

*Гречко М.В.  
(ГФ УПА, м. Стаханов, Україна,  
ngretchko@ukr.net)*

## **КОМУТАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ВЕНТИЛЬНОМУ ГЕНЕРАТОРІ ІНДУКТОРНОГО ТИПУ З СУМІЩЕНИМИ ОБМОТКАМИ**

*Розглянуто комутаційні процеси в якірній обмотці, що виникають при роботі вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками.*

**Ключові слова:** індукторний генератор, суміщена обмотка, якірна обмотка, комутація, комутуючі діоди.

*Рассмотрены коммутационные процессы в якорной обмотке, возникающие при работе вентильного генератора индукторного типа с совмещенными обмотками.*

**Ключевые слова:** индукторный генератор, совмещенная обмотка, якорная обмотка, коммутация, коммутирующие диоды.

**Актуальність проблеми.** З огляду на важкі умови експлуатації тракторів (вібрації, вологість, загороженості) виготовляють безконтактні генератори індукторного типу [1].

Завдяки безконтактності конструкції надійність їх роботи збільшується. Застосування на автомобілях існуючих конструкцій індукторних генераторів стримується через їх невисокі питомі показники. Через наявність постійної складової магнітної індукції їх вага порівняно з контактними синхронними генераторами в два рази більша [2, 3].

Покращення питомих показників індукторних генераторів неможливе без вирішення принципово нових задач. Найбільшого ефекту на сучасному етапі розвитку машинобудування можна досягти шляхом суміщення магнітопроводів та обмоток [4]. Експериментальні дослідження індукторних генераторів з суміщеними обмотками показують, що їх корисна потужність завдяки суміщенню обмоток збільшується в 1,7 рази (наближаючись до серійних синхронних генераторів з обмоткою на роторі та контактними кільцями за питомими показниками) [5].

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є комбіноване (суміщене) використання якірної обмотки генератора (рисунки 1, 2), що дозволяє підвищити питомі показники до рівня синхронних контактних генераторів. Комутуючі діоди VD1–VD3, 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,  $i$ , відповідно, ЕРС. Під час другої напівхвилі якірного струму ці діоди відключають котушку робочої обмотки від навантаження [6].

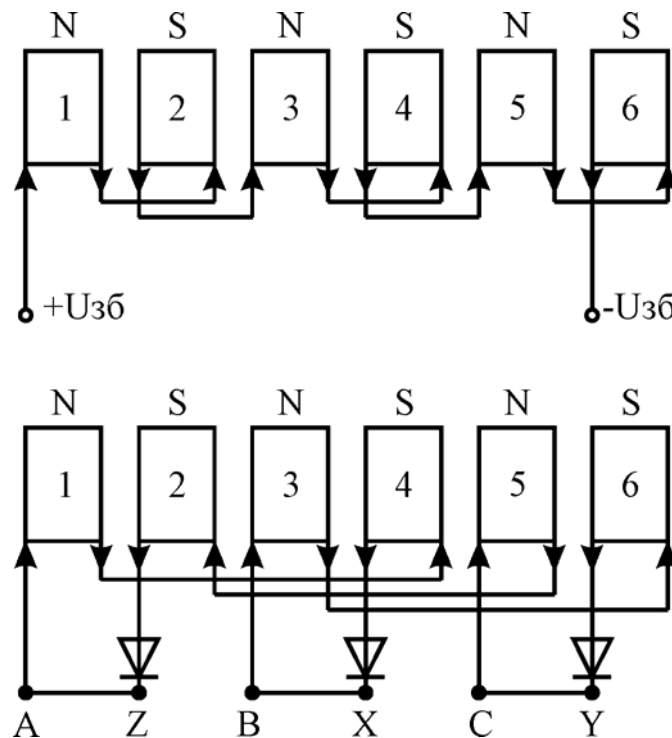


Рисунок 1 – Схема вентильного генератора індукторного типу

**Мета роботи** - визначення особливостей комутаційних процесів при роботі вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками на випрямлене навантаження активного типу.

**Викладення основного матеріалу.**

Вентильний генератор індукторного типу з суміщеними обмотками являє собою трифазну машину змінного струму, що працює на випрямлене 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 експери-

ментальне дослідження, дозволяє збільшити вихідну напругу генератора, а значить, і його потужність.

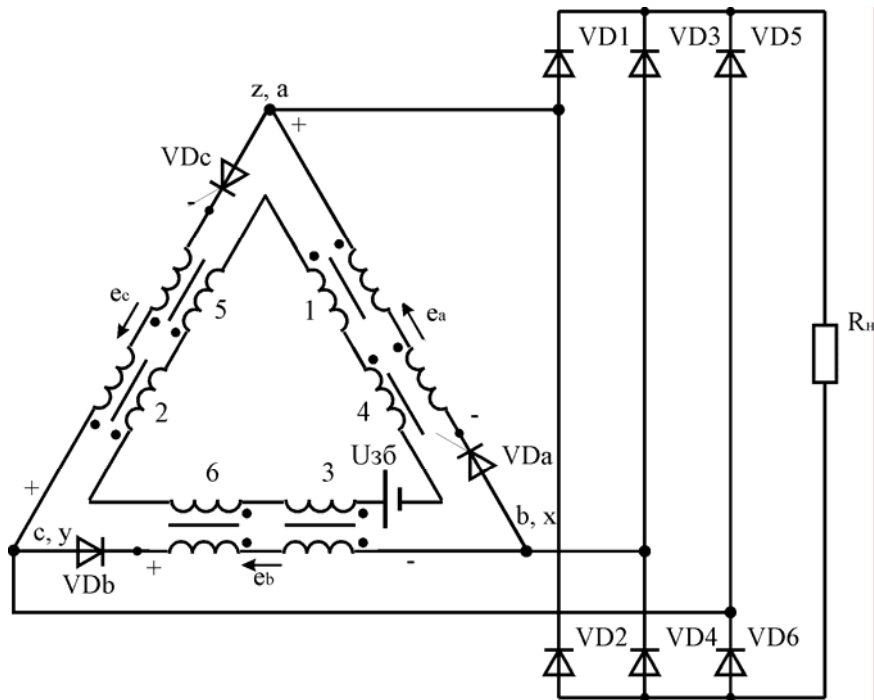


Рисунок 2 – Схема вмикання генератора

Обмотка статора генератора включена на трифазний мостовий випрямляч (міст Ларіонова), зібраний на некерованих діодах. У якості навантаження використовуються або активний опір, або акумулятор, як джерело проти-ЕРС.

Розглянемо особливості роботи генератора на випрямлене навантаження активного характеру.

Діаграма роботи вентилів моста приведена на рисунку 3, де показані фазні ЕРС генератора та інтервали роботи кожного вентиля випрямного моста.

В інтервалі часу  $\gamma_e = 0 \div \frac{\pi}{3}$  працює пара вентилів, один із яких має найбільший позитивний потенціал, другий найменший негативний потенціал. Для цього інтервалу це вентиль VD5 фази *c* і вентиль VD4 фази *b*. З урахуванням вентилів у фазах генератора для цього моменту часу відкритий вентиль VDa фази *a* і вентиль VDc фази *c*, вентиль VDb фази *b* у перебуває під дією негативного ЕРС і він закритий. Для цього моменту контур замикання струму VD5- $R_n$ -VD4-фаза *a* – фаза *c*, тобто працюють дві фази *a* та *c*, включені послідовно.

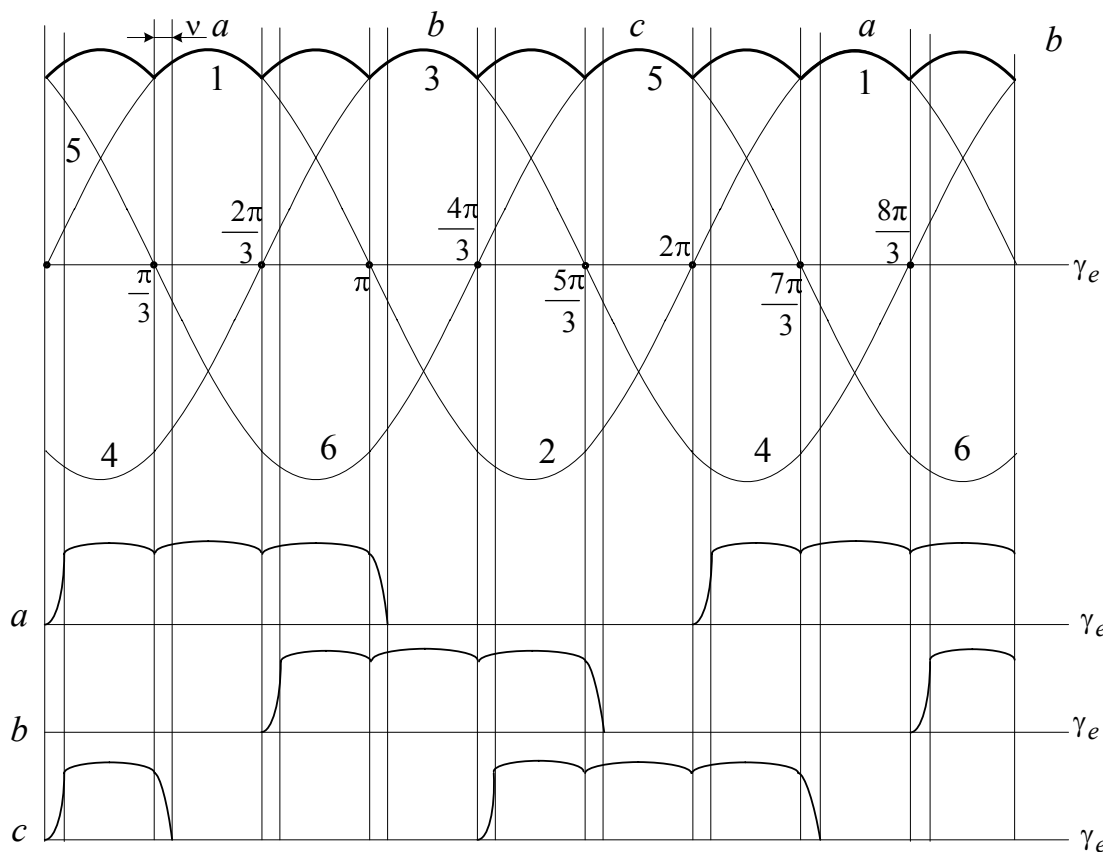


Рисунок 3 – Діаграма роботи вентилів випрямного моста

У припущенні синусоїдальної ЕРС у фазах генератора в момент  $\gamma_e = \frac{\pi}{3}$  відбувається комутація вентилів, вентиль VD5 відключається, вентиль VD1 вступає в роботу. У результаті фаза *c* відключається і продовжує працювати фаза *a*. Тривалість комутації визначається кутом  $\nu$ . При більш детальному розгляданні момент початку комутації вентиля VD5 необхідно визначати по рівності нулю ЕРС фази *C*.

Для інших моментів часу черговість роботи фаз показана на рисунку 3, де також наведено характер зміни струму у фазах генератора.

Наявність вентилів у фазах генератора виключає появу знакозмінного струму, і струм має односпрямований характер, тобто прийнята схема включення обмоток генератора аналогічна схемі однонапівперіодного випрямлення. Відсутність струму у фазах на певних інтервалах часу приводить до погіршення використання генератора. Жирними лініями на рисунку 3 показаний характер зміни напруги на навантаженні в режимі холостого ходу.

Режим роботи генератора на випрямне навантаження можна розглядати як почергове підключення однієї або двох фаз обмотки статора

до навантаження. Повний цикл роботи можна розбити на шість проміжних станів схеми генератора, після чого цикл повторюється.

Для проміжку часу  $\gamma_e = 0 \div \frac{\pi}{3}$  розрахункова схема генератора, що включає робочий режим і режим комутації, приведено на рисунку 4.

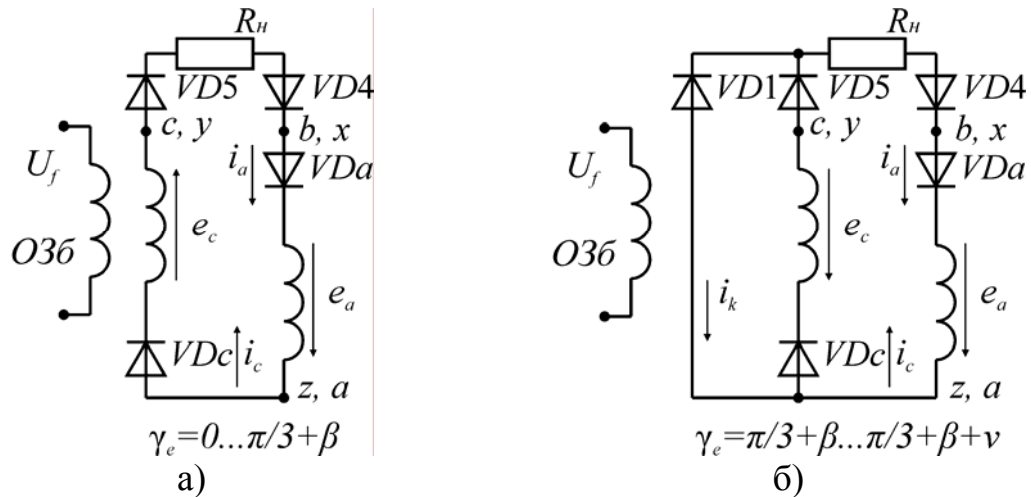


Рисунок 4 – Миттєві схеми роботи генератора на інтервалі першого циклу

На інтервалі часу  $\gamma_e = 0 \div \frac{\pi}{3} + \beta$  працюють дві фази *a* та *c*, які включені послідовно (рисунок 4,а) на навантаження.

При синусоїдальних ЕРС у фазах генератора в момент часу  $\gamma_e = \frac{\pi}{3}$  починається комутація вентилів, вентиль *VD5* відключається, а вентиль *VD1* включається до роботи. У процесі комутації фаза *c* відключається і продовжує працювати фаза *a*. Але за рахунок впливу змінної складової струму обмотки збудження ЕРС фази несінусоїдальна. Тоді початком комутації необхідно рахувати момент  $\gamma_e = \frac{\pi}{3} + \beta$ , коли ЕРС фази *C* дорівнює нулю.

Комутація закінчується в момент  $\gamma_e = \frac{\pi}{3} + \beta + \nu$  і починається другий цикл роботи генератора, при якому продовжує працювати фаза *a*.

Схема для режимів роботи генератора протягом другого циклу наведена на рисунку 5.

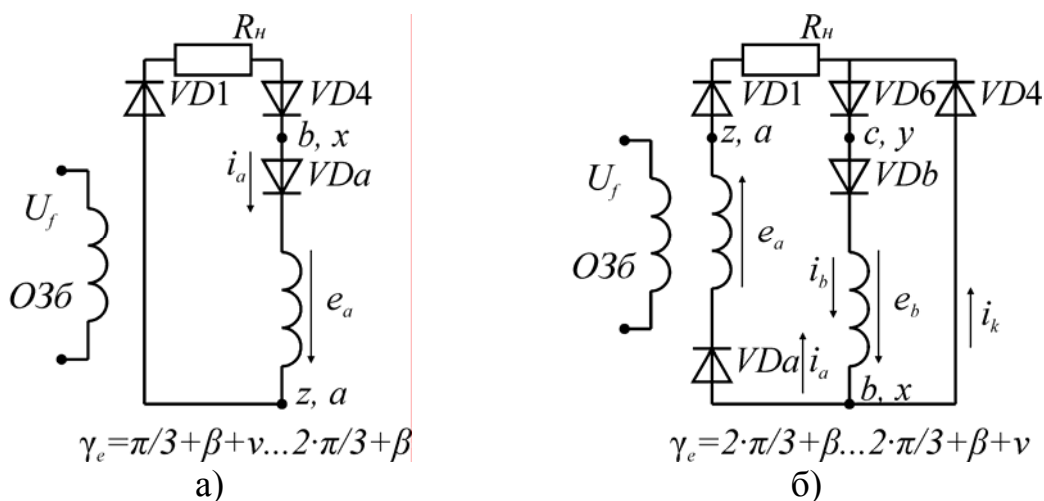


Рисунок 5 – Миттєві схеми роботи генератора на інтервалі другого циклу

Розрахункова схема генератора для робочого режиму другого циклу, коли працює фаза *a*, наведена на рисунку 5,а.

Кінець робочого режиму другого циклу визначається моментом часу  $\gamma_e = \frac{2\pi}{3} + \beta$ , коли ЕРС фази *b* дорівнює нулю.

У режимі комутації вентиль *VD4* відключається, включається вентиль *VB6* і приєднує фазу *b* до навантаження, надалі працюють фази *a* і *b*, включені послідовно. Миттєва схема для цього режиму наведена на рисунку 5,б.

Тривалість робочого режиму третього циклу роботи генератора визначається проміжком часу  $\gamma_e = \frac{2\pi}{3} + \beta + v \div \pi + \beta$ . Миттєві схеми робочого та комутаційного режимів наведені на рисунку 6.

У робочому режимі навантаження живлять дві фази *a* та *b*, включені послідовно (рисунку 6, а).

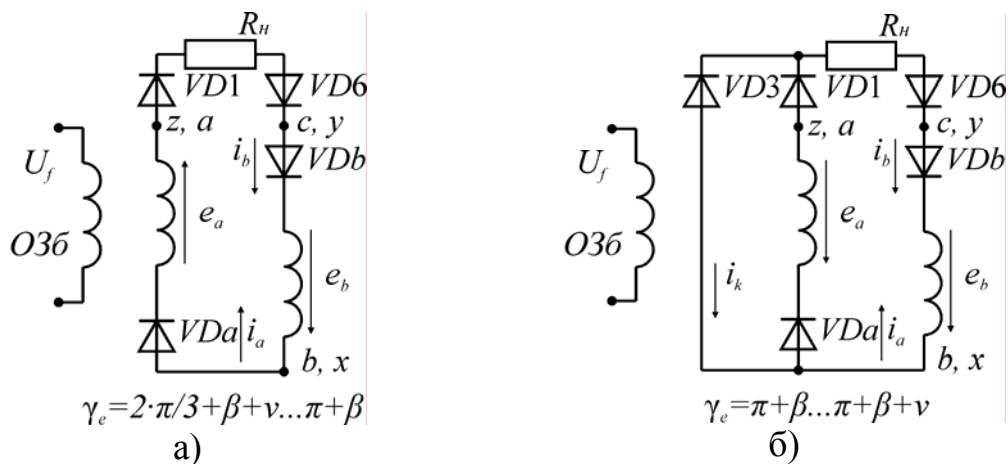


Рисунок 6 – Миттєві схеми роботи генератора на інтервалі третього циклу

Кінець циклу в момент часу  $\gamma_e = \pi + \beta$ . Момент початку комутації визначається рівністю нулю ЕРС фази. В інтервалі комутації  $\gamma_e = \pi + \beta \div \pi + \beta + \nu$  відключається вентиль  $VD1$ , підключається до роботи вентиль  $VD3$  і надалі продовжує працювати фаза  $b$ . Миттєва схема для цього режиму наведена на рисунку 6, б. Кінець комутації при  $i_a = 0$ .

Робочому режиму генератора в четвертому циклі відповідає проміжок часу  $\gamma_e = \pi + \beta + \nu \div \frac{4\pi}{3} + \beta$ , комутаційному режиму

$\gamma_e = \frac{4\pi}{3} + \beta \div \frac{4\pi}{3} + \beta + \nu$ . Миттєві схеми роботи генератора для зазначених режимів наведені на рисунку 7.

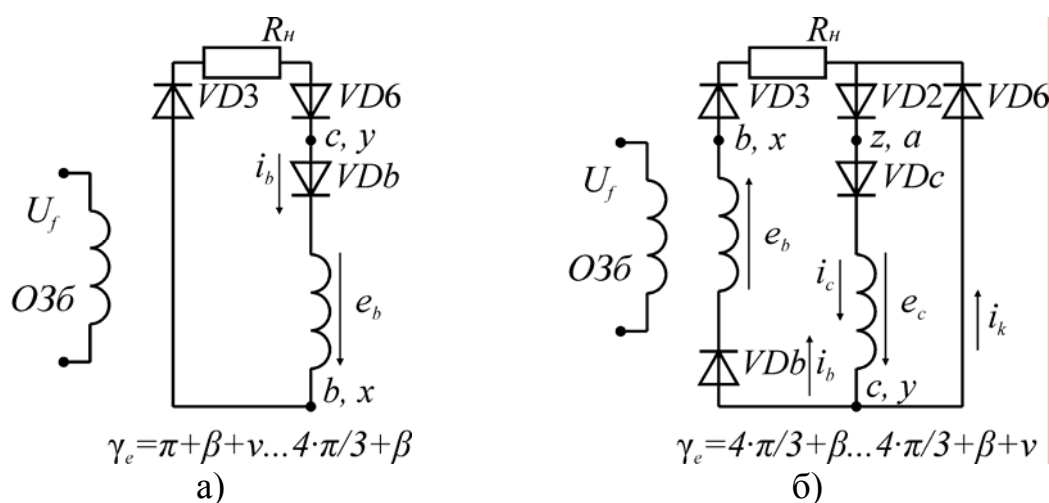


Рисунок 7 – Миттєві схеми роботи генератора на інтервалі четвертого циклу

У робочому режимі генератора на навантаження працює фаза  $b$  і для нього справедлива наступна система диференціальних рівнянь (рисунку 7,а). Кінець робочого циклу в момент часу  $\gamma_e = \frac{4\pi}{3} + \beta$ , коли ЕРС фази  $c$  дорівнює нулю.

Початок режиму комутації визначається рівністю нулю ЕРС фази  $c$ . У режимі комутації відключається вентиль  $VD6$ , включається вентиль  $VD2$ , приєднуючи фазу  $c$  до навантаження, вентиль  $VD3$  продовжує працювати. Миттєва схема цього режиму наведена на рисунку 7, б. Кінець комутації закінчується при рівності струмів фаз  $b$  та  $c$ .

Тривалість п'ятого циклу роботи генератора відповідає інтервалу часу  $\gamma_e = \frac{4\pi}{3} + \beta + \nu \div \frac{5\pi}{3} + \beta + \nu$ . Миттєві схеми робочого й комутаційного режимів генератора наведені на рисунку 8.

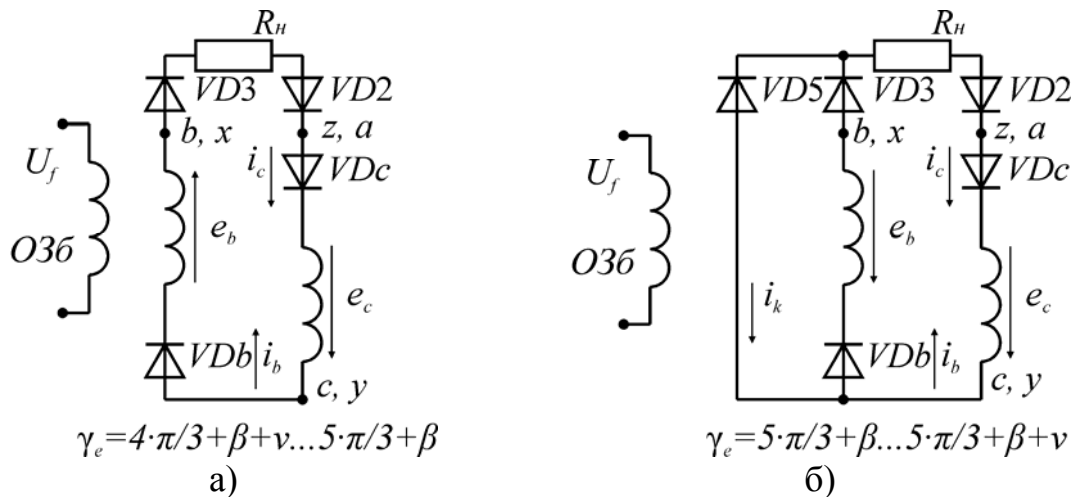


Рисунок 8 – Миттєві схеми роботи генератора на інтервалі п'ятого циклу

У режимі комутації відключається вентиль  $VD3$ , включається вентиль  $VD5$  при працюючому вентилі  $VD2$ . Наприкінці комутації фаза  $b$  відключається і на навантаження продовжує працювати фаза  $c$ .

Тривалість роботи генератора в шостому циклі визначається проміжком часу  $\gamma_e = \frac{5\pi}{3} + \beta + \nu \div 2\pi + \beta + \nu$ . Миттєві схеми робочого і комутаційного режимів наведені на рисунку 9.

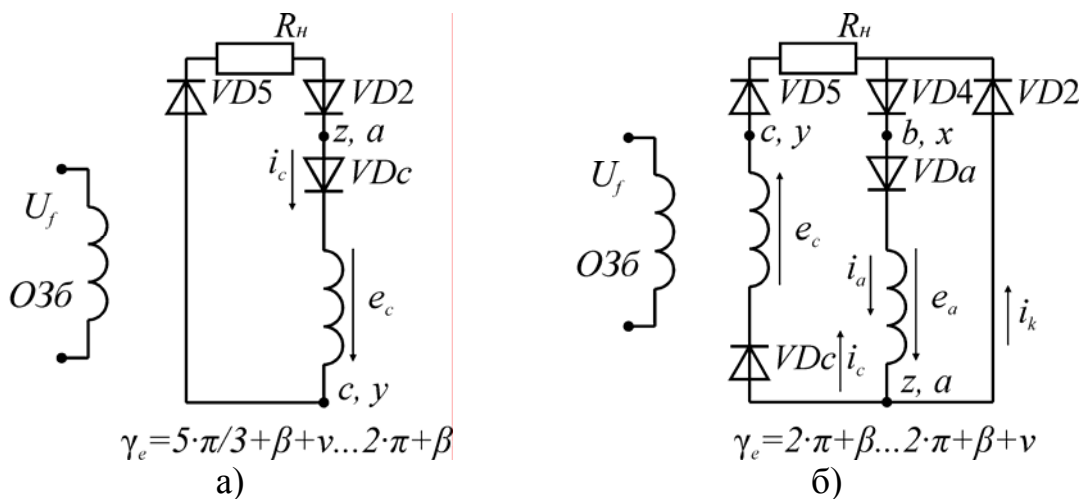


Рисунок 9 – Миттєві схеми роботи генератора в інтервалі шостого циклу

Кінець робочого циклу  $\gamma_e = 2\pi + \beta$ , що характеризується рівністю нулю ЕРС фази  $a$ . У режимі комутації відключається вентиль  $VD2$ , підключається до роботи вентиль  $VD4$ , у результаті до навантаження приєднується фаза  $a$ . Кінець комутації визначається рівністю струмів у фазах  $a$  і  $c$ .



В інтервалі часу  $\gamma_e = 2\pi + \beta + \nu \div \frac{7\pi}{3} + \beta$  працюють дві фази генератора  $a$  та  $c$ , тобто йде повторення циклів.

**Висновки та рекомендації.** Розглянуті особливості роботи схеми вентильного генератора індукторного типу з суміщеними обмотками дозволяють розробити його математичну модель для дослідження різних режимів роботи генератора.

### **Бібліографічний список**

1 Акимов С.В. *Бесконтактные электрогенераторы на автомобилях и тракторах* / Акимов С.В. - М.: Научно-исслед. ин-т инфор. и автом. пром-ти. – К.: Каравелла, 1974. – 48 с.

2 Ютт В.Е. *Электрооборудование автомобилей.* / В.Е. Ютт. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.

3 Сажко В.А. *Електричне та електронне обладнання автомобілів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.* / В.А. Сажко. – К.: Каравела, 2004. - 304 с.

4 Луцик В. Д. *Суміщені електричні машини та апарати* / В.Д. Луцик. – К.: Техніка, 1993.– 203 с. (Мова рос.).

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 Гречко М.В. *Методика визначення індуктивних параметрів вентильних генераторів індукторного типу* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». –Донецьк: ДНТУ. - 2009. - № 9. – С.66-71.

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