



ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Денна, змішана
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS; 36 год. – лекції; 18 год. – практичні заняття; 66 год. – самостійна робота студента
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/ МКР, РГР
Розклад занять	згідно www.rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Чвертко Євгенія Петрівна, e.chvertko@kpi.ua Практичні: к.т.н., доцент Чвертко Євгенія Петрівна, e.chvertko@kpi.ua
Розміщення курсу	Лекції з дисципліни, підручник, методичні вказівки до лабораторних занять розміщуються в Google Classroom https://classroom.google.com/c/NDU0NjkzNDQzMjgy?cjc=xpu72y6

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна "Джерела живлення для дугового зварювання" розроблена відповідно до Програми Міжнародного інституту зварювання підготовки міжнародних інженерів зі зварювання «IIW Guideline for International Welding Engineers, Technologists, Specialists and Practitioners. Minimum Requirements for the Education, Examination and Qualification» (розділ 1.5 Power sources for arc welding). Метою Програми є представлення зрізу сучасних знань в області конструкції, принципів дії та основ вибору джерел живлення для дугового зварювання. Вивчення дисципліни забезпечує конкурентні переваги фахівця при роботі на підприємствах України і за кордоном.

Мета дисципліни - формування у студентів здатностей:

1. використовуючи результати конструкторських розробок, відповідно до технічного завдання, за допомогою набутих знань щодо особливостей технології зварювання та довідкової літератури, визначити необхідний тип джерела живлення в залежності від способу зварювання, а також його технічні характеристики;
2. за допомогою набутих знань щодо особливостей зварювальних джерел живлення та довідкової літератури визначити можливі несправності джерел живлення та шляхи їх усунення.

Предмет дисципліни — принцип роботи джерел живлення для дугового зварювання, забезпечення стійкості системи джерело живлення - дуга.

Вивчення освітнього компоненту передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Компетентності:

Здатність використовувати знання в галузі фундаментальних наук для вирішення технічних задач зі зварювання та споріднених технологій (ФК12)

Здатність проводити технологічну і технікоекономічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів (ФК3)

Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації(ФК4)

Відповідно до **освітньої програми** студенти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі **результати навчання**.

Програмні результати навчання:

Здійснювати оптимальний вибір обладнання та комплектацію технічних комплексів (РН14)

Розуміти принципи роботи систем автоматизованого керування технологічним обладнанням, зокрема мікропроцесорних, вибирати та використовувати оптимальні засоби автоматики (РН11)

2. **Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного засвоєння дисципліни «Зварювальні джерела живлення» студент повинен мати базові знання з дисциплін:

Загальна фізика;

Теорія процесів зварювання;

Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами під час підготовки кваліфікаційних робіт бакалаврів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Джерела живлення для зварювання змінним струмом

Тема 1.1. Технологічні особливості трансформаторів для зварювання

Зварювальна дуга постійного та змінного струму. Стійкість енергетичної системи „джерело живлення-зварювальна дуга”. Вимоги до джерел в залежності від способів зварювання. Зварювальні властивості джерел живлення.

Тема 1.2. Конструкція та принцип дії трансформаторів для зварювання

Особливості горіння дуги змінного струму при активному та індуктивному опорах. Загальні рівняння роботи трансформаторів. Класифікація зварювальних трансформаторів. Трансформатори з нормальним магнітним розсіянням. Зварювальні трансформатори з розвиненим магнітним розсіянням. Зварювальні трансформатори тиристорного типу. Зварювальні трансформатори з ярмовим розсіянням. Зварювальні трансформатори для електрошлакового зварювання.

Розділ 2. Джерела живлення для зварювання постійним струмом

Тема 2.1. Конструкція та принцип дії зварювальних випрямлячів

Схеми випрямлення. Випрямлячі, що керуються трансформаторами. Зварювальні випрямлячі, що керуються трифазним дроселем насичення. Тиристорні зварювальні випрямлячі. Принцип керування струмом і напругою, формування зовнішніх характеристик. Багатопостові зварювальні випрямлячі.

Тема 2.2. Інверторні джерела живлення

Інверторні джерела живлення. Призначення та принцип дії джерел з тиристорним та транзисторним інвертором.

Тема 2.3. Генератори для зварювання

Генератори для зварювання. Призначення, класифікація, конструкція зварювальних генераторів незалежного збудження. Призначення, класифікація, конструкція генераторів із самозбудженням. Будова генераторів вентильного типу.

Розділ 3. Спеціалізовані джерела живлення

Тема 3.1. Призначення та обладнання джерел живлення для спеціальних методів зварювання. Монтаж та обслуговування джерел. Питання охорони праці і техніки безпеки при експлуатації джерел.

Обладнання для збудження та стабілізації дуги. Джерела живлення для імпульсного дугового зварювання. Джерела живлення постійного та змінного струму для аргонно - дугового зварювання. Джерела живлення для плазмового зварювання, різання, напилення. Монтаж та обслуговування джерел. Питання охорони праці і техніки безпеки при експлуатації джерел.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Голошубов В. І., Шевченко М. В. Джерела живлення для дугового зварювання: Навчальний посібник. –К.: НТУУ “КПІ”, 2012. - 372 с. - Бібліогр.: с. 370-372.
2. Голошубов В. І. „Зварювальні джерела живлення”: Навчальний посібник. –К.: Арістей, 2005-448с.
3. Голошубов В. І., Пірумов А. Є., Шевченко М. В. Зварювальні джерела живлення. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. – Київ, 2011. – 57 с.

4. Чвертко Є. П., Шевченко М. В., Пірумов А. Є. Зварювальні джерела живлення. Методичні вказівки до проведення комплексної контрольної роботи. – Київ, 2012. – 14 с.
5. Шевченко М. В., Чвертко Є. П., Пірумов А. Є. Зварювальні джерела живлення. Методичні вказівки до самостійної роботи. – Київ, 2012. – 24 с.
6. Шевченко М. В. Зварювальні джерела живлення. Методичні вказівки для підготовки до модульної контрольної роботи. – Київ, 2012. – 13 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекція 1

Зварювальна дуга постійного та змінного струму. Загальні рівняння роботи трансформаторів. Фізичні явища, що відбуваються в електричній зварювальній дузі. Графік розподілу потенціалів по довжині дуги. Вольт-амперна характеристика зварювальної дуги.

Лекція 2

Стійкість енергетичної системи „джерело живлення-зварювальна дуга”. Вимоги до джерел в залежності від способів зварювання. Зварювальні властивості джерел живлення. Умови стійкості системи джерела „живлення –зварювальна дуга”. Коефіцієнт стійкості. Вимоги до технологічних і зварювальних властивостей. Режим роботи джерел, їх техніко-економічні показники.

Лекція 3

Особливості горіння дуги змінного струму при активному та індуктивному опорах зварювального кола. Визначення параметрів, які поліпшують стійкість його горіння. Умови стабільності горіння дуги.

Лекція 4

Класифікація зварювальних трансформаторів. Трансформатори з нормальним магнітним розсіянням. Зварювальні трансформатори з нормальним магнітним розсіянням, векторні діаграми, схеми заміщення, способи регулювання зварювального струму, конструкція трансформаторів.

Лекція 5

Зварювальні трансформатори з розвиненим магнітним розсіянням. Аналіз роботи трансформаторів у режимах неробочого ходу, навантаження і короткого замикання. Способи регулювання зварювального струму. Конструкції, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики.

Лекція 6

Зварювальні трансформатори тиристорного типу. Конструкції, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики, формування зовнішніх характеристик.

Лекція 7

Зварювальні трансформатори з ярмовим розсіянням. Конструкції, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики.

Лекція 8

Зварювальні трансформатори для електрошлакового зварювання. Конструкції, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики.

Лекція 9

Схеми випрямлення. Випрямлячі, що керуються трансформаторами. Класифікація і функціональні схеми зварювальних випрямлячів. Призначення окремих блоків. Трифазна і шестифазна схеми випрямлення. Випрямлячі зі спадними, жорсткими зовнішніми характеристиками, їх функціональні та спрощені електричні схеми. Призначення випрямлячів.

Лекція 10

Зварювальні випрямлячі, що керуються трифазним дроселем насичення. Конструкція трифазного дроселя насичення. Функціональна та спрощена принципова електрична схема випрямляча з трифазним дроселем насичення. Формування зовнішніх характеристик та регулювання вихідної напруги. Призначення та технічні дані випрямляча.

Лекція 11

Тиристорні зварювальні випрямлячі. Принцип керування струмом і напругою, формування зовнішніх характеристик. Універсальні зварювальні випрямлячі типу ВДУ, їх функціональні схеми та призначення окремих блоків, умови формування спадних і жорстких характеристик. Регулювання режиму зварювання. Керування тиристорами за допомогою блока формування імпульсів. Конструкція, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики. Призначення випрямляча.

Лекція 12

Багатопостові зварювальні випрямлячі. Застосування багато постових систем, умови незалежності роботи постів, зовнішня характеристика випрямлячів і зварювальних постів. Конструкція, спрощені принципові електричні схеми, технічні характеристики. Призначення випрямляча.

Лекція 13

Інверторні джерела живлення. Призначення та принцип дії джерел з тиристорним та транзисторним інвертором. Призначення, функціональні схеми, принцип дії, переваги та недоліки.

Лекція 14

Генератори для зварювання. Призначення, класифікація, конструкція зварювальних генераторів незалежного збудження. Вимоги, що висувають до зварювальних генераторів незалежного збудження. Принцип роботи, конструкція, аналіз роботи у різних режимах.

Лекція 15

Призначення, класифікація, конструкція генераторів із самозбудженням. Будова генераторів вентильного типу. Вимоги, що висувають до зварювальних генераторів із самозбудженням. Принцип роботи, конструкція, аналіз роботи генераторів. Конструкція та принцип дії генераторів вентильного типу. Способи регулювання зварювального струму і напруги.

Лекція 16

Обладнання для збудження та стабілізації дуги. Допоміжні пристрої джерел. Призначення та принцип їх дії. Випрямлячі для імпульсно-дугового зварювання, їх функціональні та електричні схеми, регулювання параметрів імпульсів, технічні дані.

Лекція 17

Джерела живлення постійного та змінного струму для аргонно-дугового зварювання. Установки змінного струму для зварювання виробів з алюмінію. Функціональні електричні схеми. Формування зовнішніх характеристик і регулювання зварювального струму. Випрямлячі з уніфікованими блоками для зварювання на постійному струмі неплавким або плавким електродами в середовищі аргону.

Лекція 18

Джерела живлення для плазмового зварювання, різання, напилення. Монтаж та обслуговування джерел. Питання охорони праці і техніки безпеки при експлуатації джерел.

Зовнішні характеристики джерел для зварювання, різання і напилення стисненою дугою, функціональні схеми, принцип дії установок, регулювання зварювального струму і напруги. Техніка безпеки під час зварювання. Технічне обслуговування джерел живлення.

Практичні заняття

Практична робота № 1

Вивчення конструкції та дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу СТШ – 252СГД

Практична робота № 2

Вивчення конструкції та дослідження роботи універсального випрямляча типу ВДУ-506С

Практична робота № 3

Дослідження енергетичних характеристик випрямляча ВД-301УЗ (ВД-306УЗ)

Практична робота № 4

Вивчення конструкції і дослідження роботи багатопостового зварювального випрямляча ВКСМ-1000-1-1 (ВДМ-1001УЗ) та багатопостової системи живлення зварювальних постів

Практична робота № 5

Вивчення конструкції та дослідження роботи установки для дугового зварювання УДГУ-251

Практична робота № 6

Вивчення конструкції та дослідження роботи інверторного випрямляча типу ВД-150 "Miniselma-150"

6. Самостійна робота студента

Види самостійної роботи (66 год.):

6.1 Обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні практичних занять, в тому числі заповнення форм специфікацій і протоколів, прийнятих у виробничій практиці – приблизно 2 години на кожну практичну роботу (всього – 23 год).

6.2 Підготовка до лекцій – 1 година на кожну лекцію (всього – 18 год.)

6.4 Виконання розрахунково-графічної роботи – 15 год.

6.5 Підготовка до модульної контрольної роботи – 4 год.

6.6 Підготовка до заліку – 6 год.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика навчальної дисципліни ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ є складовою частиною загальної політики в галузі якості КПІ імені Ігоря Сікорського і полягає у виконанні викладачем і студентами наступних принципів.

На лекціях і практичних заняттях обов'язковим є відключення телефонів. На заліку забороняється використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті.

Практичні заняття повинні бути виконані і захищені до початку залікової сесії. Перездачі заліку допускаються згідно чинних норм, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Академічна доброчесність є базовим принципом освітнього процесу і підлягає беззаперечному виконанню викладачем і студентами.

Викладач є лідером і гарантом підготовки методичних матеріалів, навчання, контролю і поліпшення дисципліни на сучасному рівні з урахуванням вимог міжнародних стандартів з використанням кращої практики підприємств та університетів світу.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль проводиться за рішенням викладача в двох формах: експрес-опитування по темі попередньої лекції на початку лекції, опитування за темою заняття на початку лабораторного заняття.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

На першій календарний контроль студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% від максимально можливого балу на момент календарного контролю.

На другій календарний контроль студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% від максимально можливого балу на момент календарного контролю.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист повного комплексу практичних робіт та РГР, сумарний семестровий рейтинг не нижчий 60.

Розрахунок рейтингових балів

Робота на лекціях;

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: $2 \text{ бали} \times 18 = 36$.

Оцінюється за результатами експрес-опитування на початку лекції за темою попереднього заняття. Відсутність студента на лекції (0 балів) може бути компенсована представленням реферату за темою лекції.

Виконання та захист практичних робіт;

Ваговий бал – 2...4. Максимальна кількість балів складає: $4 \text{ бали} \times 6 = 24 \text{ балів}$:

захист в установленний термін – 4 бали

наступні захисти – 2 бали

Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 0...20. Максимальна кількість балів складає: $20 \text{ балів} \times 1 = 20 \text{ балів}$:

Повна вичерпна відповідь на питання контрольної роботи дає 20 балів, неповна або частково неправильна — 10, відсутність відповіді або неправильна відповідь — 0.

Виконання розрахунково-графічної роботи;

Ваговий бал – 20. Максимальна кількість балів складає: $20 \text{ балів} \times 1 = 20 \text{ балів}$:
 зарахування в установлений термін – 20 балів
 наступні зарахування – 10 балів

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також ті здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота складається з 5-ти питань. Повна вичерпна правильна відповідь на кожне питання оцінюється 20 балами, часткова — 10 балами. Загальний бал залікової контрольної роботи визначається як сума балів за відповіді на питання.

Залікова складова шкали дорівнює: $RE = 100$ балів.

Рейтингова шкала з дисципліни складає: $R = 100$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Завдання до розрахунково графічної роботи

Варіант	І2ном	ТН, %
1	75	20
2	100	20
3	125	20
4	150	20
5	175	20
6	200	20
7	225	20
8	250	20
9	275	20
10	300	20
11	325	20
12	350	20
13	375	20
14	400	20
15	425	20

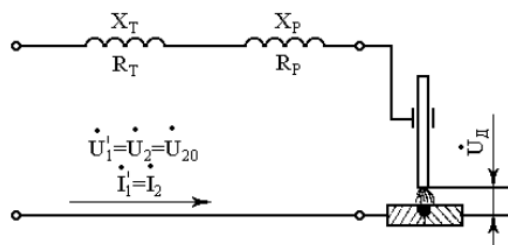
16	450	20
17	75	40
18	100	40
19	125	40
20	150	40
21	175	40
22	200	40
23	225	40
24	250	40
25	275	40
26	300	40
27	325	40
28	350	40
29	375	40
30	400	40
31	425	40
32	450	40
33	75	60
34	100	60
35	125	60
36	150	60
37	175	60
38	200	60
39	225	60
40	250	60
41	275	60
42	300	60
43	325	60
44	350	60
45	375	60
46	400	60
47	425	60
48	450	60
49	75	80
50	100	80
51	125	80
52	150	80
53	175	80
54	200	80
55	225	80

56	250	80
57	275	80
58	300	80
59	325	80
60	350	80
61	375	80
62	400	80
63	425	80
64	450	80
65	75	100
66	100	100
67	125	100
68	150	100
69	175	100
70	200	100
71	225	100
72	250	100
73	275	100
74	300	100
75	325	100
76	350	100
77	375	100
78	400	100
79	425	100
80	450	100

Перелік питань до модульної контрольної роботи

- 1 *Яка з наведених зон не є зоною дугового проміжку?*
- 2 *Довжина якої зони дугового проміжку найбільша?*
- 3 *За рахунок чого створюється електропровідність в дузі?*
- 4 *Як визначається диференційний опір дуги?*
- 5 *Яке рівняння вірно описує вольтамперну характеристику джерела живлення?*
- 6 *Який з виразів вірно відображає умову стійкості системи “джерело живлення – дуга”?*
- 7 *Яку зовнішню вольтамперну характеристику повинне мати джерело живлення для ручного дугового зварювання?*
- 8 *Яку зовнішню вольтамперну характеристику повинне мати джерело живлення для зварювання плавким електродом в захисних газах?*

- 9 Що показує значення відносної тривалості навантаження джерела ТН, коли воно дорівнює 60%?
- 10 Для чого при зварюванні змінним струмом у вторинне коло послідовно вмикають індуктивний опір?
- 11 Схема заміщення трансформатора має вигляд



Який вигляд має рівняння зовнішньої вольтамперної характеристики трансформатора?

- 12 Яким чином в трансформаторах з нормальним магнітним розсіянням та окремою дросельною котушкою відбувається плавне регулювання зварювального струму?
- 13 Як визначається величина струму короткого замикання при роботі трансформатора з нормальним розсіянням та вбудованою реактивною обмоткою?
- 14 Яким чином здійснюється плавне регулювання режиму в трансформаторах з розвиненим магнітним розсіянням з рухомими котушками?
- 15 Яким чином здійснюється ступеневе регулювання режиму в трансформаторах з розвиненим магнітним розсіянням з рухомими котушками?
- 16 Які зовнішні вольтамперні характеристики має трансформатор розвиненим магнітним розсіянням з рухомими котушками?
- 17 Яким чином здійснюється плавне регулювання режиму в трансформаторах з розвиненим магнітним розсіянням з рухомим шунтом?
- 18 Яким чином здійснюється плавне регулювання режиму в трансформаторах з нерухомим підмагнічувальним шунтом?
- 19 Яким чином здійснюється плавне регулювання режиму в тиристорних трансформаторах?
- 20 Яким чином формуються необхідні вольтамперні характеристики тиристорних трансформаторів?
- 21 За рахунок чого створюється спадна зовнішня характеристика в трансформаторах з ярмовим розсіянням?
- 22 Які джерела живлення найчастіше застосовують для електрошлакового зварювання?
- 23 Що є параметрами електрошлакового процесу?

- 24 *Зі скількох напівпровідникових елементів складається однофазна мостова схема випрямлення?*
- 25 *Зі скількох напівпровідникових елементів складається трифазна мостова схема випрямлення?*
- 26 *Зі скількох напівпровідникових елементів складається шестифазна схема випрямлення зі зрівняльним реактором?*
- 27 *Зі скількох напівпровідникових елементів шестифазна кільцева схема випрямлення?*
- 28 *За рахунок чого створюється спадна вольтамперна характеристика зварювальних випрямлячів з рухомими котушками?*
- 29 *Яким чином у трифазному випрямлячі з рухомими обмотками ВД-301 здійснюється ступеневе регулювання вихідних параметрів?*
- 30 *Яким чином формуються необхідні вольтамперні характеристики тиристорних випрямлячів?*
- 31 *Які зовнішні вольтамперні характеристики має тиристорний випрямляч ВДУ-506?*
- 32 *Яким чином в тиристорних зварювальних випрямлячах відбувається плавне регулювання вихідних параметрів?*
- 33 *Який трансформатор використовується в тиристорному зварювальному випрямлячі ВДУ-506?*
- 34 *Яким чином визначається кількість постів, які може жити багатопостовий зварювальний випрямляч?*
- 35 *Чому дорівнює коефіцієнт неодноразової роботи постів при багатопостовому живленні для поста ручного дугового зварювання?*
- 36 *Чому дорівнює коефіцієнт неодноразової роботи постів при багатопостовому живленні для поста механізованого зварювання в захисних газах?*
- 37 *Яким чином створюється спадна вольтамперна характеристика на посту для ручного дугового зварювання при багатопостовому живленні?*
- 38 *Яким співвідношенням пов'язані маса осердя трансформатора інверторного випрямляча з частотою струму на якій він працює?*
- 39 *Яким чином виконують регулювання вихідних параметрів інверторних зварювальних випрямлячів?*
- 40 *Яким чином відбувається плавне регулювання струму в генераторі незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою?*
- 41 *Яким чином відбувається плавне регулювання струму в генераторі з паралельною намагнічувальною і послідовною розмагнічувальною обмотками збудження ?*

- 42 *Які з наведених сил діють на краплю електродного металу на торці електроду?*
- 43 *Якими основними параметрами характеризується крива струму при імпульсно-дуговому зварюванні плавким електродом?*
- 44 *Яку вольтамперну характеристику повинні мати джерела живлення для зварювання неплавким електродом в інертному газі?*
- 45 *Для чого застосовують осцилятори?*

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус):

Складена доцентом, к.т.н, доц. Чвертко Євгенією Петрівною.

Ухвалено кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 18.11.23)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №05/23 від 11.12.23)