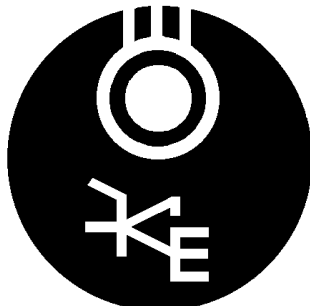


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Державний ВНЗ “НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

Кафедра електропривода



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи СПАЕ-6
“Дослідження нереверсивних переривників постійної напруги”

з дисципліни
“Силові перетворювачі в автоматизованому електроприводі”

для студентів спеціальності 7.05070204
“Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”

Склав проф. М.М.Казачковський

Дніпропетровськ
2011

1. МЕТА РОБОТИ

Вивчити особливості електромагнітних процесів та статичних характеристик нереверсивних переривників постійної напруги.

2. ПРОГРАМА РОБОТИ

- 2.1. Дослідити електромагнітні процеси в послідовному нереверсивному переривнику постійної напруги при роботі на RL - та RLE -навантаження.
- 2.2. Вивчити регульовальну характеристику послідовного переривника в режимах безперервного та переривистого струмів.
- 2.3. Дослідити електромагнітні процеси в паралельному нереверсивному переривнику постійної напруги в режимі рекуперації.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Переривники постійної напруги (інша назва – широтно-імпульсні перетворювачі – ШІП) призначені для регулювання напруги споживачів постійного струму (найчастіше – електричних двигунів постійного струму). Використовуються в електроприводах верстатів із програмним керуванням, промислових роботів, в магістральному та міському електротранспорті. Живляться вони, на відміну від випрямлячів, від джерела нерегульованої постійної напруги (некерованих випрямлячів, мережі постійного струму або акумуляторних батарей). Схема найпростішого нереверсивного послідовного переривника зображена на рис. 1.

Оскільки живильна напруга незнакозмінна, природна комутація ключів неможлива. Тому в переривниках постійної напруги використовують цілком керовані ключі (транзистори, двоопераційні тиристори) або одноопераційні тиристори зі спеціальними схемами штучної комутації.

У схемі рис. 1 тиристор увімкнений послідовно з навантаженням (звідси і назва переривника). Регулювання вихідної напруги здійснюється завдяки періодичному відкриванню напівпровідникового ключа.

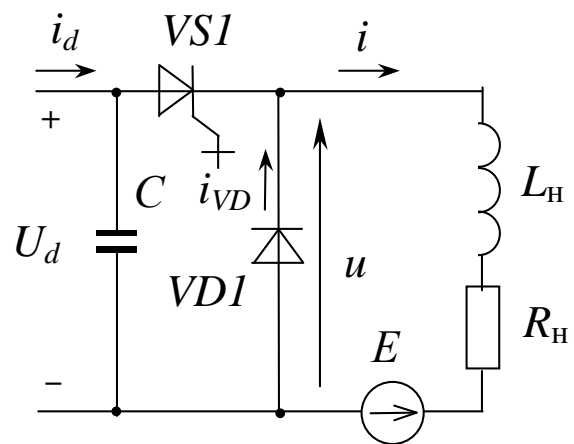


Рис. 1

3.1. Робота послідовного переривника на RL -навантаження

Процеси в колі активно-індуктивного навантаження (проти-ЕРС на рис.1 відсутня) описуються диференціальним рівнянням

$$u = iR_{\text{н}} + L_{\text{н}} \frac{di}{dt}.$$

Коли ключ відкрито, до навантаження прикладена напруга U_d , і від джерела постійної напруги ним тече струм, який експоненціально зростає у часі (рис. 2). Після закриття ключа струм у навантаженні не може миттєво зникнути внаслідок виникнення ЕРС самоіндукції. Під впливом цієї ЕРС відкривається діод і струм навантаження i замикається через нього. Завдяки цьому забезпечується безперервність струму навантаження та запобігаються перенапруження у навантаженні та на закритому ключі. Після закриття ключа та відкриття діода напруга на навантаженні дорівнює нулю.

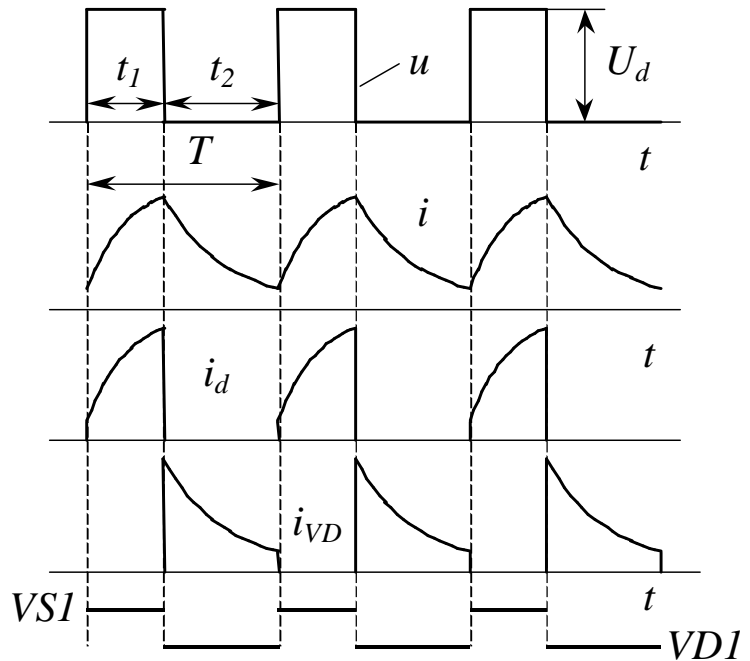


Рис. 2

На інтервалі часу t_1 (рис. 2) електрична енергія споживається переривником від джерела постійної напруги U_d і передається до навантаження. Вона витрачається на створення електромагнітного поля індуктивних елементів навантаження та перетворюється на теплову в активному опорі. Протягом інтервалу t_2 енергія електромагнітного поля, накопичена в індуктивних елементах, віддається до активного опору навантаження.

Миттєва напруга на виході переривника завдяки перемикачню ключа має ступінчастий характер, а її середнє значення

$$U = \gamma U_d, \quad (1)$$

де $\gamma = t_1/T$ – шпаруватість.

Змінюючи тривалість відкритого стану ключа t_1 , можна регулювати середній рівень вихідної напруги.

За активно-індуктивного навантаження режим переривистого струму неможливий, оскільки струм змінюється експоненціально, лише асимптотично наближаючись до нуля після зникнення напруги. Тому регульовальна характеристика переривника $U = f(\gamma)$ при такому навантаженні є прямою лінією, що виходить з початку координат і описується рівнянням (1).

3.2. Робота послідовного переривника на RLE-навантаженні

Якщо у складі навантаження є проти-ЕРС, це призводить до зменшення середнього струму навантаження:

$$I = \frac{U - E}{R_H}.$$

Крім того, похідна вихідного струму на інтервалі його зростання менша, ніж за RL -навантаження:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_d - E - iR_H}{L_H},$$

а на інтервалі зменшення – більша:

$$\frac{di}{dt} = \frac{-E - iR_H}{L_H}.$$

За великих шпаруватостей та малих проти-ЕРС це мало впливає на характер процесу, але збільшення проти-ЕРС або зменшення шпаруватості неминуче призводить до появи пауз у вихідному струмі. Це відбувається тому, що завдяки проти-ЕРС струм не встигає зрости до достатнього рівня, і електромагнітна енергія, накопичена в індуктивності на інтервалі зростання струму, невелика. Коли ключ закривається, цієї енергії недостатньо для підтримання струму до наступного відкриття ключа, бо певна кількість енергії, яка б могла піти на створення електромагнітного поля, споживається джерелом проти-ЕРС. Виникає безструмова пауза (рис. 3).

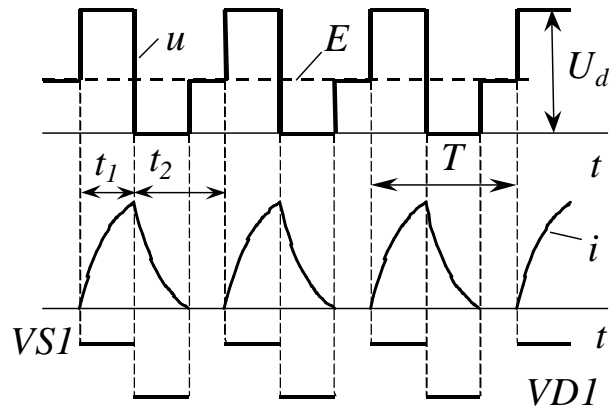


Рис. 3

Протягом безструмової паузи навантаження відокремлене від джерела живлення, а напруга на навантаженні дорівнює проти-ЕРС. У режимі безперервного струму середня вихідна напруга пов'язана зі шпаруватістю рівнянням (1). Проте поява безструмових пауз порушує цю пропорційність.

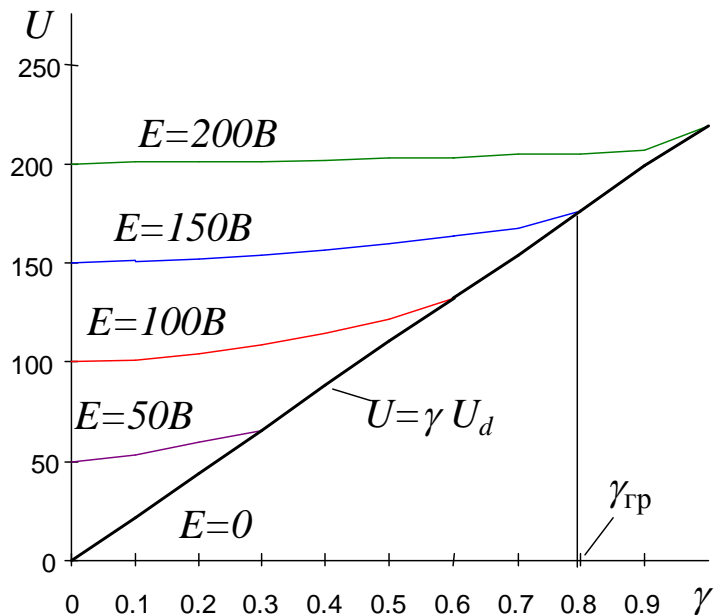


Рис. 4

На рис. 4 зображені регульовальні характеристики для різних проти-ЕРС. Кожна з них має ділянку, спільну з PX для активно-індуктивного навантаження без проти-ЕРС. За незмінної проти-ЕРС і зі зменшенням шпаруватості від $\gamma = 1$ PX спочатку лінійна. Однак згодом, коли тривалість інтервалу t_2 збільшується, виникає безструмова пауза ($\gamma < \gamma_{гр}$ на рис.4), протягом якої миттєва вихідна напруга дорівнює проти-ЕРС (тобто більша, ніж за відсутності проти-ЕРС). PX проходить вище від лінії $U = \gamma U_d$, перетинаючи вісь ординат при $U = E$. Чим більша проти-ЕРС, тим за більшої шпаруватості настає

режим переривистого струму і тим вище розташована регульовальна характеристика. Подібна нелінійність ускладнює керування перетворювачем та електроприводом у цілому, і тому режиму переривистого струму намагаються уникнути, підвищуючи частоту перемикання ключів, збільшуючи індуктивність та використовуючи схеми переривників та такі алгоритми керування ними, за яких переривистий струм неможливий.

Енергія в схемі рис. 1 може передаватися тільки від джерела напруги через переривник до навантаження.

3.3. Паралельний переривник

Якщо потрібно змінити напрям передачі енергії, використовують паралельний переривник (рис.5). Ця схема працює тільки за наявності у складі навантаження джерела ЕРС E .

Коли відкритий тиристор, виникає короткочасне коротке замикання навантаження, і в ньому під дією ЕРС виникає зростаючий у часі струм (рис.6), який замикається через тиристор. Похідна цього струму негативна

$$\frac{di}{dt} = \frac{-E - iR_H}{L_H}$$

і його напрям протилежний тому, який мав місце в схемі рис.1. Індуктивні елементи навантаження під час відкритого стану ключа накопичують електромагнітну енергію. Коли тиристор закривається, струм навантаження починає зменшуватись. Виникає ЕРС самоіндукції, що направлена згідно зі струмом. Під впливом цієї ЕРС і проти-ЕРС E (якщо їх сума більша від напруги U_d) відкривається діод і струм навантаження протікає колом «навантаження – $VD1$ – конденсатор C – навантаження». Оскільки проти-ЕРС завжди менша від напруги джерела живлення, похідна струму позитивна

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_d - E - iR_H}{L_H} > 0$$

і струм зменшується.

Енергія, накопичена на попередньому етапі в індуктивності, віддається конденсатору, підзаряджаючи його. Таким чином, у схемі рис. 5 рекуперація

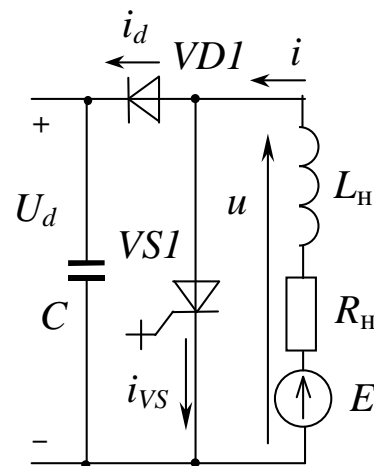


Рис. 5

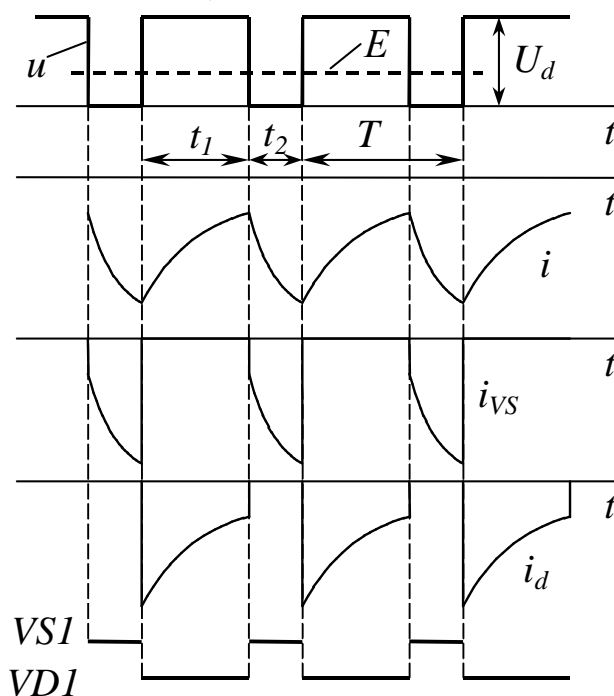


Рис. 6

здійснюється навіть тоді, коли ЕРС двигуна менша від напруги живильної мережі.

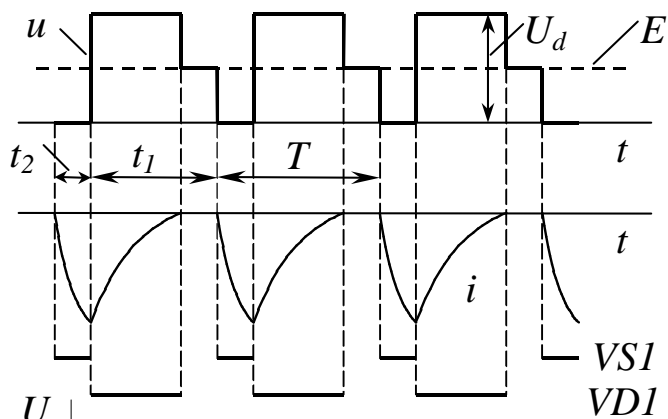


Рис. 7

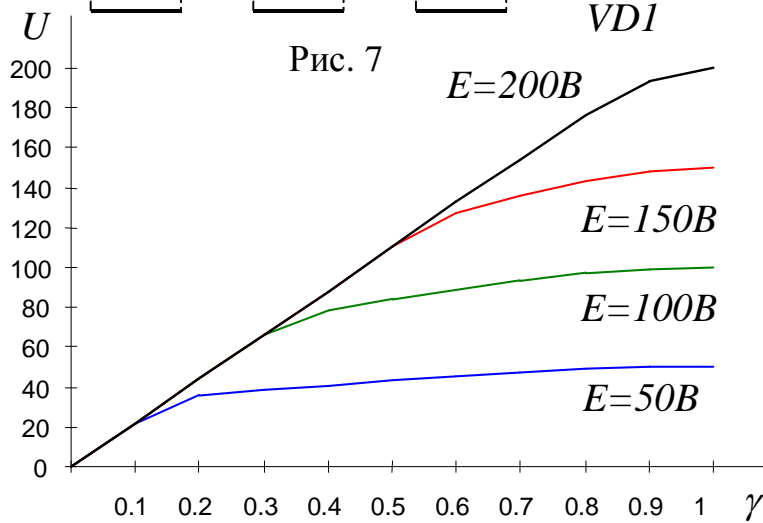


Рис. 8

Зі збільшенням проти-ЕРС або зменшенням тривалості відкритого стану тиристора настає, як і в попередній схемі, режим переривистого струму (рис. 7).

Регулювальні характеристики паралельного переривника в режимі безперервного струму описуються формулою (1), у якій під шпаруватістю $\gamma = t_1/T$ розуміють, як і раніше, відносну тривалість прикладання до навантаження напруги живильної мережі. У режимі переривистого струму протягом безструмової паузи напруга на навантаженні дорівнює проти-ЕРС, внаслідок чого вона менша, ніж за відкритого діода. Тому й середня напруга в цьому режимі менша, ніж напруга, знайдена за формулою (1), причому тим менша, чим менша проти-ЕРС (див. рис. 8).

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Робота виконується на математичних моделях переривників, реалізованих за допомогою електронних таблиць *Excel*.
- 4.2. Файл *Excel* складається з трьох листів (за кількістю вирішуваних задач).
- 4.3. Клітинки, в яких розташовані змінні вихідні дані, виділені сірим кольором. Змінювати вміст інших клітинок не рекомендується.
- 4.4. Змістом роботи є дослідження електромагнітних процесів на готових моделях шляхом зміни вихідних даних (шпаруватості, параметрів навантаження).
- 4.5. Побудова регулювальних характеристик здійснюється за допомогою двопараметричних таблиць підстановки для різних значень шпаруватості та проти-ЕРС.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 5.1. Яке призначення конденсатора та діодів у схемах рис. 1 та 5?
- 5.2. Чому в схемі рис. 1 при *RL*-навантаженні переривистий струм неможливий?

- 5.3. Як середнє значення вихідної напруги переривника залежить від шпаруватості?
- 5.4. Яким шляхом протікає струм навантаження після закриття тиристора в схемах рис. 1 та 5?
- 5.5. Як збільшення індуктивності навантаження впливає на розмах коливань вихідного струму та його середнє значення?
- 5.6. Згідно з яким законом змінюється в часі струм навантаження?
- 5.7. Як похідна струму в схемах рис. 1 та 5 залежить від його середнього значення та проти-ЕРС?
- 5.8. Як величина проти-ЕРС, шпаруватості, індуктивності та активного опору навантаження впливає на тривалість безструмової паузи в схемах рис. 1 та 5?
- 5.9. Який напрям потоків енергії через переривник, джерело проти-ЕРС (електричну машину), індуктивність та активний опір навантаження в схемах рис. 1 та 5 при відкритих тиристорі або діоді?
- 5.10. За яких умов відкривається діод в схемах рис. 1 та 5?
- 5.11. Яке співвідношення між U_d , E та ЕРС самоіндукції в схемах рис. 1 та 5 при відкритих тиристорі або діоді?
- 5.12. Яке співвідношення між середньою вихідною напругою та проти-ЕРС E в схемах рис.1 та 5?
- 5.13. Як поява пауз у вихідному струмі при *RLE*-навантаженні та незмінній шпаруватості впливає на середнє значення вихідної напруги в схемах рис. 1 та 5?
- 5.14. Як збільшення проти-ЕРС впливає на кількість енергії, накопичуваної в індуктивності в схемах рис. 1 та 5?
- 5.15. Поясніть форму регулювальних характеристик рис. 4 та 8.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. – К.: Вища школа, 1983. – 431 с.
2. Справочник по преобразовательной технике. Под ред. И.М.Чиженко. –К.: Техніка, 1978. – 447 с.
3. Сен П. Тиристорные электроприводы постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
4. Глазенко Т.А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока. – Л.: Энергия, 1973. – 304 с.
5. Казачковський М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 196 с.