

Лабораторна робота № 63

МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ ПОЛЕМ СТРУМУ В ПРОВІДНОМУ ЛИСТІ

Мета роботи

Ознайомлення з принципами моделювання електричних і магнітних полів.

З'ясування аналогії між картинами електричного поля струму в провідному середовищі та магнітного поля постійного струму.

Ознайомлення з методикою побудови картини магнітного поля електричної машини.

Підготовка до роботи

Готуючись до роботи, необхідно:

1. Ознайомитися з робочим завданням і методичними вказівками.
2. Скласти протокол звіту з лабораторної роботи.
3. Відповісти на наступні питання:
 - а) які величини характеризують магнітне поле постійного струму та електричне поле струму в провідному середовищі?
 - б) за яких умов картини магнітного поля постійного струму і електричного поля в провідному середовищі будуть схожими?
 - в) як за картою магнітного поля електричної машини визначити коефіцієнт розсіювання?
 - г) для чого на практиці використовують моделювання полів?

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з фігурного плоского металевого листа, обрис якого має характер обрис простору навколо сталених частин електричної машини в розрізі, перпендикулярному до осі машини (рис. 63.1). Лінія $abcd$ є окресленням полюса; лінія de перетинає повітряний проміжок під серединою полюса; лінія ef є границею якоря; лінія fg проходить по середині міжполюсного простору, а лінія ga є границею ярма.

До фігурного листа струм підводиться через масивний латунний брусок, припаяний до листа по лінії de . Оскільки питома провідність матеріалу бруска більше питомої провідності матеріалу листа і товщина бруска значно перевищує товщину листа, падінням напруги у бруску можна знехтувати та вважати лінію de лінією однакового електричного потенціалу.

Лінія dcb як границя провідного листа є лінією струму. Так само лінією струму є і лінія $efga$. Між лініями dcb і $efga$ проходить через лист весь струм. За допомогою регулювальних реостатів можна змінювати розподіл струму між затискачами, припаяними до листа по лінії ab , тобто змінювати розподіл струму вздовж цієї лінії. Коло живлення містить ще один реостат для підтримки незмінності загального струму в листі.

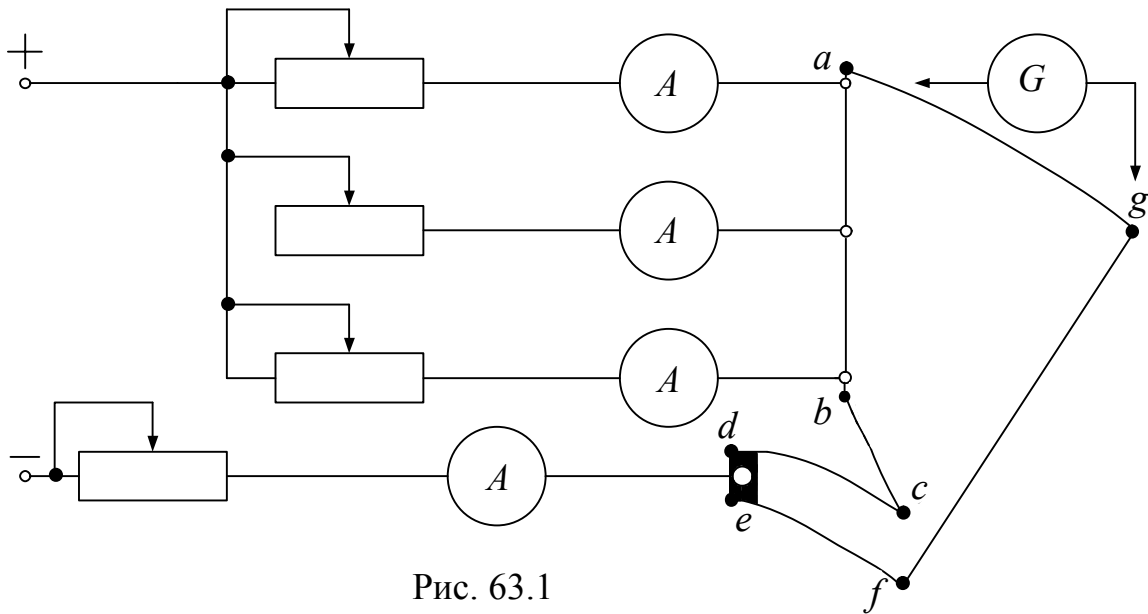


Рис. 63.1

Для знаходження дослідним шляхом ліній рівного потенціалу на поверхні листа при проходженні струму використовується гальванометр, оснащений провідниками зі щупами.

Порядок виконання роботи

1. Скласти схему установки згідно рис. 63.1.
2. За допомогою гальванометра, починаючи з лінії *de*, знайти екіпотенціальні лінії з різницею потенціалів між двома сусідніми лініями 10–20 поділок гальванометра і накреслити їх на сталевому листі крейдою. Дослід провести при збудженні полюса машини одним витком і всією обмоткою (значення струму задається викладачем).
3. Дотримуючись масштабу, перемалювати отримані криві в протокол звіту з лабораторної роботи.

Обробка результатів експерименту

1. На експериментально отриманій картині екіпотенціальних ліній електричного поля струму побудувати сукупність ліній однакового магнітного потенціалу.
2. За картиною поля підрахувати коефіцієнт розсіювання.
3. Зробити і записати в протокол звіту висновки з виконаної роботи.

Методичні вказівки

Разом з теоретичним розрахунком і безпосереднім експериментальним дослідженням електричних і магнітних полів велике практичне значення має дослідження цих полів шляхом моделювання.

В основу моделювання покладено той факт, що багато полів описуються однаковими за структурою рівняннями. Наприклад, постійне магнітне поле в області поза струмами і постійне електричне поле в провідному середовищі в області поза джерелами ЕРС описуються аналогічними рівняннями

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \bar{H} = 0 (\bar{H} = -\operatorname{grad} \varphi_m); \quad \bar{B} = \mu \bar{H}; \quad \operatorname{div} \bar{B} = 0, \\ \operatorname{rot} \bar{E} = 0 (\bar{E} = -\operatorname{grad} \varphi); \quad \bar{\delta} = \gamma \bar{E}; \quad \operatorname{div} \bar{\delta} = 0, \end{aligned}$$

де \bar{H} , \bar{E} – напруженість відповідно магнітного і електричного поля; φ_m – скалярний магнітний потенціал; \bar{B} – магнітна індукція; μ – абсолютна магнітна проникність, що характеризує магнітні властивості речовини, скалярна для ізотропного середовища; φ – електричний потенціал; $\bar{\delta}$ – вектор щільності електричного струму в провідному середовищі; γ – питома електрична провідність, що характеризує здатність речовини проводити електричний струм провідності, скалярна для ізотропного середовища.

Якщо однакові геометричні конфігурації областей простору, в яких існують ці поля, якщо аналогічні граничні умови на границях областей і подібні відносні розподіли значень γ і μ усередині областей, то картини цих полів будуть подібними.

Ці умови використовують для моделювання одного поля іншим. Найпростіше і з найбільшою точністю вдається експериментально досліджувати електричне поле в провідному середовищі, тому дослідження постійних магнітних полів, особливо у разі складної конфігурації простору, де існують ці поля, заміняють дослідженням поля струму в провідному середовищі на відповідних моделях.

Геометричну подібність областей, в яких існують поля, дотримують шляхом вибору відповідної конфігурації провідного листа (провідного паперу).

Як відомо, на границі розділу двох середовищ з різними магнітними проникностями залишаються незмінними нормальні складові вектора \bar{B} і дотичні складові вектора \bar{H} . Аналогічно на межі розділу двох середовищ з різними питомими провідностями залишаються незмінними нормальні складові вектора $\bar{\delta}$ і дотичні складові вектора \bar{E} .

Крім того, у разі протікання струму в середовищі з малою питомою провідністю можна нехтувати падінням напруги усередині провідного тіла з високою питомою провідністю і вважати поверхню останнього екіпотенціальною (вектор $\bar{\delta}$ буде до неї нормальний). Аналогічно в магнітному полі на границі розділу феромагнетика і неферомагнетика (наприклад, повітря) поверхню феромагнетика також можна вважати екіпотенціальною і вектор \bar{B} спрямованим нормально до цієї поверхні, тому що магнітна проникність феромагнетика набагато більша від магнітної проникності повітря.

Досліджуючи магнітне поле в повітрі біля полюса електричної машини, можна прийняти нескінченно великою магнітну проникність матеріалу полюса, ярма і якоря. У такому разі лінії dcb , ef і ga . (див .рис. 63.1) в електричній машині є лініями однакового магнітного потенціалу. Лінія fg також є екіпотенціальною. Дійсно, магнітні лінії потоку розсіювання, що йде від північного полюса до південного в просторі між полюсами, повинні перетинати лінію fg під прямим кутом унаслідок симетричного розташування полюсів відносно неї. Отже, лінія fg є лінією однакового магнітного потенціалу, і потенціал цієї

лінії такий же, як і потенціал на поверхні якоря і на поверхні ярма, тобто на лініях: ef і ga .

Прийняте припущення, що магнітна проникність сталі нескінченно велика у порівнянні з магнітною проникністю повітря, дозволяє зробити висновок, що лінія $efga$ є лінією одного і того ж магнітного потенціалу, а лінія dcb – лінія іншого магнітного потенціалу. Різниця магнітних потенціалів між цими лініями дорівнює тій частині магніторушійної сили (МДС), яка визначається магнітним потоком у повітряному проміжку машини і магнітним опором повітряного проміжку.

Припущення, що магнітна проникність сталі нескінченно велика у порівнянні з магнітною проникністю повітря, еквівалентно припущенню, що магнітний опір шляху потоку по сталевих частинах машини нескінченно малий у порівнянні з магнітним опором повітряного проміжку. У такому разі різниця магнітних потенціалів між лініями dcb і $efga$ дорівнює повному струму I_w котушки, розташованої на одному полюсі (I – струм котушки, w – кількість її витків).

У просторі, зайнятому самою котушкою, поняття скалярного магнітного потенціалу не має сенсу з огляду на те, що в цьому просторі існує електричний струм. Тому розрахунок і побудову картини поля виконують, вважаючи, що котушка має нескінченно малу товщину і прилягає безпосередньо до поверхні осердя полюса, тобто стискають перетин котушки до лінії ab .

За таких припущень, будуючи картину поля у всьому просторі, обмеженому контуром $abcdefga$, можна користуватися поняттям скалярного магнітного потенціалу, оскільки в цьому просторі немає електричних струмів. Уздовж лінії ab магнітний потенціал у повітрі змінюється на значення магніторушійної сили, створюваної котушкою. Розподіл МДС вздовж цієї лінії залежить від розподілу витків котушки вздовж осердя полюса.

Магнітні лінії в повітрі повинні підходити перпендикулярно до ліній dcb і $efga$, як до ліній рівного потенціалу. До лінії ab магнітні лінії підходять не під прямим кутом, тому що вздовж цієї лінії в повітрі магнітний потенціал змінюється.

У першому наближенні в середній частині машини поле можна вважати плоскопаралельним. Відповідно можна прийняти, що функція потоку V_m і скалярний магнітний потенціал φ_m у цій області задовольняють рівнянню Лапласа для плоскопаралельного поля

$$\frac{\partial^2 V_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_m}{\partial y^2} = 0 \quad \text{і} \quad \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial y^2} = 0.$$

Рівняння ліній напруженості магнітного поля і ліній однакового магнітного потенціалу мають вигляд

$$V_m = \text{const} \quad \text{і} \quad \varphi_m = \text{const}.$$

Лінії однакового потенціалу перетинаються з лініями напруженості скрізь під прямим кутом.

Електричне поле в провідному листі також є плоскопаралельним і відповідно рівняння Лапласа для електричного потенціалу φ і для функції потоку V в листі мають вигляд

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad \text{і} \quad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0.$$

Рівняння ліній однакового електричного потенціалу і ліній напруженості електричного поля матимуть вигляд:

$$\varphi = \text{const} \quad \text{і} \quad V = \text{const}.$$

Лист виготовлений з однорідного і ізотропного матеріалу і, отже, між векторами \vec{E} і $\vec{\delta}$ існує залежність $\vec{\delta} = \gamma \vec{E}$. Тому лінії напруженості електричного поля одночасно є і лініями електричного струму. Отже, рівняння $V = \text{const}$ є рівнянням ліній струму.

Лінії струму перетинаються з лініями однакового електричного потенціалу скрізь під прямим кутом.

Граничні лінії dcb і $efga$ на провідному листі є лініями струму, а в машині – лініями однакового магнітного потенціалу. Струм, що входить в лист по лінії de і виходить з листа по лінії ba , відповідає спаду магнітного потенціалу або МДС вздовж ліній de і ba в машині.

Таким чином, за однакового розподілу струму в листі і МДС в машині уздовж ліній de і ba картина електричного поля в провідному листі збігатиметься з картиною магнітного поля в машині. При цьому лінії струму в листі відповідатимуть лініям однакового магнітного потенціалу в машині, а лінії однакового електричного потенціалу в листі – лініям напруженості магнітного поля в машині, оскільки величина V_m пропорційна напруженості магнітного поля.

Необхідний розподіл уздовж лінії de струму, який входить в лист, досягається автоматично завдяки тому, що опір латунного бруска, припаяного до листа по цій лінії, досить малий. Внаслідок цього лінія de на листі є лінією однакового електричного потенціалу. У машині вона є лінією напруженості магнітного поля. Таким чином, граничні умови вздовж цієї лінії для електричного поля струму і магнітного поля машини виявляються відповідними.

Експеримент полягає в отриманні на поверхні фігурного листа картини ліній однакового електричного потенціалу, еквівалентної картині ліній напруженості магнітного поля в електричній машині. З цією метою модель приєднують до джерела постійного струму, значення якого підтримують незмінним за допомогою регульовального реостата.

Розподіл уздовж лінії ba струму, що виходить із листа, відповідає розподілу МДС по висоті осердя полюса, тобто розподілу витків обмотки, що намагнічується. Необхідний для досліду розподіл створюється за допомогою регульовальних реостатів, які з'єднані з припаяними до листа по лінії ba затискачами, як це показано на рис. 63.1.

Підключивши один з щупів гальванометра до затискача на бруску, припаяному до листа по лінії de і задавшись різницею потенціалів між сусідніми

еквіпотенціальними лініями 10 – 20 поділок гальванометра, знаходять точки сусідньої еквіпотенціальної лінії. Переносять щуп гальванометра на отриману лінію рівного потенціалу і так само визначають точки наступної лінії і так далі, поки не буде отримана картина ліній однакового електричного потенціалу на моделі. Це відповідає розділенню картини магнітного поля на трубки рівного магнітного потоку. Картина поля отримують для рівномірного і заданого нерівномірного розподілів струму вздовж лінії *ba*.

Отриману на моделі картину ліній однакового потенціалу переносять на лист паперу за допомогою координатної сітки або пантографа. На цей же малюнок наносять лінії струму, відповідні лініям однакового магнітного потенціалу. При цьому повинні бути задоволені наступні умови:

а) лінії струму (однакового магнітного потенціалу) і однакового електричного потенціалу (напруженості магнітного поля) повинні перетинатися усюди під прямим кутом;

б) поверхні сталевих частин машини там, де вздовж них не розташовані намагнічувальні обмотки з електричними струмами, слід вважати поверхнями рівного магнітного потенціалу, і лінії напруженості магнітного поля в повітрі повинні бути до них перпендикулярні;

в) вічка сітки, утвореної лініями напруженості поля і лініями однакового потенціалу, у разі достатньої густини сітки повинні бути приблизно подібні одне до одного, тобто мати однакові відношення середньої довжини до середньої ширини.

З отриманих дослідним шляхом картин поля для різних розподілів витків котушки полюса визначають коефіцієнт розсіювання – відношення магнітного потоку розсіювання, лінії якого не проходять в якір, до корисного потоку, що входить в якір.

Для знаходження цього коефіцієнта досить підрахувати кількість трубок потоку розсіювання та кількість трубок корисного потоку. Дійсно, у разі дотримання вказаних вище вимог все поле виявляється розділеним лініями напруженості на трубки однакового потоку. Тому відношення кількостей трубок відповідних потоків дорівнює відношенню самих потоків, тобто і є коефіцієнтом розсіювання.

Питання для самостійної роботи

1. Як виглядає картина магнітного поля машини у разі рівномірного розподілу витків намагнічувальної обмотки на осерді полюсу машини?

2. Які особливості має магнітне поле електричної машини із зубчастим якорем?

Література

1. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. У 3 т. Т. 3: підручник /– К. : НТУУ "КПІ", 2013. – с. 146–183.

2. Нейман Л.Р., Демірчян К.С., Юрінов В.М. Керівництво до лабораторії електромагнітного поля. -Вища шк., 1966. – с. 181 – 191.