

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»

**Методичні вказівки**  
**до виконання**  
**дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-4**  
**"АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ"**  
для студентів напряму підготовки 6.050701  
„Електротехніка та електротехнології”

Дніпропетровськ  
2015

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»

**Методичні вказівки**  
**до виконання**  
**дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-4**  
**"АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ"**  
для студентів напрямку підготовки 6.050701  
„Електротехніка та електротехнології”

Затверджено  
на засіданні кафедри  
систем електропостачання  
Протокол № 6  
від 13.01.2015 р.

Дніпропетровськ  
2015

Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-4 "Автономні інвертори" для студентів напряму підготовки 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” / Упоряд.: С.І.Випанасенко, О.Р.Ковальов, С.В.Дибрін, О.В.Бобров. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – 22 с.

Упорядники:

С.І.Випанасенко, д-р техн. наук, проф.,  
О.Р.Ковальов, ст. викладач,  
С.В.Дибрін, асист.,  
О.В.Бобров, асист.

Відповідальний за випуск заст. зав. кафедри систем електропостачання

С.І.Випанасенко, д-р. техн. наук, проф.

Друкується в редакційній обробці упорядників

# Лабораторна робота ЕТУ-4 "АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ"

## 1. МЕТА РОБОТИ.

- 1) Вивчити класифікацію та області застосування автономних інверторів;
- 2) Усвідомити вимоги до автономних інверторів;
- 3) Вивчити конструкцію перетворювача ТПЧ-320, його призначення, принцип дії вузлів та блоків.

## 2. ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.

Автономні інвертори - це пристрої, що перетворюють постійний струм у змінний із постійною або регульованою частотою і працюють на автономне навантаження. На відміну від інверторів, відомих мережею, в автономному інверторі на боці змінного струму немає іншого джерела енергії тієї ж частоти, крім самого інвертора.

Перетворювачі частоти - це пристрої, що перетворюють змінний струм однієї частоти в змінний струм іншої частоти.

Основні області практичного застосування автономних інверторів і перетворювачів частоти:

- 1) живлення споживачів змінного струму в пристроях, де єдиним джерелом енергії є акумуляторна батарея (наприклад, бортові джерела живлення);
- 2) електропостачання установок гарантованого живлення при аварії в основній мережі змінного струму (електрозв'язок, власні потреби електростанцій, реакторні установки);
- 3) регульований електропривод змінного струму з більш економічним частотним керуванням;
- 4) електротранспорт, що живиться від контактної мережі постійної або змінної напруги, де приводними двигунами бажано мати прості, дешеві і надійні асинхронні двигуни з короткозамкненим

ротором;

5) трансформатори постійного струму, що перетворюють постійний струм одного рівня в постійний струм іншого рівня;

6) джерела прямого перетворення енергії, у яких виробляється постійний струм низької напруги (термо- і фотоелектричні генератори, паливні елементи, МГД-генератори). Для використання цієї енергії потрібно перетворити постійний струм у змінний визначеного рівня і частоти;

7) живлення різних технологічних установок, що використовують нестандартну частоту (електротермія, ультразвукова обробка, електромагнітне перемішування і транспортування рідких металів та ін.)

8) електропостачання окремих районів від відводів магістральних ліній передач постійного струму.

### **3. ВИМОГИ ДО АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.**

До автономних інверторів та перетворювачів частоти, пред'являють наступні вимоги:

1) забезпечення високого К.К.Д;

2) мінімальна встановлена потужність окремих вузлів і елементів;

3) можливість широкого регулювання вихідної напруги;

4) забезпечення стабільності вихідної напруги при зміні величини та характеру навантаження, а також вхідної напруги;

5) забезпечення синусоїдальної або близької до синусоїдальної форми кривої вихідної напруги;

6) можливість регулювання у визначених межах вихідної частоти, що насамперед необхідно в установках вентильного електроприводу;

7) відсутність зривів інвертування при перевантаженнях;

8) можливість роботи в режимі холостої ходи;

9) забезпечення максимальної надійності і довголіття.

Природно, що вимоги, до схем автономних інверторів, залежать від конкретного призначення інвертора. Тому оптимальний варіант схеми інвертора необхідно вибирати, з огляду на режими роботи навантажень.

#### **4. КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ**

Автономні інвертори можна класифікувати по наступних основних ознаках:

- 1) за схемою перетворення;
- 2) по способу комутації (запирання);
- 3) по способу керування;
- 4) по характеру електромагнітних процесів.

Розрізняють наступні основні схеми

##### **перетворення:**

- 1) одновентильну (рис. 1.а);
- 2) однофазну з нульовим виводом (рис. 1.б);
- 3) однофазну з нульовим виводом джерела живлення (рис. 1.в);
- 4) однофазну мостову (рис. 1.г);
- 5) трифазну мостову (рис. 1.е);
- 6) трифазну з нульовим виводом (рис. 1.д).

Всі інші схеми є похідними перерахованих груп. Найбільш поширені з перетворювальній техніці мостові схеми.

По способу комутації автономні інвертори можна поділити на декілька груп.

##### **Інвертори з індивідуальною комутацією.**

Комутуючий пристрій інвертора служить для запирання одного тиристора або вентильного плеча інвертора. До даного типу інверторів відносять інвертори на цілком керованих вентилях – двухопераційних тиристорах і силових транзисторах.

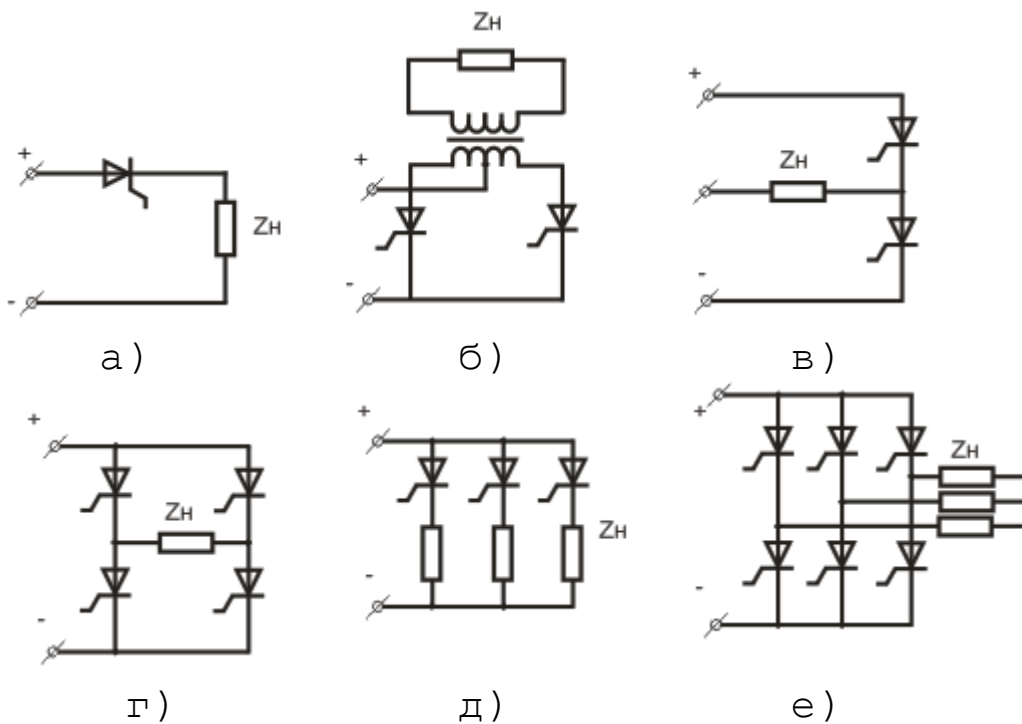


Рисунок 1 - Схеми перетворення:

а) - одновентильна; б) - однофазна з нульовим виводом; в) - однофазна з нульовим виводом джерела живлення; г) - однофазна мостова; д) - трифазна з нульовим виводом; е) - трифазна мостова.

**Інвертори із пофазною комутацією.** Комутуючий пристрій інвертора служить для поперемінного запирання тиристорів двох вентильних плечей, що відносяться до однієї фази інвертора.

**Інвертори із груповою комутацією.** У таких інверторах для запирання усіх вентильних плечей однієї групи (анодної або катодної) служить окремий комутуючий пристрій.

**Інвертори із загальною комутацією.** Комутуючий пристрій є загальним для усіх вентильних плечей інвертора. У комутуючому пристрої інвертора міститься один комутуючий конденсатор.

**Інвертори із межвентильною комутацією.** У таких інверторах запирання кожного робочого тиристора відбувається при вмиканні наступного тиристора іншої фази, але цієї ж групи.

**Інвертори із міжфазною комутацією.** Комутуючий пристрій інвертора служить для поперемінного

запирання двох тиристорів різних фаз.

**По способу керування** інвертори поділяють на інвертори із самозбудженням та з зовнішнім (незалежним) керуванням.

У інверторах із самозбудженням керуючі імпульси, які подаються на тиристори, формуються з вихідної напруги інвертора. Частота вихідної напруги визначається параметрами навантаження.

У інверторах із незалежним керуванням, керуючі імпульси формуються зовнішнім генератором, що і задає частоту вихідної напруги. Через те, що частота вихідної напруги не залежить від параметрів навантаження, даний тип інверторів найбільш широко застосовують в перетворювальній техніці.

У залежності від особливостей протікання електромагнітних процесів автономні інвертори можна поділити на три основні типи: **інвертори струму** (рис. 2а); **інвертори напруги** (рис. 2б); **резонансні інвертори**.

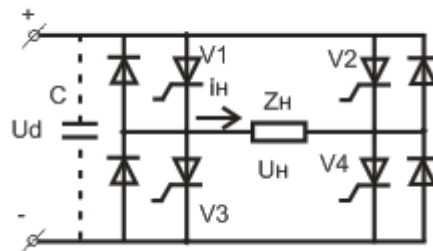
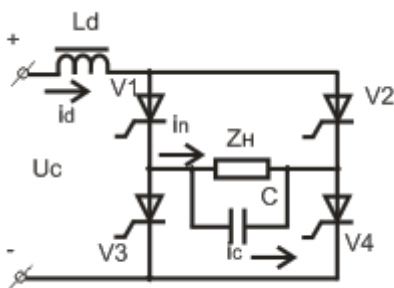


Рис.2а – інвертор струму Рис.2б – інвертор напруги

Для інверторів струму характерно те, що вони формують струм навантаження ( $I_{\text{вих}}$ ), а форма і фаза напруги залежать від параметрів навантаження. Джерело постійного струму працює в режимі генератора струму. Для цього у вхідний ланцюг додається реактор  $L_d$  із великою індуктивністю. Крім того, реактор  $L_d$  виконує функції фільтра вищих гармонійних складових напруги, тому що до нього в будь-який момент часу прикладається різниця між незмінною напругою джерела живлення і пульсуючою напругою на вході інвертора. Реактор  $L_d$



перешкоджає також розряду конденсатора на джерело живлення під час комутації струму в тиристорах і забезпечує аперіодичний режим роботи інвертора, характерний малими пульсаціями вхідного струму. Слід зазначити, що при живленні інвертора від джерел із характеристиками, близькими до джерела струму, дросель  $L_d$  може бути відсутнім.

Інвертор струму повинен забезпечувати режим роботи, при якому між анодом і катодом тиристора, що заклався, протягом деякого часу  $t_{зап}$  підтримується негативна напруга. Це необхідно для відновлення властивостей тиристора. Час  $t_{зап}$  називається часом запирання.

При активно-індуктивному характері споживача баланс реактивної потужності забезпечується компенсуючими конденсаторами. Конденсатори відносно навантаження, можуть бути включені паралельно, послідовно, послідовно - паралельно. Для інверторів струму характерний енергообмін між комутуючими і компенсуючими конденсаторами, включеними в ланцюг змінного струму, реактивностями ланцюга навантаження і дроселем  $L_d$  у ланцюзі вхідного струму.

У режимі холостої ходи інвертор струму непрацездатний унаслідок росту амплітуди зворотних і прямих напруг на тиристорах. При перевантаженнях виникають труднощі через недостатній час для відновлення властивостей тиристорів, що запираються. Інвертори струму мають близьку до синусоїдальної форму вихідної напруги, відносно малі пульсації вхідного струму, можливість реверса напрямку потоку потужності без зміни напрямку струму (при переході у випрямляючий режим). Зовнішня характеристика інвертора струму м'яка.

Інвертори напруга формують у навантаженні напругу, а форма і фаза струму залежать від характеру навантаження. Джерело живлення інвертора напруги працює в режимі генератора напруги. Якщо інвертор живиться від випрямляча, то на його вході встановлюють конденсатор досить великої ємності

для забезпечення провідності джерела постійної напруги в зворотному напрямку. Це необхідно, коли в складі навантаження є реактивні елементи будь-якого типу. Через зворотний випрямляч (D1...D4) здійснюється енергообмін між накопичувачами, наявними в складі навантаження, і джерелом живлення або конденсатором  $C_0$ , а в багатофазних інверторах - також і енергообмін між фазами навантаження. Конденсатор  $C_0$  виконує функції фільтра вищих гармонійних складових струму. Інвертор напруги може працювати в режимі холостої ходи. Працездатність інвертора напруги в режимі, близькому до короткого замикання, визначається комутаційними властивостями вентилів або прийнятого способу комутації. Інвертори напруги працездатні (мають малі зміни форми кривої і розміри вихідної напруги) при зміні вихідної частоти в широких межах. Комутаційні процеси в них мало впливають на форму кривої вихідної напруги, а встановлена потужність комутуючих елементів, порівняно невелика. Зовнішня характеристика інвертора напруги жорстка.

Основними **областями застосування інверторів** струму та напруги є:

§ стабілізовані по вихідних параметрах перетворювачі частоти;

§ вторинні джерела живлення змінним струмом;

§ установки частотно-регульованого електропривода.

У резонансних інверторах навантаження, то має, як правило, значну індуктивність, утворює із реактивними елементами схеми інвертора коливальний контур із резонансом напруг. Вимкнення тиристорів інвертора відбувається завдяки плавному зниженню до нуля анодного струму тиристора (струму коливального контуру) на кожному півперіоді. Власна частота контуру у резонансних інверторах повинна бути вищою або дорівнювати робочій частоті інвертора. Конденсатори, що входять до складу коливального контуру, можуть бути включені послідовно з навантаженням, паралельно їй або

послідовно - паралельно, а дроселі - у ланцюзі вхідного струму, в анодних ланцюгах вентилів або послідовно з навантаженням.

Для резонансних інверторів характерний інтенсивний енергообмін між накопичувачами, що входять до складу схеми. Резонансні інвертори можуть живитися від джерел, що працюють у режимі генератора е.д.с. або струму. Інвертори, що живляться від генератора е.д.с., називаються інверторами з відкритим входом, а ті, що живляться від генератора струму - із закритим входом.

Резонансні інвертори мають близьку до синусоїдальної форму напруги і струму в навантаженні, плавне підвищення (у більшості схем без зворотних діодів) і зниження струму через вентилі, що забезпечує малі комутаційні втрати потужності в останніх. Даний тип інверторів доцільно застосовувати для роботи на підвищених частотах вихідної напруги (одиниці та десятки кГц).

Варто підкреслити, що конкретні схеми автономних інверторів найчастіше володіють одночасно ознаками різних класифікаційних груп у залежності від співвідношення параметрів, режиму роботи і т.д.

## **5. ПРОМИСЛОВІ ТИРИСТОРНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СЕРЕДНЬОЇ ЧАСТОТИ.**

Тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ) призначені для живлення споживача струмами середньої частоти. Вихідна частота задається автономним (коливальним) контуром електротехнологічного навантаження. ТПЧ виконано на основі автономного інвертора струму. Конструктивно ТПЧ складається з однієї шафи та має водяне охолодження.

Перетворювачі ТПЧ-800-1.0/0.5, ТПЧ-500-2.4, ТПЧ-320-1.0, ТПЧ-250-2.4-8.0, ТПЧ-160-2.4 складаються із трифазного двопівперіодного

керованого випрямляча та інвертора струму, постаченого пусковим пристроєм працюючого за схемою самозбудження. ТПЧ має водяне охолодження, живиться від трансформатора потужністю 1000 кВА. У перетворювачів застосована стабілізація вихідної напруги. ТПЧ складається з чотирьох блоків: випрямляча, реакторів, інвертора і блока керування. Перетворювачі призначені для живлення нагрівачів безупинної дії й індукційних плавильних печей. Застосування цих перетворювачів для інших технологій нагріву можливо з урахуванням двох обмежень:

1. число пусків - не більш чотирьох за хвилину;
2. відсутність різких розвантажень інвертора.

Останнє обмеження вимагає пояснення. При нагріву під прокат, коли заготовки проходять через індуктор з великою швидкістю, у випадку дистанційного розриву між заготовками індуктор може опинитися незаповненим. Це може супроводжуватися ростом напруги вище припустимої межі, спрацьовуванням захисту і відключенням перетворювача.

ТПЧ потужністю до 500 кВт підключаються безпосередньо до мереж живлення, а потужністю 500 кВт і вище повинні бути приєднані безпосередньо до зажимів індивідуального перетворювального трансформатора.

ТПЧ побудований за схемою із явно вираженою ланкою постійного струму. Основними складовими частинами силової електричної схеми є:

- 1) автоматичний вимикач;
- 2) випрямляч;
- 3) згладжуючий реактор;
- 4) інвертор;
- 5) пусковий пристрій.

Навантаження не є складовою частиною ТПЧ. Однак працездатність ТПЧ може бути забезпечена тільки при підключенні до його виходу навантаження. У режимі холостої ходи і без підключення навантаження ТПЧ непрацездатний.

## Структура умовного позначення перетворювачів:

ТПЧ-320 -0.5/x-x-xx-3-x-4

Категорія розміщення ДЕРЖСТАНДАРТ 15150-69;

кліматичне виконання ДЕРЖСТАНДАРТ 15150-69;

УХЛ- для країн із помірним кліматом (СНД);

ПРО - для країн із тропічним кліматом;

модифікація - 3;

виконання: перша цифра - код живлячої напруги;

0- 3 x 380 V (3 x 400 V)

1- 3 x 500 V;

2- 3 x 660 V;

друга цифра - порядковий номер схемотехнічного рішення (при наявності тільки одного допускається не вказувати);

найбільша вихідна частота kHz, із ряду 1; 2,4; 4 і 10

базова вихідна потужність у кВт, при найбільшій вихідній частоті;

номінальна вихідна частота в kHz;

номінальна потужність у кВт. при роботі ТПЧ на номінальній частоті

тиристорний перетворювач частоти.

Крім силових, до складу ТПЧ входять допоміжні вузли:

1. контролер (система керування);
2. ланцюги захисту випрямляча;
3. ланцюги захисту інвертора;
4. комутатор;
5. ланцюги керування тиристорами;
6. блок датчиків;
7. пульт керування;
8. блок синхронізації (тільки для ТПЧ-160-0.5).

При пуску ТПЧ одночасно подаються керуючі імпульси на випрямляч (кут керування приблизно 60)

і на півміст інвертора для нарощування струму з згладжуючим реактором. При досягненні струмом реактора приблизно 20% від робочого значення струму, подачею імпульсів керування на пускові тиристори досягається коливальний розряд зарядженого конденсатора пускового пристрою на контур навантаження. У ньому відбувається ударне порушення згасаючих коливань. Приблизно через 10 мкс після проходження амплітуди першої півхвилі напруги на конденсаторі навантаження, подаються керуючі імпульси на тиристори однієї діагоналі поста інвертора і запускається система самозбудження інвертора. Одночасно починає підвищуватися вихідна напруга випрямляча, отже, зростає напруга на виході ТПЧ і напруга на навантаженні. Приблизно через 80 мкс напруга на навантаженні досягає свого номінального значення.

Інвертор працює в режимі самозбудження. Отже, вихідна частота ТПЧ визначається характеристиками (резонансною частотою ланцюгів) навантаження, тобто не може бути змінена в широких межах за допомогою системи керування. Для збільшення вихідної частоти необхідно (при рівнобіжній схемі підключення конденсаторів до приймача енергії) зменшити ємність комутуючого конденсатора і, навпаки, для зниження частоти варто збільшити ємність.

Регулювання режиму роботи ТПЧ здійснюється шляхом прямого або непрямого (потужність, температура нагрівання і т.д.) регулювання напруги на навантаженні. Для забезпечення працездатності ТПЧ при зміні параметрів навантаження в широких межах (практично в режимах від близького до холостої ходи до деякого граничного, котрому відповідала б дворазова вихідна потужність при номінальній нарузі на навантаженні), у ТПЧ застосовується тризонне регулювання вихідної напруги. Кожній зоні відповідає свій режим регулювання:

- 1) **Режим 1.** Випрямляч цілком відкритий ( $\alpha=0^\circ$ ),

інвертор працює в режимі стабілізації струму навантаження. При цьому схемний час вимикання тиристорів перевищує мінімально необхідне значення ( $t > t_{\min}$ ).

- 2) **Режим 2.** Інвертор працює в режимі стабілізації схемного часу запирання тиристорів ( $t = t_{\min}$ ). Регулювання напруги здійснюється регулюванням випрямляча.
- 3) **Режим 3.** Одночасно регулюються випрямляч і інвертор. По мірі зменшення сигналу завдання збільшуються кути регулювання випрямляча і випередження інвертора. При ньому стабілізується (обмежується) мінімальне значення струму ( $I_{\text{сх}} = I_{\text{сх.}\min}$ ).

Крім того, реалізовані режими обмеження максимальних значень струму, напруги і режим обмеження мінімальної напруги на виході ТПЧ.

ТПЧ виготовлені з місцевим керуванням і мають клеми для підключення дистанційного керування (виносного пульта). Допускається робота в повторно-короткочасному режимі при частоті комутацій не більш 10 вкл. хв.

У ТПЧ передбачена можливість підключення двох видів зовнішніх блокувань:

- на зняття напруги з навантаження (зовнішні блокування, пов'язані з протіканням і ритмічністю технологічного процесу, та гальмують розвиток аварійних ситуацій);
- на повне знеструмлення ТПЧ при виникненні аварії або порушенні вимог безпеки.

ТПЧ мають систему захисту, що перешкоджає розвитку аварійних ситуацій.

Світлова сигналізація ідентифікує вид несправності. При спрацьовуванні будь-якого із захисту і відключенні ТПЧ робиться однократне автоматичне повторне включення (АПВ). При невдалому АПВ ТПЧ відключається, горить табло "АВАРІЯ" на пульті керування й один із світлодіодів на передній панелі блока контролера,

указуючи на канал захисту, що спрацював.

ТПЧ має наступні види захисту:

- 1) захист від перекидання інвертора;
- 2) захист від перегріву силових елементів (захищаються згладжуючий реактор, силові тиристорні блоки, панелі з резисторами у блоках захисту інвертора);
- 3) захист по ланцюгу "РОЗРЯД" відбувається: при вимкненні автоматичного вимикача блоку захисту випрямляча і спрацьовуванні реле блоку комутатора;
- 4) захист від перевантаження по напрузі;
- 5) захист від перевантаження по струму;
- 6) захист від пробою тиристорів інвертора: спрацьовує при пробіі або не відновленні запираючих властивостей одного з тиристорів інвертора.

Передбачені також захисти від зникнення напруги на навантаженні або порушення зворотного зв'язку із навантаженням. При цьому випрямляч ТПЧ переводиться в інверторний режим. Імпульси керування інвертора знімаються. Такий режим зберігається до натискання на кнопку "СТОП". Індикатором несправності служать нульові показники вольтметра на пульті керування.

ТПЧ має ряд блокувань. Є внутрішні блокування від відкривання дверей при роботі, зникнення силового живлення або живлення власних потреб. При відкриванні дверей силовий вимикач вимикає живлення ТПЧ, одночасно вмикається лампа освітлення шафи. При зникненні силового живлення силовий вимикач вимикається нульовим розщеплювачем, а при зникненні живлення власних потреб - приводом.

### **Конструкція ТПЧ.**

Перетворювач зібрано у шафі уніфікованої конструкції. Обслуговування шафи - з двох сторін через двері. Введення живлення може бути



здійснено: у ТПЧ -320, ТПЧ- 800 – зверху (шинами) або знизу (кабелями), ТПЧ -160 – тільки знизу.

Перетворювач має блокування дверей, лампу освітлення і розетку для живлення приладів, що використовуються під час наладки.

Спереду на двері розташований пульт керування, з кнопками і приладами, що фіксують режим роботи ТПЧ.

У верхній частині шафи розташований блок контролера. Він представляє собою касету з блоками керування. Блоки керування фіксовані гвинтами, що не випадають. У нижній частині шафи розташовано згладжуючий реактор  $L_d$ .

На вертикальних рейках у середній (по висоті) частині шафи розташовано два силових тиристорних блоки: верхній (задній) – випрямляч, нижній (передній) – інвертор. Автоматичний вимикач розташований з лівого боку ТПЧ.

Розташування блоків, зібраних на склотекстолитових панелях наступне:

- попереду (під контролером) розташовані блок пуску і блок захисту випрямляча;

- на бічних стінках установлені блоки захисту інвертора;

- позаду насподі розташований блок комутатора.

Система водяного охолодження має два колектори, що розташовані у площині правої стінки шафи і ряд гумових рукавів між колекторами і вузлами ТПЧ, що охолоджуються. Нижній колектор є напірним, верхній – зливальним. Така побудова системи охолодження забезпечує ліквідацію повітряних зон у вузлах, що охолоджуються, при заповненні системи водою. Елементи силових блоків, що охолоджуються, для компактності з'єднані фторопластовими трубопроводами. Найбільш теплоємний вузол – реактор  $L_d$ , має термоконтатори, що контролюють нагрів води на виході вузла. При перевищенні температурою води  $50^{\circ}\text{C}$  термоконтатори спрацьовують і перетворювач вимикається. Термоконтаторами також захищені силові блоки

випрямляча і інвертора, RC-ланцюги блоків захисту інвертора.

### **Робота основних вузлів ТПЧ.**

**Випрямляч.** Призначений для перетворення змінної напруги силової мережі в регульовану постійну напругу. Випрямляч забезпечує оперативне керування електричними параметрами ТПЧ (разом із інвертором) і для здійснення швидкодіючого безконтактного захисту ТПЧ при перевантаженнях і коротких замиканнях. Випрямляч зібраний за схемою трифазного симетричного керованого моста. Ця схема при достатній простоті забезпечує:

- § низький рівень вищих складових гармонік у кривих вихідної напруги споживаного струму (у номінальному режимі  $\alpha=5^\circ$ );
- § ефективне використання трансформатора, що живить перетворювач;
- § ефективне використання тиристорів перетворювача;
- § симетричне навантаження фаз мережі, що живить перетворювач;
- § невисокий рівень напруг на тиристорах випрямляча.

У кожному плечі випрямляча встановлений тільки один тиристор. При такому вмиканні, захист тиристора плавким запобіжником нездійснений, тому що тепловий еквівалент повного відключення запобіжника перевищує значення припустимого теплового еквівалента тиристора.

У ТПЧ реалізований безконтактний захист. Як при нормальному, так і при аварійному вимиканні ТПЧ випрямляч переводиться в інверторний режим шляхом подачі керуючих імпульсів при  $\alpha=150^\circ$ , а потім, через час, достатній для зниження струму тиристорів до нульового значення, здійснюється зняття імпульсів керування.

Для забезпечення пуску і роботи при

переривчастій формі випрямленого струму подаються здвоєні керуючі імпульси, де другий імпульс подається через  $60^\circ$  після першого. Наявність інверторного режиму випрямляча не дозволяє використовувати нульовий (буферний) діод для зниження пульсацій вихідної напруги і збільшення коефіцієнта потужності випрямляча при кутах керування  $\alpha > 60^\circ$ . Робота нульового діоду імітується основними тиристорами випрямляча. Для цього, крім основного здвоєного керуючого імпульсу, подається додатковий імпульс при куті затримки  $120^\circ$ .

Таким чином, при  $\alpha > 60^\circ$  за період живлячої напруги на кожний тиристор випрямляча подаються три керуючі імпульси - один здвоєний при кутах  $\alpha$  і  $\alpha + 60^\circ$  і додатковий імпульс, при куті  $120^\circ$ . Тривалість імпульсів приблизно  $600..800$  мкс. При переводі випрямляча в інверторний режим додатковий імпульс знімається.

Кут регулювання випрямляча  $\alpha$  знаходиться в межах  $0^\circ < \alpha < 120^\circ$ . Цьому відповідає зміна  $U_d$  від свого найбільшого значення, рівного

$$U_d = 1,35U,$$

де:  $U$  - діюче значення лінійної напруги на виході ТПЧ до мінімального значення, обумовленого вимогами інвертора.

У випрямлячі застосовані силові напівпровідникові прилади Т153-800-10-400-УХЛ-2.

**Згладжуючий реактор.** Призначений для:

- § створення режиму безупинного струму, необхідного для роботи інвертора струму;
- § згладжування випрямленого струму;
- § перешкоди проникнення в інвертор перемінної складової струму, викликаних пульсацією випрямленої напруги;
- § перешкоди проникнення в мережу, що живить ТПЧ, високочастотних складових струму, які збуджені роботою інвертора;
- § обмеження швидкості наростання струму короткого

замикання при перекиданні інвертора.

З метою обмеження струму однофазного короткого замикання за реактором (при заземленій нейтралі трансформатора, що живить перетворювач) реактор виконується з двома обмотками, що включаються в обидві вихідні шини випрямляча. Обмотки виготовлені з трубчатого провідника. У середині провідника циркулює охолоджуюча вода.

**Інвертор.** Призначений для перетворення постійного струму в однофазний змінний струм підвищеної частоти, а також для регулювання вихідних параметрів ТПЧ (разом із випрямлячем). Інвертор виконаний по однофазній мостовій схемі інвертора струму. Захист інвертора здійснюється в дві стадії - спочатку безконтактно випрямлячем, а потім автоматичним вимикачем. В кожному плечі інвертора включено декілька тиристорів послідовно. Тому застосовуються заходи для вирівнювання напруги на тиристорах. Для цього використовують RC - ланцюги (для зменшення розкиду напруг на тиристорах у момент комутації) і трансформатори, що вирівнюють напругу. RC -ланцюги також обмежують швидкість наростання напруги на тиристорах інвертору.

Інвертор працює в режимі самозбудження. При збільшенні вихідної напруги від мінімального до максимального значення інвертор послідовно працює в режимах:

- § обмеження мінімального струму;
- § стабілізації схемного часу вимикання тиристорів інвертора;
- § стабілізації струму навантаження;
- § обмеження вихідної напруги або струму.

З ростом частоти допустиме значення вихідного струму інвертора зменшується, що відповідає зниженню навантажувальної здатності тиристорів при підвищенні частоти. У інверторі застосовані силові напівпровідникові прилади ТБ143 - 320 - 9 - 443 - УХЛ - 2.

## **6. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.**

Ознайомитися з зовнішнім виглядом і технічними характеристиками перетворювача ТПЧ-320. конструктивними особливостями перетворювача та його блоків.

## **7. ВМІСТ ЗВІТУ.**

Звіт повинен містити короткі теоретичні положення по роботі, конструкції, технічні характеристики перетворювача ТПЧ-320.

## **8. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.**

1. Які пристрої називаються автономними інверторами?
2. Які пристрої називаються перетворювачами частоти?
3. Назвіть області практичного застосування перетворювачів.
4. Які вимоги до перетворювачів?
5. Як класифікуються автономні інвертори?
6. Які основні схеми перетворення
7. Які типи автономних інверторів?
8. Як поділяються автономні інвертори по способу комутації?
9. Як поділяються автономні інвертори по способу керування?
10. Який принцип дії інверторів струму?
11. Який принцип дії інверторів напруги?
12. Яке призначення ТПЧ?
13. Структура умовного позначення ТПЧ.
14. З чого складається ТПЧ?
15. Як здійснюється пуск ТПЧ?
16. Режими роботи ТПЧ?
17. Режими керування ТПЧ?
18. Склад ТПЧ?
19. Які системи захисту та блокувань має ТПЧ?

20. Як діє випрямляч ТПЧ?
21. Для чого призначений згладжуючий реактор ТПЧ?
22. Як діє інвертор ТПЧ?

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические промышленные установки: Учеб. для вузов по спец. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Москва: Высшая школа, 1988. - 336 с.
2. Фомичев Е.П. Электротехнологические промышленные установки. Учеб. пособ. для вузов. - Киев: Вища школа, 1979. - 267 с.
3. Миронов Ю.М., Миронова А.Н. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок: Учеб. пособие для вузов. - Москва: Энергоатомиздат, 1991. - 376 с.

Упорядники:

Станіслав Іванович Випанасенко  
Олександр Робертович Ковальов  
Сергій Володимирович Дибрін  
Олексій Володимирович Бобров

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ  
ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ЕТУ-2  
"ТИРИСТОРНІ РЕГУЛЯТОРИ ЗМІННОЇ НАРУГИ"  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 6.050701  
„ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ”

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку . Формат 30x42/4.

Папір Pollux. Ризографія. Умови, друк. арк. . Обліково-видавн.  
арк. . Тираж 100 прим. Зам. № . Безкоштовно.

Державний вищий навчальний заклад  
„Національний гірничий університет”  
49600, ДСП, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса,19