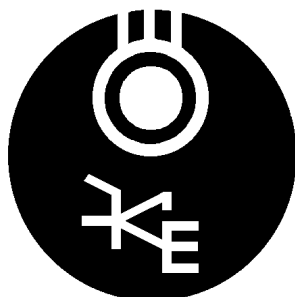


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
Державний ВНЗ “НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”

Кафедра електропривода



## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи СПАЕ-7  
“Дослідження реверсивного переривника постійної напруги”

з дисципліни  
“Силкові 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 реверсивних переривників постійної напруги з двополярною ШІМ.

## 2. ПРОГРАМА РОБОТИ

- 2.1. Дослідити електромагнітні процеси в реверсивному переривнику постійної напруги при роботі на  $RL$ -навантаження з різними шпаруватостями та параметрами навантаження.
- 2.2. Дослідити електромагнітні процеси в реверсивному переривнику постійної напруги при роботі на  $RLE$ -навантаження в режимах споживання енергії навантаженням та рекуперації.

## 3. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

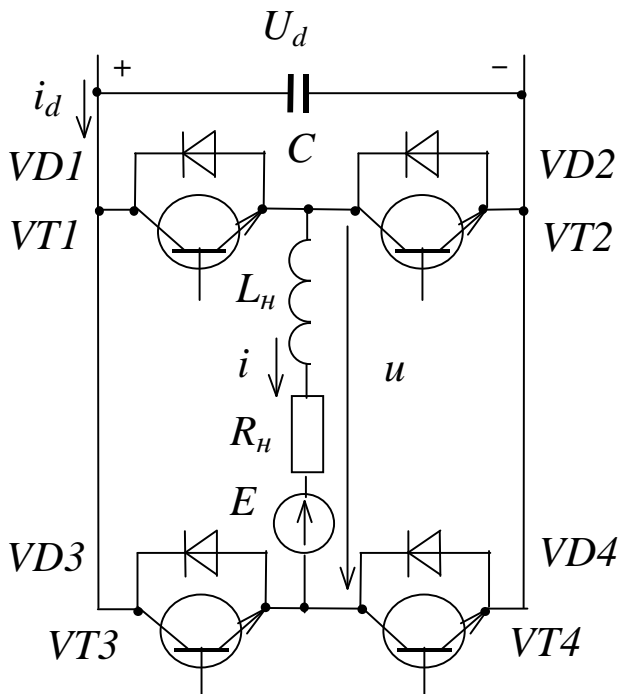


Рис.1

Схема реверсивного переривника (або широтно-імпульсного перетворювача – ШІП) постійної напруги зображена на рис.1. У ній використані біполярні транзисторні ключі (звичайно, використовуються і інші різновиди силових ключів).

В схемі можлива зміна напрямку вихідної напруги, так і струму. Для цього замість однієї діагоналі моста (наприклад,  $VT1, VT4$ ) вмикається інша ( $VT2, VT3$ ). Залежно від порядку перемикання ключів розрізняють багато законів комутації такого переривника, для яких характерна як однополярна, так і двополярна модуляція вихідної напруги. Надалі розглядатимемо лише симетричний закон комутації з двополярною ШІМ. Згідно з цим законом діагоналі моста протягом періоду модуляції одна за одною отримують керуючі імпульси.

Згідно з цим законом діагоналі моста протягом періоду модуляції одна за одною отримують керуючі імпульси.

### 3.1. Робота переривника на $RL$ -навантаження

На рис.2 наведені часові діаграми при роботі на  $RL$ -навантаження з симетричним законом комутації і шпаруватістю  $\gamma = t_1/T$ , близькою до 1 (проти-ЕРС у складі навантаження відсутня).

Процеси в колі навантаження описуються диференціальним рівнянням

$$u = iR_n + L_n \frac{di}{dt}.$$

Коли відкриті ключі  $VT1, VT4$ , до навантаження прикладена позитивна напруга  $u = U_d$ . Струм збільшується, протікаючи по колу “ $+U_d - VT1 -$  наван-

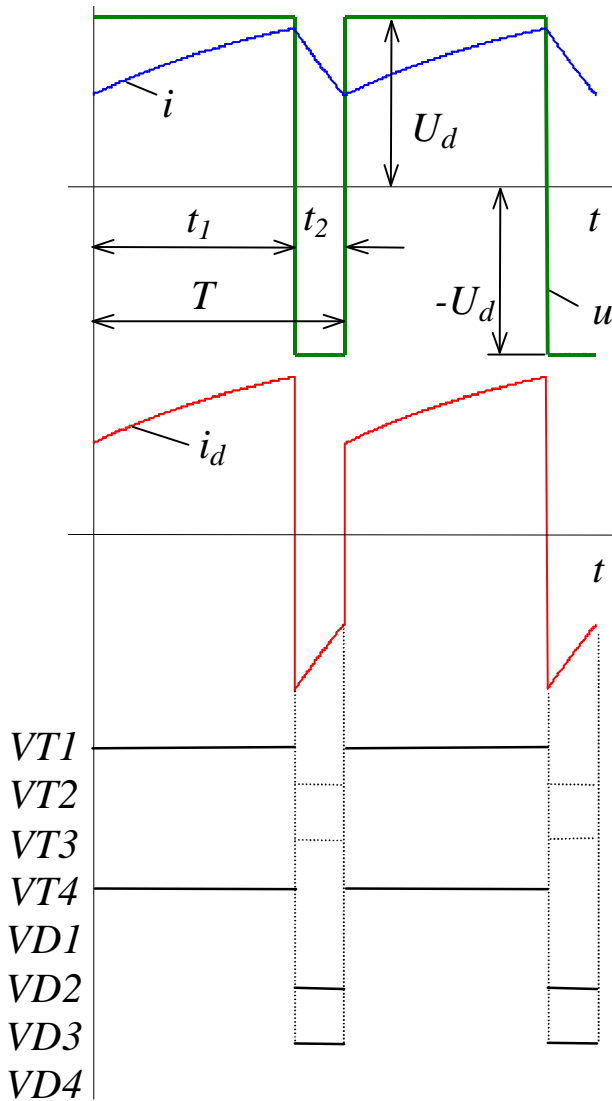


Рис.2

таження –  $VT4 - -U_d$ ” і намагаючись зрости до рівня  $I_{y1} = U_d / R_H$ . Коли замість  $VT1, VT4$  керуючі імпульси отримують  $VT2, VT3$ , ключі  $VT1, VT4$  закриваються, але струм навантаження внаслідок його індуктивного характеру не змінює напрямку. ЕРС самоіндукції відкриває діоди  $VD2, VD3$ , і струм навантаження тече колом “навантаження –  $VD3 - конденсатор C - VD2 - навантаження$ ”. До навантаження через відкриті діоди прикладена негативна напруга  $u = -U_d$ , внаслідок чого струму інтенсивно зменшується, намагаючись досягти усталеного значення  $I_{y2} = -U_d / R_H$ . Транзистори  $VT2, VT3$ , що отримали позитивні потенціали на бази, не можуть відкритися, бо мають позитивні потенціали на емітерах (тому на рис.2 їхні діаграми роботи позначені переривистими лініями, а діаграми діодів – суцільними).

Середня напруга на навантаженні

ні

$$U = (2\gamma - 1)U_d \quad (1)$$

тим більша, чим довше відкриті ключі  $VT1, VT4$ . Оскільки до навантаження протягом періоду  $T$  прикладається напруга обох знаків, такий спосіб регулювання напруги зветь двополярною широтно-імпульсною модуляцією.

Абсолютне значення похідної струму на інтервалі  $t_1$

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

менше, ніж на інтервалі  $t_2$

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

На інтервалі  $t_1$  енергія споживається навантаженням від джерела постійної напруги через переривник (вона накопичується в індуктивності у вигляді енергії електромагнітного поля та втрачається у вигляді тепла в активному опорі). На інтервалі  $t_2$  енергія, накопичена в індуктивності, повертається назад до джерела напруги (не вся, бо частка її також розсіюється в активному опорі). Миттєвий струм  $i_d$  джерела постійного струму на інтервалі  $t_2$  змінює знак, але

середнє значення цього струму співпадає за знаком із напругою. Це означає, що протягом періоду енергія більше віддається джерелом напруги, ніж споживається.

Оскільки джерелом постійної напруги найчастіше є некерований випрямляч з однобічною провідністю, паралельно йому вмикають конденсатор великої ємності. Він згладжує пульсації вихідної напруги випрямляча і запобігає перенапруженням на ключах з боку джерела живлення. Крім того, на інтервалі  $t_2$  струм навантаження протікає саме через конденсатор, підзаряджаючи його, бо випрямляч не може змінити напрямку свого струму і спожити рекуперовану енергію.

Зменшення шпаруватості призводить до того, що струм протягом інтервалу  $t_2$  встигає впасти до нуля (рис.3). Це відбувається тоді, коли ЕРС самоіндукції знижується до рівня  $e_L = -L_n \frac{di}{dt} = U_d$ . Струм, який раніш

протікав через діоди  $VD2, VD3$ , змінює знак, переходячи на транзистори  $VT2, VT3$ , які ще від початку інтервалу  $t_2$  мають на базах позитивні потенціали. Завдяки можливості двобічного протікання струму безструмові паузи відсутні. Навантаження споживає енергію від переривника тоді, коли відкриті транзистори (вихідні напруга та струм мають однакові знаки), і віддає її при відкритих діодах (знаки напруги та струму протилежні).

Якщо шпаруватість  $\gamma = 0,5$  (рис.4), середні значення вихідних напруги та струму дорівнюють нулю. Однак середній струм на вході переривника дещо більший від нуля, оскільки він споживає енергію, потрібну для компенсації втрат в активному опорі навантаження. Чим менша стала часу навантаження  $T_n = L_n / R_n$ , тим більша кривина миттєвого струму, споживаного переривником при  $\gamma = 0,5$ , і тим більше його середнє значення.

Якщо шпаруватість близька до нуля (рис.5), процеси подібні до тих, що зображені на рис.2, але знаки вихідних напруги та струму протилежні. Слід зауважити, що знак середнього струму на вході переривника той самий, що й на рис.2, бо напрямок передачі енергії в обох випадках однаковий.

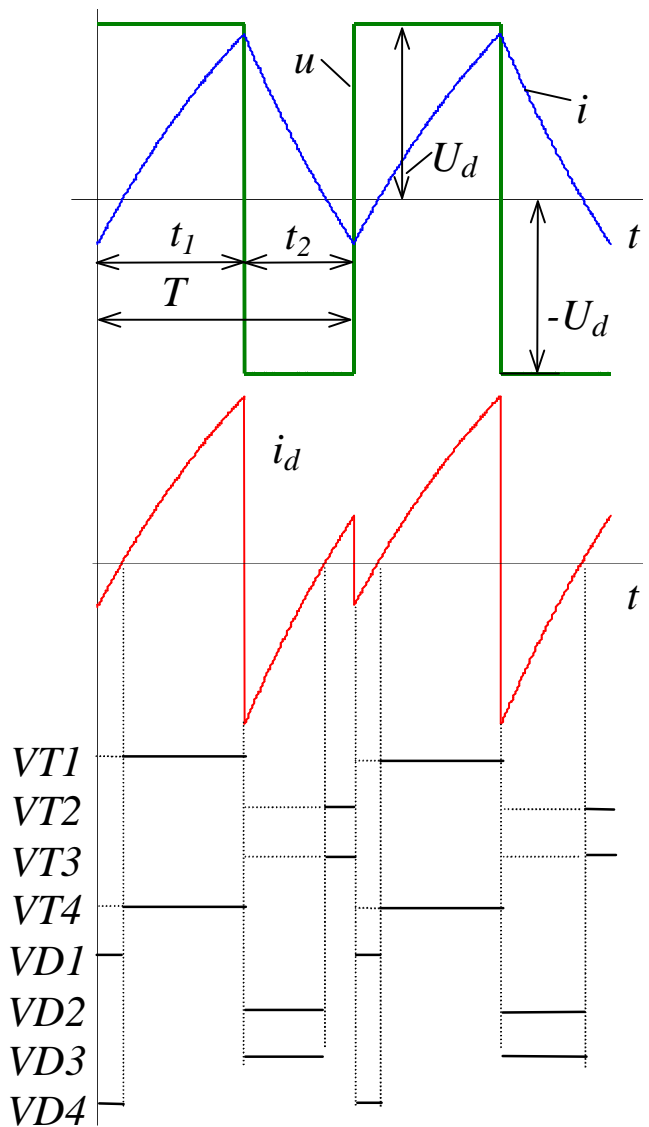


Рис.3

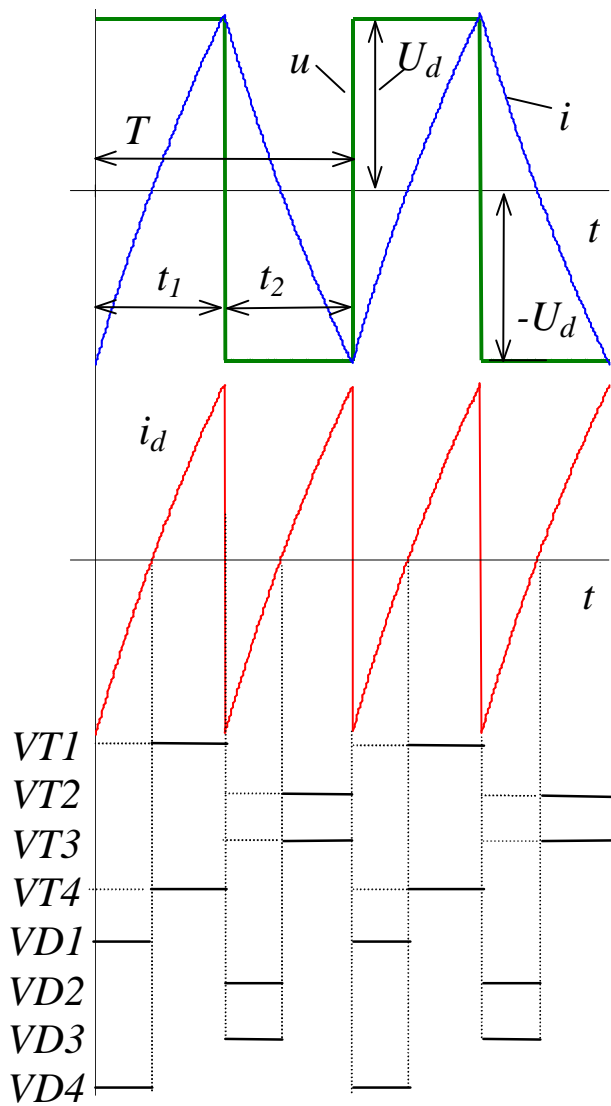


Рис.4

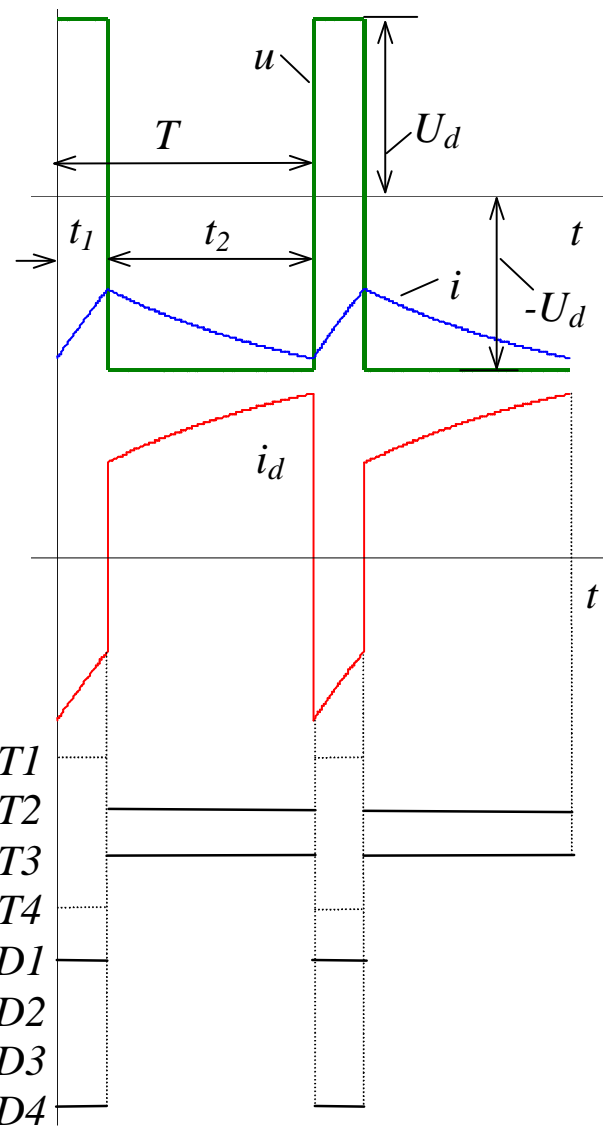


Рис.5

Оскільки вихідний струм при двополярній ШІМ завжди безперервний, регульовальна характеристика переривника завжди описується рівнянням (1).

### 3.2. Робота переривника на *RLE*-навантаження

Коли у складі навантаження (див. рис.1) є проти-ЕРС  $E$  (наприклад, обмотка якоря машини постійного струму), процеси в навантаженні описуються диференціальним рівнянням

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

Поява проти-ЕРС зменшує середнє значення вихідного струму  $I = (U - E)/R_{\text{н}}$ . Якщо  $E < U$ , знаки напруги та струму співпадають і енергія передається через переривник до навантаження (рис.6). Електрична машина працює в режимі двигуна. При достатньо великій проти-ЕРС середній струм зменшується настільки, що миттєвий струм починає короткочасно міняти знак. На інтервалах часу, коли знаки миттєвого струму та проти-ЕРС не співпадають,

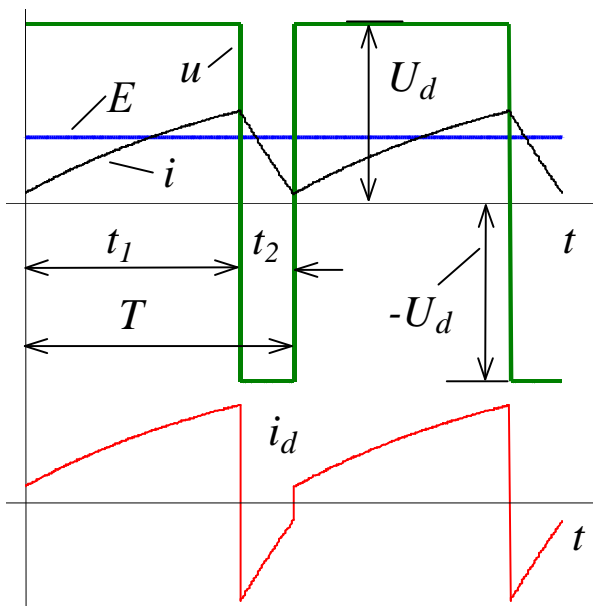


Рис.6

електрична машина віддає енергію через переривник до джерела живлення, переходячи до рекуперативного режиму.

Коли  $E = U$ , середній вихідний струм зменшується до нуля (рис.7), а електрична машина переходить до режиму ідеального холостого ходу. Якщо брати до уваги миттєвий струм, то електрична машина працює то в режимі двигуна, то в рекуперативному режимі, але середні струм та момент дорівнюють нулю, а проти-ЕРС – середній вихідній напрузі переривника. Це означає, що в середньому за період передача енергії у будь-якому напрямку через вал машини відсутня.

Коли  $E > U$ , змінюється знак середнього струму і напрямок передачі енергії (рис.8).

Електрична машина переходить до рекуперативного режиму, віддаючи енергію переривнику (короткочасно, однак можливе споживання енергії). Перехід до режиму рекуперації може здійснитися як завдяки зменшенню середньої напруги, так і шляхом збільшення проти-ЕРС.

Подальше збільшення різниці  $E - U$  має наслідком однополярний характер вихідного струму переривника і зникнення короткочасних періодів споживання енергії електричною машиною (рис.9).

Якщо шпаруватість  $\gamma = 0,5$ , середнє значення вихідної напруги  $U = 0$ . Часові діаграми для цього випадку зображені на рис.10. Як і при шпаруватостях  $\gamma > 0,5$  (див. рис.10), електрична машина протягом усього періоду модуляції віддає електричну енергію. Через переривник енергія передається в обох на-

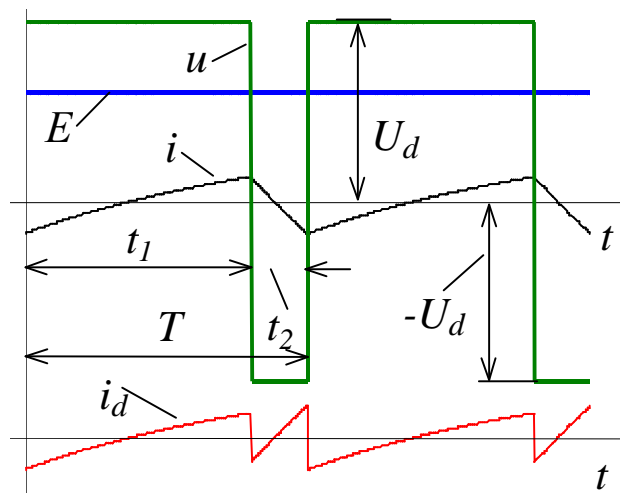


Рис.7

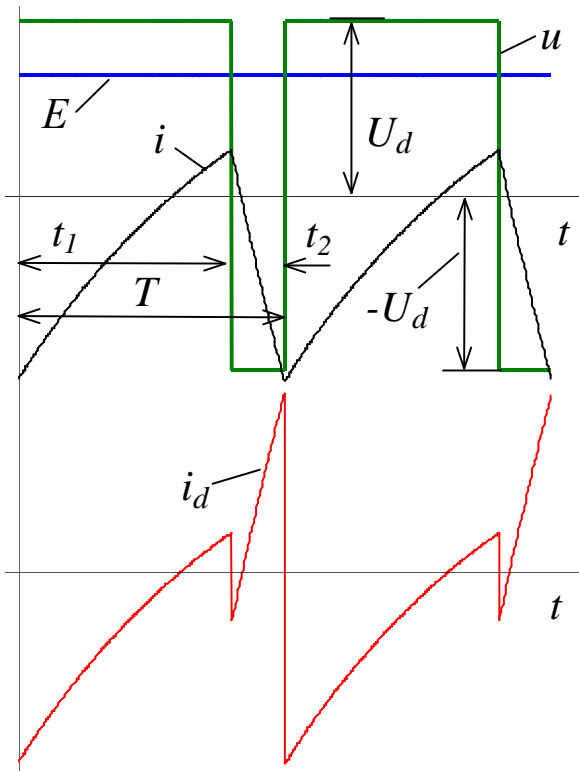


Рис.8

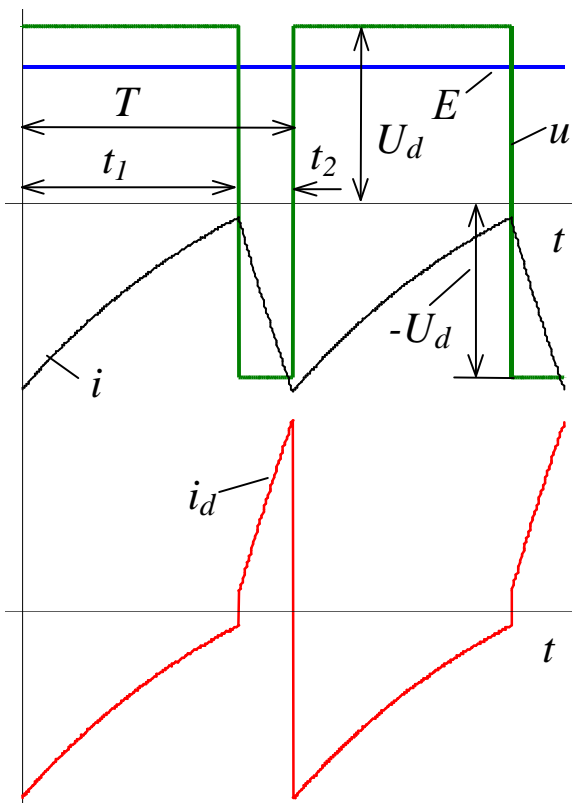


Рис.9

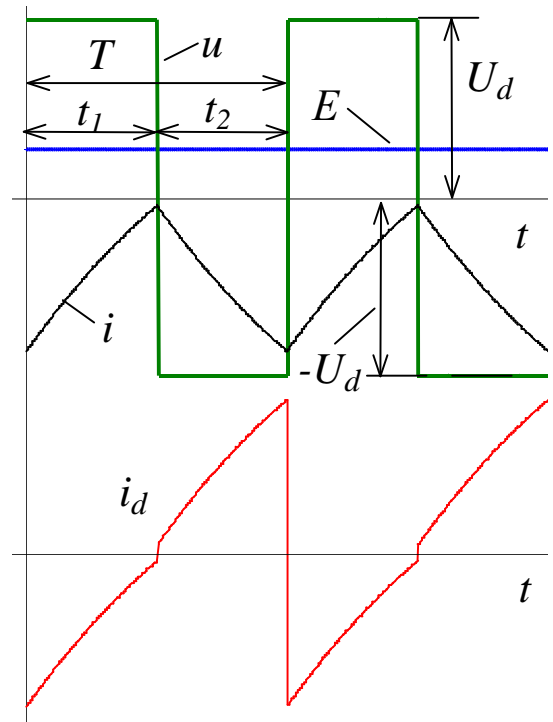


Рис.10

прямках: на інтервалі  $t_1$  – від навантаження до джерела постійної напруги, на інтервалі  $t_2$  – навпаки. Активний опір навантаження отримує на першому етапі частку енергії електричної машини, на другому – енергії з обох джерел. Зміна знаку проти-ЕРС призводить лише до зміни знаку струму навантаження. Характер процесів не змінюється.

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Робота виконується на математичних моделях переривників, реалізованих за допомогою електронних таблиць Excel.
- 4.2. Клітинки, в яких розташовані змінні вихідні дані, виділені рожевим кольором. Змінювати вміст інших клітинок не рекомендується.
- 4.3. Змістом роботи є дослідження електромагнітних процесів на готових моделях шляхом зміни вихідних даних (шпаруватості, параметрів навантаження).

#### 5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 5.1. Чому при симетричному законі комутації мостового переривника неможливий режим переривистого струму?
- 5.2. Як протікає струм навантаження одразу після закриття транзисторів  $VT1$ ,  $VT4$  і куди передається енергія, накопичена в індуктивних елементах навантаження на попередньому етапі?
- 5.3. Чому дорівнює середній вхідний струм переривника при суто індуктивному навантаженні та  $\gamma = 0,5$ ?
- 5.4. Який напрямок має середній вхідний струм переривника при  $\gamma < 0,5$  та  $\gamma > 0,5$ ?

- 5.5. Який напрямок мають при  $RL$ -навантаженні потоки енергії, що проходять через джерело живлення, індуктивність та активний опір навантаження, якщо відкриті  $VT1, VT4$ ?
- 5.6. Який напрямок мають при  $RL$ -навантаженні потоки енергії, що проходять через джерело живлення, індуктивність та активний опір навантаження, якщо відкриті  $VD2, VD3$ ?
- 5.7. Який напрямок мають при  $RLE$ -навантаженні потоки енергії, що проходять через джерело живлення, індуктивність, активний опір навантаження та джерело проти-ЕРС, якщо відкриті  $VT2, VT3$ , а  $E > (2\gamma - 1)U_d$ ?
- 5.8. Який напрямок мають при  $RLE$ -навантаженні потоки енергії, що проходять через джерело живлення, індуктивність, активний опір навантаження та джерело проти-ЕРС, якщо відкриті  $VD2, VD3$ , а  $E < (2\gamma - 1)U_d$ ?
- 5.9. Чому при симетричному законі комутації мостового переривника миттєвий вхідний струм переривника може бути знакозмінним?
- 5.10. За яких умов джерело проти-ЕРС споживає енергію і за яких віддає її переривнику?
- 5.11. Чому при  $\gamma > 0,5$  темп зростання вихідного струму менший від темпу його зменшення (рис.2)?
- 5.12. Що потрібно зробити в схемі рис.1, щоб змінити знак середньої вихідної напруги?
- 5.13. Звідки споживає і куди витрачає енергію переривник при  $RL$ -навантаженні та  $\gamma = 0,5$  (рис.4)?
- 5.14. Як співвідносяться вихідна напруга переривника, проти-ЕРС та похідна вихідного струму, коли сам струм дорівнює нулю?
- 5.15. Як середня вихідна напруга залежить від шпаруватості?

### 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. Керовані випрямлячі. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 228 с.