

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ»

*(для магістрів усіх форм навчання
за спеціальністю*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Електротехнологічні установки» (для магістрів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. П. Павленко, О. М. Петренко, Н. П. Лукашова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 14 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. Т. П. Павленко,
д-р техн. наук, доц. О. М. Петренко,
асист. Н. П. Лукашова

Рецензент

К. М. Василів, доктор технічних наук, професор кафедри електроенергетики та систем управління (Інститут енергетики та систем керування Національного університету «Львівська політехніка»)

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 10 від 20.03.2018.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ.....	5
Практичне заняття № 1 Розрахунок параметрів нагрівального елемента.....	5
Практичне заняття № 2 Визначення параметрів джерела живлення для ручного дугового зварювання.....	5
Практичне заняття № 3 Розрахунок некерованого випрямляча джерела живлення постійного струму ЕТУ.....	6
Практичне заняття № 4 Розрахунок керованого випрямляча як регульованого джерела живлення постійного струму ЕТУ.....	6
Практичне заняття № 5 Розрахунок регулятора потужності ЕТУ з перетворювачем змінної напруги.....	7
Практичне заняття № 6 Розрахунок імпульсного перетворювача постійного струму для живлення ЕТУ.....	8
Практичне заняття № 7 Розрахунок автономного інвертора струму для установки індукційного нагрівання.....	9
Практичне заняття № 8 Розрахунок автономного інвертора напруги для живлення ЕТУ від мережі постійного струму.....	9
Практичне заняття № 9 Розрахунок активного випрямляча на вході ЕТУ....	10
Практичне заняття № 10 Розрахунок силового активного фільтра для компенсації впливу ЕТУ на мережу змінного струму.....	10
2 САМОСТІЙНА РОБОТА	11
2.1 Вивчення додаткової теми «Плазмові технологічні установки» за літературними джерелами.....	11
2.2 Вивчення додаткової теми «Установки високоінтенсивного нагрівання» за літературними джерелами	11
2.3 Вивчення додаткової теми «Робота некерованих випрямлячів із вихідним ємнісним фільтром» за літературними джерелами.....	12
2.4 Вивчення додаткової теми «Багатопульсні схеми випрямлення. Інвертори ведені напругою» за літературними джерелами.....	12
2.5 Вивчення додаткової теми «Інвертори струму з вихідним синусоїдальним струмом. Багаторівневі інвертори» за літературними джерелами.....	13
2.6 Вивчення додаткової теми «Фільтро-компенсувальні пристрої» за літературними джерелами.....	13
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	14

ВСТУП

Предметом курсу «Електротехнологічні установки» (далі ЕТУ) є ознайомлення з фізичними основами процесів перетворення електричної енергії в речовинах, принципами побудови та дії головних типів електротехнологічних установок ЕТУ та напівпровідникових перетворювачів енергії, що використовуються під час виготовлення, ремонту, експлуатації та в електроприводі електротранспорту.

Ці методичні рекомендації є керівництвом для вивчення питань із курсу «Електротехнологічні установки», що виносяться на практичні заняття, а також сучасних методів досліджень із використанням «віртуального експерименту». При цьому передбачено розв'язання конкретних задач розрахунку пристроїв.

Для розрахунку використовуються відповідні приклади розрахунку, що наведені у [1].

Ці методичні рекомендації також стосуються вивчення питань із курсу «Електротехнологічні установки», що виносяться на самостійне вивчення. Зазначена діяльність спрямована на закріплення, розширення та поглиблення одержуваних знань, умінь, навичок і засвоєння нового матеріалу без сторонньої допомоги.

До того ж, окрім тем, надано рекомендації для вивчення матеріалу, привертається увага на ключові моменти, посилання на відповідну літературу, контрольні питання для перевірки отриманих знань.

1 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичне заняття № 1

Розрахунок параметрів нагрівального елемента

Мета роботи. Вивчення конструкції, розрахунок схеми і параметрів нагрівальних елементів.

Виконується протягом двох годин.

1. Розрахувати параметри ТЕНа з потужністю $P_{НОМ} = 3$ кВт при живленні від однофазної мережі з напругою 220 В. Матеріал – ніхромовий дріт, потрібно зменшити потужність ТЕНа в два рази.

2. Розрахувати параметри ТЕНа з потужністю $P_{НОМ} = 30$ кВт при живленні від трифазної мережі з напругою 380 В і схемі вмикання «трикутник». Визначити, як зміниться потужність у разі перемикавання на схему «зірка». Нарисувати відповідні схеми.

Практичне заняття № 2

Визначення параметрів джерела живлення для ручного дугового зварювання

Мета роботи. Вивчення властивостей характеристик джерел живлення пристроїв для ручного зварювання. Розрахунок зовнішньої характеристики.

Виконується протягом трьох годин.

1. Розрахувати зовнішню характеристику генератора постійного струму з напругою холостого ходу 60 В і внутрішнім опором 0,01 Ом.

2. Розрахувати зовнішню характеристику зварювального трансформатора з $S_{НОМ} = 4$ кВт, $U_1 = 220$ В, $U_2 = 65$ В, $u_K = 10\%$, $i_X = 8\%$, $P_K = 250$ Вт, $P_X = 90$ Вт

Практичне заняття № 3

Розрахунок некерованого випрямляча джерела живлення постійного струму ЕТУ

Мета роботи. Розрахунок схеми та параметрів некерованого випрямляча джерела живлення ЕТУ при живленні від однофазної та трифазної мережі змінного струму. Дослідження процесів у входних і вихідних колах випрямляча.

Виконується протягом чотирьох годин.

Виконати розрахунок схеми й параметрів некерованого випрямляча з трансформатором на вході:

– для ЕТУ з потужністю $P = 10$ кВт при напрузі $U = 110$ В при живленні від однофазної мережі змінного струму з напругою 220 В. Розрахувати параметри індуктивного фільтра для забезпечення коефіцієнту пульсацій напруги навантаження $K_D = 0.1$;

– для ЕТУ з потужністю $P = 250$ кВт при напрузі $U = 440$ В при живленні від трифазної мережі змінного струму з напругою 380/220 В;

– 12-и пульсну схему для ЕТУ з потужністю $P = 2500$ кВт при напрузі $U = 900$ В при живленні від трифазної мережі змінного струму з напругою 6 кВ.

Практичне заняття № 4

Розрахунок керованого випрямляча як регульованого джерела живлення постійного струму ЕТУ

Мета роботи. Розрахунок параметрів схеми керованого випрямляча (КВ) як регульованого джерела живлення постійного струму ЕТУ.

Виконується протягом чотирьох годин.

1. Розрахувати схему КВ за однофазною мостовою схемою для живлення споживача (R_H) з $U_{НОМ} = 48$ В і $I_{НОМ} = 25$ А від мережі з $U_l = 220$ В. Визначити

діапазон регулювання вихідної напруги з $\alpha = 0 - 120^\circ$, як змінюються при цьому коефіцієнти викривлення вхідного струму ν і потужності χ .

2. Для згладжування пульсацій струму використано дросель. Уважаючи, що $L_{др} = \infty$, визначити діапазон регулювання α для регулювання напруги в тому самому діапазоні, коефіцієнти спотворення струму ν і потужності χ . Розрахувати індуктивність дроселя, щоб при $\alpha = 0^\circ$ коефіцієнт пульсацій напруги на навантаженні $K_{ПНВНХ} \leq 0,2$, а також $\alpha_{ГР}$, коли струм безперервний і діапазон регулювання напруги в межах $\alpha_{ГР}$.

3. Розрахувати КВ для регулювання напруги кола якоря двигуна постійного струму (ДПС) незалежного збудження, що отримує живлення від мережі з $U_{Л} = 380$ В, $X_M = 0,02$ Ом, $R_M = 0,01$ Ом. Навантаження ДПС не перевищує номінальне. ДПС типу Д-814 має такі дані: $P_{НОМ} = 110$ кВт, $U_{НОМ} = 220$ В, струм, що споживається $I_{НОМ} = 500$ А, струм збудження $I_{ЗБ} = 6,25$ А, частота обертання $n_{НОМ} = 500$ об/хв, загальний опір кола якорю з урахуванням опору додаткових полюсів $R_{ЯЗ} = R_{Я} + R_{ДП} = 0,0805$ Ом, кількість пар полюсів $p = 2$.

Практичне заняття № 5

Розрахунок регулятора потужності ЕТУ з перетворювачем змінної напруги

Мета роботи. Розрахунок регулятора потужності ЕТУ з перетворювачем змінної напруги.

Виконується протягом чотирьох годин.

1. Розрахувати схему трифазного тиристорного перетворювача змінної напруги з фазовим регулюванням, що використовується для регулювання потужності споживача за схемою «зірка» з нейтральним дротом. Лінійна напруга мережі $U_{Л} = 380$ В, опір фази навантаження $R_H = 10$ Ом, діапазон

регулювання кута $\alpha = 0-150^\circ$. Визначити діапазон регулювання напруги та потужності, кут зсуву першої гармоніки струму, що споживається від мережі та коефіцієнт потужності при $\alpha = 90^\circ$.

2. Визначити потужність при $\alpha = 90^\circ$, якщо нейтральний дріт відсутній.

3. Визначити структуру регулювання температури печі за релейним принципом регулювання.

Практичне заняття № 6

Розрахунок імпульсного перетворювача постійного струму для живлення ЕТУ

Мета роботи. Розрахунок параметрів схеми імпульсного перетворювача (ІП) постійного струму для живлення ЕТУ.

Виконується протягом трьох годин.

1. Розрахувати параметри ІП постійної напруги на транзисторі для живлення приймача (R_H) із $U_{НОМ} = 80$ В, $I_{НОМ} = 10$ А від джерела з напругою $U = 110$ В. Коефіцієнт пульсацій напруги $K_{ПН} = 0,005$, діапазон регулювання напруги $(1,1 - 0,2)U_{НОМ}$, $f_M = 10$ кГц. Регулювання здійснюється методом ШІМ.

2. Розрахувати ІП на тиристорі з примусовою комутацією для використання як регулятора напруги на обмотці якоря двигуна постійного струму, що живиться від джерела постійного струму (ДПС) із напругою $U = 110$ В. Параметри ДПС $U_{НОМ} = 110$ В, $I_{НОМ} = 50$ А, $L_{Я} = 0,0011$ Гн, $R_{Я} = 0,175$ Ом, короткочасне перевантаження за струмом 2,5. Коефіцієнт пульсацій струму $K_{ПС} = 0,1$, діапазон регулювання напруги $(0,1-1)U_{НОМ}$. Значення струму ДПС визначається його навантаженням і не залежить від напруги. Визначити, наскільки напруга навантаження може відрізнятись від очікуваного значення при $\gamma_{Зад} = 0,5$ і $I_{НОМ}$ (витратами напруги на тиристорі, діоді й активних опорах нехтувати).

Практичне заняття № 7

Розрахунок автономного інвертора струму для установки індукційного нагрівання

Мета роботи. Розрахунок автономного інвертора струму (АІС) для ЕТУ індукційного нагрівання.

Виконується протягом чотирьох годин.

1. Розрахувати однофазний АІС, що використовується для живлення ЕТУ з $P_{НОМ} = 15$ кВт, $U_{НОМ} = 220$ В, $\eta_{НОМ} = 0,9$, $f = 400$ Гц, $\cos\varphi = 0,8$.
2. Розрахувати трифазний мостовий АІС з відсікальними діодами, що використовується для живлення ЕТУ $P_{НОМ} = 50$ кВт, $U_{НОМ} = 380$ В, $\eta_{НОМ} = 0,9$, $\cos\varphi = 0,8$. Діапазон регулювання частоти $f = 5\text{--}50$ Гц.

Практичне заняття № 8

Розрахунок автономного інвертора напруги для живлення ЕТУ від мережі постійного струму

Мета роботи. Розрахунок параметрів схеми автономного інвертора напруги (АІН) для живлення ЕТУ від мережі постійного струму.

Виконується протягом чотирьох годин.

1. Розрахувати трифазний АІН із синусоїдальною ШІМ для живлення двигуна змінного струму $P_{НОМ} = 55$ кВт, $U_{НОМ} = 380$ В, $f_{НОМ} = 50$ Гц, $\eta_{НОМ} = 0,83$, $\cos\varphi = 0,8$. Схема з'єднань обмотки статора «зірка». Діапазон регулювання вихідної напруги (50–5) Гц з регулюванням вихідної напруги пропорційно частоті при незмінному навантаженні.
2. Розглянути як зміняться параметри під час використання векторної ШІМ.

Практичне заняття № 9

Розрахунок активного випрямляча на вході ЕТУ

Мета роботи. Розрахунок активного випрямляча напруги (АВН) на вході ЕТУ для забезпечення відповідної якості струму, що споживається ЕТУ.

Виконується протягом двох годин.

1. Однофазний мостовий АВН використовується для живлення ЕТУ постійного струму з $U_d = U_{НОМ} = 330$ В від мережі змінного струму з напругою $U_l = 220$ В і коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 1$. Індуктивність дроселя на вході АВН становить $L = 4$ мГн. Визначити потужність навантаження.

2. Трифазний мостовий АВН використовується для живлення АІН, що працює на двигун змінного струму з $U_{НОМ} = 380$ В, $I_{НОМ} = 50$ А, $\cos\varphi = 0,8$. Напруга мережі змінного струму $U_l = 380$ В. Розрахувати параметри схеми для отримання на вході АВН $\cos\varphi = 1$. Як перевести АВН у режим інвертування, якщо двигун працює у режимі генераторного гальмування та кут φ збільшився на 90° .

Практичне заняття № 10

Розрахунок силового активного фільтра для компенсації впливу ЕТУ на мережу змінного струму

Мета роботи. Розрахунок параметрів фільтро-компенсувального пристрою (ВКП) з індуктивним регулятором та паралельного силового активного фільтра для компенсації впливу ЕТУ на мережу змінного струму.

Виконується протягом чотирьох годин.

1. Розрахувати загальну ємність конденсаторів й індуктивність реактора в схемі ФКУ для живлення ЕТУ від мережі 660 В. Максимальна реактивна (індуктивна) потужність, що споживається ЕТУ 6 кВАр.

2. Розрахувати параметри паралельного силового активного фільтра для компенсації впливу ЕТУ на мережу змінного струму, якщо в ЕТУ використано тиристорний перетворювач (ТП) постійного струму. ТП працює на активно-індуктивне навантаження.

2 ПИТАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

2.1 Вивчення додаткової теми «Плазмові технологічні установки» за літературними джерелами

Література [3], можна використовувати інші джерела за темою.

Звернути увагу на особливості процесів плазмового розрізання та зварювання металів.

Контрольні питання:

1. Що таке низькотемпературна плазма?
2. У який спосіб можна отримати плазму?
3. Що таке плазмотрон, які елементи містить дуговий плазмотрон?
4. На які типи розподіляються високочастотні плазмотрони?
5. Як працює плазмовий плавильний пристрій?

2.2 Вивчення додаткової теми «Установки високоінтенсивного нагрівання» за літературними джерелами

Література [3], можна використовувати інші джерела.

Звернути увагу на особливості використання лазера.

Контрольні питання:

1. Що таке електронно-променеве нагрівання?
2. Де використовується електронно-променеве нагрівання?
3. Що таке квантовий генератор?

4. Головні принципи роботи лазерів
5. Основи технології світлопроменевого оброблення.

2.3 Вивчення додаткової теми «Робота некерованих випрямлячів з вихідним ємнісним фільтром» за літературними джерелами

Література [1], можна використовувати інші джерела.

Звернути увагу на особливості процесів у НВ при різному співвідношенні індуктивного й активного опорів вхідного кола.

Контрольні питання:

1. Який характер має вхідний струм НВ з вихідним ємнісним фільтром?
2. За яких умов виконується розрахунок ємності фільтра?
3. Як визначити гармонійний склад вхідного струму НВ?
4. Які гармоніки містить вихідний струм однофазного мостового НВ?
5. Які гармоніки містить вихідний струм трифазного мостового НВ?

2.4 Вивчення додаткової теми «Багатопульсні схеми випрямлення. Інвертори ведені напругою» за літературними джерелами

Література [1], можна використовувати інші джерела.

Звернути увагу на вплив характеру навантаження на струм, що споживається випрямлячем з мережі змінного струму.

Контрольні питання:

1. У якому разі використовуються багатопульсні схеми випрямлення?
2. Яку структуру мають схеми багатопульсних випрямлячів?
3. Коли використовують послідовне з'єднання випрямлячів?
4. Що таке інвертор, введений мережею?
5. За якою умовою керований випрямляч працює у режимі інвертора?

2.5 Вивчення додаткової теми «Інвертори струму з вихідним синусоїдальним струмом. Багаторівневі інвертори» за літературними джерелами

Література [1], можна використовувати інші джерела.

Звернути увагу на відмінності алгоритму роботи інверторів струму та напруги. Які переваги багаторівневих інверторів порівняно з дворівневими інверторами.

Контрольні питання:

1. Які ключі використовуються у схемі інвертора струму з вихідним синусоїдальним струмом?
2. Що таке метод просторового вектора?
3. Що таке багаторівневий інвертор?
4. Які використовуються топології схем багаторівневих інверторів?
5. Що таке багаторівнева ШІМ?

2.6 Вивчення додаткової теми «Фільтро-компенсувальні пристрої» за літературними джерелами

Література [1], можна використовувати інші джерела.

Звернути увагу на вимоги стандартів до якості напруги у мережі змінного струму.

Контрольні питання:

1. Яке призначення фільтро-компенсувальних пристроїв (ФКП)?
2. Які елементи містить ФКП?
3. Як розрахувати загальну ємність у схемі ФКП?
4. Яке призначення індуктивного регулятора у схемі ФКП?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії : навч. посібник / О. О. Шавьолкін. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 404 с.
2. Павленко Т. П. Електротехнологічні установки : конспект лекцій / Т. П. Павленко, О. М. Петренко, Н. П. Лукашова. – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 135 с.
3. Манин А. В. Электротехнологические процессы и установки : учеб. пособие / А. В. Манин. – Рыбинск : РГАТА имени П. А. Соловьёва, 2010. – Ч. 1 – 188 с.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ»

*(для магістрів усіх форм навчання
за спеціальністю*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Укладачі: **ПАВЛЕНКО** Тетяна Павлівна,
ПЕТРЕНКО Олександр Миколайович,
ЛУКАШОВА Наталя Павлівна

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *Н. П. Лукашова*

План 2018, поз. 196 М

Підп. до друку 05.11.2018. Формат 60 × 84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,4.
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства ім. О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.