

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ МОМЕНТНОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Могелюк С.О., магістрант, Реуцький М.О., к.т.н., доц., Дубчак Є.М., ст. викл.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. На сьогоднішній день проблема автоматизації проектування електричних машин набуває все більшої актуальності в зв'язку з необхідністю прискорення розрахунків і зменшення рутинної роботи проектувальників. Перехід від традиційних методів до автоматизованих означає не тільки пришвидшення роботи, а й можливість структуризації проектування електромеханічних комплексів. Перехід до нових технологій проектування з використанням сучасного програмного забезпечення дає можливість більш точно та ефективніше виконувати розрахунки за відомими методами математичного моделювання проектованого виробу.

Мета роботи. Автоматизація розрахунку магнітного кола моментного двигуна з постійними магнітами за рахунок використання програми MATHCAD.

Матеріали та результати досліджень. Попередньо був проведений ручний розрахунок якоря та провідностей розсіювання моментного двигуна потужністю 300 Ватт частоти обертання 15 обертів за хвилину по методу, який приведений в [1]. Розрахунок магнітного кола виконаний за алгоритмом спрощеного методу Монте Карло (метод випадкових проб та помилок), в якому сумарна магніторушійна сила (MPC) визначається автоматично.

Головною перевагою цього методу є його простота та універсальність логічних операцій. Пошук здійснюється багаторазовими повтореннями розрахунків, що відрізняються величинами незалежних змінних та є взаємозалежними. Оптимальним визнається той варіант розрахунку, який задовольняє всі вимоги системи обмежень та має найкраще значення критерію відповідності заданим вимогам.

Алгоритм розрахунку магнітного кола

1) Вибір магніту

Був вибраний магніт N38SH (неодим-залізо-бор). Для цього крива розмагнічування магніту оформлена у вигляді масиву даних зображених в Таблиці 1 для автоматизації розрахунку. В – залишкова індукція, Н – напруженість магнітного поля.

Таблиця 1 – Крива розмагнічування магніту N38SH

	В, Тл	Н, А/м
1	1.22	907
2	1.221	908
3	1.222	909
4	1.223	910
5	1.224	911
...		
80	1.299	986

2) Вибір розрахункових величин індукції та напруженості

По значенню залишкової індукції магніту B_{r1} , індукції в башмаці B_6 , індукції в ярмі B_j автоматично за алгоритмами (Рисунок 1, Рисунок 2, Рисунок 3 відповідно для кожного) вибираються значення коерцитивної сили (напруженості) H_{c1}, H_6, H_j з Таблиці 1 для магніту та з Таблиці 2 для сталі 2411.

```

Hc1 :=
| Br1 ← 1.28
| c ← 0
| for x ∈ curve_magnet<1>
|   | c ← c + 1
|   | return 103 · curve_magnetc,2 if x = Br1
|   | continue otherwise

```

Рисунок 1 – Алгоритм вибору напруженості H_{c1}

```

H6 ←
| B6 ←  $\frac{1.2\Phi\delta}{S_6}$ 
| c ← 0
| for x ∈ curve2411<1>
|   | c ← c + 1
|   | return curve2411c,2 if x = B6
|   | continue otherwise

```

Рисунок 2 – Алгоритм вибору напруженості H_6

```

Hj ←
| Bj ← Bj ←  $\frac{\Phi\delta}{S_j}$ 
| c ← 0
| for x ∈ curve2411<1>
|   | c ← c + 1
|   | return curve2411c,2 if x = Bj
|   | continue otherwise

```

Рисунок 3 – Алгоритм вибору напруженості H_j

Таблиця 2 – Крива намагнічування сталі 2411

	B, Тл	H, А/м
1	0.7	350
2	0.71	355
3	0.72	360
...		
80	1.49	986

Пояснення до Рисуноків 1,2,3: c – змінна, яка використовується як лічильник для вибору відповідного значення; $curve_magnet$ – змінна, що характеризує масив даних з Таблиці 1; $curve2411$ – змінна, що характеризує масив даних з Таблиці 2.

3) Спрощений метод Монте-Карло

Задаємося значенням початкової намагнічуючої сили магніту $F_m \leftarrow 2600$ для визначення сумарного спаду МРС в колі за алгоритмом на Рисунку 4.

З кожною ітерацією розраховується F_{sum} поки не задовольнить критерій відповідності $\Delta = |F_{sum} - F_m| < 1$, де F_{sum} – сумарний спад МРС в колі, F_m – МРС магніту. Кінцевий результат алгоритму зображений в Таблиці 3.

Таблиця 3 – Кінцевий результат виконання алгоритму розрахунку

	1
1	$2.672 \cdot 10^3$
2	$2.673 \cdot 10^3$
3	$3.561 \cdot 10^5$
4	0.809
5	$5.64 \cdot 10^{-3}$
6	$4.56 \cdot 10^{-3}$
7	$2.051 \cdot 10^{-3}$
8	$2.509 \cdot 10^{-3}$
9	$2.652 \cdot 10^3$
10	$2.103 \cdot 10^{-3}$
11	1.432
12	11.001
13	926
14	$3.128 \cdot 10^{-3}$
15	0.802
16	400
17	0.024
18	9.733

```

Fjj := Fm ← 2600
while |Fsum - Fm| > 1
    Hm ←  $\frac{F_m}{h_m}$ 
    Bm ← Br1 ·  $\left(1 - \frac{H_m}{H_{c1}}\right)$ 
    Sm ← 2 · bm · lm
    Φm ← Bm · Sm
    Φs ← Fm · λs
    Φδ ← Φm - Φs
    Fδ ←  $\frac{\Phi\delta}{\lambda\delta}$ 
    Sδ ← 2bδ · lm
    Φm ← Bm · Sm
    Φs ← Fm · λs
    Φδ ← Φm - Φs
    Fδ ←  $\frac{\Phi\delta}{\lambda\delta}$ 
    Sδ ← 2bδ · lm
    Bδ ←  $\frac{1.2\Phi\delta}{S\delta}$ 
    Fδ ← 0.33 · Hδ · hδ
    Bδ ←  $\frac{1.2\Phi\delta}{S\delta}$ 
    c ← 0
    for y ∈ curve2411<1>
        c ← c + 1
        (Hδ ← curve2411c,2) if y = round (Bδ, 2)
        continue otherwise
    Sj ← 2 · la · hj
    Bj ←  $\frac{\Phi\delta}{S_j}$ 
    c ← 0
    for x ∈ curve2411<1>
        c ← c + 1
        (Hj ← curve2411c,2) if x = round (Bj, 2)
        continue otherwise
    Lj ←  $\pi \cdot \frac{D_j - h_j}{4 \cdot p} + 0.5 \cdot h_j$ 
    Fj ← Hj · Lj
    Fsum ← Fδ + Fδ + Fj
    Fm ← Fm + 1
Fjj ← stack(Fm, Fsum)

```

Рисунок 4 – Алгоритм розрахунку сумарної MPC

Пояснення до Рисунку 4 та Таблиці 3:

- 1) F_m – намагнічуюча сила магніта, (А);
- 2) F_{sum} – сумарна намагнічуюча сила магнітного кола, (А);
- 3) H_m – напруженість поля в магніті, (А/м);
- 4) B_m – індукція в магніті, (Тл);
- 5) S_m – розрахункова площа перерізу магніта, (м²);
- 6) Φ_m – магнітний потік в нейтральному перерізі, (Вб);
- 7) Φ_s – магнітний потік розсіювання, (Вб);
- 8) Φ_δ – магнітний потік в проміжку, (Вб);
- 9) F_δ – падіння намагнічуючої сили в проміжку, (А);
- 10) S_δ – площа перерізу башмака, (м²);
- 11) B_δ – індукція в башмаці, (Тл);
- 12) F_δ – падіння намагнічуючої сили в башмаці, (А);
- 13) H_δ – напруженість магнітного поля в башмаці, (А/м);
- 14) S_j – переріз ярма якоря, (м²);
- 15) B_j – індукція в ярмі, (Тл);
- 16) H_j – напруженість магнітного поля в ярмі, (А/м);
- 17) L_j – довжина магнітної лінії в якорі, (м);
- 18) F_j – падіння намагнічуючої сили в якорі, (А);

Індукція в повітряному проміжку, (Тл):

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta} = \frac{2,514 \cdot 10^{-3}}{2,103 \cdot 10^{-3}} = 1,112$$

Коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma = \frac{\Phi_m}{\Phi_\delta} = \frac{2,514 \cdot 10^{-3}}{4,563 \cdot 10^{-3}} = 1,815$$

Висновки. Використаний алгоритм розрахунку за спрощеним методом Монте Карло дозволяє більш ефективно виконувати проектування електричних машин та зменшити рутинну працю людини. Отриманий результат свідчить про те, що виконання розрахунків з використанням сучасних програм дає більш точні значення. Слід зазначити, що з допомогою даного метода проектування виникає можливість структурувати розрахунки в базу даних для покращення проектування в подальшому.

Перелік посилань

1. Морозов А.Г., Расчет электрических машин постоянного тока. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 2-у, перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1977. – 264 с, с ил.
2. А. М. Галиновский, Е. М. Дубчак, С. О. Могельюк. Характеристики асинхронных машин с короткозамкнутым ротором в режимах двигателя и генератора. Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики. – Київ: КПИ, 2018 – с. 286-290.