоритм розрахунку магнітного кола, який складається із таких основних етапів:

- розрахунок геометричних параметрів магнітної системи (перетини однорідних у магнітному відношенні ділянок магнітного кола і довжин цих ділянок);
- розрахунок робочих точок магнітоелектричного полюса при різноманітних потоках електромагнітного полюса;
- побудова залежності потоку електромагнітного полюса від потоку магнітоелектричного полюса;
- розрахунок магнітної характеристики електромагнітного полюса;
- розрахунок сумарної характеристики холостого ходу.

У роботі відзначено, що при застосуванні постійних магнітів із коефіцієнтом форми кривої розмагнічування від 0,9 до 1 і коерцитивною силою, що забезпечує роботу постійного магніту по основній кривій розмагнічування, магнітний потік під магнітним полюсом можна прийняти постійним. У цьому випадку розрахунок сильно спрощується через те, що відпадає необхідність побудови залежності магнітного потоку магнітного полюса від потоку електромагнітного полюса.

Розроблено алгоритм розрахунку зовнішньої характеристики генератора, заснований на графоаналітичному методі розрахунку зовнішньої характеристики генератора з розщепленими полюсами. Наведено методику намагнічування постійних магнітів за рахунок реакції якоря.

У **четвертому розділі** наведено результати іспитів експериментального зварювального генератора та проведено порівняльний аналіз методик розрахунку електромагнітних характеристик. За допомогою наведених вище методик комбінованою системою збудження, складена програма його іспитів. Програма іспитів зварювального генератора складається з таких основних пунктів: визначення характеристики холостого ходу, визначення зовнішніх характеристик, визначення витрат холостого ходу, розрахунок ККД, перевірка зварювальних якостей і комутації у різноманітних режимах роботи.

За результатами іспитів були побудовані характеристики холостого ходу і зовнішні характеристики генератора. Проведено порівняльний аналіз характеристик, отриманих за різноманітними методиками розрахунку з експериментом.

Характеристика холостого ходу, отримана за результатами розрахунку поля методом скінчених елементів, проходить практично на всьому протязі між висхідною і спадною гілками експериментально отриманої характеристики, а максимальний розмір відносної похибки при розрахунку за спрощеною методикою склав $13,1\%$. Розмір максимальної похибки для зовнішньої характеристики, отриманої за результатами розрахунку поля, складає $5,2\%$, а для характеристики, отриманої за спрощеною методикою $9,3\%$.

У **п'ятому розділі**, виходячи з вимог стандартів, була зроблена математична модель дослідного зварювального генератора з комбінованим збудженням. Розраховані його електромагнітні характеристики відповідно до двох методик (рис. 7 та 8).

Розраховано значення ККД генератора у різноманітних режимах роботи. Далі в роботі проведено порівняльний техніко-економічний аналіз дослідного зварювального генератора з існуючими конструкціями генераторів подібного типу. Результати аналізу наведені у таблиці.

Згідно з табл. дослідний генератор із комбінованим збудженням значно перевершує існуючі конструкції за ККД на 5 - 15%, при цьому маса генератора приблизно така ж, як і в існуючих конструкціях.

Таблиця –

Техніко-економічні характеристики зразків зварювальних генераторів.

Параметр	Дослідний генератор	ГСО— 300М	ГД— 502	ГД— 312
Тип генератора	Постійного	Постійного	Постійного	Індукторний

	струму з комбінованим збудженням	струму з обмоткою , що розмагнічує	струму з обмоткою , що розмагнічує	із випрямлячем
ККД, %	72.82	60.67	67.70	67.70
Маса генератора, кг	300	270	400	350
Маса міді, кг	25	21	—	—
Номінальний струм якоря, А	315	315	500	315
Відсоток навантаження, %	100	60	60	60

ВИСНОВКИ

1. У роботі зроблено аналіз вимог до зварювальних генераторів постійного струму для ручного дугового зварювання. Відзначено, що недосконалість існуючих конструкцій таких генераторів полягає в недосконалості їхньої системи збудження. Проведені дослідження показали, що енергетичні показники зварювальних генераторів постійного струму відносно низькі в порівнянні з загальнопромисловими електричними машинами постійного струму, які мають такі ж габарити.

2. Запропоновано систему збудження зварювального генератора з комбінованим електромагнітним і магнітоелектричним збудженням, яка розроблена на основі системи збудження генератора з розщепленими полюсами при паралельному вмиканні в магнітному колі постійного магніту й обмотки збудження в якій відсутня розмагнічуюча обмотка та частину потоку збудження створює постійний магніт, що зменшує втрати в обмотках збудження. Розроблена методика розрахунку магнітного поля й електромагнітних характеристик у такій машині, засновану на методі скінчених елементів. Проведені дослідження впливу потоків торцевого розсіювання постійного магніту на точність моделі постійного магніту довели, що для зварювальних генераторів такого типу вона не перевищує 5% та їй можна зневажити.

3. Відповідно до розробленої методики проведено дослідження магнітного поля зварювального генератора з комбінованим збудженням. Було з'ясовано, що товщину спинки якоря і станини необхідно вибирати, виходячи з розміру сумарного потоку магнітного й електромагнітного полюсів. Показано, що в режимі сильного недозбудження генератора при номінальному навантаженні з'являються умови для виникнення ненормальної комутації машини,

тому що через додатковий полюс проходить частина основного магнітного потоку.

4. Створена математична модель, яка описує усталеності горіння дуги від довжини повітряного зазору і струму збудження. Результати чисельного моделювання з використанням цієї моделі показали, що довжину повітряного зазору під головним полюсом варто вибирати мінімальну, виходячи з технологічних розумінь.

5. Виходячи з аналізу проведених досліджень та з метою зниження порядку математичної моделі, що описує зварювальний генератор з комбінованим збудженням без спрощення визначальних її чинників, запропонована загальна схема розрахунку зварювальних генераторів з комбінованим збудженням, які покладено в основу інженерної методики розрахунку таких генераторів, в якій . на стадії проектування можливо змінювати геометрію магнітної системи, що значно спрощує проектування генератора.

6. Проведено іспити експериментального зварювального генератора з комбінованим збудженням які доказали працездатність його конструкції. Порівняльний аналіз характеристик, отриманих за допомогою різноманітних методик розрахунку й експериментальних характеристик, довів, що максимальна похибка для методики розрахунку характеристик за результатами розрахунку магнітного поля становить – 5,2%, а для спрощеної методики – 13,1%. Це підтверджує достовірність методик розрахунку.

7. Проведений порівняльний аналіз ряду техніко-економічних параметрів, виявив перевагу генераторів із комбінованим збудженням над існуючими конструкціями. Було показано, що ККД дослідного генератора в номінальному режимі складає 80,2%, що на 5 — 15% вище, ніж в існуючих конструкціях генераторів того ж типу при майже такій же масі генератора.

8. Результати роботи впроваджені в ВАТ “Електромашина”, що підтверджено актом упровадження результатів дисертаційної роботи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Новиков Ю.Д., Осташевский Н.А., Любарский Б.Г. Методика приближенного расчета полей рассеяния магнитоэлектрической системы возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998. — Вып.21. — С.12 — 15.

2. Любарский Б.Г. Методика расчета поля сварочного генератора постоянного тока с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып. 46. — С. 71—72 .

3. Любарский Б.Г. Методика расчета характеристики холостого хода сварочного генератора постоянного тока с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной

системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып. 47. — С. 69—70 .

4. Новиков Ю.Д., Любарский Б.Г. Методика расчета внешней характеристики сварочного генератора с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып. 55.—С. 94—96 .

5. Любарский Б.Г., Мирошниченко А.Г. Упрощенная методика расчета характеристик сварочного генератора с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. — Вып. 59. — С. 15—17 .

6. Любарский Б.Г. Результаты испытаний экспериментального сварочного генератора с комбинированной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. — Вып.65 — С. 38—41 .

7. Любарский Б.Г. Влияние токов возбуждения и длины воздушного зазора на устойчивость горения дуги сварочного генератора с комбинированной магнитоэлектрической и электромагнитной системой возбуждения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. — Вып.61. — С. 271—272 .

8. Любарский Б.Г. Моделирование и сравнительный технический анализ конструкции сварочного генератора с комбинированным возбуждением с существующими типами конструкций электромеханических преобразователей подобного типа // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. — Вып. 113. — С. 219—220.

9. Осташевский Н.А., Новиков Ю.Д., Любарский Б.Г. Приближенный расчет полей рассеяния секционированных постоянных магнитов в электрических машинах // “Third International scientific and technical conference on Unconventional electromechanical and electrical system”. — Alushta (Ukraine) — 1997. – С.365—368.

10. Любарский Б.Г. Анализ полей рассеяния магнитоэлектрических систем возбуждения электрических машин постоянного тока с учетом торцевых полей рассеяния // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998. — Вып.21. — С.16—18.

АНОТАЦІЇ

Любарський Б. Г. Моделювання та розробка комбінованого збудження зварювальних генераторів постійного струму з метою поліпшення їх техніко-економічних показників. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності

05.09.01 - електричні машини і апарати. - Харківський державний політехнічний університет, Харків, 2000.

Дисертація присвячена питанням підвищення ККД зварювальних генераторів постійного струму. З метою підвищення ККД запропонована нова комбінована електромагнітна та магнітоелектрична система збудження зварювального генератора. Розроблена методика розрахунку електромагнітних характеристик генератора за результатами розрахунку магнітного поля методом скінчених елементів. Проведено аналіз впливу торцевих полів розсіювання на адекватність моделі постійного магніту прийнятої при розрахунку магнітного поля. Розроблена математична модель залежності усталеності горіння дуги від дозори повітряного зазору та струму збудження. Створена загальна схема розрахунку зварювального генератора. Розроблено та створено експериментальний зварювальний генератор з комбінованим збудженням та проведено його випробування. Створена модель дослідного зварювального генератора.

Ключові слова: зварювальний генератор з комбінованим збудженням, постійний магніт, комбінована магнітоелектрична та електромагнітна система збудження.

Любарский Б. Г. Моделирование и разработка комбинированного возбуждения сварочных генераторов постоянного тока с целью улучшения их технико-экономических показателей. Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - электрические машины и аппараты. - Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 2000.

Диссертация посвящена вопросам повышения КПД сварочных генераторов постоянного тока. Из аналитического обзора существующих конструкций сварочных генераторов постоянного тока для ручной дуговой сварки было установлено, что они имеют относительно низкий КПД. С целью повышения КПД предложена новая комбинированная электромагнитная и магнитоэлектрическая система возбуждения сварочного генератора, в которой часть основного магнитного потока создается обмоткой возбуждения, а часть постоянным магнитом.

Созданы методики расчета магнитного поля в сварочном генераторе с комбинированным возбуждением. Произведена оценка влияния торцевых потоков рассеяния на суммарный коэффициент рассеяния. Разработана методика расчета электромагнитных характеристик генератора по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов. Создана математическая модель влияния торцевых полей рассеяния на адекватность модели постоянного магнита. Создана математическая модель влияния длины воздушного зазора и тока возбуждения на устойчивость горения дуги сварочного генератора.

С целью понижения порядка математической модели без упрощения определяющих факторов была предложена упрощенная методика расчета электромагнитных характеристик по результатам расчета магнитной цепи. Создана общая схема расчета сварочного генератора с комбинированным возбуждением.

Для проверки адекватности методик расчета электромагнитных характеристик сварочного генератора был рассчитан и создан экспериментальный сварочный генератор с комбинированным возбуждением. Проведенные испытания подтвердили расчетные электромагнитные характеристики с достаточной степенью точности и доказали работоспособность конструкции.

Согласно разработанной общей схеме расчета была создана модель опытного сварочного генератора. Проведенный сравнительный технико-экономический анализ подтвердил преимущества конструкции генератора с комбинированным возбуждением. При почти тех же массогабаритных показателях и номинальных данных опытный генератор имеет КПД на 5 - 15% выше, чем у существующих конструкций. Повышение КПД генератора позволяет снизить мощность приводного двигателя, что в свою очередь снизит общую массу конструкции генератора и уменьшит расход топлива установки.

Результаты работы внедрены в ОАО “Электромашина”, что подтверждено актом внедрения результатов диссертационной работы.

Ключевые слова: сварочный генератор с комбинированным возбуждением, постоянный магнит, комбинированная магнитоэлектрическая и электромагнитная система возбуждения.

Lubarskiy B. G. Simulation and development of combined excitation of welding generators of a direct current with the purpose of improving their technological parameters. - Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science, speciality 05.09.01 “Electric Machines and Apparatus”. - Kharkov state Polytechnical University, Kharkov, 2000.

The dissertation is devoted by a problem of increase efficiency of welding generators of a direct current. With the purpose of increase efficiency the offered new combined electromagnetic and permanent magnet system of excitation of the welding generator. The design procedure of electromagnetic characteristics of the generator on results of calculation of a magnetic field is created by a method of final elements. The analysis of influence of face fields of dispersion on adequacy of model of a constant magnet accepted is carried spent at calculation of a magnetic field. The mathematical model of dependence of stability of burning of an arch from length of an air backlash and a current of excitation is developed. The general circuit of calculation of the welding generator is created. The experimental welding generator with the combined excitation is developed and created and its tests are carried spent. The created model of the experienced welding generator.

Key words: the welding generator with combined excitation, constant magnet, combined

permanent magnet and electromagnetic system of excitation.