

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

Методичні вказівки
до виконання
дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-1
"ЕЛЕКТРИЧНІ ПЕЧІ ОПОРУ"
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-1
"ЕЛЕКТРИЧНІ ПЕЧІ ОПОРУ"
для студентів напряму 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-1 "Електричні печі опору" для студентів напрямку підготовки 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” / Упоряд.: С.І.Випанасенко, О.Р.Ковальов, С.В.Дибрін, О.В.Бобров. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – 14 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-1 "Електричні печі опору"

Мета роботи - вивчити будову і принцип дії електричних печей опору, ознайомитись з електрообладнанням цих печей, способами регулювання температури, заходами щодо економії електроенергії.

Теоретичні основи

Нагрів опором здійснюється завдяки виділенню тепла в провідниковому матеріалі при протіканні через нього електричного струму. Цей вид нагріву зумовлений дією закону Джоуля-Ленца.

Класифікація електричних печей опору:

- 1) *за принципом передачі енергії технологічному об'єкту:*
 - прямої дії (тепло виділяється безпосередньо в нагріваємому матеріалі);
 - непрямой дії (теплова енергія виділяється в спеціальних нагрівальних елементах, а потім за законами теплопередачі поступає у тіло, що нагрівається);
- 2) *за рівнем температур:*
 - низькотемпературні ($900-1000^{\circ}\text{K}$);
 - середньотемпературні ($1000-1600^{\circ}\text{K}$);
 - високотемпературні (більше 1600°K);
- 3) *за характером технологічних процесів:*
 - нагрівальні та плавильні;
 - періодичної та методичної дії;
- 4) *за конструктивним виконанням:*
 - камерна (завантаження і вивантаження садки (матеріал, що закладається в піч для обробки) здійснюється в горизонтальному напрямі);
 - елеваторна (піч з нерухомою камерою нагріву і рухомим дном);
 - шахтна (завантаження і вивантаження здійснюють через верх печі).

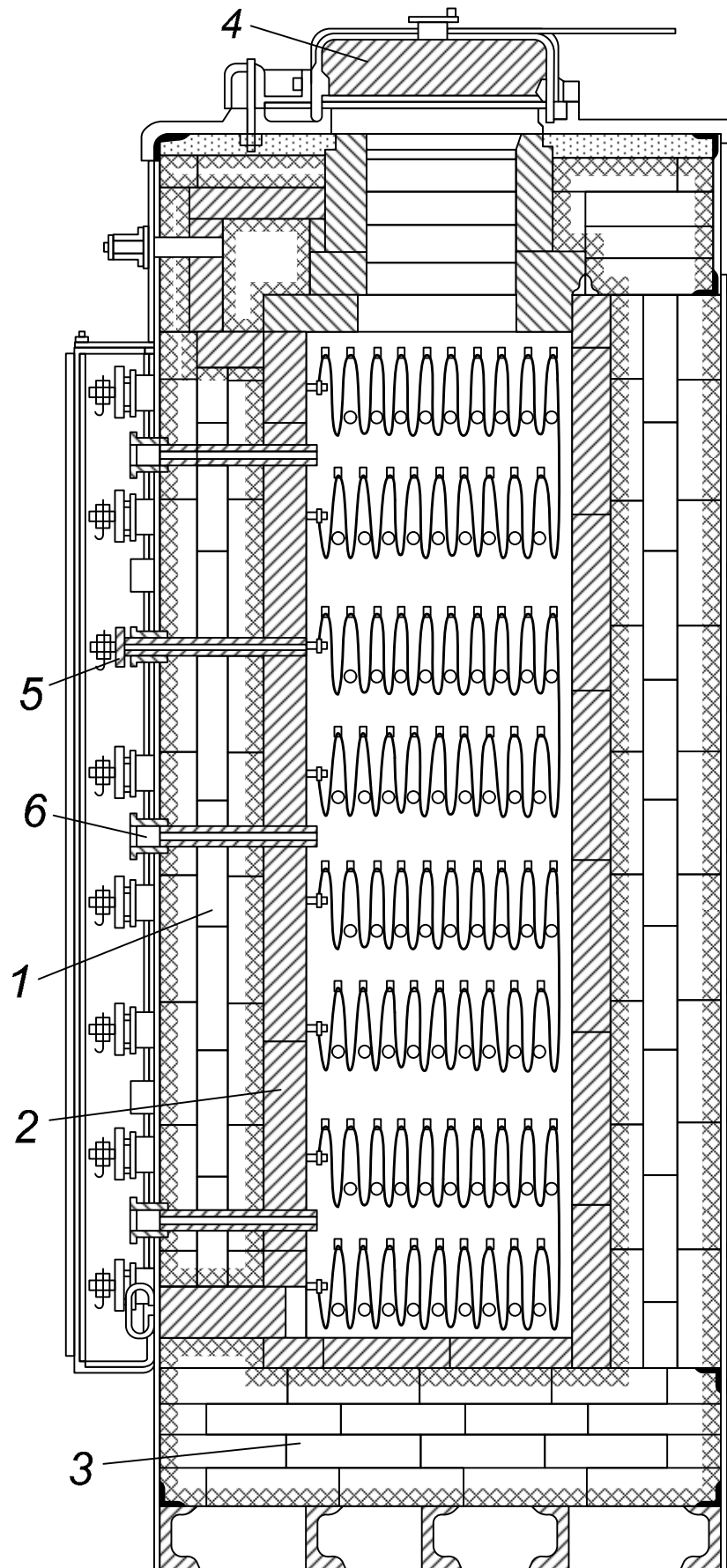


Рис. 1 Шахтна електропіч

1 - нагрівачі; 2 - вогнетривка кладка; 3 - теплоізоляція; 4 - кришка печі; 5 - вивід нагрівача; 6 - термопара.

Наведена класифікація за конструктивним виконанням стосується печей *періодичної дії*. У печах *методичної дії* нагрів забезпечується в період руху напівфабрикату. До них відносять:

- конвеєрну (деталь розміщується на конвеєрі);
- штовхальну (подача деталей здійснюється штовхачем);
- протяжну (використовують для нагріву проволочи, прутів).

Електричні печі опору мають такі основні частини:

- 1) футерування печі, що складається з вогнетривкої та теплоізоляційної частин;
- 2) каркас печі;
- 3) жаротривкі деталі для підтримки або переміщення виробів, що нагріваються у печі;
- 4) нагрівальні елементи та їх кріплення.

На **рис. 1** показано конструкцію шахтної печі.

Для низькотемпературного нагріву широко використовують *трубчаті електронагрівачі (ТЕНи)*, що складаються з металеві трубки, заповненої теплопровідним електроізоляційним матеріалом (перикладом), де знаходиться електронагрівальна спіраль. Порівняно з відкритими електронагрівачами ТЕНи більш безпечні. Вони можуть працювати у воді, рідкому металі, розплавах солей та інших середовищах; стійкі до вібрацій і механічних навантажень; мають великий термін використання (10-40 тисяч годин).

Для високотемпературних печей застосовують нагрівальні елементи із карбокорунда. Ці нагрівачі відомі також під назвою силітових або глотаревих. У керамічних електронагрівачах використовують властивість деяких керамічних матеріалів (наприклад, оксиду цирконія) з підвищенням температури набувати високу електропровідність. За допомогою керамічних нагрівачів досягають температур до 2300° К. Для виготовлення нагрівальних елементів з тугоплавких матеріалів застосовують молібден, тантал, вольфрам.

У діапазоні середніх температур найбільш розповсюджені ніхром (сплави нікелю і хрому), фехралі (хромоалюмінієві сплави), а також хромонікелеві жаростійкі сталі.

При загальній потужності електропічного навантаження до декількох сотень кіловат печі підключають до загальноцехових мереж напругою 0,4 кВ. Використовують як радіальні, так і магістральні схеми електропостачання. При більшій потужності використовують, як правило, трансформатори однофазного і трифазного виконання (серії ТПО і ТПТ) з широким діапазоном регулювання вихідної напруги, а також автотрансформатори (серії АПТ). Для зменшення втрат електроенергії в струмопроводах електропічних трансформаторів їх встановлюють безпосередньо біля печі.

Комутаційна апаратура управління і автоматичного регулювання температури монтується в шафах управління. Схему підключення печі приведено на **рис. 2**.

Для живлення *штовхальних* та *конвеєрних* печей часто застосовують систему блоків: кожна теплова зона отримує живлення від окремого трансформатора. Така схема дозволяє регулювати потужність у кожній зоні, що підвищує ефективність управління технологічним процесом. Та все ж застосування малопотужних трансформаторів знижує техніко-економічні показники і підвищує капітальні вкладення. Тому доцільно виконувати живлення печей від більш потужних трансформаторів. Наприклад, живлення п'ятизонної печі від двох трансформаторів підвищує надійність електропостачання (**рис. 3**). Для виведення в ремонт однієї з зон нагріву застосовують ремонтні перемички X.

Регулювання температури в електричних печах опору здійснюється шляхом зміни потужності, що живить піч. При дискретному регулюванні здійснюють: періодичне підключення\відключення печі (двопозиційне регулювання); переключення

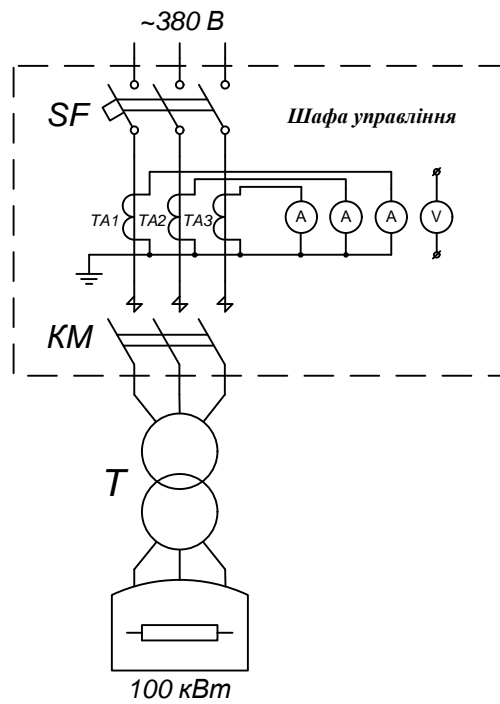


Рис. 2 Електрична схема живлення печі опору

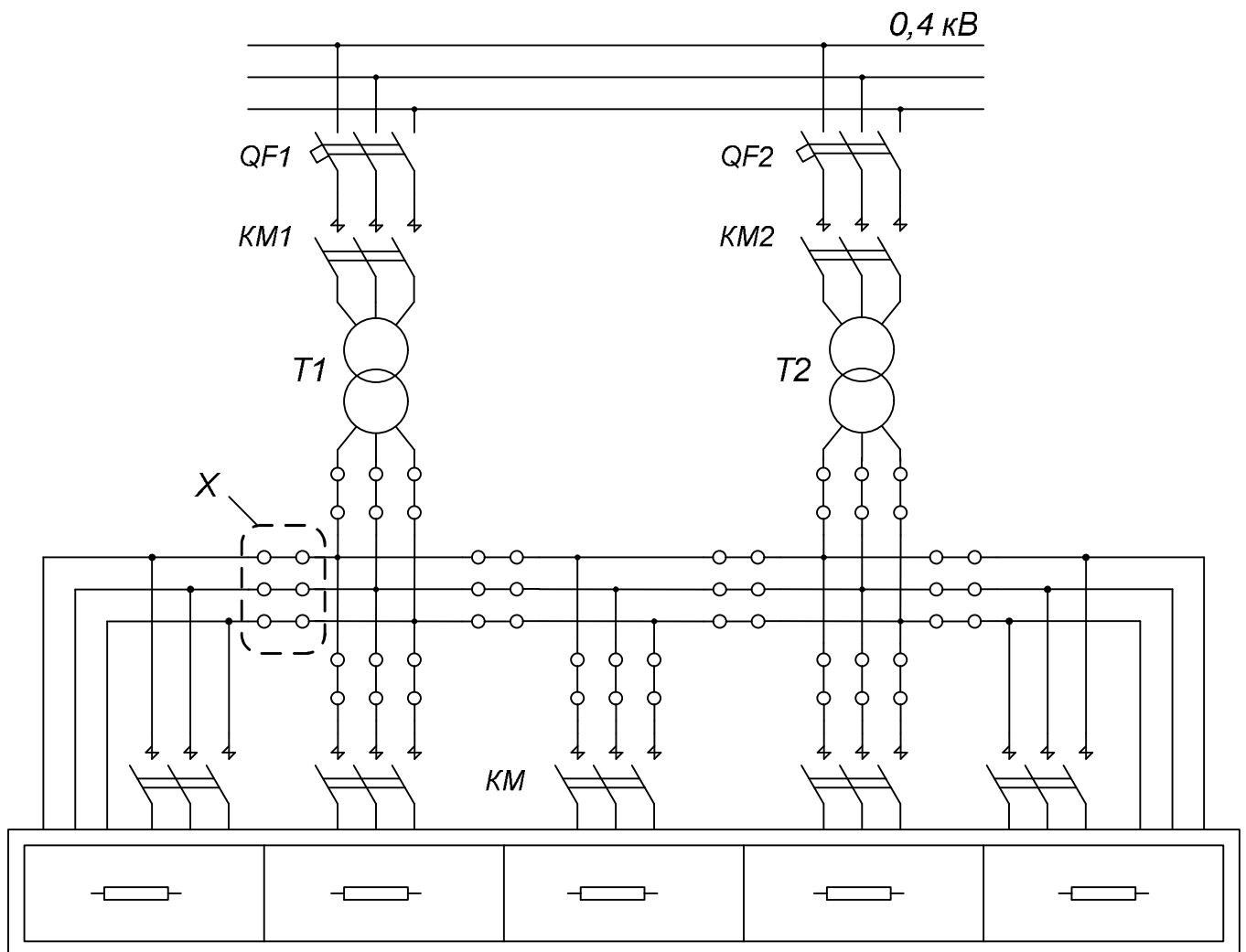


Рис. 3 Живлення п'ятизонної печі від двох трансформаторів

нагрівальних елементів печі з „зірки” на „трикутник” або з послідовного з'єднання на паралельне (трипозиційне регулювання).

На **рис. 4** приведено схему підключення печі до мережі при двопозиційному регулюванні температури.

Схема працює наступним чином. Якщо температура печі нижча t_3 (визначають за допомогою терморегулятора РТ), то контакт P_1 проміжного реле Р є замкнутим і котушка контактора К через вимикач G отримує живлення. Контактор К замикає свої контакти K_1 і піч підключається до мережі. При досягненні температури $t_3 + \Delta t$, що контролюється термометром опору R, реле Р спрацьовує і розмикає ланцюг живлення котушки контактора К. Піч відключається від мережі. За рахунок поглинання тепла тілом, що нагрівається, і втрат енергії внаслідок випромінювання у навколишнє середовище температура знижується до $t_3 - \Delta t$, після чого РТ знову дає команду на підключення печі до мережі. На **рис. 5** показано залежність зміни температури печі від часу τ . Глибина пульсацій температури (Δt) залежить від чутливості регулятора температури, інерційності печі й чутливості датчика температури.

Графік навантаження печі складається з двох основних ділянок. Перша ділянка характеризується часом розігріву τ_p , що залежить від потужності печі, робочої температури і способу теплопередачі; друга - часом підключення нагрівачів $\tau_{n1}, \tau_{n2} \dots$. Термін пауз $\tau_{п1}, \tau_{п2}$ залежить від інтенсивності поглинання енергії нагріваемим тілом. Видно, що після нагріву печі середня потужність P_{cp} , яку споживає піч, знижується.

Термометри опору використовують, як датчики температури. Принцип їх дії полягає у використанні властивості напівпровідників і металів змінювати свій питомий електричний опір при зміні температури. Застосовують також терморезистори - зварені в одній точці два провідника з різнорідних

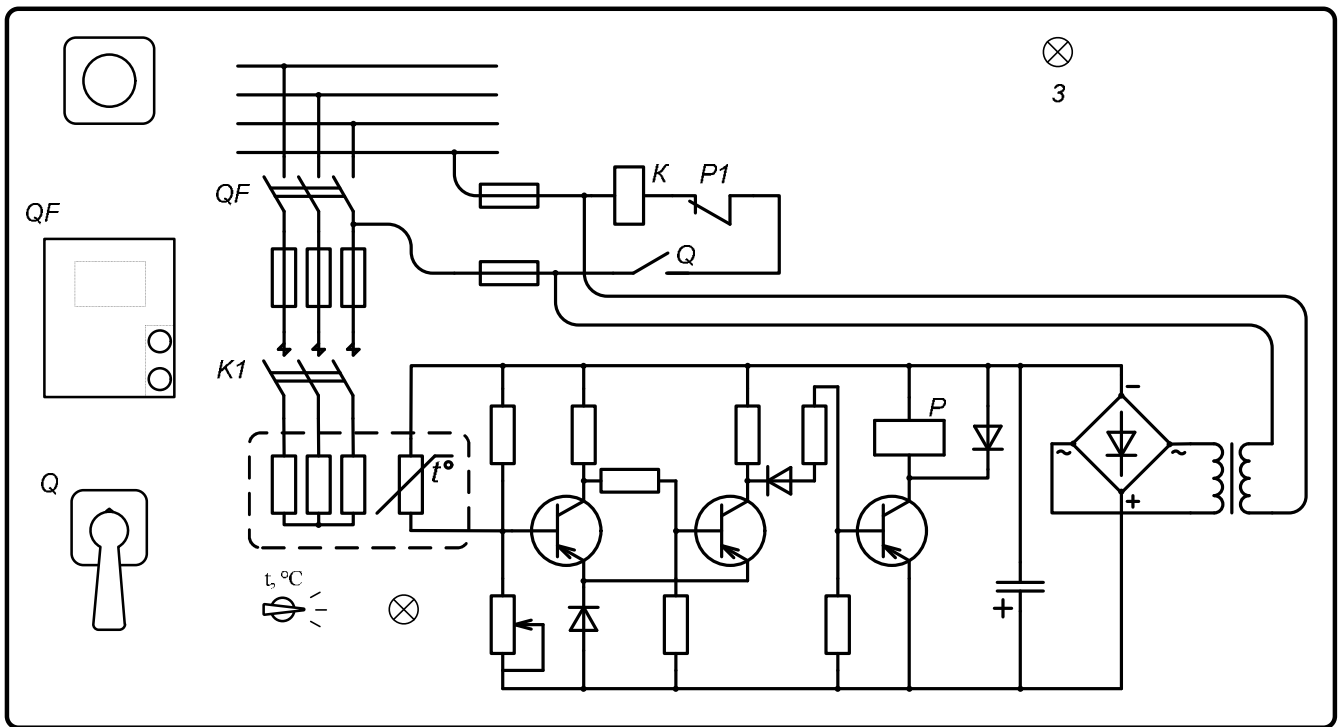


Рис. 4 Зображення стенду та схеми підключення печі до мережі при двопозиційному регулюванні

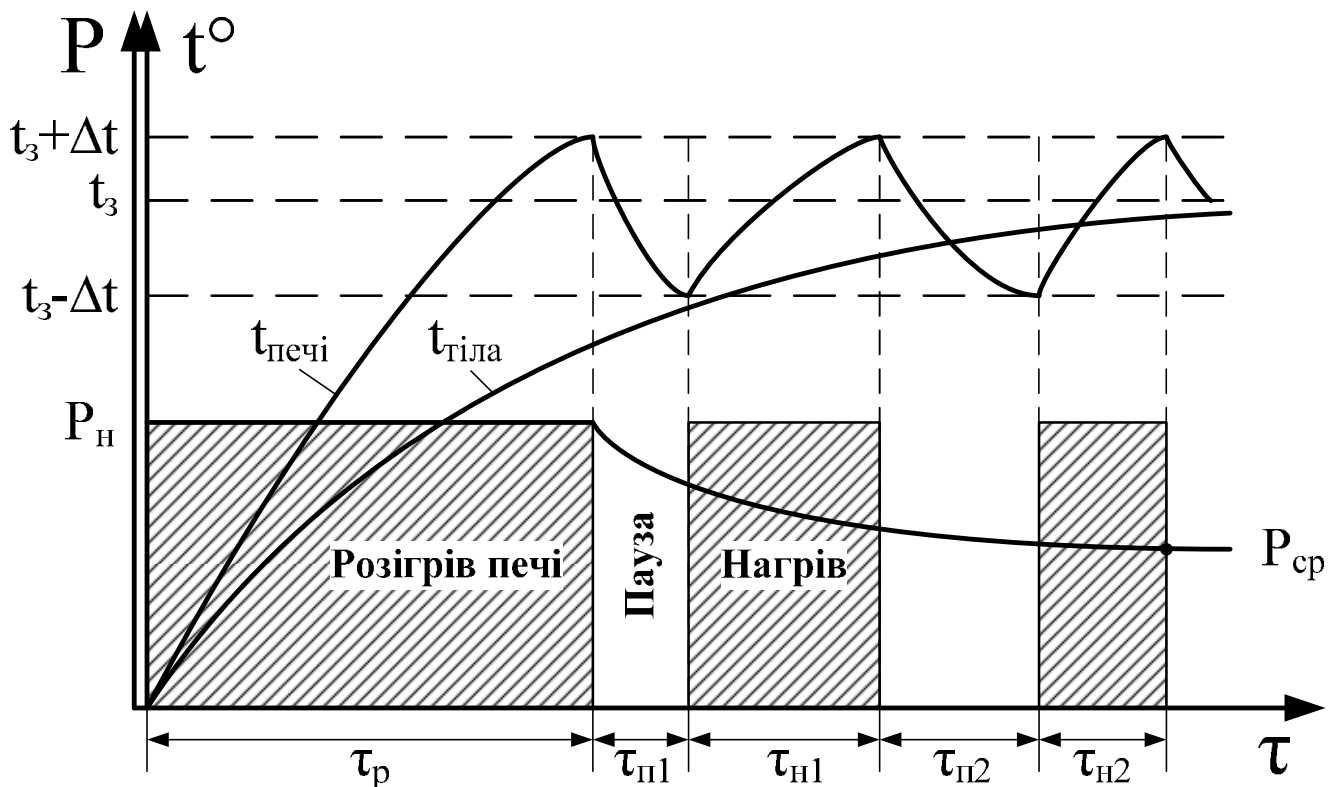


Рис. 5 Графіки залежності температури печі від часу і навантаження при двопозиційному регулюванні

металів. При нагріві спаю на холодних кінцях провідників виникає термоелектрорушійна сила, пропорційна температурі нагріваємого спаю.

При трипозиційному дискретному регулюванні здійснюють переключення нагрівників з „зірки” на „трикутник”. З енергетичної точки зору такий метод регулювання є достатньо ефективним, так як не здійснюється шкідливий вплив установки на мережу живлення.

Для *прецизійних* печей, працюючих з високою точністю підтримки температурного режиму (до $t - 0,5^{\circ}\text{C}$), застосовують плавне (безперервне) регулювання потужності. Тут найшли широке використання тиристорні однофазні і трифазні регулятори напруги. Вони характеризуються значною швидкодією, проте є джерелами вищих гармонійних складових стуму. Найбільший рівень гармонійних складових спостерігається при фазоімпульсному регулюванні. Коефіцієнт потужності печей з електромагнітними контактами складає 0,95-1,0, а при тиристорному регулюванні - 0,75-0,95 і залежить від глибини регулювання.

Для економії електроенергії в діючих печах доцільно збільшувати їх продуктивність. Це можливо, якщо існує резерв печі по потужності, а також по об'єму робочої камери. Часті відключення печі від мережі при двопозиційному регулюванні свідчать про необхідність такого резерву. Якщо потужність печі недостатня, то можлива заміна нагрівача. Зменшення тепловтрат печі забезпечується підвищенням якості теплоізоляції. Для економії електроенергії використовують тепло нагрітих деталей. При цьому холодні (що завантажені в піч) і нагріті (вивантажені з печі) вироби розміщують в рекуперативних камерах, де здійснюється теплообмін. Питомі витрати енергії знижуються на 10-15 %.

Опис лабораторного стенду

На лабораторному стенді вивчають режими роботи трифазної печі опору при двопозиційному регулюванні температури. Зовнішній вигляд стенду та схема підключення печі до мережі приведено на **рис. 4**, а принцип дії регулятора викладено вище. Потужність печі – 5 кВт, температура в робочій камері регулюється від 20 до 200 °С. Термоопір типу ММТ застосований як датчик температури.

Послідовність виконання роботи

1. Увімкнути автоматичний вимикач живлення печі М.
2. Увімкнути вимикач регулятора печі Q і зафіксувати момент початку нагріву. При ввімкненні Q контактор К забезпечує подачу напруги на нагрівальні елементи.
3. Визначити залежність температури печі (контролюється термометром) від часу. Процес нагріву спостерігати протягом 20 хвилин. Результати замірів температури занести в таблицю.

Термін нагріву печі, хв.	0	1	2	3	17	18	19	20
Температура печі, °С												

4. Побудувати графік залежності температури печі від часу і графік навантаження (див. **рис. 5**), виділивши інтервали нагріву й охолодження.
5. Визначити глибину пульсацій температури dt і зробити висновок відносно точності регулювання.
6. За графіком навантаження печі визначити середнє значення споживаємої потужності $P_{\text{ср}}$. Зробити висновок щодо можливості збільшення продуктивності печі для економії електроенергії.

Звіт повинен містити:

- 1) назву та мету лабораторної роботи;
- 2) основні параметри шахтної печі;
- 3) схему підключення печі при двопозиційному регулюванні;
- 4) таблицю і графік залежності температури печі від часу;
- 5) графік навантаження печі;
- 6) висновки та рекомендації щодо економії електроенергії.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікувати печі опору за рівнем досягаємих температур та конструктивному виконанню?
2. Назвіть основні частини шахтної печі і поясніть її принцип дії.
3. Які особливості трубчатих електронагрівачів?
4. Які типи трансформаторів використовують для живлення печей опору?
5. У чому особливість схем електропостачання штовхальних і конвеєрних печей?
6. Чим відрізняється дискретне регулювання температури печі від безперервного?
7. Поясніть принцип дії двопозиційного регулятора.
8. У чому особливість тиристорних регуляторів напруги?
9. Назвіть заходи з економії електроенергії в електричних печах опору.

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-1
"ЕЛЕКТРИЧНІ ПЕЧІ ОПОРУ"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 6.050701
„ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ”

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку . Формат 30x42/4.
Папір Rollux. 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