

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

¹Перепелиця О.С., ¹Тітов Є.О., студенти, ¹Коваленко М.А., к.т.н., доц.,
²Коваленко І.Я., аспірантка

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ¹кафедра електромеханіки, ²кафедра відновлюваних джерел енергії

Мікродвигуни постійного струму активно використовуються в системах автоматики, перетворювальній, офісній, обчислювальній техніці та в багатьох інших галузях. В якості генераторів мікродвигуни постійного струму доцільно використовувати в системах автономного живлення в якості джерела живлення для портативної обчислювальної техніки і т.ін., в ситуаціях де є можливість перетворення низькопотенційної механічної енергії в електричну. Наприклад, використання енергії потоку води в струмку чи ливневих відводах. Така енергія просто витрачається або пропадає. Тому, актуальним є використання даних систем не лише для живлення автономних малопотужних споживачів, а і для систем нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, наприклад для впровадження мікромініатюрних міні-гідроелектростанцій.

Мета роботи полягає у розробці двовимірної математичної моделі мікрогенератора постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Це дозволить дослідити електромагнітне поле та параметри прототипу і за рахунок оптимізації, покращити його параметри.

Мікрогенератор постійного струму, взятий за прототип, використовується як джерело живлення малопотужних споживачів.

Геометрію побудовано в САПР AutoCAD. Далі, створена геометрія імпортується в COMSOL Multiphysics 5.6.

Рівняння розв'язуються за допомогою методу середнього кроку напруг.

Для струмів використовується наступне рівняння:

$$\vec{i} = [R_s] \times (\vec{U} + \vec{E}_s),$$

\vec{i} - струми обмоток в кінці кроку інтегрування;

\vec{U} – середня напруга на клеммах на етапі інтегрування;

Матриця еквівалентного опору:

$$[R_s] = \frac{1}{3}[R] + \frac{1}{\Delta t}[L_1]$$

Вектор ЕРС еквівалентних обмоток генератора:

$$\vec{E}_s = \left(-\frac{2}{3}[R] + \frac{1}{\Delta t}[L_0]\right)\vec{i}_0 - \frac{\Delta t}{6}[R] \cdot \frac{d\vec{i}_0}{dt}$$

Розподіл електромагнітного поля та магнітної індукції в поперечному перерізі досліджуваного генератора показано на рис. 1.

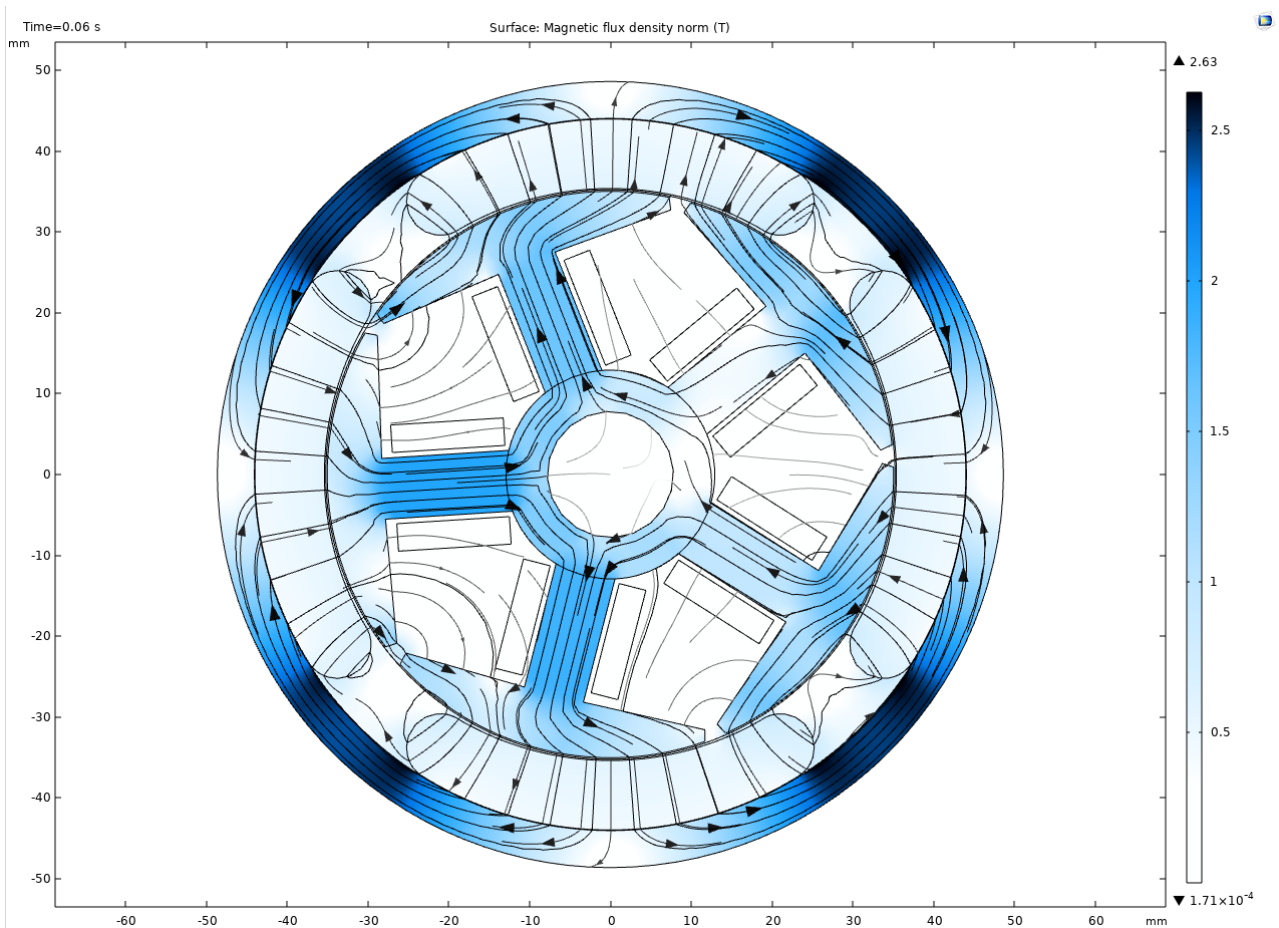


Рисунок 1 – Розподіл магнітного потоку в розрахунковій області досліджуваного генератора

Не дивлячись на мініатюрні розміри досліджуваного генератора (діаметр ≈ 35 мм), за рахунок використання висококоерцитивних постійних магнітів NdFeBr марки N50 індукція в основних частинах магнітного осердя досягає: 1,37 Тл в зубцях, 0,41 Тл в повітряному проміжку та 1,49 Тл в ярмі.

Високі значення магнітної індукції в ярмі пояснюється конструктивним виконанням готового прототипу та високою залишковою індукцією використовуваних постійних магнітів.

Для спрощення постановки задачі при моделюванні в двовимірній постановці задачі не враховується наявність колектора, що в даному випадку виконує роль механічного інвертора. Електромагнітні поля в поперечному перерізі розрахункової області є гармонійними і залежать від величини швидкості обертання ротора досліджуваного генератора.

На рис. 2 зображено розподіл миттєвого значення індукованої ЕРС в обмотці якоря генератора за пів періоду повороту ротора досліджуваного генератора.

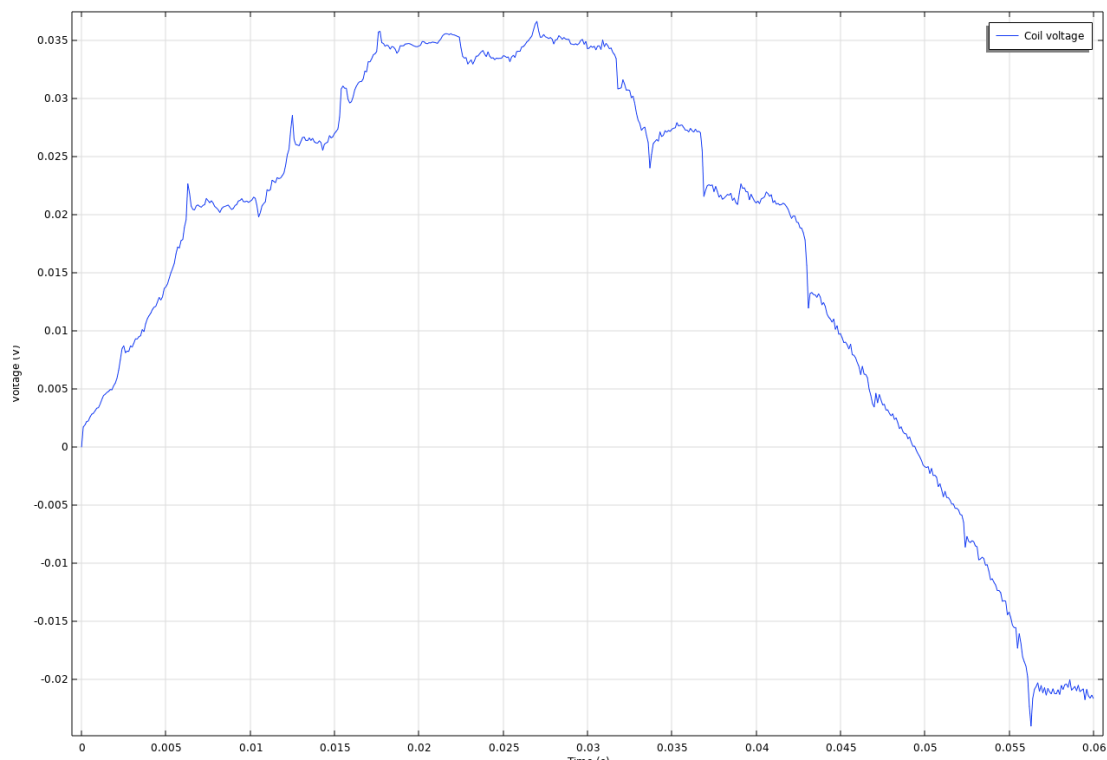


Рисунок 2 – Миттєві значення індукованих ЕРС в обмотці якоря

Розрахункове значення напруги на виток складає 0,025 В, що при загальній кількості провідників в обмотці якоря 1100 дозволяє отримати близько 25 В при номінальному навантаженні.

На рис. 3 показано величина струму в обмотці якоря досліджуваного генератора при навантаженні $R=20800$ Ом.

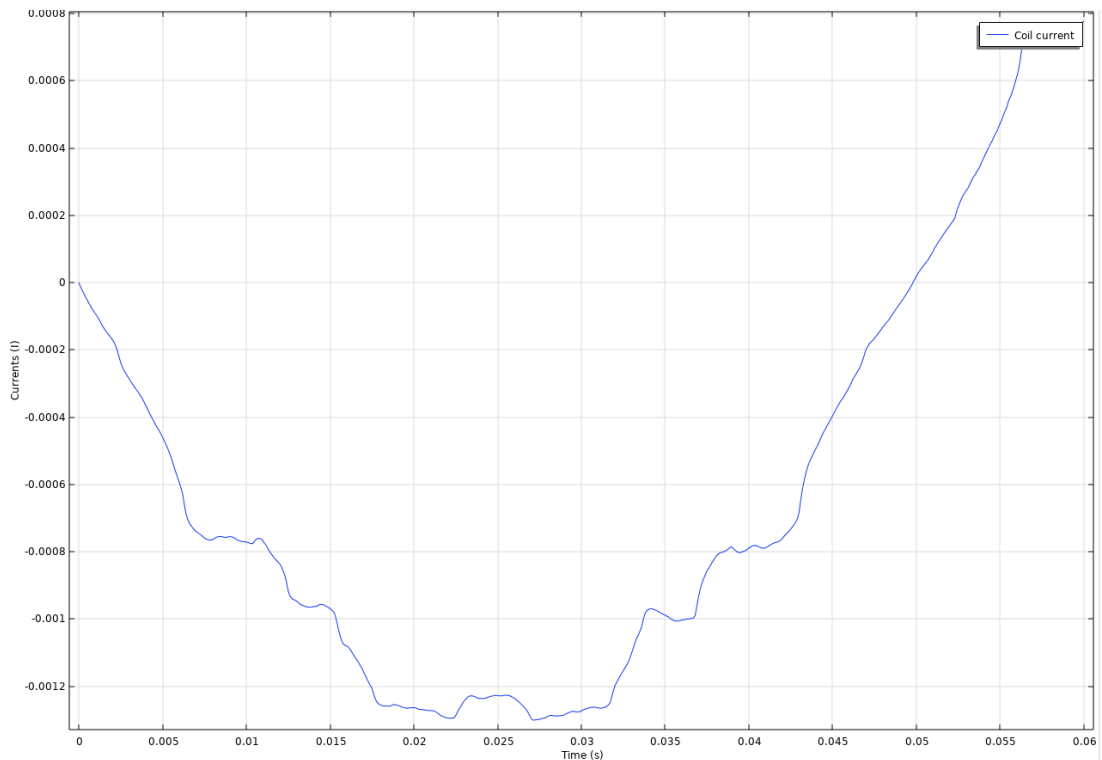


Рисунок 3 – Миттєві значення струмів в обмотці якоря

На рис. 4 показано розподіл магнітної індукції на лінії, що проведена в середині повітряного проміжку досліджуваного генератора.

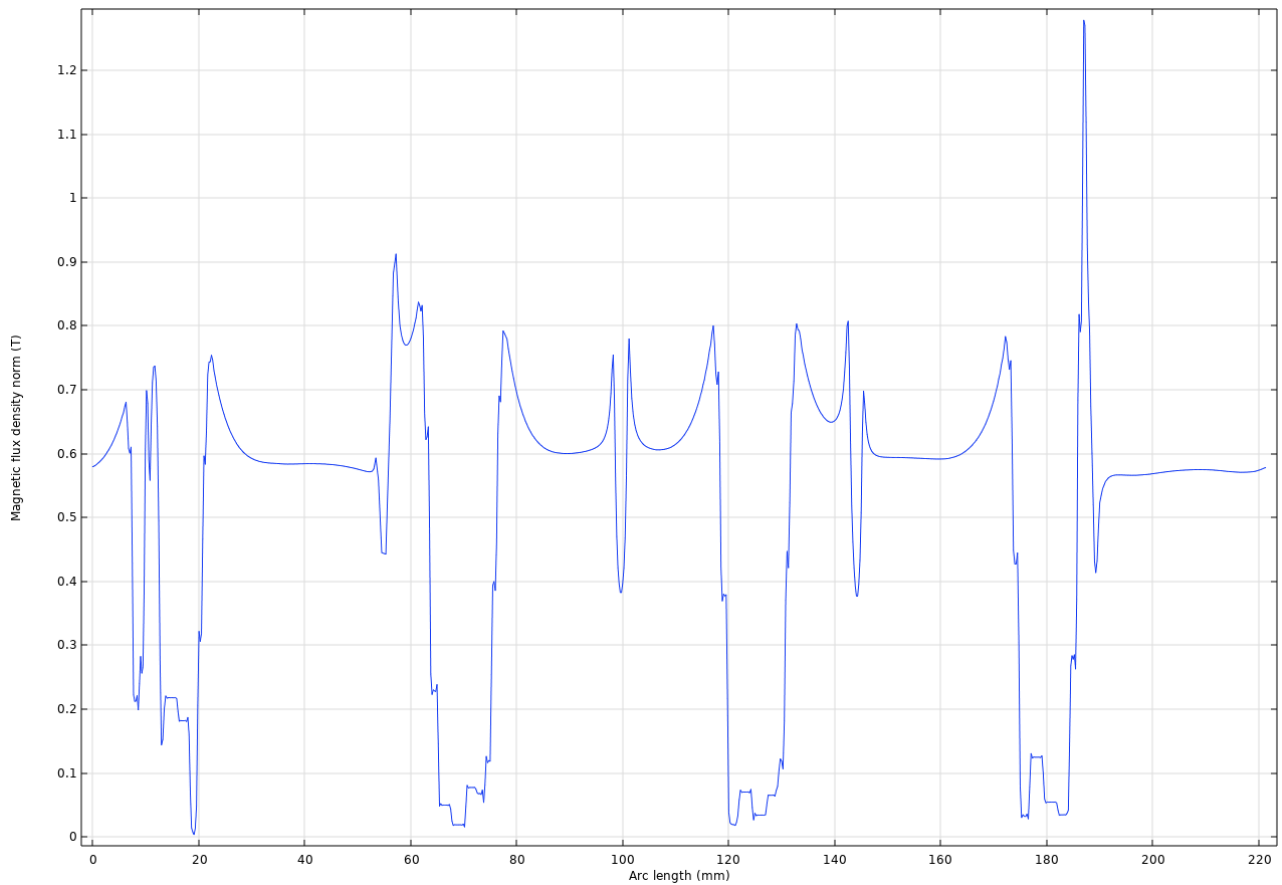


Рисунок 4 – Розподіл середнього значення магнітної індукції в повітряному проміжку

На рис. 4 чітко спостерігається наявність чотирьох полісів постійних магнітів. Середнє значення магнітної індукції при цьому складає $\approx 0,41$ Тл, що є досить суттєвою величиною для досліджуваного мікро-генератора із постійними магнітами.

На рис. 5 показано розподіл нормальної складової магнітної індукції, що відповідає за величину ЕРС, що наводиться в обмотці якоря.

Розподіл нормальної складової показує, що фізично генератор виконано із двополюсною обмоткою, що візуально легко перевірити по наявності двох щіток на колекторі досліджуваного генератора. На рис. 6 показано розподіл тангенціальної складової магнітної індукції, що відповідає за електромагнітний момент досліджуваного генератора.

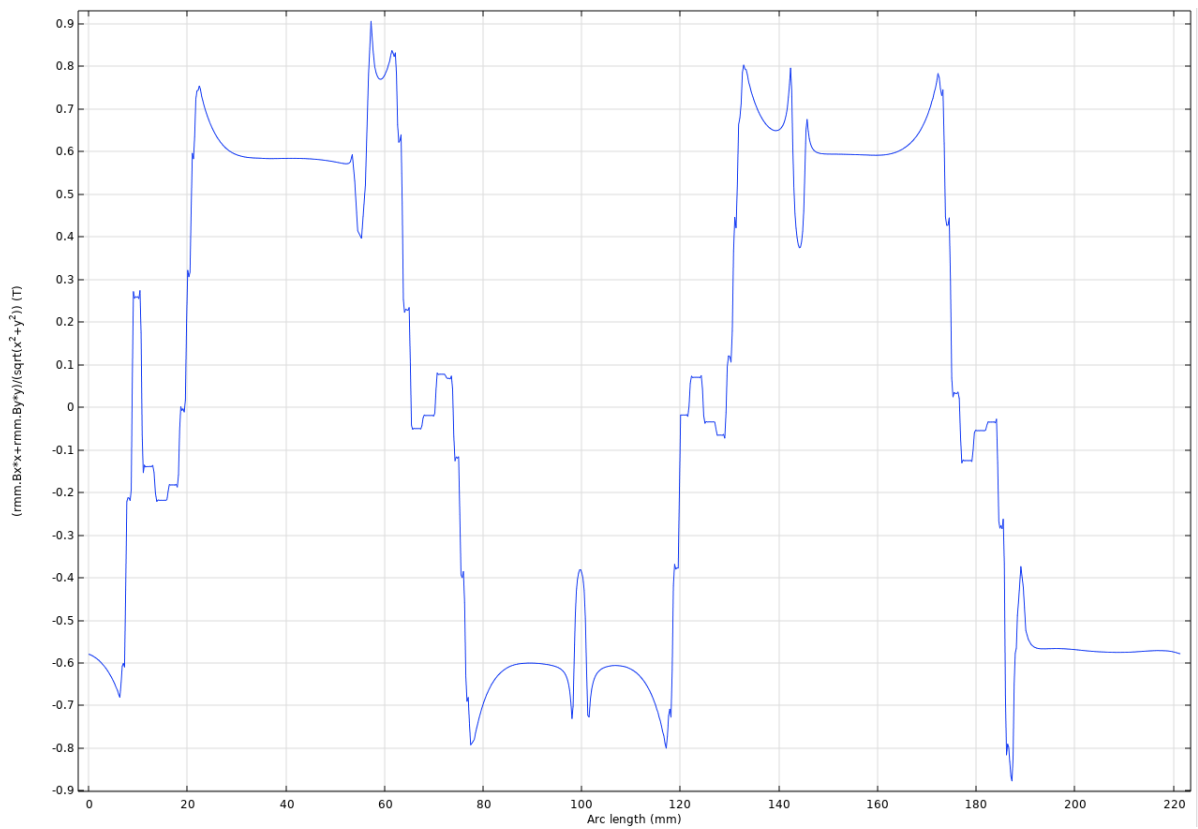


Рисунок 5 – Розподіл нормально складової магнітної індукції в повітряному проміжку

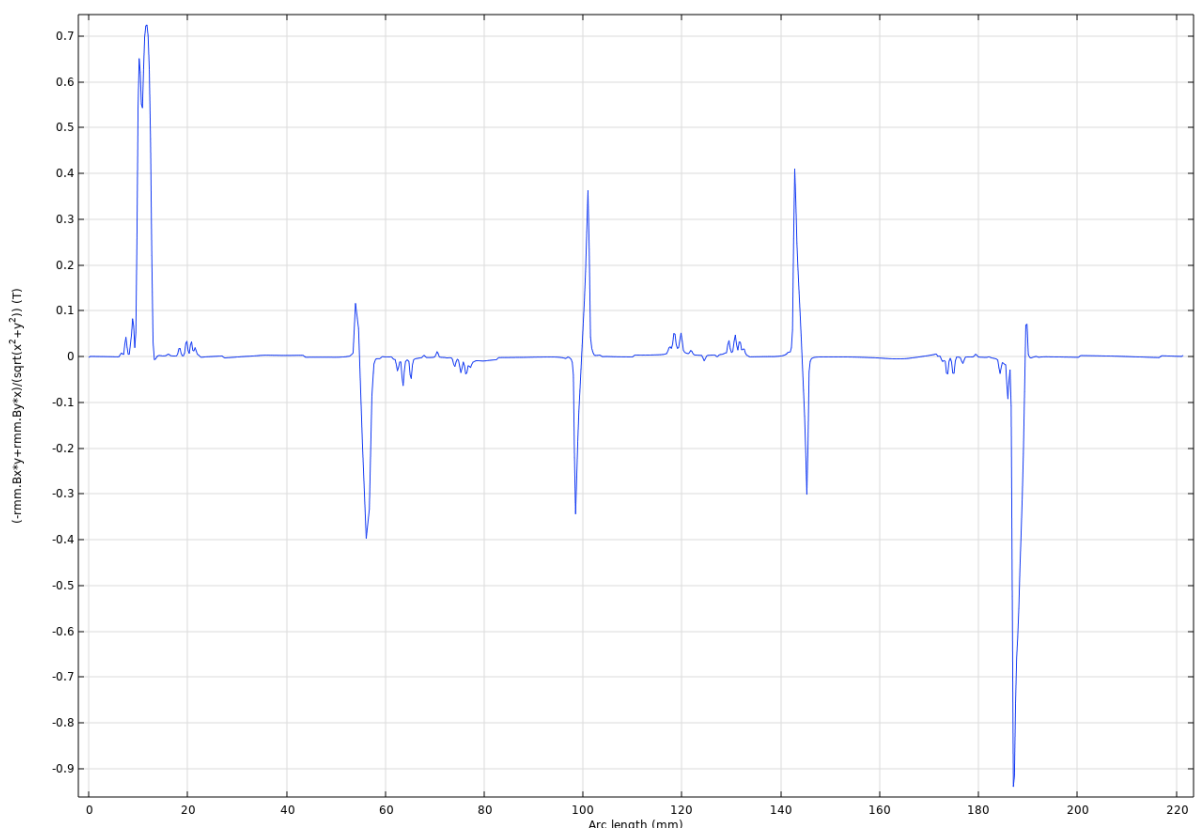


Рисунок 6 – Розподіл тангенціальної складової магнітної індукції в повітряному проміжку

На рис. 7 показано розподіл електромагнітного моменту досліджуваного генератора як функцію кута повороту ротора у часі.

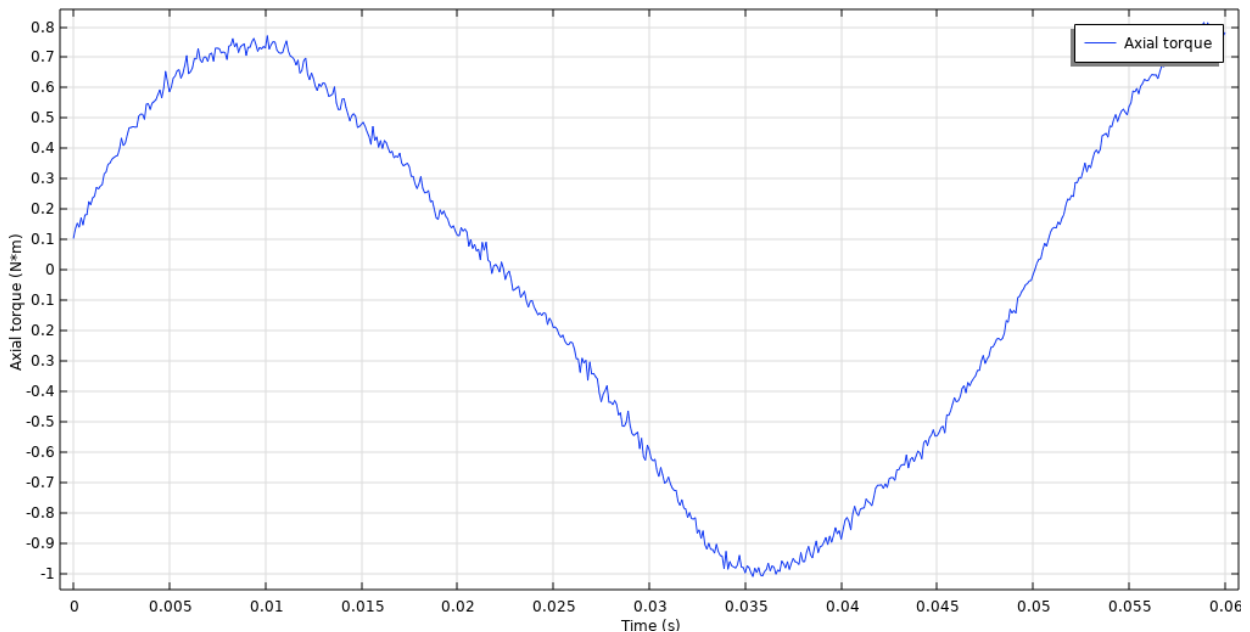


Рисунок 7 – розподіл електромагнітного моменту досліджуваного генератора

Середнє розрахункове значення електромагнітного моменту для досліджуваного генератора складає 0,7 Нм.

Висновки: розроблена двовимірний польова математична модель досліджуваного мікро-генератора із постійними магнітами дозволяє розрахувати розподіл електромагнітного поля в поперечному перерізі та зусиль. Також, за допомогою розробленої моделі можливо провести оцінку параметрів та характеристик такого генератора при роботі на навантаженні та при різному моменті на валу та за різної швидкості обертання ротора.

Перелік посилань

1. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин: Навч. Посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 192 с.
2. Васьковський Ю.М., Гайденко Ю.А., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами: Навчально-методичний посібник, Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2017. 193 с.
3. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Vadim Chumack, Serhii Tsyvinskyi, Mykhailo Kovalenko, Alexej Ponomarev, Ihor Tkachuk Mathematical modeling of a Synchronous generator with combined excitation // (2020) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(5 (103)), 30-36. doi 10.15587/1729-4061.2020.193495.
5. В.В. Чумак, А.В. Петренко, М.А. Коваленко, А.И. Пономарев Управляемый автономный синхронный магнитоэлектрический генератор с магнитным шунтом для энергоснабжения сельскохозяйственного комплекса // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 2016, вип. 242, 132-138.