

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ НА ІНДУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ВЕНТИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ІНДУКТОРНОГО ТИПУ З СУМІЩЕНИМИ ОБМОТКАМИ

*Розглянуто вплив геометрії на індуктивні параметри вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками.*

**Ключові слова:** геометрія, індуктивні параметри, польові методи, суміщена обмотка, вентильний генератор індукторного типу.

*Рассмотрено влияние геометрии на индуктивные параметры вентильного генератора индукторного типа с совмещенными обмотками.*

**Ключевые слова:** геометрия, индуктивные параметры, полевые методы, совмещенная обмотка, вентильный генератор индукторного типа.

**Актуальність проблеми.** Класична теорія електричних машин розвивалась на базі теорії електричних кіл (електричних схем заміщення зі зосередженими параметрами). Перетворення електромеханічної енергії в електричних машинах відбувається завдяки електромагнітному полю. Тому дослідження електромагнітного поля польовими методами дозволяє визначити характеристики електричної машини. Особливу актуальність такий підхід має при розробці нових нетрадиційних конструкцій [1, 2].

Найбільшого ефекту покращення питомих показників індукторних генераторів на сучасному етапі розвитку машинобудування можна досягти шляхом суміщення магнітопроводів та обмоток [3].

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є комбіноване (суміщене) використання якірної обмотки генератора (рисунк 1, 2), що дозволяє підвищити питомі показники до рівня синхронних контактних генераторів. Комуруючі діоди VDa–VDc, які включені послідовно з фазами якірної обмотки, дозволяють використати напівхвилю якірного струму для створення додаткової МРС, що збігається по фазі з МРС відповідної обмотки контуру збудження. Це збільшує результуючий магнітний потік, і, відповідно, ЕРС. Під час другої напівхвилі якірного струму ці діоди

відключають котушку робочої обмотки від навантаження [4].

**Мета роботи** – дослідження впливу геометрії активної зони вентильного генератора індукторного типу на індуктивні параметри.

### **Викладення основного матеріалу.**

Вентильний генератор індукторного типу з суміщеними обмотками являє собою трифазну машину змінного струму, що працює на випрямне навантаження. Схема вмикання генератора приведена на рисунку 2.

Кожна фаза генератора складається із двох однакових котушок, розташованих на двох діаметрально протилежних зубцях статора. Обмотка статора з'єднана в трикутник для забезпечення замкнутого контуру по напрямку односпрямованого струму, що має місце в контурі трикутника через включення в кожен фазу якірної обмотки діода. Односпрямований струм створює магнітний потік, що збігається за напрямком з потоком обмотки збудження на кожному зубці. Таким чином, струм кожної фази обмотки статора, що пульсує, створює додатковий магнітний потік, викликаючи підмагнічуючий ефект, що, як показує експериментальне дослідження [5], дозволяє збільшити вихідну напругу генератора, а значить, і його потужність.

Для дослідження впливу геометрії вентильного генератора індукторного типу з

суміщеними обмотками застосовано середовище FEMM [6, 7] для розрахунку низькочастотних електромагнітних, струмових та теплових задач в двомірній та вісісиметричній системах координат. Також до переваг щодо застосування пакету FEMM треба віднести Freeware ліцензію.

Завдяки вбудованій в FEMM мові програмування LUA можна автоматизувати процес польових розрахунків: автоматично

будувати розрахункову модель, варіювати вихідні дані при циклічних розрахунках, враховувати обертання ротору, розраховувати магнітне поле і виводити результати [8].

Для побудови геометрії необхідно визначитись зі входними параметрами. Так для вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками можливі параметри наведено в таблиці 1 (рисунок 3).

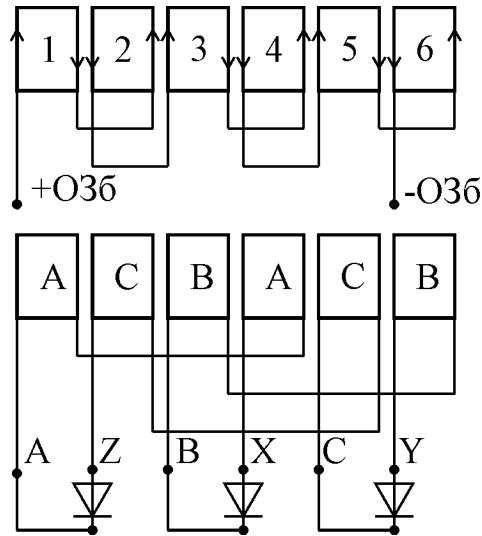


Рисунок 1 – Схема вентильного генератора індукторного типу

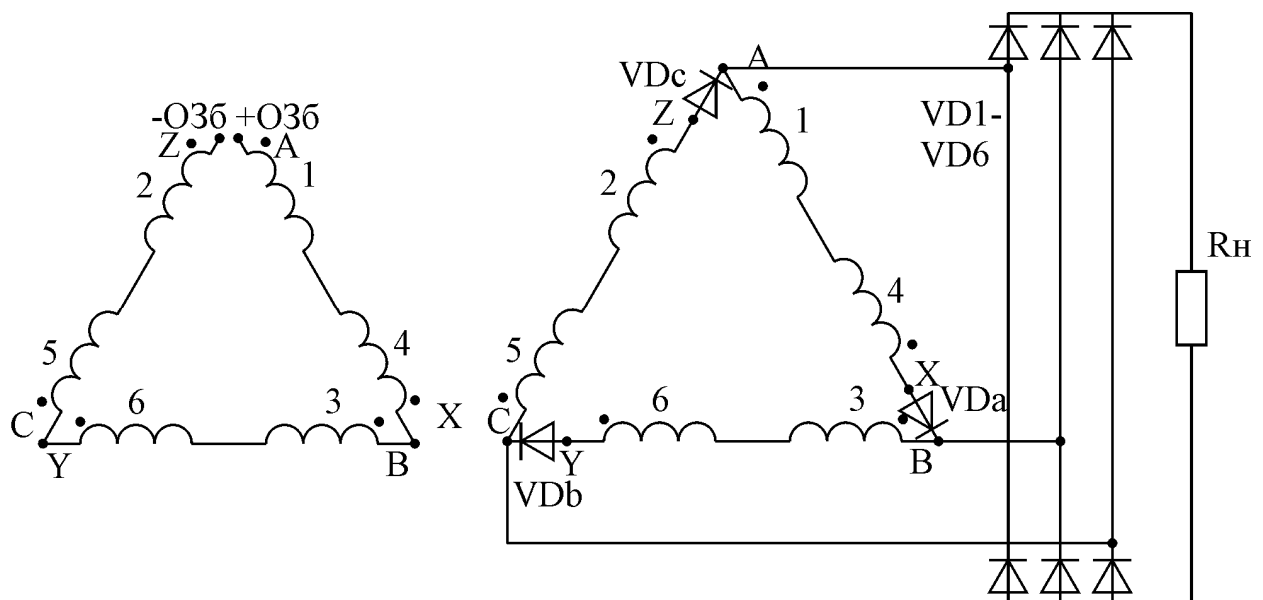


Рисунок 2 – Схема вмикання генератора

Таблиця 1 – Перелік параметрів для побудови геометрії вентиляльного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками

Параметр	Опис
ds	зовнішній діаметр статора генератора
dsz	діаметр статора по зубцям
drz	зовнішній діаметр ротора
dr	внутрішній діаметр ротора
zs	число зубців статора
zr	число зубців ротора
bzs	ширина зубця статора
bzr	ширина зубця ротора
dso1	діаметр зовнішній по обмоткам
dso2	діаметр внутрішній по обмоткам

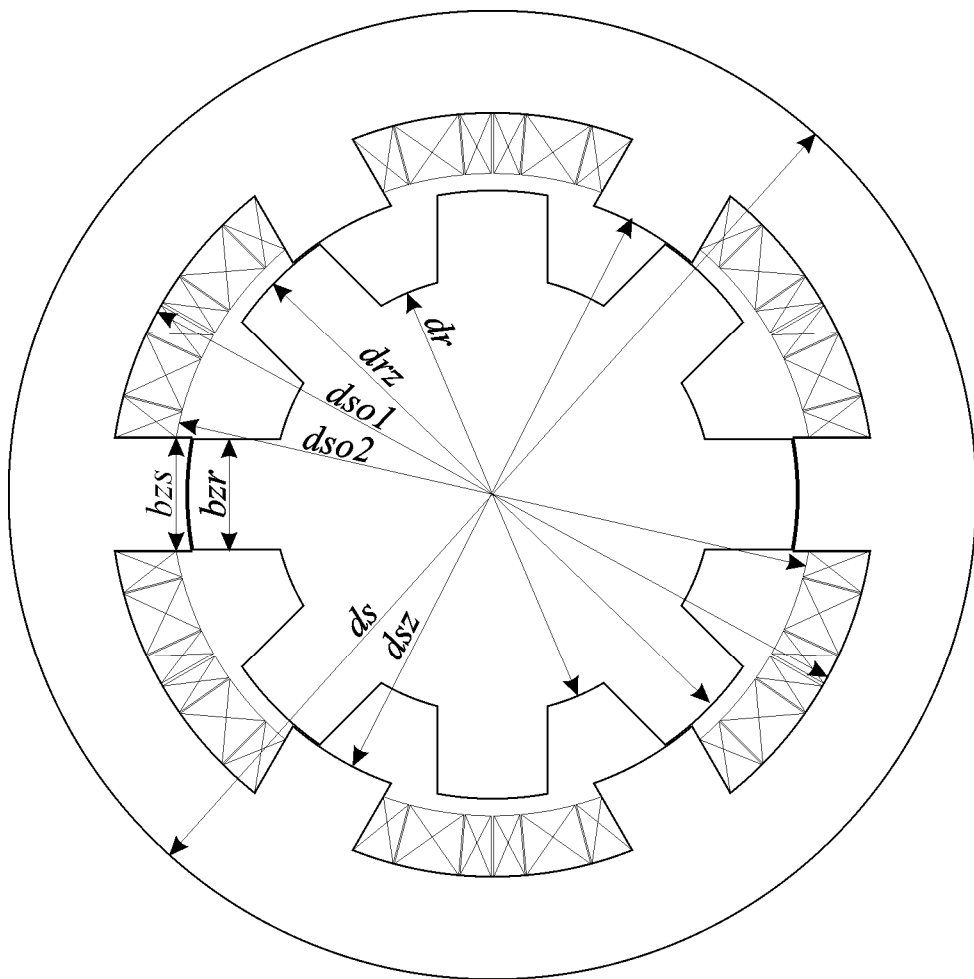


Рисунок 3 – Геометрія вентиляльного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками з параметрами для його побудови

Дослідження геометрії на індуктивні параметри проводилися при таких значеннях параметрів (таблиця 1):  $ds=124$ ,  $dsz=81$ ,  $dso1=101$ ,  $dso2=85$ ,  $zs=6$ ,  $zr=8$ ,  $drz=80.4$ ,  $dr=64$ . А ширина зубців статора

( $bzs$ ) та ротора ( $bzr$ ) змінювалася в діапазоні 13..15 мм.

Комбінації  $bzs$  та  $bzr$  для яких було виконано розрахунки наведено в таблиці 2.

Для варіантів А, В та Г відповідно побудовано геометрію на рисунку 4.

Методика визначення параметрів вентильного генератора наведено в [9]. Для явнополюсних машин індуктивність залежить від взаємного положення полюсів статора і ротора. Тому розрахунки було

проведено при різних положеннях ротора з його послідовними поворотами. Максимальній індуктивності для обмотки збудження відповідає  $\gamma=0$ , а мінімальній –  $\gamma=7,5^\circ$ , для якірної –  $0$  та  $22,5^\circ$  відповідно

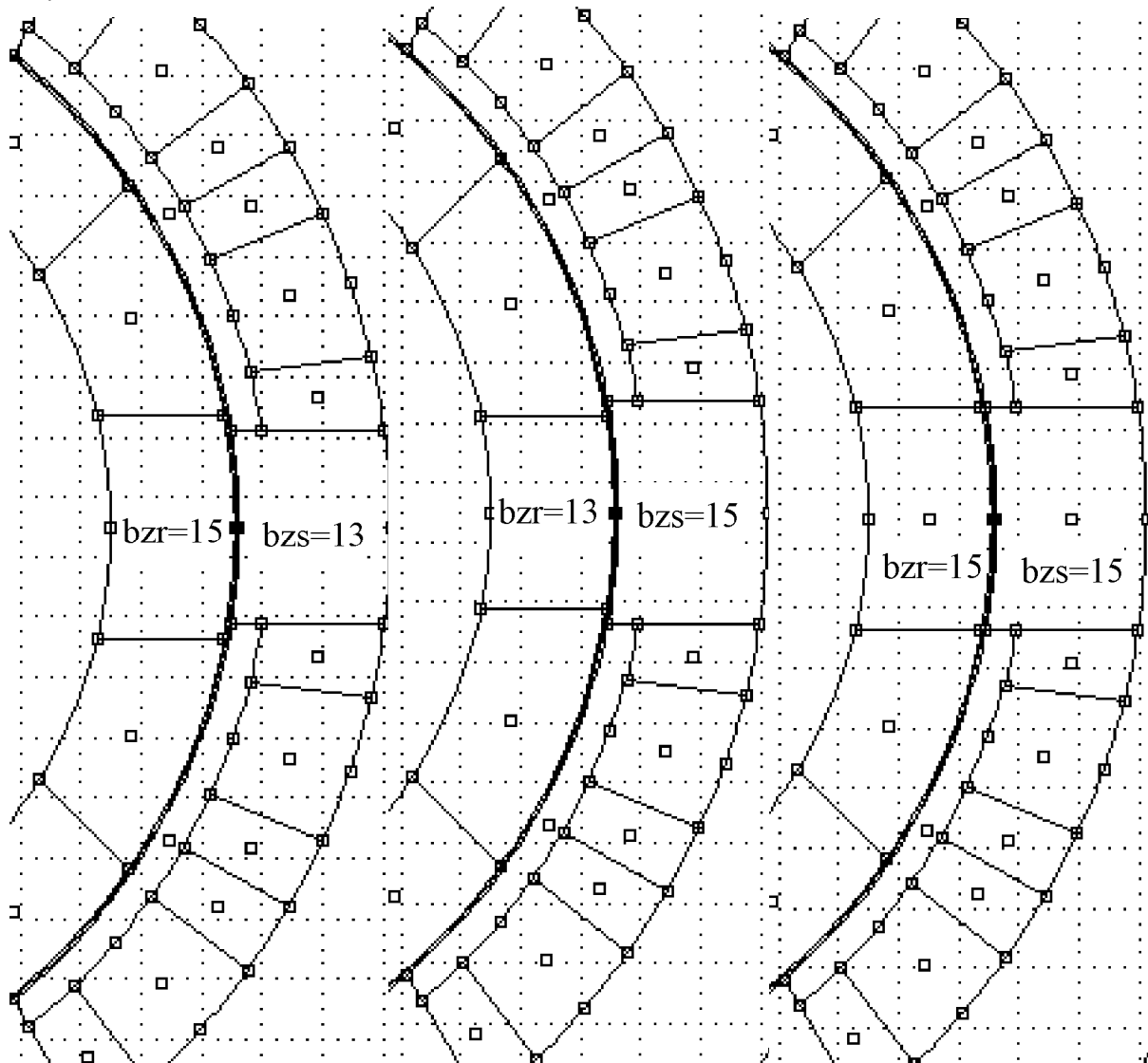


Рисунок 4 – Геометрія зубців статора та ротора для варіантів А, В та Г

Таблиця 2 – Результати розрахунку індуктивності якірної обмотки для різних варіантів

Варіант	b <sub>zs</sub> , мм	b <sub>zr</sub> , мм	La max, мГн	La min, мГн	Постійна складова індуктивності	Амплітудне значення індуктивності
А	13	15	7,875	1,194	4,535	3,341
Б	14	15	8,340	1,328	4,834	3,506
В	15	15	8,728	1,515	5,122	3,607
Г	15	14	8,455	1,336	4,896	3,560
Д	15	13	8,069	1,215	4,642	3,427

Результати розрахунку індуктивності фази А для варіанту А-Д в функції кутового положення ротора ( $\gamma$ ) та струму якоря наведено на рис. 5, 6, 7, 8 та 9 (при

струмах якоря більших ніж 6,5 А відбувається насичення магнітопроводу практично для усіх варіантів).

Таблиця 3 – Результати розрахунку індуктивності обмотки збудження для різних варіантів

Варіант	bzs, мм	bzg, мм	Lзб max, мГн	Lзб min, мГн	Постійна складова індуктивності	Амплітудне значення індуктивності
А	13	15	15,254	13,867	14,561	0,693
Б	14	15	16,413	14,600	15,507	0,907
В	15	15	17,460	15,354	16,407	1,053
Г	15	14	16,523	14,631	15,577	0,946
Д	15	13	15,462	13,942	14,702	0,760

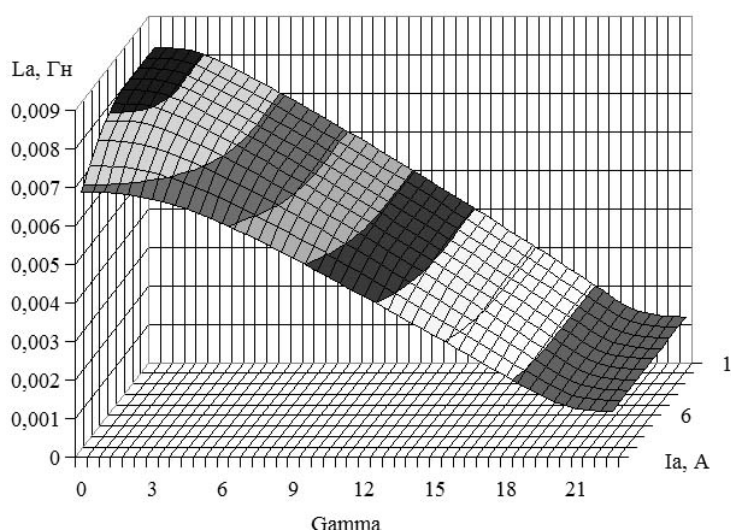


Рисунок 5 – Індуктивність фази А для варіанту А при куті повороту ротора 0...22,5° та струмі якоря 0...10 А

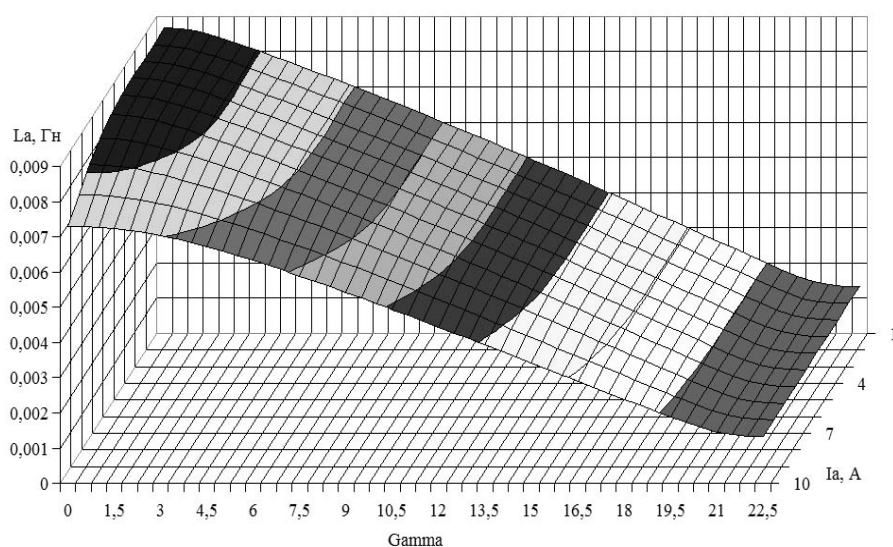


Рисунок 6 – Індуктивність фази А для варіанту Б при куті повороту ротора 0...22,5° та струмі якоря 0...10 А

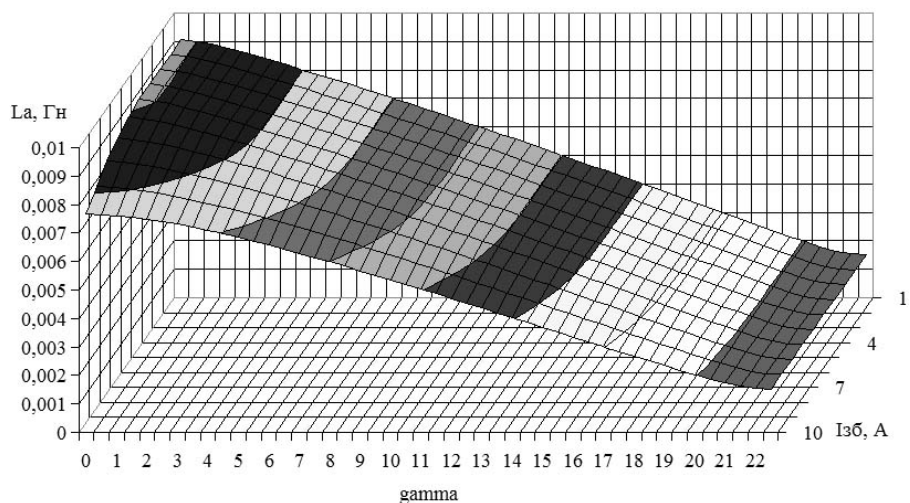


Рисунок 7 – Індуктивність фази А для варіанту В при куті повороту ротора  $0 \dots 22,5^\circ$  та струмі якоря  $0 \dots 10$  А

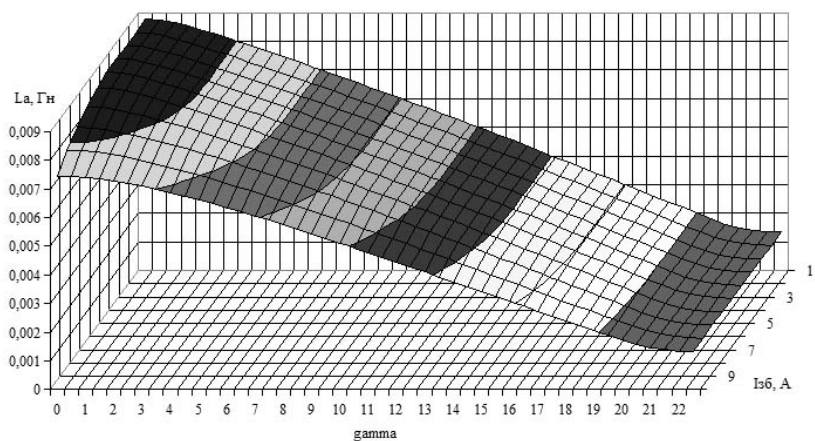


Рисунок 8 – Індуктивність фази А для варіанту Г при куті повороту ротора  $0 \dots 22,5^\circ$  та струмі якоря  $0 \dots 10$  А

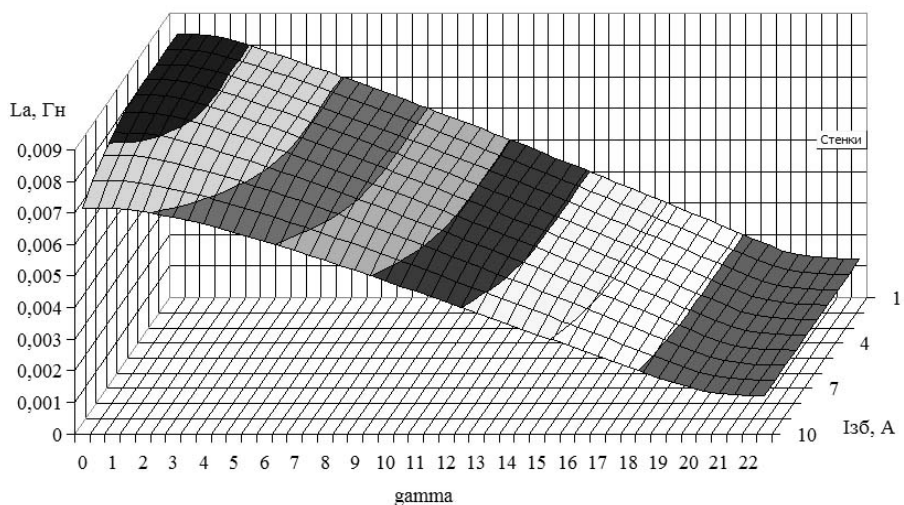


Рисунок 9 – Індуктивність фази А для варіанту Д при куті повороту ротора  $0 \dots 22,5^\circ$  та струмі якоря  $0 \dots 10$  А

На рисунку 10 наведено індуктивність струмах збудження більших за 7 А обмотки збудження для варіанту А (при відбувається насичення магнітопроводу).

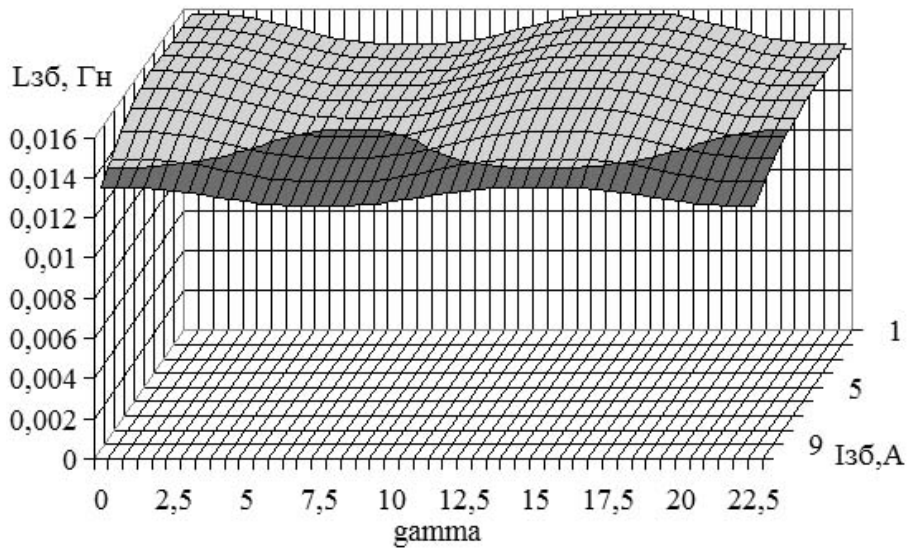


Рисунок 10 – Індуктивність обмотки збудження для варіанту А при куті повороту ротора 0...22,5° та струмі збудження 0...10 А

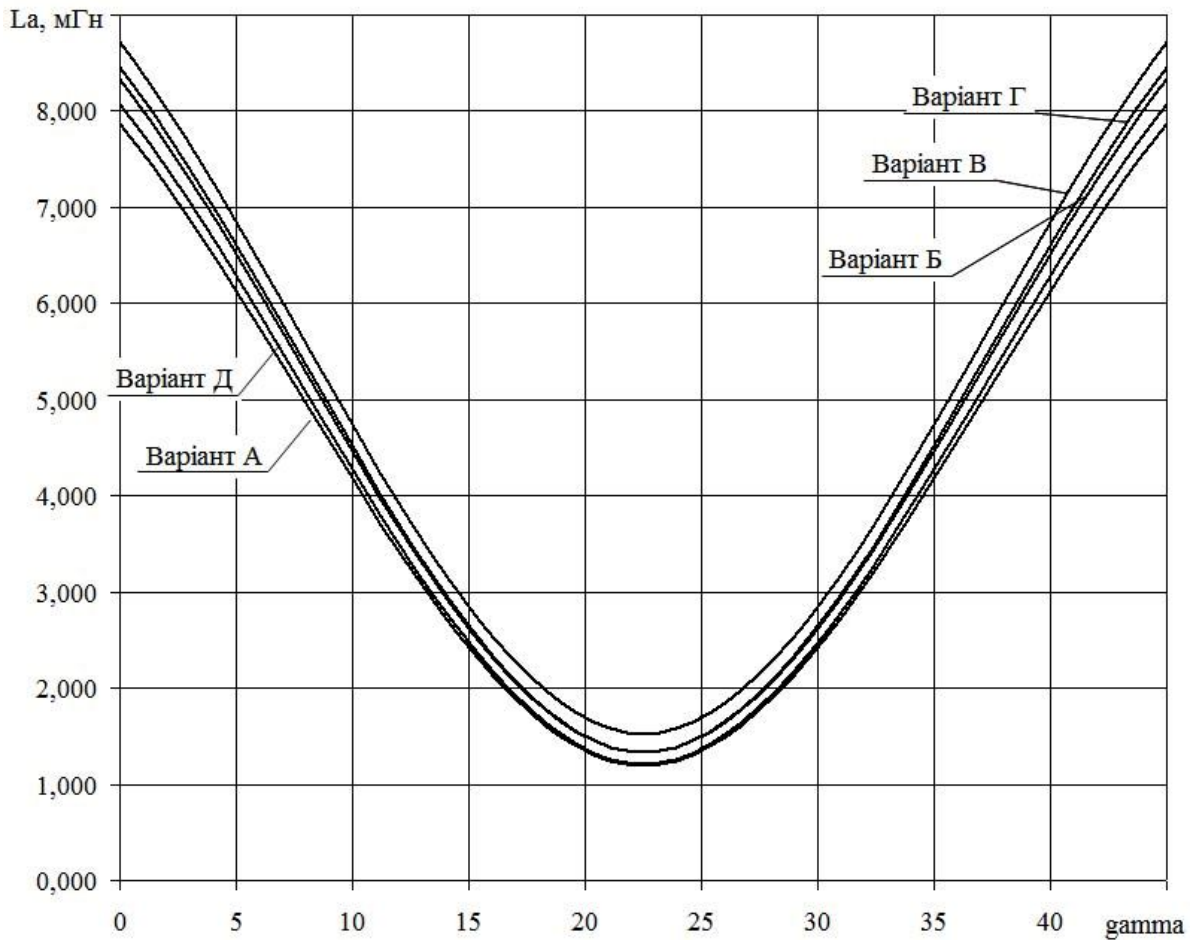


Рисунок 11 – Узагальнені фазні індуктивності

Результати розрахунку узагальнених фазних індуктивностей для різних варіантів наведено на рисунку 11. При виборі геометрії слід враховувати, що ЕРС пропорційна не повному магнітному потоку, а різниці між максимальним та мінімальним значенням.

На рисунку 12 наведено узагальнені індуктивності обмотки збудження для усіх розрахованих варіантів.

**Висновки та рекомендації.** 1. При визначенні індуктивних параметрів електричних машин нетрадиційної конструкції перевагу слід віддавати польовим методам. 2. Застосування пакету програм для розра-

хунку магнітних задач методом кінцевих елементів FEMM з вбудованою мовою LUA дозволяє істотно скоротити час розрахунків, а також автоматизувати процес. 3. З урахуванням особливостей роботи індукторних генераторів більш раціональним вважається варіант В (оскільки амплітудні значення індуктивностей фазні та обмотки збудження максимальні). 4. Запропонований підхід до визначення індуктивних параметрів вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками з пакетом OptiY дозволить проводити оптимізацію конструкції різними методами.

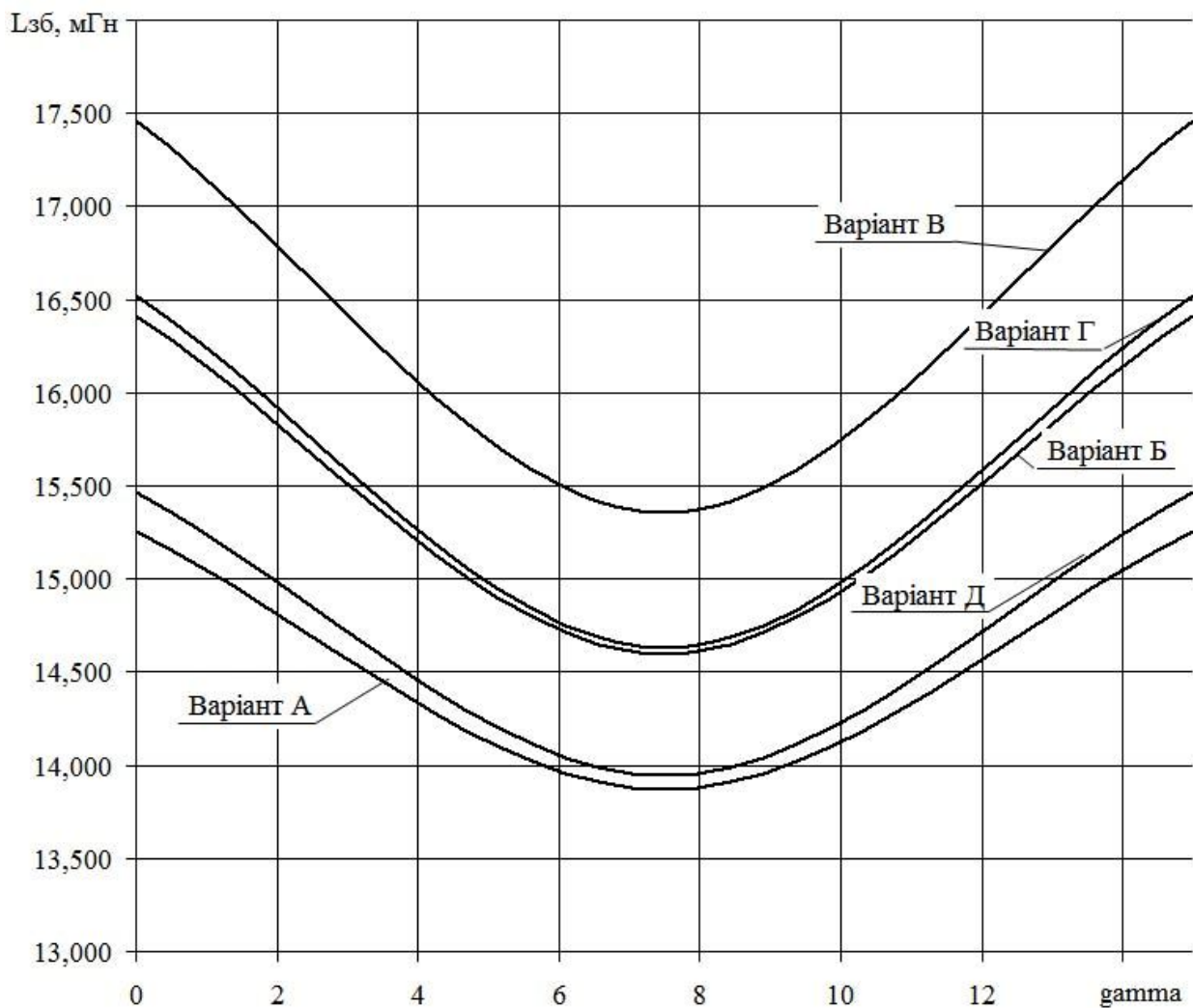


Рисунок 12 – Узагальнені індуктивності обмотки збудження



## Бібліографічний список

1. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин / Ю.М. Васьковський. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 192 с.
2. Мильх В.И. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей / В.И. Мильх, Н.В. Полякова // *Электротехника і електромеханіка*. – 2006. – № 2. – С. 40-46.
3. Луцик В.Д. Суміщені електричні машини та апарати / В.Д. Луцик. – К.: Техніка, 1993. – 203 с.
4. Гречко М.В. Комутаційні процеси в вентильному генераторі індукторного типу з суміщеними обмотками / М.В. Гречко // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып.34 – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – С. 314-322.*
5. Луцик В.Д. Дослідження індукторного генератора з несиметричною суміщеною обмоткою / В.Д. Луцик, М.В. Гречко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2002. - № 4. – С. 49-52.
6. Meeker D. *Finite Element Method Magnetics Version 4.0 [Електронний ресурс]: User's Manual / D. Meeker, January 26, 2004. – Режим доступу: <http://femm.berlios.de>.*
7. Байда Е.И. Расчет электромагнитных и тепловых полей с помощью программы FEMM / Е.И. Байда – Х.: НТУ «ХПІ». – 2011. – 112 с.
8. Гречко М.В. Автоматизація розрахунків електромагнітних параметрів вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками за допомогою LUA скриптів /М.В. Гречко, Є.О. Мішин // *Освіта. Наука. Виробництво: пед. альманах*. – Луганськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2012. - №4. – С. 120-125.
9. Гречко М.В. Методика визначення індуктивних параметрів вентильних генераторів індукторного типу / М.В. Гречко // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика»*. – Донецьк: ДНТУ. - 2009. - № 9. – С. 66-71.

**Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Луциком В.Д.**