**Кондратенко Ігор Петрович. Електромагнітні поля і процеси в індукційних системах для термічного та силового впливу на метали : дис... д-ра техн. наук: 05.09.05 / НАН України; Інститут електродинаміки. - К., 2005**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Кондратенко І.П. Електромагнітні поля і процеси в індукційних системах для термічного і силового впливу на метали. – Рукопис.**  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка. – Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, 2005.  Дисертаційна робота присвячена розвитку теорії та методів аналізу електромагнітного поля в несиметричних трифазних електротехнічних системах з урахуванням температурної залежності електрофізичних параметрів електропровідного середовища, неоднорідного розподілу електромагнітного поля і реальних фазових координат обмоток з метою визначення принципів побудови та створення нового класу індукційного обладнання, яке забезпечує ефективне використання енергії електромагнітного поля для індукційного нагріву площинного прокату металів.  У роботі розвинуто метод розрахунку локального розподілу електромагнітних і температурних полів в однофазних індукційних системах з феромагнітним осердям та системах контур струму - рухома металева стрічка. Доведено можливість нагрівання феромагнітних стрічок з задовільною рівномірністю розподілу температури по ширині. Основні результати роботи використані при розробці систем індукційного нагріву площинного прокату металів. | |
| |  | | --- | | Теоретичний метод аналізу електромагнітного поля і процесів в рухомому електропровідному середовищі, що розроблено в дисертаційній роботі як сукупність математичних моделей, алгоритмів і комп’ютерних програм, а також результати досліджень, схемні рішення індукторів і рекомендації по проектуванню установок індукційного нагріву, вирішують важливу науково-прикладну проблему створення основ теорії і принципів побудови нового класу індукційного обладнання для термообробки площинного прокату металів, яке забезпечує високу якість термообробки кольорових і чорних металів, скорочення питомих витрат електроенергії у порівнянні з традиційним електротермічним обладнанням у 2 – 4 рази.  1. Вперше метод індукційної термообробки площинного прокату металів у біжучому магнітному полі розроблено в Інституті електродинаміки НАН України. Використання цього методу дозволило створити високоекономічні лінії для термообробки металевих стрічок. Проте, для створення основ теорії і принципів побудови таких індукційних систем, існуючі наближені математичні моделі виявляються неприйнятними, оскільки відображають лише принципові особливості електромагнітних процесів в асиметричних лінійних машинах. Для кількісного опису локального розподілу електромагнітного поля і джерел теплоти у стрічці, а також розробки нових технічних рішень, які спрямовані на розширення діапазону типорозмірів стрічок з рівномірним розподілом температури по ширині, потрібно наукове обґрунтування нових модельних уявлень і методів аналізу електромагнітного поля, теплових і електродинамічних процесів у лінійному індукторі за умов нелінійних властивостей електрофізичних параметрів матеріалу стрічок та реального виконання індуктора.  2. Розроблено комбінований чисельно-аналітичний метод аналізу електромаг-нітних полів і процесів, який об’єднує теорію електричних кіл і теорію електромагнітного поля, для встановлення взаємозв’язку між основними конструктивними особливостями трифазних індукційних систем з реальними фазними координатами, електрофізичними параметрами середовищ, що нагріваються, і параметрами системи живлення. Метод базується на використанні інтегральних перетворень диференційних рівнянь, що описують електромагнітне поле, ітераційних методах розрахунку і теорії узагальнених функцій, та дозволяє визначити інтегральні енергетичні характеристики індукційних систем, локальний розподіл джерел теплоти і температурне поле в стрічці без залучення обернених перетворень для шуканих функцій розподілу електромагнітного поля.  3. Розроблено математичну модель, яка комплексно враховує вплив крайових ефектів лінійних трифазних індукторів з магнітопроводами скінченної довжини. В моделі магнітні потоки, що шунтують активну зону індуктора з торців, бокових граней і ярма осердя, враховуються окремо. Потік, що шунтує основну зону з торців, враховується умовним подовженням осердя по довжині на нескінченність, проте магнітна проникність цих ділянок приймається анізотропною і відмінною від магнітної проникності основної зони. Потік, що шунтує активну зону через бокові грані і ярмо осердя, враховується введенням фіктивного струму, який зосереджується на бокових ребрах осердя по довжині активної частини і еквівалентного магніторушійній силі для проведення цих потоків поза межами активної зони. Доведено, що, за компенсованого виконання обмотки індуктора з достатньою для інженерних розрахунків точністю для розрахунку електромагнітного поля і температури, можна користуватися більш простою математичною моделлю лінійного індуктора з нескінченними магнітопроводами.  4. Розроблено математичну модель лінійного індуктора, що комплексно враховує вплив крайових ефектів індукторів з компенсованими обмотками, в якій врахування полів розсіювання в зоні лобових частин обмотки і торців індуктора здійснюється за рахунок введення за межами реальної ширини і довжини осердя ділянок, на яких струми обмотки розподіляються за лінійним законом. За шириною цих дільниць, яка дорівнює подвоєному значенню висоти немагнітного проміжку, спостерігається найкращий збіг експериментальних і розрахункових значень у розподілі температури по ширині стрічки.  5. Неоднорідність електропровідності по ширині і довжині стрічки, що нагрівається, підсилює неоднорідний розподіл електромагнітного поля, густини струму і температури по ширині, призводить до збільшення асиметрії фазних струмів, зміни структури магнітного поля та інтегральних енергетичних показників індуктора. Доведено, що, для розрахунку інтегральних енергетичних характеристик і розподілу температури на виході з індуктора з достатньою для інженерних розрахунків точністю (3 – 5 %), можна користуватися значенням електропровідності, що визначена для середньої температури між початковим і кінцевим значеннями.  6. Виконаний для широкого діапазону зміни типорозмірів стрічок аналіз сумісної дії прямо- і зворотно біжучих та пульсуючого полів, які зумовлені скінченною довжиною феромагнітного осердя і асиметрією фазних струмів, вказує на суттєву залежність від них розподілу локальних джерел теплоти і температури. Пульсуюче поле призводить до виникнення контура вихрового струму, який охоплює активну зону індуктора, і викликає додатковий нагрів бокових кромок стрічки. Зворотно біжуче поле мало впливає на рівномірність нагріву смуги по ширині і викликає лише неоднорідність розподілу джерел теплоти по довжині активної зони індуктора. Для усунення пульсуючого поля за умови заданого типорозміру стрічок і підвищення рівномірності нагріву слід використовувати індуктори з компенсованими обмотками.  7. Розроблено способи синтезу трифазних індукційних систем з симетричними електричними параметрами. Симетрування електричних параметрів відбувається за рахунок асиметричного виконання фазних обмоток, що досягається виконанням фазних котушок з різною кількістю витків і їх нерівномірним просторовим розподілом. Розроблено методики розрахунку інтегральних характеристик індукційних систем, локального розподілу джерел теплоти і температури стрічки за умови живлення їх від довільної заданої системи лінійних напруг.  8. Теоретично і експериментально обґрунтовано способи керування розподілом електромагнітного поля і джерел теплоти для розширення діапазону типорозмірів і електрофізичних властивостей стрічок, що рівномірно нагріваються в індукторі біжучого магнітного поля. Зміна структури поля досягається шляхом підбору конструктивних розмірів, поздовжнього і поперечного зсуву феромагнітного осердя, зміною висоти немагнітного проміжку та схеми з’єднання фазних обмоток. Найбільш ефективними для керування розподілом електромагнітного поля і джерел теплоти в стрічці є індуктори з компенсованою обмоткою, з „вивернутою” центральною фазою, і багатообмоточні індуктори з керованим фазним струмом кожної обмотки.  9. Виконано аналіз силової дії магнітного поля індукторів з феромагнітним осердям на феромагнітні стрічки, які нагріваються до температури нижче точки Кюрі. Визначені умови досягнення електродинамічної стабілізації положення стрічки по центру немагнітного проміжку однофазного індуктора з феромагнітним осердям в діапазоні середніх частот (400 – 800 Гц) в залежності від величини напруги (струму) живлення індуктора. Виконано аналіз розподілу джерел теплоти в стрічці скінченної ширини і визначено взаємозв’язок основних геометричних розмірів однофазної індукційної системи з розподілом температури по ширині стрічки.  10. Розроблено математична модель і методи аналізу електромагнітних полів і процесів в індукційних системах контур струму – рухома електропровідна смуга скінченних розмірів. Доведена можливість забезпечення рівномірного нагріву стрічок по ширині із застосуванням компланарних поверхні стрічки комбінації контурів струму канонічних форм. Для розширення діапазону типорозмірів стрічок, що нагріваються, доцільно використовувати просторово розподілені контури струму із змінним кутом нахилу бічних ділянок контура або трьохконтурні прямокутні індукційні системи з можливістю зміни кута нахилу бічних контурів.  11. Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації є достатньо обґрунтованими і достовірними, базуються на глибокому теоретичному аналізі, коректній постановці і розв’язанні задач, узгодженням моделей з експериментальними даними і раніше відомими з публікацій результатами, апробацією основних положень і результатів на представницьких наукових конференціях.  12. Результати дисертаційної роботи пропонуються для використання науковим і промисловим організаціям, що здійснюють дослідження і розробку електротехнічного обладнання, принцип дії якого заснований на термічній і силовій дії змінного електромагнітного поля на електропровідне середовище. | |