

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

С. В. ДРАГАН

**ЗВАРЮВАЛЬНІ
ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ**

**Збірник лабораторних робіт
з тестовими завданнями**

Рекомендовано Вченою радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2023

УДК 621.791(75.8)

Д72

Автор

С. В. Драган, канд. техн. наук, проф. НУК

Рецензенти:

В. Ф. Квасницький, д-р техн. наук, професор;

В. М. Рябенський, д-р техн. наук, професор;

І. В. Сімутенков, канд. техн. наук

*Рекомендовано Вченою радою НУК ім. адм. Макарова
(протокол № 8 від 30.09.2022 р.)*

Драган С. В.

Д72 Зварювальні джерела живлення. Збірник лабораторних робіт з тестовими завданнями : навчальний посібник / С. В. Драган. – Миколаїв : НУК, 2023. – 120 с.

ISBN 978-966-321-456-6

Уміщено методику проведення циклу лабораторних робіт з вивчення сучасних типових однопостових джерел живлення для дугового зварювання постійним та змінним струмом. Кожна робота передбачає вивчення конструкції, електричної схеми та дослідження експлуатаційних характеристик джерела і супроводжується короткими теоретичними відомостями, контрольними питаннями та зразками тестових завдань для самостійного опрацювання.

Призначено для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», що навчаються за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів». Може бути корисним при виконанні кваліфікаційної роботи на здобуття першого освітнього рівня (бакалавр).

УДК 621.791(75.8)

© Драган С. В., 2023

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2023

ISBN 978-966-321-456-6

ЗМІСТ

Вступне заняття.....	4
<i>Лабораторна робота № 1. Дослідження електричних характеристик зварювальної дуги постійного струму.....</i>	<i>8</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Трансформатор з механічним регулюванням струму ТДМ-317.....</i>	<i>20</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Тиристорний трансформатор ТДФЖ-1002.....</i>	<i>35</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Випрямляч з плавно-ступінчастим регулюванням напруги ВСЖ-303.....</i>	<i>56</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Перетворювач з колекторним генератором ПСГ-500-1.....</i>	<i>79</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Багатофункціональний інвертор PS 5000.....</i>	<i>94</i>
Список рекомендованої літератури.....	111
Додатки.....	112
<i>Додаток 1. Умовні позначення та символічні позначки, що використовуються у зварювальному устаткуванні.....</i>	<i>112</i>
<i>Додаток 2. Технічні характеристики типових зварювальних джерел живлення.....</i>	<i>118</i>

ВСТУПНЕ ЗАНЯТТЯ

(1 год)

Мета заняття: 1. Ознайомитися з обладнанням лабораторії зварювальних джерел живлення. 2. Вивчити основні положення щодо проведення лабораторних досліджень та правила техніки безпеки при роботі з обладнанням. 3. Вивчити основні умовні позначення елементів електричних схем та символи на панелі керування зварювальних джерел живлення.

Теоретичні відомості

Зварювальне джерело живлення входить до складу будь-якого посту або установки для зварювання плавленням. Воно постачає джерело теплової енергії – зварювальну дугу або електрошлаковий процес – електричною енергією потрібних параметрів. При дуговому зварюванні використовуються струми від 1 до 3000 А при напрузі від 8 до 140 В. Залежно від виду електричної енергії зварювальні джерела живлення розділяють на джерела постійного та джерела змінного струму, а в залежності від характеру її перетворення поділяють на наступні типи: трансформатори, випрямлячі, генератори, інвертори, конвертори.

Кожне з досліджуваних джерел є типовим представником певної групи зварювальних джерел, які, у свою чергу, відрізняються конструктивними особливостями, але прин-

ципово побудовані однаково. Тому при виконанні лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Зварювальні джерела живлення» студент повинен розуміти, що набуття компетенцій щодо будови устаткування та практичного визначення його експлуатаційних характеристик дозволять професійно опанувати основи експлуатації сучасних зварювальних джерел живлення.

Перед виконанням лабораторних робіт кожен студент повинен ознайомитися з наступними положеннями:

1. Всі лабораторні роботи мають дослідницький характер і складаються з двох частин: 1) практичне вивчення конструкції, електричної схеми устаткування й основних прийомів вимірювання та регулювання вихідних параметрів; 2) експериментальне дослідження експлуатаційних і енергетичних характеристик устаткування.

2. Дослідницька частина роботи виконується, як правило, бригадою з 3–4 чоловік тільки після ретельного вивчення конструкції та електричної схеми даного джерела живлення при суворому дотриманні правил техніки безпеки. При цьому слід пам'ятати, що на електричних схемах та панелях керування зварювального устаткування використовуються поряд із загально прийнятими в електротехніці та промисловій електроніці позначення елементів і спеціальні символи (деякі з них наведені у додатку 1).

3. При складанні індивідуального звіту про роботу слід дотримуватися правил обробки експериментальних даних та вимог до оформлення технічної документації.

Основні правила техніки безпеки при роботі з обладнанням лабораторії зварювальних джерел живлення

1. Переважна частина устаткування спеціалізованої лабораторії джерел живлення є діючими зразками і живиться від мережі напругою 380 В.

2. Вивчати конструкцію джерела можна лише за умови відключення його від живлячої мережі, про що сповіщає

відповідна сигнальна лампа, яка встановлена на головній розподільній шафі лабораторії і з'єднана з загальним рубильником.

3. Кожне зварювальне джерело живлення має індивідуальний автоматичний вимикач з зазначенням марки джерела. До виконання дослідницької частини лабораторної роботи вказаний прилад також має бути вимкненим.

4. Вмикати електричну схему для проведення дослідів можна тільки після перевірки її лаборантом або викладачем.

5. При виконанні більшості експериментальних досліджень як навантаження джерел живлення використовуються баластні реостати. Виключенням є дослідження характеристик реальної зварювальної дуги (лабораторна робота № 1). При виконанні даної роботи для запобігання враження очей світловим випромінюванням дуги візуальні спостереження за нею повинні виконуватися тільки з використанням захисного світлофільтра експериментальної установки.

Порядок проведення заняття

1. Ознайомитися з розташуванням у лабораторії зразків зварювальних джерел живлення та допоміжного обладнання. Скласти схему розташування устаткування з позначенням марок зварювальних джерел живлення.

2. Вивчити основні вимоги правил техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт.

3. Вивчити, користуючись таблицями 1.1Д та 1.2.Д (додаток 1), умовні позначення елементів на електричних схемах та позначки на панелях керування зварювальних джерел живлення.

Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати: 1) мету заняття; 2) схему розташування обладнання в лабораторії зварювальних джерел живлення; 3) таблиці умовних позначень елементів на електричних схемах та позначки на панелях керування зварювальних джерел живлення.

Контрольні питання

1. Які типи зварювальних джерел живлення встановлені в лабораторії?
2. Назвіть основні правила техніки безпеки при роботі з обладнанням лабораторії зварювальних джерел живлення.
3. Наведіть приклади умовних позначень елементів електричних схем та позначок на панелях керування зварювальних джерел живлення.

Лабораторна робота № 1
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**
(2 год)

Мета роботи: 1. Вивчити властивості дугового розряду, який використовується при дуговому зварюванні вольфрамовим електродом в інертних газах постійним струмом. 2. Практично оволодіти навичками регулювання струму дуги за допомогою баластного реостата. 3. Експериментально визначити основні залежності між параметрами дугового розряду при зварюванні струмом прямої полярності.

Теоретичні відомості

Електрична дуга є одним із видів електричних розрядів у газах, при якому спостерігається проходження електричного струму через газовий проміжок під впливом електричного поля. Зварювальною дугою називають електричний розряд, що використовується як високоінтенсивне технологічне джерело енергії в різноманітних процесах зварювання плавленням. Зокрема, за допомогою зварювальної дуги в захисних інертних газах (частіше в аргоні, рідше – в гелії або його суміші з аргонном) виконують ручне, механізоване та автоматичне зварювання спеціальних сталей, кольорових металів і сплавів. При цьому одним з найбільш поширених способів є зварювання неплавким (вольфрамо-

вим) електродом, яке виконується постійним або змінним струмом*.

Слід мати на увазі, що постійний струм прямої полярності забезпечує найбільшу стійкість вольфрамового електрода. Зварювання постійним струмом зворотної полярності утруднено через можливість розплавлення електрода.

Змінний струм використовують при зварюванні алюмінію та його сплавів, коли шкідливий вплив поверхневих тугоплавких оксидних плівок на стійкість дугового процесу усувається за рахунок «катодного розпилення» у ті півперіоди, коли зварюваний виріб стає катодом.

З метою обґрунтованого вибору типу зварювального джерела живлення необхідно знати взагалі основні електричні параметри дугового розряду, який є головним навантаженням джерела живлення, та закономірності їх зміни під дією зовнішніх факторів, зокрема довжини дуги та сили зварювального струму.

В даній роботі за допомогою лабораторної установки (рис. 1.1) експериментально досліджуються електричні характеристики дугового розряду, що використовується при аргоно-дуговому зварюванні постійним струмом прямої полярності.

Для цього необхідно візуально вивчити форму зварювальної дуги, її зміну при зміні довжини розрядного проміжку та сили зварювального струму; встановити вплив довжини і струму в дузі на напругу, визначити напруженість електричного поля дуги.

**Примітка.* Повне найменування та умовне позначення (абревіатура) процесів зварювання неплавким електродом в інертних газах: Дугове зварювання вольфрамовим електродом в інертних газах із присадним дротом чи без нього – ВІГ (Україна); Tangsten Inert Gas Welding – TIG (Європа); Gas Tangsten Arc Welding – GTAW (США); 141 – цифровий код за EN ISO 4063.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Джерело живлення постійного струму – зварювальний випрямляч ВС-300А (або ВСЖ-303).
2. Баластний реостат типу РБ-300 (або блок баластних реостатів ББР-1200).
3. Лабораторна дослідницька установка.
4. Вольфрамовий електрод $\varnothing 3,2$ мм.
5. Газова апаратура (балон з аргоном, редуктор, шланг).
6. Система водяного охолодження зварювального пальника.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією та роботою дослідницької установки (див. рис. 1.1), вивчити електричну схему дослідів (рис. 1.2) та спосіб регулювання зварювального струму за допомогою баластного реостата R .

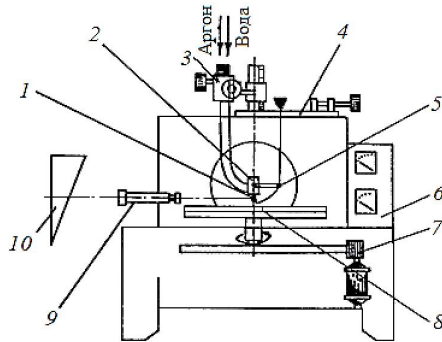


Рис. 1.1. Установка для дослідження електричних характеристик зварювальної дуги постійного струму в аргоні:

1 – вольфрамовий електрод – катод; 2 – електродотримач; 3 – механізм вертикального переміщення катода з лінійкою; 4 – механізм горизонтального переміщення катода; 5 – пристрій підпалювання дуги; 6 – блок вимірювальних приладів; 7 – механізм обертання рухомого електрода; 8 – рухомий електрод – анод; 9 – проєкційний пристрій; 10 – екран

2. Перевірити роботу механізмів установки без збудження дугового процесу.

4. Π . $\cdot$ $\cdot$

[illegible]6. Рациональные до допомогого механізму перомінування

7 Виміряти циліндр у пучці // та заескізувати (або сфо-

Таблиця 1.1. Характеристики зварювальної дуги при зміні її довжини та сили струму

№ дослідів	Параметри режиму горіння дуги			Форма зварювальної дуги**
	Справжня довжина дуги l_d , мм	Струм I_d , А	Напруга U_d , В	
1	5	150		
2	10			—
3	15			—
4	20			
5	5	230		
6	10			—
7	15			—
8	20			
9	5	100		
10		130		—
11		160		—
12		190		—
13		220		—
14		250		
15	15	100		
16		130		—
17		160		—
18		190		—
19		220		—
20		250		

**Примітка. Форму дуги фіксувати у дослідях №№ 1, 4, 5, 8, 9, 14, 15, 20.

8. Збільшуючи довжину дуги з кроком 5 мм, тричі повторити дослід за п. 7. Результати дослідів № 2–№ 4 занести (з урахуванням примітки**) в табл. 1.1.

9. Встановити за допомогою механізму переміщення катода довжину дуги $l_d = 5$ мм, а за допомогою баластного реостата – силу струму $I_d = 230$ А.

10. Повторити досліди за п.п. 7 та 8. Результати дослідів № 5–№ 8 занести (з урахуванням примітки**) в табл. 1.1.

11. Встановити за допомогою механізму переміщення катода довжину дуги $l_d = 5$ мм, а за допомогою баластного реостата – силу струму $I_d = 100$ А. Виміряти напругу в дузі U_d , заескізувати (або сфотографувати) форму проєкції дуги на екрані. Результати дослідів № 9 занести в табл. 1.1.

12. Повторити дослід за п. 11, збільшуючи силу струму відповідно до дослідів № 10–№ 14. Результати занести (з урахуванням примітки**) в табл. 1.1.

13. Встановити за допомогою механізму переміщення катода довжину дуги $l_d = 15$ мм, а за допомогою баластного реостата – силу струму $I_d = 100$ А. Виміряти напругу в дузі U_d , заескізувати (або сфотографувати) форму проєкції дуги на екрані. Результати дослідів № 15 занести в табл. 1.1.

14. Повторити дослід за п. 13, збільшуючи силу струму відповідно до дослідів № 16–№ 20. Результати (з урахуванням примітки**) занести в табл. 1.1.

15. За отриманими результатами дослідів № 1–№ 8 побудувати графіки залежності $U_d = f(I_d)$ при двох значеннях сили струму I_d .

16. За результатами дослідів № 9–№ 20 побудувати сімейство статичних вольт-амперних характеристик дуги (СХД) $U_d = f(I_d)$ при двох значеннях довжини дуги l_d .

17. За формулою $E_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d} \left[\frac{B}{\text{мм}} \right]$ розрахувати градієнт напруги в дузі, використовуючи графіки функцій $U_d = f(l_d)$ та $U_d = f(I_d)$, порівняти значення та пояснити результати.

Оформлення звіту

Звіт повинен вмішувати: 1) мету роботи; 2) схему підключення апаратури та вимірювальних приладів для проведення дослідів; 3) таблицю результатів дослідів; 4) короткі пояснення до ескізів (фотографій) форми дуги; 5) графіки залежностей $U_d = f(I_d)$ та $U_d = f(I_d)$; 6) розрахунки градієнта напруги в дузі з оцінкою результатів порівняння; 7) висновки з роботи.

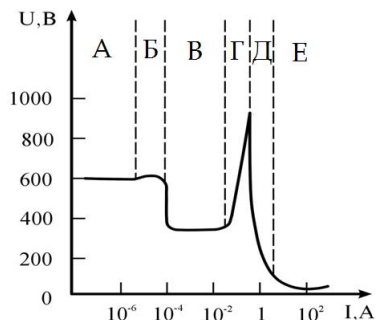
Контрольні питання

1. У чому полягає фізична суть зварювальної дуги?
2. Якими параметрами характеризується режим горіння зварювальної дуги?
3. Чим пояснюється зміна форми дуги при зміні її довжини або сили струму в ній?
4. Як впливає довжина дуги на падіння напруги в ній?
5. Які фактори обумовлюють форму статичної вольт-амперної характеристики дуги?
6. Яку силову характеристику електричного поля зварювальної дуги визначає градієнт напруги? Від чого залежить його величина?

Типові тестові завдання

Тестове завдання 1

1. Вкажіть букву, яка позначає на даній вольт-амперній характеристиці область дугового розряду.



2. Який діапазон найменшої напруги (у вольтах) між електродом і заготовкою є достатнім для збудження зварювальної дуги способом короткого замикання?

А. 1...5.

В. 50...100.

Б. 10...30.

Г. 200...1000.

3. Виберіть правильну та найбільш повну відповідь.

Зварювальна дуга вважається нелінійним елементом електричного кола, тому що:

А. Крім електронів, в дузі є інші носії зарядів.

Б. У приелектродних областях та стовпі дуги протікають різні фізичні процеси.

В. Довжина дуги безперервно змінюється в процесі зварювання.

Г. Падіння напруги в дузі не залежить від сили зварювального струму.

4. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Фактори і причини, під дією яких у дуговому розряді відбувається емісія електронів з катода:

А. Термоелектронна
емісія.

1. Напруженість елек-
тричного поля.

Б. Автоелектронна.

2. Висока температура.

5. Яка компонента струму звичайно переважає у зварювальній дузі?

А. Електронна.

Б. Іонна.

В. Електронно-іонна суміш.

Г. Цю компоненту визначає тип джерела живлення.

6. Вкажіть букву, яка визначає місце знаходження позитивного полюсу при дуговому зварюванні постійним струмом зворотної полярності.

А. На електроді.

Б. На заготовці.

В. Положення полюсу залежить від типу джерела струму.

Г. Положення полюсу залежить від зварюваного матеріалу.

7. Яка із ділянок зварювальної дуги має найменшу протяжність?

А. Катодна область.

Б. Стовп дуги.

В. Анодна область.

Г. Протяжність усіх ділянок однакова.

8. В якій із ділянок зварювальної дуги напруженість електричного поля найбільша?

А. Стовп дуги.

Б. Анодна область.

В. Катодна область.

Г. Всі ділянки рівнозначні.

9. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Орієнтовний розподіл падіння напруги по областях зварювальної дуги.

Область дуги

Падіння напруги [В]

1. Анодна

А. 5 ... 20

2. Стовп дуги

Б. 14 ... 30

3. Катодна

В. 2 ... 10

10. Виберіть правильну та найбільш повну відповідь.

Чим пояснюється квазинейтральність стовпа дуги?

А. Електрони швидко передають свою енергію іонам, атомам, молекулам газу.

Б. Довжина стовпа дуги значно відрізняється від довжини приелектродних областей.

В. У кожному перерізі стовпа дуги приблизно однакова кількість позитивно та негативно заряджених частинок.

Г. Позитивно та негативно заряджені частинки рухаються у протилежних напрямках.

11. Вкажіть найбільш повну та правильну відповідь.

До факторів, що впливають на величину падіння напруги у зварювальній дузі, належать:

А. Довжина дуги, рід струму, електропровідність електродів та газового середовища.

Б. Рід струму, сила струму та теплопровідність газового середовища.

В. Сила струму, довжина дуги, електропровідність електродів та захисного середовища.

Г. Електропровідність електродів, полярність струму та довжина дуги.

12. Вкажіть формулу, що визначає падіння потенціалу у стовпі дуги:

$$\text{А. } U_{\text{ст}} = \frac{I_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}}}{\gamma_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ст}}}$$

$$\text{В. } U_{\text{ст}} = \frac{S_{\text{ст}} \cdot l_{\text{д}}}{\gamma_{\text{ст}} \cdot I_{\text{д}}}$$

$$\text{Б. } U_{\text{ст}} = \frac{I_{\text{д}} \cdot S_{\text{ст}}}{\gamma_{\text{ст}} \cdot l_{\text{д}}}$$

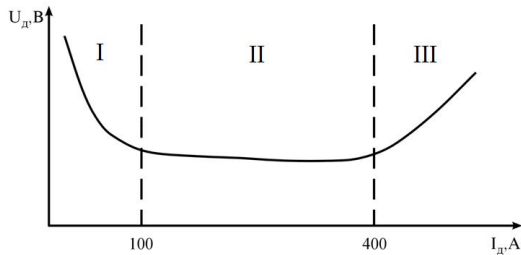
$$\text{Г. } U_{\text{ст}} = \frac{\gamma_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ст}}}{I_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}}}$$

13. Вкажіть буквою, яке із поданих слів або словосполучень слід вставити у наступне визначення.

Статичною вольт-амперною характеристикою дуги (СХД) називається залежність напруги в дузі від сили струму в ній при незмінній _____ дуги.

- А. Теплопровідності. В. Площі поперечного перерізу.
Б. Довжині. Г. Електричній потужності.

14. Встановіть у вигляді комбінації цифр і букв зв'язок між областю форми СХД та способом зварювання.



Область СХД

Спосіб зварювання

I

А. Автоматичне в CO_2 .

II

Б. Ручне дугове покритим електродом.

III

В. Механізоване під флюсом.

15. Встановіть у вигляді комбінації цифр і букв відповідність між параметрами зварювальної дуги:

Форма СХД

*Густина струму,
 $\text{A}/\text{мм}^2$*

Диференціальний опір дуги

1. Спадаюча

А. 100...350

$\alpha. \frac{dU_d}{dI} = 0.$

2. Жорстка

Б. 30...125

$\beta. \frac{dU_d}{dI} > 0.$

3. Зростаюча

В. 5...25

$\gamma. \frac{dU_d}{dI} < 0.$

16. Як впливає діаметр електрода на положення границі переходу від жорсткої СХД до зростаючої?

А. При збільшенні діаметра електрода границя зміщується у бік більшої густини струму.

Б. При збільшенні діаметра електрода границя зміщується у бік меншої густини струму.

В. Положення границі не залежить від діаметра електрода.

17. Зовнішня вольт-амперна характеристика зварювального джерела живлення називається жорсткою, якщо в робочому діапазоні струмів падіння напруги [В/А] не перевищує:

А. 0,05.

В. 0,07.

Б. 0,5.

Г. 0,7.

18. Вкажіть правильний запис рівняння динамічної рівноваги енергетичної системи «джерело живлення – зварювальна дуга»:

А. $U_{\text{дж}} = U_{\text{д}} - L \frac{dI}{dt}$.

В. $U_{\text{дж}} = U_{\text{д}} + L \frac{dI}{dt}$.

Б. $U_{\text{д}} = U_{\text{дж}} + L \frac{dI}{dt}$.

Г. $U_{\text{д}} = U_{\text{дж}} - L \frac{dI}{dt}$.

19. Яким рівнянням визначається значення коефіцієнта динамічної стійкості енергетичної системи «джерело живлення – дуга»?

А. $k_{\text{ст}} = \frac{\partial U_{\text{д}}}{\partial I} + \frac{\partial U_{\text{дж}}}{\partial I}$.

В. $k_{\text{ст}} = \frac{\partial U_{\text{д}}}{\partial I} \pm \frac{\partial U_{\text{дж}}}{\partial I}$.

Б. $k_{\text{ст}} = \frac{\partial U_{\text{д}}}{\partial I} - \frac{\partial U_{\text{дж}}}{\partial I}$.

Г. $k_{\text{ст}} = \frac{\partial U_{\text{дж}}}{\partial I} - \frac{\partial U_{\text{д}}}{\partial I}$.

20. Виберіть найбільш правильний запис умови стійкої роботи системи «джерело живлення – дуга»:

А. $k_{\text{ст}} > 0$.

В. $k_{\text{ст}} = 0$.

Б. $k_{\text{ст}} \geq 0$.

Г. $k_{\text{ст}} < 0$.

Лабораторна робота № 2

ТРАНСФОРМАТОР З МЕХАНІЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ СТРУМУ ТДМ-317 (2 год)

Мета роботи: 1. Вивчити конструкцію та електричну схему трансформатора. 2. Вивчити принцип формування зовнішньої вольт-амперної характеристики та засоби регулювання сили зварювального струму. 3. Експериментально визначити експлуатаційні та енергетичні характеристики трансформатора.

Теоретичні відомості

Зварювальний трансформатор перетворює напругу мережі 220 або 380 В у знижену, необхідну для зварювання. Всі зварювальні трансформатори є трансформаторами напруги. Головною перевагою трансформаторів є низька вартість їх виготовлення (у 2–4 рази дешевше за зварювальні випрямлячі та у 6–8 разів – за зварювальні машинні перетворювачі однакової потужності). Трансформатори також дешевші за інші джерела живлення в експлуатації та мають відносно високий коефіцієнт корисної дії (приблизно 0,7...0,9), низькі питомі витрати електроенергії (приблизно 2...4 кВт·год на 1 кг розплавленого електродного металу). Крім того, трансформатори простіші в експлуатації та легко піддаються ремонту.

В основу роботи трансформатора, як відомо, покладено явище електромагнітної індукції, яке полягає у тому, що при зміні магнітного потоку всередині контуру, який охоплений провідником, у цьому провіднику виникає електрорушійна сила (е.р.с.), а при замиканні провідника у ньому з'являється струм.

Більшість зварювальних трансформаторів, на відміну від силових, мають підвищене розсіювання магнітного потоку, завдяки чому формується природна спадна зовнішня характеристика і забезпечується стійке горіння дуги.

У залежності від електромагнітної схеми трансформатори з механічним регулюванням зварювального струму поділяють на трансформатори з рухомими обмотками, з рухомими магнітними шунтами і з реактивною обмоткою. Серед них найбільш розповсюдженою групою є трансформатори, в яких магнітні потоки Φ , відповідно, зварювальний струм регулюються шляхом розсування обмоток по висоті магнітопроводу або введенням у вікно магнітопроводу рухомих шунтів з магнітного матеріалу.

До основних експлуатаційних та техніко-економічних показників зварювальних трансформаторів відносять форму зовнішньої статичної вольт-амперної характеристики, кратність регулювання зварювального струму та коефіцієнт корисної дії. Важливим енергетичним показником, що визначає крутизну зовнішньої характеристики, є величина індуктивного опору трансформатора.

В даній роботі слід вивчити конструкцію та дослідити роботу однопостового зварювального трансформатора ТДМ-317 з рухомою вторинною обмоткою і визначити для нього вказані вище показники.

Трансформатор ТДМ-317У2 з підвищеним магнітним розсіюванням (внаслідок збільшеної відстані між обмотками) призначений для ручного дугового зварювання, різан-

ня та наплавлення однофазним змінним струмом частотою 50 Гц. Технічна характеристика трансформатора наведена у додатку 2.

Магнітопровід (сердечник) трансформатора ТДМ-317 (рис. 2.1) стержньового типу має безшпильну конструкцію і набраний з листів холоднокатаної сталі марки 3414 товщиною 0,35 мм.

Котушки обмоток у вигляді дисків розташовані симетрично на двох стержнях магнітопроводу. На кожному стержні розміщено по одній котушці первинної ОП та вторинної ОВ обмоток (рис. 2.2). Кожна первинна котушка складається з двох частин ОП1 та ОП2. Попарне паралельне з'єднання котушок відповідає діапазону великих струмів (ВС), послідовне – діапазону малих струмів (МС). Перемикач котушок і, відповідно, діапазонів здійснюється перемикачем ножового типу *S* одночасно у колах первинної та вторинної обмоток.

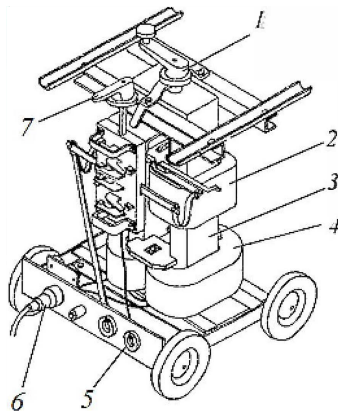


Рис. 2.1. Трансформатор ТДМ-317 (без кожуха):

- 1 – рукоятка механізму пересування вторинної обмотки; 2 – вторинна обмотка;
3 – сердечник; 4 – первинна обмотка; 5 – штирьовий рознімач для підключення
зварювального кабелю; 6 – рознімач для підключення до мережі;
7 – перемикач діапазонів струму

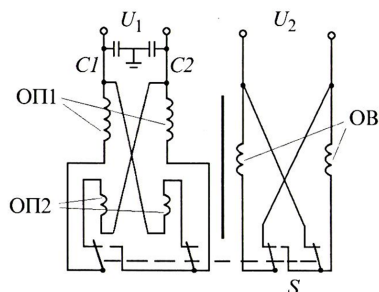


Рис. 2.2. Схема включення обмоток трансформатора ТДМ-317

Первинна обмотка виконана ізолюваним алюмінієвим дротом та нерухомо закріплена біля нижнього ярма, вторинна – гола алюмінієва шина, що намотана «на ребро», закріплена в ізоляційній обоймі, яка пересувається. Через верхнє ярмо магнітопроводу пропущений ходовий гвинт, який вкручується в ходову гайку, вмонтовану в обойму рухомої обмотки.

При обертанні ходового гвинта рукояткою, що знаходиться зверху трансформатора, змінюється відстань між обмотками та плавно регулюється зварювальний струм. Всі струмоведучі частини трансформатора закриті захисним кожухом.

Для визначення сили зварювального струму передбачений струмовказівний механізм. Шкала струмовказівника розміщена на боковій стороні захисного кожуха трансформатора і градуйована для двох діапазонів струму при номінальній напрузі мережі; точність показання шкали складає $\pm 7,5\%$ від значення максимального струму, указанного на шкалі, і є орієнтовною.

Підключення проводів мережі виконується за допомогою спеціальної дошки затискачів, а зварювальних кабелів – штирьовими рознімачами. Трансформатор обладнаний ємнісним фільтром з конденсаторів C1 і C2 для зниження

перешкод до радіоприйому, які виникають при роботі трансформатора.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Трансформатор ТДМ-317У2.
2. Блок баластних реостатів ББР-1200.
3. Вимірювальні прилади (амперметри, трансформатори струму, вольтметри, ватметри).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію трансформатора ТДМ-317У2 та його електричну схему.
2. Познайомитися зі схемою підключення вимірювальних приладів для проведення дослідів (рис. 2.3).

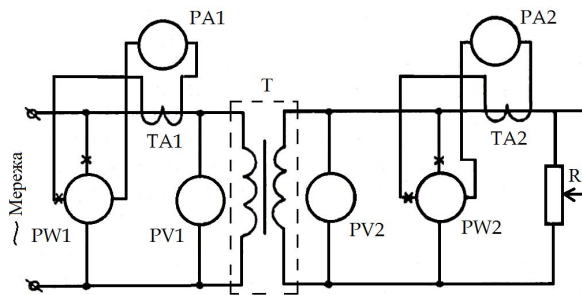


Рис. 2.3. Схема підключення обладнання та вимірювальних приладів

3. Перевірити під наглядом лаборанта або викладача роботу вимірювальної схеми в режимі холостого ходу трансформатора та під навантаженням.
4. Встановити перемикачем S діапазон малих струмів трансформатора, а за допомогою ходового гвинта – найбільшу відстань $l_{\max}$ між обмотками ОП і ОВ. Прийняти, що встановлена відстань відповідає числу обертів ходового гвинта $n = 0$.
5. Поміряти параметри $U_1, I_1, P_1, U_2, I_2, P_2$ при використанні блоку баластних реостатів РБ-1200 як наванта-

ження R . Результати вимірювання параметрів від режиму холостого ходу до короткого замикання трансформатора занести в табл. 2.1. Проміжні значення навантаження вибираються довільно в межах діапазону.

6. За допомогою ходового гвинта наблизити обмотки трансформатора до найменшої відстані $l_{\min}$, що відповідає $n \approx 100$. Поміряти параметри за п. 5 у нових умовах дослідів. Результати занести в табл. 2.1.

7. Встановити перемикачем S діапазон великих струмів трансформатора і повторити досліди при відповідних відстанях $l_{\max}$ ($n = 0$) та $l_{\min}$ ($n \approx 100$). Результати занести в табл. 2.1.

8. Знову виконати роботи за п. 4, додатково за допомогою опору R встановити напругу $U_2 = 32,6$ В і поміряти силу струму при цьому. Результат занести у табл. 2.2.

9. Через обертання ходового гвинта з інтервалом $n = 20$ обертів зменшувати відстань між обмотками ОП і ОВ, вимірювати силу струму, підтримуючи напругу $U_2 = 32,6$ В. Результати занести у табл. 2.2.

10. Встановити перемикачем S діапазон великих струмів і повторити досліди за п.п. 8, 9. Результати занести у табл. 2.2.

11. За результатами дослідів побудувати залежності $U_1 = f(I_1)$, $U_2 = f(I_2)$, $I_1 = f(I_2)$ – для діапазонів малих (МС) та великих (ВС) струмів. Усі графіки функцій $U_2 = f(I_2)$ – зовнішніх характеристик трансформатора – мають бути виконані на одному рисунку.

12. Розрахувати навантажувальну функцію трансформатора за формулою $U_2 = 20 + 0,04I_2$ і накласти її на графіки функцій $U_2 = f(I_2)$.

13. Визначити граничні значення струму I_2 та розрахувати кратність регулювання зварювального струму за

формулою $k_i = \frac{I_{2\max}}{I_{2\min}}$. Порівняти результат розрахунку з

нормативним значенням показника.

14. Побудувати на одному рисунку графіки регулювальних характеристик трансформатора $I_2 = f(n)$ для двох діапазонів струму та розрахувати кратність регулювання зварювального струму. Порівняти результат розрахунку з отриманим раніше з використанням сімейства зовнішніх вольт-амперних характеристик.

15. Розрахувати значення $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$, η та побудувати графіки залежностей $\cos \varphi_1 = f(I_2)$, $\cos \varphi_2 = f(I_2)$, $\eta = f(I_2)$ – також для двох діапазонів струмів і граничних відстаней між обмотками трансформатора.

16. Розрахувати за формулою $X_T = \frac{U_0}{I_{\text{к.з}}}$ значення X_T для двох діапазонів струму і побудувати графіки залежності $I_{\text{к.з}} = f(X_T)$. Пояснити результати.

Таблиця 2.1. Результати дослідів

Включення котушок обмоток (діапазон зварювальних струмів)	Відстань між обмотками l (число обертів ходового гвинта n)	Вимірювання						Розрахунок		
		Первинне коло			Вторинне коло			Вторинне коло		
		I_1 , А	P_1 , Вт	U_1 , В	I_2 , А	P_2 , Вт	$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}$	$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{U_2 I_2}$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$	$X_T = \frac{U_0}{I_{к.з.}}$, Ом
		U_1 , В	Вт	В	А	Вт				
Послідовне (МС)	Найбільша $I_{\max}$ (n = 0)	5–6 значень								
	Найменша $I_{\min}$ (n ≈ 100)	5–6 значень								
Паралельне (ВС)	Найбільша $I_{\max}$ (n = 0)	5–6 значень								
	Найменша $I_{\min}$ (n ≈ 100)	5–6 значень								

Таблиця 2.2. Дослідження регулювальної характеристики

Діапазон струмів		МС						ВС					
Відстань між обмотками l (число обертів ходового гвинта n)		n = 0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
I_2 , А													

Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати: 1) мету роботи; 2) короткий опис конструкції трансформатора, його електричну схему та технічну характеристику; 3) електричну схему підключення обладнання та вимірювальних приладів; 4) таблиці результатів дослідів; 5) графіки зовнішніх та регулювальних характеристик трансформатора; 6) графіки функцій $\cos \varphi_1 = f(I_2)$, $\cos \varphi_2 = f(I_2)$; $\eta = f(I_2)$; $I_{к.з} = f(X_T)$; 7) результати розрахунків показників k_i та X_T ; 8) висновки з роботи.

Контрольні питання

1. З яких конструктивних вузлів складається трансформатор ТДМ-317?
2. У чому полягає принцип формування спадної зовнішньої вольт-амперної характеристики даного трансформатора?
3. Який параметр трансформатора визначає крутизну його зовнішньої характеристики?
4. Якими засобами здійснюється ступінчасте та плавне регулювання зварювального струму трансформатора?
5. За яких умов визначається регулювальна характеристика даного трансформатора?
6. Які фактори впливають на значення показників η та X_T ?

Тестове завдання 2

1. Виберіть та вкажіть буквою необхідне слово для закінчення речення.

Зварювальним трансформатором називається статичний електромагнітний апарат, призначений для перетворення первинної системи змінного струму у вторинну, що має знижену напругу та великі струми, без зміни їх

А. Потужності.

В. Опору.

Б. Частоти.

Г. Індуктивності.

2. Яке фізичне явище покладено в основу роботи зварювального трансформатора?

А. Намагнічування речовини.

Б. Термоелектронної емісії.

В. Електромагнітної індукції.

Г. Електростатичної індукції.

3. Який діапазон номінальних струмів трансформаторів для ручного дугового зварювання покритим електродом відповідає стандартному?

А. 50...120 А.

В. 120...500 А.

Б. 120...315 А.

Г. 315...630 А.

4. Як впливає наявність кремнію у хімічному складі електротехнічної сталі, з якої виготовляють магнітопровід, на експлуатаційні характеристики зварювального трансформатора?

А. Зменшує збитки потужності на вихрові струми.

Б. Розширює діапазон регулювання струму.

В. Підвищує напругу холостого ходу.

Г. Усі відповіді правильні.

5. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Для чого магнітопровід зварювальних трансформаторів виготовляється?

А. Із електротехнічної, а не звичайної сталі.

Б. Із окремих тонких ізольованих між собою листів.

1. Для зменшення збитків на вихрові струми.

2. Для зменшення збитків на гістерезис.

6. Чому магнітопроводи високочастотних силових трансформаторів зварювальних установок виготовляють із феритів?

А. Ферити зберігають високу магнітну проникність у широкому діапазоні частот.

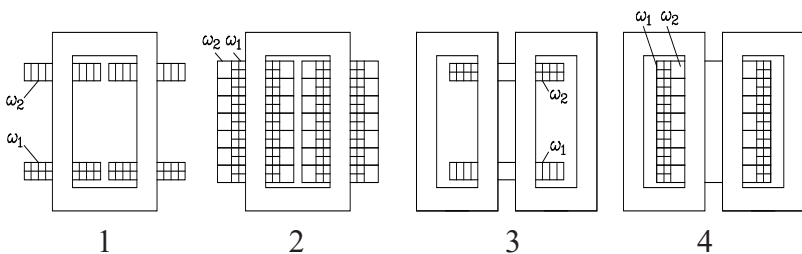
Б. Ферити мають більшу міцність у порівнянні з електротехнічною сталлю.

В. Ферити дешевші за електротехнічну сталь.

Г. Усі відповіді правильні.

7. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Основні конструкції зварювальних трансформаторів



А. Броньовий з дисковими обмотками.

Б. Броньовий з циліндричними обмотками.

В. Стрижневий з дисковими обмотками.

Г. Стрижневий з циліндричними обмотками.

8. Який принцип найбільш точно визначає основу роботи зварювального трансформатора?

А. Електрична взаємодія двох незв'язаних між собою провідників струму.

Б. Електромагнітна взаємодія двох контурів, які нерухомі один відносно другого.

В. Електромагнітна взаємодія двох провідників струму.

Г. Магнітна взаємодія двох контурів, що рухаються один відносно другого.

9. Який коефіцієнт характеризує величину магнітного потоку розсіювання у зварювальних трансформаторах?

А. Трансформації.

Б. Магнітного зв'язку.

В. Корисної дії.

Г. Потужності.

10. Вкажіть правильний запис формули для розрахунку напруги холостого ходу трансформатора з підвищеним магнітним розсіюванням.

А. $U_1 = U_0 \frac{w_1 k_{\mu 12}}{w_2}.$

В. $U_0 = U_1 \frac{w_1 k_{\mu 12}}{w_2}.$

Б. $U_0 = U_1 \frac{w_2 k_{\mu 12}}{w_1}.$

Г. $U_0 = U_1 \frac{w_2}{w_1 k_{\mu 12}}.$

11. Виберіть найбільш повну та правильну відповідь.

Які параметри визначають величину е.р.с., що індукується у вторинній обмотці зварювального трансформатора?

А. Величина магнітного потоку, частота струму та відношення числа витків первинної і вторинної обмоток.

Б. Напруга живлячої мережі, величина магнітного потоку та число витків первинної обмотки.

В. Величина магнітного потоку, частота струму та число витків вторинної обмотки.

Г. Напруга живлячої мережі, частота струму та число витків вторинної обмотки.

12. Індуктивний опір трансформатора з підвищеним магнітним розсіюванням розраховується за формулою:

А. $X_{\tau} = \frac{W_2^2}{\omega R_{\mu}}$.

В. $X_{\tau} = \frac{\omega R_{\mu}}{W_2^2}$.

Б. $X_{\tau} = \frac{\omega W_2^2}{R_{\mu}}$.

Г. $X_{\tau} = \omega R_{\mu} W_2^2$.

13. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв між режимом роботи і значеннями вихідних параметрів зварювального трансформатора.

Режим роботи

Параметри

1. Холостий хід

А. $I_2 = I_p$; $U_2 = U_p$.

2. Зварювання

Б. $I_2 = 0$; $U_2 = U_0$.

3. Коротке замикання

В. $I_2 = I_{\max}$; $U_2 = 0$.

14. Вкажіть правильний запис рівняння у комплексній формі зовнішньої вольт-амперної характеристики зварювального трансформатора.

А. $\dot{I}_2 = \dot{U}_0 - \dot{U}_2 Z_e$.

В. $\dot{U}_0 = \dot{U}_2 - \dot{I}_2 Z_e$.

Б. $\dot{I}_2 = \dot{U}_0 + \dot{U}_2 Z_e$.

Г. $\dot{U}_2 = \dot{U}_0 - \dot{I}_2 Z_e$.

15. Вкажіть установленний стандартом діапазон номінальних струмів трансформаторів для автоматичного зварювання під флюсом.

А. 315...1000 А.

В. 1000...2000 А.

Б. 500...1200 А.

Г. 1200...3000 А.

16. Виберіть відмітні ознаки, які характеризують зварювальні трансформатори з розвиненим електромагнітним розсіюванням.

А. Малий індуктивний опір та спадна зовнішня ВАХ.

Б. Великий індуктивний опір та спадна зовнішня ВАХ.

В. Малий індуктивний опір та жорстка зовнішня ВАХ.

Г. Великий індуктивний опір та жорстка зовнішня ВАХ.

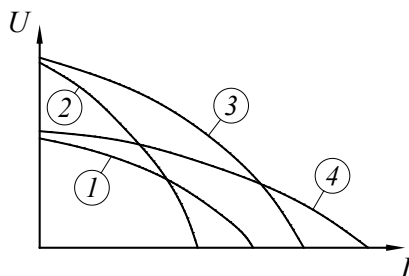
17. Внаслідок чого у трансформаторі з рухомими обмотками при збільшенні відстані між ними зварювальний струм зменшується?

- А. Зменшується індуктивний опір трансформатора.
- Б. Зростає індуктивний опір трансформатора.
- В. Зменшується активний опір трансформатора.
- Г. Зростає активний опір трансформатора.

18. Чому зварювальні трансформатори з механічним регулюванням струму використовуються, головним чином, для ручного дугового зварювання?

- А. Забезпечують стійке та стабільне горіння дуги.
- Б. Мають дешеві конструктивні рішення.
- В. Дозволяють просто формувати потрібну форму зовнішньої ВАХ.
- Г. Усі відповіді правильні.

19. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв між зовнішніми ВАХ трансформатора з рухомими обмотками, показаними на рисунку, і параметрами регулювання струму.



- А. Відстань між обмотками найбільша, котушки з'єднані послідовно.
- Б. Відстань між обмотками найменша, котушки з'єднані послідовно.
- В. Відстань між обмотками найбільша, котушки з'єднані паралельно.

Г. Відстань між обмотками найменша, котушки з'єднані паралельно.

20. Головним недоліком зварювальних трансформаторів з рухомими обмотками є:

- А. Вузький діапазон регулювання струму.
- Б. Значні витрати активних матеріалів.
- В. Вібрація рухомих частин.
- Г. Велика маса і габарити.

Лабораторна робота № 3

ТИРИСТОРНИЙ ТРАНСФОРМАТОР ТДФЖ-1002 (4 год)

Мета роботи: 1. Вивчити конструкцію та електричну схему трансформатора ТДФЖ-1002УЗ. 2. Вивчити спосіб фазового регулювання зварювального струму та будову системи імпульсно-фазового керування (СФК) трансформатора. 3. Експериментально дослідити роботу СФК при формуванні зовнішньої характеристики трансформатора. 4. Визначити експлуатаційні та техніко-економічні показники трансформатора.

Теоретичні відомості

3.1. Загальна будова тиристорного трансформатора

Тиристорними називають зварювальні трансформатори (ТТ), в основу роботи яких покладений спосіб фазового регулювання струму. Головним вузлом ТТ є тиристорний фазорегулятор (ФР), який працює у комплекті з силовим трансформатором. Фазорегулятор складається з двох зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів та системи керування фазою їх вмикання.

Спосіб фазового регулювання змінного струму заснований на перетворенні синусоїдального струму у знакозмінні імпульси, амплітуда та тривалість яких визначаються кутом (фазою) вмикання тиристорів.

Розроблені конструкції сучасних ТТ дозволяють реалізувати, у порівнянні з іншими способами, переваги фазового регулювання струму: знизити масу і спростити конструкцію силового трансформатора та всього джерела в цілому, сформувати зовнішні характеристики потрібного виду, стабілізувати режим зварювання при різних збуреннях, керувати постійною складовою зварювального струму, забезпечити можливість автоматизації, програмування та модуляції режиму зварювання, забезпечити зниження вихідної напруги при холостому ході.

Однопостовий трансформатор ТДФЖ-1002УЗ (рис. 3.1), призначений для автоматичного дугового зварювання під флюсом, належить до тиристорних трансформаторів переривного струму з імпульсною стабілізацією дуги.

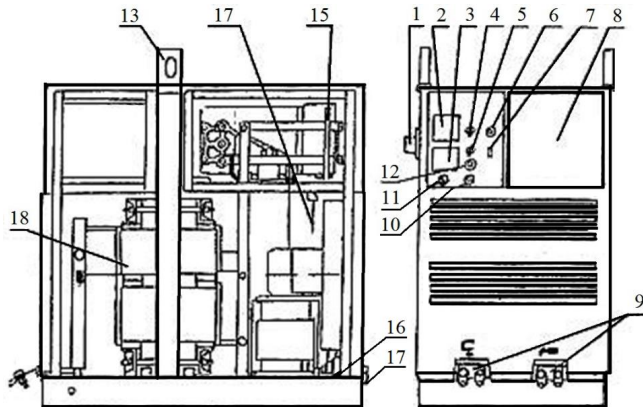


Рис. 3.1. Загальний вигляд трансформатора:

1 – автоматичний вимикач; 2 – вольтметр; 3 – амперметр; 4 – потенціометр плавного регулювання струму та напруги; 5 – тумблер місцевого та дистанційного режиму роботи; 6 – сигнальна лампочка; 7 – автоматичний вимикач кіл керування; 8 – відсік для апаратури керування автоматом; 9 – затискачі підключення зварювальних кабелів; 10 – кнопка «Стоп»; 11 – вимикач «Зварювання увімкнено»; 12 – кнопка «Пуск»; 13 – підйомні скоби; 14 – повітряне реле; 15 – панель перемикання діапазонів зварювального струму; 16 – панель підключення мережі живлення; 17 – болт заземлення; 18 – силовий трансформатор

Технічна характеристика трансформатора наведена у додатку 2, табл. 2.1Д, його структурна схема наведена на рис. 3.2, а принципова електрична – на рис. 3.3.

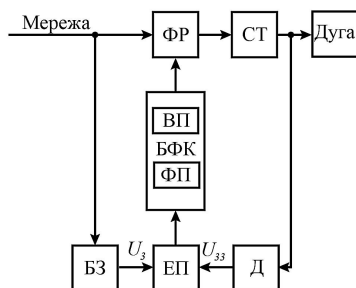


Рис. 3.2. Структурна схема трансформатора ТДФЖ-1002:

ФР – тиристорний фазорегулятор; СТ – силовий трансформатор; БФК – блок фазового керування (ФП – фазозсувний пристрій; ВП – вихідний підсилювальний пристрій); БЗ – блок завдання напруги; ЕП – елемент порівняння; Д – датчик сигналу зворотного зв'язку

Тиристорний трансформатор ТДФЖ-1002 складається з безпосередньо силового трансформатора (див. СТ на рис. 3.2 та Т1 на рис. 3.3) з особливим розміщенням обмоток, двох силових тиристорів VS1 і VS2, що входять до складу блоку ФР і регулюють напругу на первинній обмотці трансформатора Т1, блоку фазового керування БФК, змонтованого на платі Е2, і блоку формування напруги (плата Е3), що керує допоміжними блоками та пусковими і захисними колами.

Силовий трансформатор Т1 має набірний стержневий магнітопровід безшпильної конструкції, виготовлений із сталі марки 3413 товщиною 0,35 мм. Котушки I–IV первинної, V–VIII вторинної силових обмоток та котушки XI–XII обмотки імпульсної стабілізації виготовлені з алюмінієвих шин, намотаних «на ребро» і розміщені симетрично на двох стержнях сердечника. Відстань між первинною та вторинною обмотками становить 2...4 см.

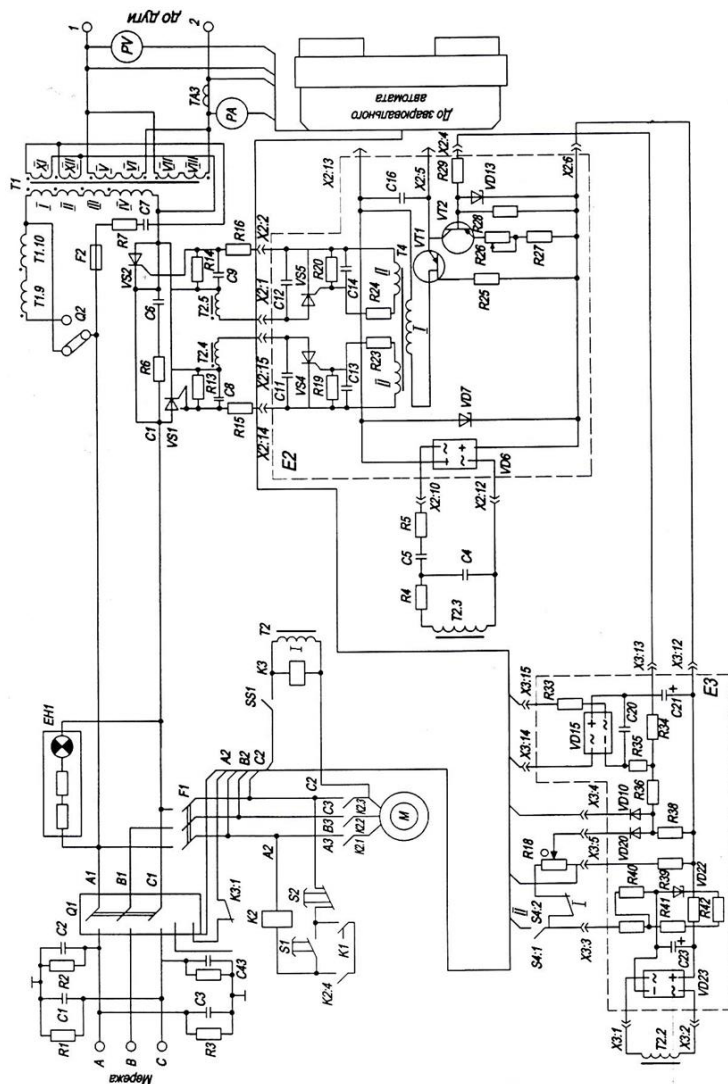


Рис. 3.3. Принципова електрична схема трансформатора ТДФЖ-1002

(частина елементів та позначень, що не впливають на пояснення роботи схеми, на рисунку не показана)

Котушки первинної обмотки з'єднані між собою послідовно і згідно, а котушки вторинної обмотки включені у дві паралельні групи, в кожній з яких з'єднані між собою послідовно і зустрічно. Котушки XI–XII, кожна з яких складається з одного витка, розміщені між паралельними групами котушок вторинної обмотки і включені між собою також паралельно.

Таке взаємне розміщення силових та стабілізуючої обмоток забезпечує добрий магнітний зв'язок між ними.

У вікні сердечника, в площині, паралельній його стержням, розташовані дві дискові котушки (Т1.9 і Т1.10) реакторної обмотки, яка призначена для ступінчастого регулювання зварювального струму. Котушки реакторної обмотки підключаються до первинної обмотки за допомогою перемикача S у вигляді перемички. При встановленні перемички у положення $Q2$ котушки Т1.9 і Т1.10, що з'єднані між собою послідовно, вмикаються послідовно і згідно з первинною обмоткою, чим забезпечується набуття діапазону малих струмів трансформатора.

Напруга на первинній обмотці трансформатора Т1 визначається залежно від фазового кута включення силових тиристорів VS1 і VS2. Імпульси керування подаються на тиристири з плати E2, тобто з блоку фазового керування БФК, який є складовою частиною системи фазового керування будь-якого ТТ.

Блок БФК призначений для перетворення безперервного сигналу керування в імпульси, синхронізовані з мережею і віддалені від початку півперіоду на кут, який визначається величиною сигналу, що керує цим кутом. Докладно робота БФК розглянута в підрозд. 3.2. Живлення плати E2 здійснюється змінним струмом від трансформатора Т2.3 через фільтри R4, R5, C4, C5.

На платі E3 розміщені кола задавання робочої напруги (діодний міст VD23), згладжувальний конденсатор C23,

резистори R24 і R46, стабілітрон VD22, дільник напруги з резисторів R40 і R41, потенціометр R18 та кола зворотного негативного зв'язку за напругою (випрямний міст VD15, згладжувальний конденсатор C20, резистори дільника напруги зворотного зв'язку R34 і R35). Живлення плати ЕЗ здійснюється від обмотки трансформатора Т2.2.

Різниця між напругою U_3 (див. рис. 3.2), заданою потенціометром R18 і сформованою на резисторі R38 (блок БЗ на рис. 3.1), та напругою зворотного зв'язку $U_{3,3}$, знятою з вихідних клем трансформатора Т1 за допомогою трансформатора струму ТА3 (блок Д) і виділеною на резисторі R34 (блок ЕП), через фільтр (резистор R36 і конденсатор C21) подається до фазозсувного пристрою ФП блоку БФК.

Особливістю трансформаторів типу ТДФЖ є тривалість стану провідності силових тиристорів VS1 і VS2, яка менша за тривалість півперіоду напруги живлячої мережі і, таким чином, розривний характер струму дуги. З метою підвищення стабільності горіння дуги в електричній схемі трансформатора ТДФЖ-1002 (див. рис. 3.3) передбачено коло імпульсної стабілізації, яке складається з конденсатора C7, резисторів R7-R12*), запобіжника F2 та котушок XI і XII системи імпульсної стабілізації силового трансформатора Т1. Під час вмикання тиристора VS1 або VS2 зарядний струм конденсатора C7 проходить по котушках XI і XII і наводить у котушках вторинної обмотки трансформатора Т1 імпульс напруги, достатній для надійного повторного збудження дуги.

Пускове коло трансформатора складається з автоматичного вмикача Q1, вимикача кіл керування F1, тумблера S4 місцевого (дистанційного) режиму керування, кнопок S1 «Пуск», S2 «Стоп», повітряного реле контролю вентиляції K1, магнітного пускача K2, сигнальної лампочки ЕН1, яка показує наявність напруги на первинній стороні трансформатора.

Трансформатор охолоджується вентилятором, який приводиться до дії трифазним двигуном М. Для захисту живлячої мережі від перешкод радіоприйому під час роботи трансформатора встановлені конденсатори С1–С4 ємнісного фільтра.

Трансформатор ТДФЖ-1002 має автоматичний захист персоналу від несподіваного пробую силових тиристорів.

Усі складові трансформатора змонтовані на єдиній карбасній конструкції і захищені кожухом. Для підйому трансформатора передбачені спеціальні скоби.

3.2. Робота блоку фазового керування тиристорами

Блок БФК (див. рис. 3.2) включає до свого складу фазозсувний (ФП) і вихідний (ВП) пристрої. Фазозсувний пристрій виконує прив'язку БФК до живлячої мережі змінного струму та забезпечує формування керуючих імпульсів і плавну зміну їх фази відносно напруги мережі. Імпульси з ФП на силові тиристори VS1 і VS2 потрапляють не безпосередньо, а через вихідний підсилювальний пристрій ВП, який остаточно формує імпульси з параметрами, що забезпечують гарантоване вмикання кожного тиристора.

Принцип формування фазового зсуву імпульсу керування заснований на заряді часозадавального конденсатора С16 (див. рис. 3.3) до повного рівня напруги з наступним його розрядом на первинну обмотку імпульсного трансформатора Т4. Термін заряду конденсатора С16 (фазовий зсув імпульсу) визначається величиною напруги керування на вході ФП (контактне з'єднання Х2:4 і Х2:8).

Конденсатор С16 заряджується колекторним струмом біполярного транзистора VT2 (типу *p-n-p*), ввімкнутого за схемою стабілізатора струму. Для обмеження величини вхідного сигналу керування підключені резистор R29 та стабілітрон VD13. Зарядне коло живиться трапецеїдальною

випрямленою напругою U_1 (рис. 3.4) від стабілітрона VD7, ввімкненого на виході випрямного мосту VD6. Заряд конденсатора C16 відбувається до того часу, коли напруга на ньому досягає значення, при якому перемикається польовий одноперехідний транзистор VT1. Після цього транзистор VT1 відкривається і конденсатор C16 розряджається на первинну обмотку трансформатора Т4. Заряд-розряд конденсатора C16 характеризується пилкоподібною напругою U_2 , яка синхронізована з напругою U_1 .

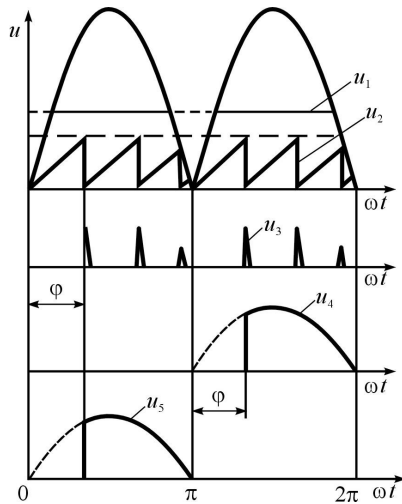


Рис. 3.4. Діаграма напруг блоку БФК:

u_1 – трапецеїдальна напруга живлення на стабілітроні VD7; u_2 – пилкоподібна напруга на конденсаторі C16; u_3 – напруга на вторинних обмотках імпульсного трансформатора Т4; u_4, u_5 – напруга на виході ФП

Створені в результаті розряду конденсатора C16 імпульси тривалістю близько 10 мкс потрапляють через вторинні обмотки трансформатора Т4 (напруга U_3) та резистори R23 і R24 до керуючих електродів тиристорів VS4 і VS5, що входять до складу ВП. Імпульси керування U_4 і U_5 формуються

за допомогою трансформаторів T2.4 і T2.5 та резисторів R15 і R16, які обмежують струм. Тиристири VS4 і VS5 увімкнуті у протифазні кола і тому, незважаючи на те, що імпульси на їх вмикання потрапляють в обидва півперіоди, кожен з них відкривається тільки в той півперіод, коли анодна напруга на ньому позитивна. Тиристири VS4 і VS5 відкриваються першими від початку півперіоду імпульсом живлячої напруги (фазовий кут ϕ) і залишаються увімкнутими до кінця півперіоду. Ці тиристири є підсилювачами імпульсів керування силовими тиристорами VS1 і VS2.

Таким чином, зростання керуючої напруги на вході БФК прискорює ріст напруги на конденсаторі C16, скорочує проміжок часу від початку півперіоду напруги живлення до моменту розряду конденсатора і потрапляння імпульсів керування до тиристорів VS4 та VS5 і, як наслідок, керуючого імпульсу на один із силових тиристорів трансформатора. В результаті напруга на первинній та вторинній обмотках силового трансформатора T1 зростає. Зменшення вхідного сигналу БФК приводить до зниження робочої напруги на виході зварювального трансформатора.

3.3. Стабілізація напруги завдання та формування зовнішньої статичної характеристики трансформатора

Якщо кут відкриття силових тиристорів VS1 та VS2 задавати вручну і не змінювати у процесі навантаження, то тиристорний трансформатор (ТТ) буде працювати на природніх зовнішніх характеристиках. У трансформаторі ТДФЖ-1002 внаслідок рознесення первинної та вторинної обмоток природною буде спадна зовнішня характеристика, але при роботі його у складі зварювального автомата або з автоматичною головкою для зварювання під флюсом з незалежною від дугової напруги напругою має бути сформована жорстка (пологоспадна) зовнішня характеристика

з крутизною $(5...10) \times 10^{-3}$ В/А. При більш жорстких характеристиках зростає амплітуда коливань зварювального струму, викликаних процесами саморегулювання дуги. Збільшення нахилу характеристик утруднює стабілізацію дугової напруги.

Для формування заданих зовнішніх характеристик трансформатора, а також стабілізації режиму зварювання в ТТ, у тому числі і в трансформаторі ТДФЖ-1002, застосована система автоматичного регулювання (див. рис. 3.2).

Згідно з даною схемою на вхід блоку БФК з елемента порівняння ЕП потрапляє різниця сигналів $U_3 - U_{3.3}$ відповідно з блоку завдання БЗ і датчика сигналу зворотного зв'язку Д. При цьому напруга U_3 може бути сталою або змінюватися за заданим законом, а напруга $U_{3.3}$ – фактичною на вихідних клеммах трансформатора.

На потенціометрі R18 напруга завдання являє собою різницю між стабілізованою напругою на стабілітроні V22 і нестабілізованою напругою на резисторі R40. Таким чином, при зростанні мережевої напруги сигнал завдання на потенціометрі R18 зменшується, а при зниженні мережевої напруги – збільшується. Тим самим стабілізується напруга завдання і, відповідно, вихідна напруга при коливаннях напруги мережі.

Якщо напруга на вихідних клеммах трансформатора в результаті впливу будь-якого збурення зварювального процесу (наприклад, зменшення вильоту електрода) знижується, то зменшується сигнал зворотного зв'язку. Оскільки напруга завдання при цьому не змінюється, то зростає різницевий сигнал на ФП блоку БФК. Заряд конденсатора C16 прискорюється, скорочується час від початку півперіоду напруги живлячої мережі до моменту розряду конденсатора та потрапляння імпульсів керування на силові тиристори VS1 і VS2.

В результаті напруга на обмотках силового трансформатора Т1 зростає до попередньої (встановленої) величини і штучно формується жорстка зовнішня характеристика зварювального трансформатора. Значення зварювального струму при цьому визначається швидкістю подачі електродного дроту.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Трансформатор ТДФЖ-1002У3.
2. Блок баластних реостатів ББР-1200.
3. Вимірювальні прилади (амперметри, трансформатори струму, вольтметри, ватметр).
4. Імпульсний осцилограф С1-54.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію трансформатора та його електричну схему.
2. Освоїти порядок вмикання трансформатора в роботу, регулювання вихідної напруги, правила роботи з осцилографом.
3. Познайтися зі схемою підключення вимірювальних приладів для проведення дослідів (рис. 3.5).
4. Перевірити під наглядом лаборанта або викладача роботу вимірювальної схеми в режимі холостого ходу трансформатора та під навантаженням.

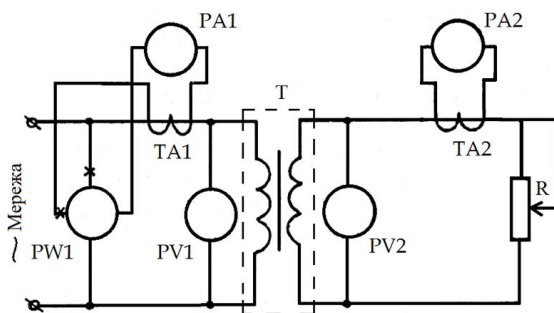


Рис. 3.5. Схема підключення вимірювальних приладів і апаратури

5. Поставити перемикач S4 у положення «місцеве керування», перемикач SS1 у положення «Зварювання увімкнено», включити трансформатор.

6. Встановити за допомогою ручки потенціометра R18 напругу холостого ходу $U_0 = 60$ В.

7. Поміряти параметри первинного та вторинного кіл трансформатора $U_1, I_1, P_1, U_2, I_2, \varphi_2$ (на екрані осцилографа) в режимі холостого ходу та під навантаженням за допомогою блоку баластних реостатів ББР-1200. Струм навантаження I_2 змінювати довільно до значення 750 А. **Увага! Вимірювання параметрів у режимі короткого замикання не проводити!** Результати дослідів занести у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати дослідів

Встановлена напруга холостого ходу U_0 , В	Вимірювання						Розрахунок		
	Первинне коло			Вторинне коло			Первинне коло	Вторинне коло	
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	φ_2 , град.	$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$	$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
$U_0 = 60$	4–5 значень								
$U_0 = 70$	4–5 значень								
$U_0 = 80$	4–5 значень								

8. Повторити дослідів за п. 6 і 7 двічі, збільшуючи кожен раз напругу U_0 на 10 В. Результати дослідів занести у табл. 3.1.

9. Встановити за допомогою потенціометра R18 напругу холостого ходу $U_0 = 60$ В, на баластному реостаті струм навантаження $I_2 = 400$ А.

10. Вольтметром PV2 поміряти напругу на вихідних клеммах трансформатора 1–2 (див. рис. 3.3), а на екрані осцилографа – фазовий кут φ_2 . Результати занести у табл. 3.2.

11. Заескізувати з екрану осцилографа (або сфотографувати) форму кривої струму I_2 , визначити його амплітудне значення.

Таблиця 3.2. Дослідження регулювальної характеристики

Встановлена напруга холостого ходу U_0 , В	60	70	80	90	100
Робоча напруга U_2 , В при $I_2 = 400$ А					
Фазовий кут ϕ_2 , град					

12. Повторити дослід за п.п 9 і 10, збільшуючи значення U_0 з 60 В до 100 В з інтервалом 10 В. Результати дослідів занести у табл. 3.2. В останньому досліді заескізувати з екрану осцилографа (або сфотографувати) форму кривої струму I_2 , визначити його амплітудне значення.

13. Побудувати графіки залежностей

$$U_1 = f(I_2); U_2 = f(I_2); I_2 = f(\phi_2);$$

$$U_2 = f(\phi_2) \text{ при } I_2 = 400 \text{ А.}$$

14. Розрахувати значення $\cos \phi_1$ та η і побудувати графіки залежностей

$$I_2 = f(\phi_1); \eta = f(I_2).$$

Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати: 1) мету роботи; 2) короткий опис конструкції трансформатора, його структурну й електричну схеми та технічну характеристику; 3) електричну схему підключення обладнання та вимірювальних приладів; 4) таблиці результатів дослідів; 5) графіки залежностей $U_1 = f(I_2); U_2 = f(I_2); I_2 = f(\phi_2); U_2 = f(\phi_2)$ при $I_2 = 400$ А; $I_2 = f(\phi_1); \eta = f(I_2)$; ескізи (або фото) осцилограм струму $i_2(t)$ при встановлених значеннях $U_0 = 60$ В та $U_0 = 100$ В з поясненням результатів; 6) висновки з роботи.

Контрольні питання

1. У чому полягає суть способу фазового регулювання зварювального струму? Як він реалізується в тиристорних трансформаторах?
2. Як забезпечується неперервність горіння дуги при використанні системи імпульсної стабілізації?
3. Які функціональні блоки входять до складу системи фазового регулювання трансформатора ТДФЖ-1002?
4. Поясніть роботу блоку БФК при формуванні зовнішньої характеристики трансформатора.
5. Як визначити фазовий кут відкриття тиристорів з використанням осцилограм зварювального струму $I_2(t)$?

Тестове завдання 3

1. Вкажіть буквою, яке із поданих слів слід вставити у наступне речення.

Спосіб фазового регулювання змінного струму заснований на перетворенні синусоїдального струму у знакозмінні імпульси, амплітуда та тривалість яких визначаються _____ вмикання тиристорів.

- А. Швидкістю.
- Б. Полярністю.
- В. Фазою.
- Г. Черговістю.

2. Виберіть найбільш повну та правильну відповідь.

У тиристорних трансформаторах фазовий кут вмикання силових тиристорів забезпечує регулювання таких параметрів імпульсів зварювального струму:

- А. Частоти.
- Б. Амплітуди та частоти.
- В. Амплітуди та тривалості.
- Г. Амплітуди, частоти та тривалості.

3. Які переваги має спосіб електронного регулювання вихідних параметрів зварювального трансформатора?

А. Легкість дистанційного та програмного керування режимом.

Б. Можливість формування будь-яких зовнішніх ВАХ.

В. Зниження напруги до безпечного рівня при тривалому холостому ході.

Г. Усі зазначені вище.

4. Вкажіть головний недолік способу фазового регулювання зварювального струму.

А. Висока вартість тиристорів.

Б. Складність системи керування.

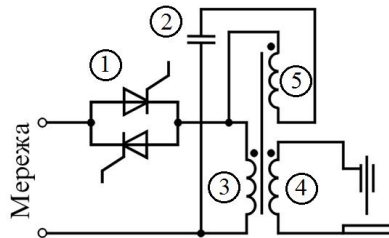
В. Зниження стійкості горіння дуги.

Г. Необхідність збільшення кількості тиристорів для комутації великих струмів.

5. Вкажіть ознаки, за якими принципово розділяються схеми тиристорних зварювальних трансформаторів.

- А. Спосіб регулювання вихідних параметрів.
- Б. Місце установки тиристорного фазорегулятора.
- В. Спосіб забезпечення безперервності горіння дуги.
- Г. Будова системи фазового керування силовими тиристорами.

6. Розшифруйте блоки, позначені на схемі тиристорного трансформатора цифрами.

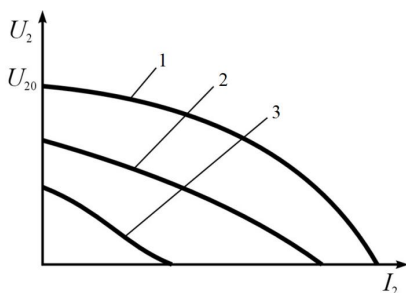


- А. Первинна обмотка силового трансформатора.
- Б. Вторинна обмотка силового трансформатора.
- В. Конденсатор кола імпульсної стабілізації.
- Г. Обмотка імпульсної стабілізації.
- Д. Фазорегулятор.

7. Якими технічними рішеннями можна створити коло підживлення в тиристорних трансформаторах?

- А. Підключенням додаткової вторинної обмотки.
- Б. Шунтуванням тиристорів фазорегулятора дроселем.
- В. Встановленням допоміжного трансформатора.
- Г. Будь-яким з означених.

8. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв між наведеними на рисунку зовнішніми вольт-амперними характеристиками тиристорного трансформатора та фазовими кутами відпирання тиристорів фазорегулятора.



А. $\varphi = 100^\circ$.

Б. $\varphi = 70^\circ$.

В. $\varphi = 0$.

9. З якою метою в силову схему тиристорного трансформатора фазорегулятор вмикають у коло вторинної обмотки?

А. Для швидкого відмикання трансформатора від мережі в аварійному режимі.

Б. Для зниження збитків потужності трансформатора в режимі холостого ходу.

В. Для можливості керування постійною складовою зварювального струму.

Г. Для зменшення габаритів та маси трансформатора.

10. Вкажіть позитивні наслідки імпульсної подачі зварювального струму при живленні дуги від тиристорного трансформатора.

А. Зменшується вигорання легуючих домішок металу.

Б. Зменшується зона перегріву зварюваного металу.

В. Підвищується стійкість електродного покриття.

Г. Усі означені вище.

11. Яке рівняння встановлює правильний зв'язок між індуктивним опором тиристорного трансформатора, активним опором зварювального кола та фазовим кутом відпирання тиристорів?

A. $X_T = \frac{\sum R}{\operatorname{tg} \phi}$.

B. $X_T = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\sum R}$.

Б. $X_T = \operatorname{tg} \phi \sum R$.

Г. $X_T = \operatorname{tg} \phi \pm \sum R$.

12. Для утворення діапазону малих струмів у тиристорних трансформаторах додаткову реакторну обмотку вмикають:

A. Послідовно та згідно з первинною обмоткою або послідовно та зустрічно з вторинною обмоткою.

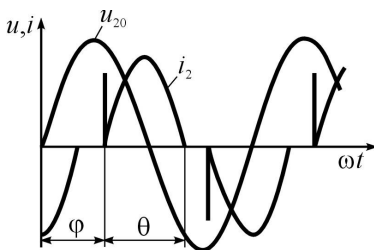
Б. Послідовно та згідно з первинною та вторинною обмотками.

В. Послідовно та зустрічно з первинною та вторинною обмотками.

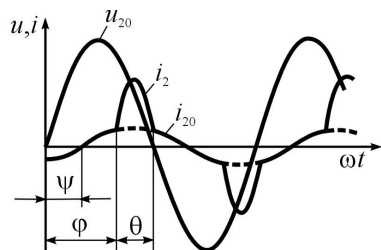
Г. Послідовно та зустрічно з первинною обмоткою або послідовно та згідно з вторинною обмоткою.

13. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Наведені на рисунку схематизовані діаграми напруг і струмів характерні для тиристорних трансформаторів таких груп:



a
1



b
2

A. З імпульсною стабілізацією.

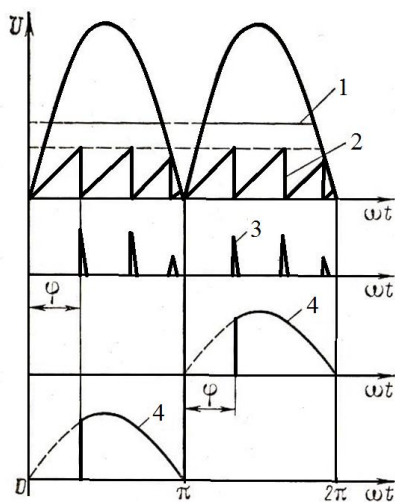
Б. З колом підживлення.

14. Який електронний пристрій блоку фазового керування (БФК) тиристорного трансформатора призначений для формування імпульсів відпирання силових тиристорів фазорегулятора?

- А. Датчик сигналу зворотного зв'язку.
- Б. Блок порівняння напруг.
- В. Фазозсувний пристрій.
- Г. Вихідний підсилювач.

15. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Часові діаграми напруг на елементах БФК тиристорного трансформатора типу ТДФЖ.



- А. Напруга на вході БФК.
- Б. Напруга на вторинних обмотках трансформатора фазозсувного пристрою.
- В. Напруга на керуючих електродах силових тиристорів фазорегулятора.
- Г. Напруга на обкладинках часозадавального конденсатора.

16. Які функції виконує фазозсувний пристрій блоку фазового керування (БФК) тиристорного трансформатора?

- А. Здійснює прив'язку БФК до живлячої мережі.
- Б. Забезпечує формування керуючих імпульсів силових тиристорів фазорегулятора.
- В. Змінює фазу керуючих імпульсів силових тиристорів відносно напруги мережі.
- Г. Усі перелічені функції.

17. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Який тип датчика сигналу зворотного зв'язку використовується в залежності від зовнішньої характеристики тиристорного трансформатора?

Форма ВАХ трансформатора

Тип датчика

- | | |
|-------------|--------------------------|
| А. Спада. | 1. Трансформатор струму. |
| Б. Жорстка. | 2. Резисторний дільник. |

18. Вкажіть буквою правильне із поданих слів, яке слід вставити в речення для закінчення наступного твердження.

Якщо кут відпирання силових тиристорів фазорегулятора задавати вручну і не змінювати в процесі навантаження, то тиристорний трансформатор працюватиме на _____ зовнішніх характеристиках.

- А. Спадних.
- Б. Жорстких.
- В. Зростаючих.
- Г. Природних.

19. Як може змінюватися форма вихідної напруги блоку завдання БФК тиристорного трансформатора?

- А. Залишатися незмінною.
- Б. Змінюватися у залежності від збурень у зварювальному колі.

В. Задаватися певною програмою.

Г. Усі відповіді правильні.

20. Як змінюється напруга холостого ходу U_0 та зварювальний струм I_2 (при фіксованому положенні СХД) у тиристорному трансформаторі ТДФЖ-1002 при збільшенні кута відпирання силових тиристорів?

А. U_0 та I_2 зростають.

Б. U_0 зменшується, I_2 зростає.

В. U_0 зростає, I_2 зменшується.

Г. U_0 та I_2 зменшуються.

Лабораторна робота № 4

ВИПРЯМЛЯЧ З ПЛАВНО-СТУПІНЧАСТИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ ВСЖ-303 (2 год)

Мета роботи: 1. Вивчити конструкцію та електричну схему випрямляча ВСЖ-303У3. 2. Вивчити засоби регулювання вихідної напруги та налагоджування режиму зварювання. 3. Експериментально оцінити динамічні властивості випрямляча.

Теоретичні відомості

Зварювальні випрямлячі з жорсткими або пологоспадними зовнішніми вольт-амперними характеристиками є найбільш поширеними джерелами живлення для механізованого зварювання в захисних газах плавким електродом. У більшості випрямлячів даної групи регулювання вихідної напруги здійснюється за допомогою силового трансформатора, частіше трифазного з нормальним магнітним розсіюванням, а для отримання постійного зварювального струму використовуються некеровані вентиля (діоди), з'єднані за трифазною мостовою схемою випрямлення напруги.

Типовим представником цього типу випрямлячів є однопостовий стабілізований кремнієвий випрямляч ВСЖ-303У3 з плавно-ступінчастим регулюванням напруги на дузі, призначений для механізованого зварювання у

вуглекислому газі. Структурна блок-схема випрямляча наведена на рис. 4.1, принципова електрична – на рис. 4.2, технічна характеристика – у додатку 2, табл. 2.2Д.

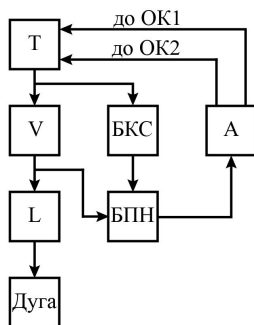


Рис. 4.1. Структурна блок-схема випрямляча ВСЖ-303:

Т – силовий трифазний трансформатор; V – силовий випрямний блок;
L – лінійний (стабілізуючий) дросель; А – магнітний підсилювач; БКС – блок коректування за струмом; БПН – блок порівняння і стабілізації напруги

Розглянемо детально будову та роботу кожного блоку та розберемося в принципі регулювання зварювальної напруги і стабілізації режиму зварювання.

4.1. Пускова апаратура

До її складу входять (див. рис. 4.2): пускові кнопки SB1 і SB2, магнітні пускачі KM1 і KM2, повітряне реле КСС1.

Увімкнення випрямляча здійснюється натисканням кнопки SB1 «ПУСК». При цьому спрацьовує пускач KM1, контакти силового кола замикаються і включається двигун вентилятора М. Одночасно в колі керування закривається блок-контакт KM1, який блокує кнопку SB1 «ПУСК». Коло пускача KM1 залишається замкненим.

Після набору обертів вентилятором спрацьовує повітряний вимикач КСС1, контакти якого замикають коло живлення магнітного пускача KM2, а він у свою чергу підключає

до мережі первинну обмотку $W1$ трансформатора $T1$. Для вимкнення випрямляча передбачена кнопка $SB2$ «STOP».

4.2. Конструкція і робота силового трансформатора

Найбільш складним за конструкцією та головним вузлом, відповідальним за формування зовнішньої характеристики випрямляча, є регульований силовий трансформатор $T1$ (обмотки $W1$ – $W^{II}5$) з магнітною комутацією (див. рис. 4.2).

Трансформатор $T1$ служить для зниження трифазної напруги живлячої мережі до напруги, необхідної для проведення процесу зварювання, а також для регулювання і стабілізації вихідної напруги випрямляча. Грубе регулювання вихідної напруги здійснюється ступінчастим перемиканням відпайок вторинної обмотки $W2$ трансформатора $T1$ перемикачем $SAC1$. Цей перемикач має блокувальні контакти у пусковому колі випрямляча для відключення випрямляча у разі перемикання ступенів регулювання під напругою. Ручка перемикача $SAC1$ винесена на лицьову панель випрямляча.

Плавне регулювання вихідної напруги здійснюється магнітною комутацією обмоток.

Конструкція магнітопроводу та розташування обмоток трансформатора $T1$ показані на рис. 4.3. Фазні стержні (a , b , c) магнітопроводу з'єднані трьома ярмами $Я1$, $Я2$ і $Я3$. На верхньому та середньому ярмах $Я1$ та $Я2$ розташовані обмотки керування $W_{к1}$ та $W_{к4}$, які живляться постійним струмом і є підмагнічуючими. Ці ярма – керовані. На нижньому ярмі $Я3$ обмоток керування немає, це ярмо – некероване.

Між середнім та нижнім ярмами знаходиться вся первинна обмотка $W1$, частина некерованої вторинної обмотки $W2$, а також обмотки живлення $W4$ та $W5$ блоку керування.

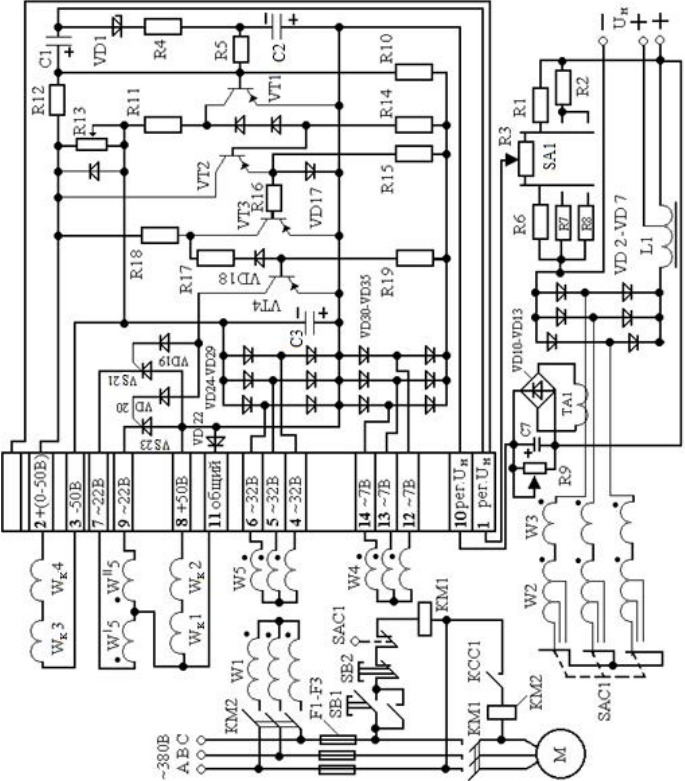


Рис. 4.2. Принципова електрична схема випрямляча ВСЖ-303 (частина елементів та позначень, що не впливають на пояснення роботи схеми, на рисунку не показана)

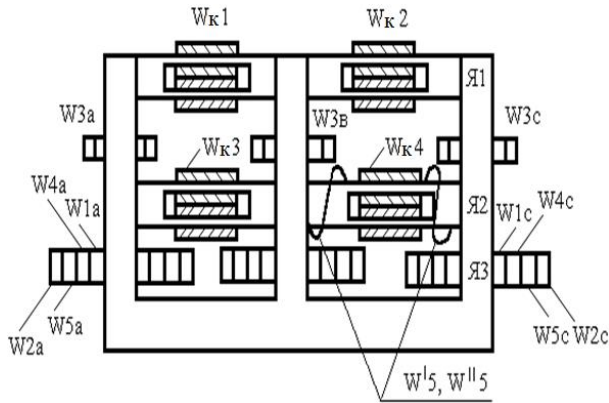


Рис. 4.3. Схематична конструкція силового трансформатора

Керована частина вторинної обмотки W3 знаходиться між верхнім та середнім ярами. Обидві частини вторинної обмотки W2 і W3 з'єднані послідовно згідно.

При підключенні первинної обмотки W1 до живлячої мережі збуджується основний магнітний потік трансформатора, який створює напругу у вторинному колі трансформатора T1 на обмотках W2 та W3.

Якщо підмагнічувати тільки верхнє яро Я1, змінний магнітний потік первинної обмотки W1 замикатиметься через середнє яро Я2 і в керованій частині вторинної обмотки W3 е.р.с. наводитися не буде. Напруга на виході трансформатора буде мінімальною.

При підмагнічуванні обох ярів Я1 та Я2 можна отримати будь-яке проміжне значення вихідної напруги в межах діапазону регулювання.

Для покращення магнітних комутаційних процесів у трансформаторі є обмотки W^I5 та W^{II}5. При зміні підмагнічування середнього яра Я2 змінюється змінний магнітний потік, що проходить через це яро, а отже, і е.р.с., що наводиться в обмотках W^I5 і W^{II}5.

Таким чином, при зміні підмагнічування середнього ярма Я2 одночасно, але у протилежний бік, відбувається зміна підмагнічування верхнього ярма Я1.

При магнітному насиченні середнього ярма змінний магнітний потік повністю проходить через верхнє ярмо Я1, е.р.с. в котушках W^I_5 і W^{II}_5 дорівнюватиме нулю. При цьому підмагнічування верхнього ярма відсутнє.

Якщо верхнє і нижнє ярма ненасичені, то змінний магнітний потік проходить через обидва ярма. Виникає е.р.с. у котушках W^I_5 і W^{II}_5 , що призводить до підмагнічування верхнього ярма. При цьому змінний магнітний потік витісняється в середнє ярмо, е.р.с. у котушках W^I_5 і W^{II}_5 збільшується, що призводить до подальшого збільшення підмагнічування верхнього ярма, аж до його насичення. Змінний магнітний потік повністю замикається через середнє ярмо.

Плавне регулювання в межах кожного ступеня здійснюється магнітною комутацією витків вторинної обмотки силового трансформатора і забезпечує перекриття напруги ступеня не менше 2 В.

4.3. Блок керування випрямляча

Блок керування випрямляча, призначений для плавного регулювання кута нахилу зовнішніх характеристик та стабілізації параметрів режиму зварювання, включає в себе наступні блоки: БСН – стабілізації напруги, БКС – коректування за струмом і А – магнітний підсилювач (див. рис. 4.1). До складу блоку керування входять три функціональні вузли, розміщені всередині корпусу випрямляча на двох окремих платах (див. рис. 4.2): а) вузол завдання напруги ($R1, R2, R3, R6, R7, R8, SA1$) та вузол вимірювання напруги (стабілітрон $VD1$); б) безконтактний вимикач обмотки підмагнічування середнього ярма на транзисторах $VT1-VT3$ та обмотки

підмагнічування верхнього ярма на транзисторі VT4 та тиристорах VD21 та VD23; в) кола живлення та зміщення. При цьому обмотки підмагнічування являють собою магнітний підсилювач і забезпечують перерозподіл магнітних потоків в ярах трансформатора.

Робота блоку керування відбувається наступним чином. Якщо напруга у вторинному колі T1 (див. рис. 4.2) менше заданої, то на базу транзистора VT1 надходить позитивний потенціал зміщення від випрямляча на діодах VD30–VD35. Транзистор VT1 перебуватиме у закритому стані. На бази транзисторів VT2 і VT3 надходить негативний потенціал від випрямного моста VD24–VD29, і вони відкриваються.

У той же час транзистор VT4 закривається позитивним потенціалом напруги зміщення (VD30–VD35), кола керування тиристорів VD21 і VD23, через які живляться обмотки підмагнічування верхнього ярма $W_{к1}$ і $W_{к2}$, відключаються.

Обмотки підмагнічування середнього ярма $W_{к3}$ і $W_{к4}$ через відкритий транзистор VT3 підключаються до випрямного моста VD24–VD29.

У міру того, як збільшується струм в обмотках $W_{к3}$ і $W_{к4}$ середнього ярма, збільшується е.р.с., що наводиться на обмотках змінного струму W^I_5 і W^{II}_5 , які живлять обмотки підмагнічування верхнього ярма. Отже, зменшується струм в обмотках підмагнічування $W_{к1}$ і $W_{к2}$ та магнітний опір верхнього ярма, внаслідок чого змінний магнітний потік буде витіснятися із середнього ярма у верхнє. При цьому збільшуватиметься е.р.с. в обмотках W3, розташованих у верхньому вікні. Так як обмотки W2 і W3 з'єднані послідовно згідно, почне збільшуватися вихідна напруга випрямляча.

Коли напруга на виході випрямляча стане більше заданої, на базу транзистора VT1 через стабілітрон VD1 надійде негативний сигнал і він відкриється, а на бази транзисторів VT2 і VT3 надійде позитивний сигнал з джерела зміщен-

ня VD30–VD35 (кола R14, перехід база-емітер VT, мінус VD30–VD35) і вони закриваються.

Транзистор VT4 відкривається негативним потенціалом, що надходять на його базу (по колу мінус VD24–VD29, обмотки $W_{к3}$, $W_{к4}$, R18, R17, VD18, перехід база-емітер VT4, плюс VD24–VD29).

Коли VT4 відкритий, кола керування тиристорів VD21 і VD23 підключаються під напругу і тиристири відкриваються. При цьому е.р.с. обмоток W^I_5 і W^{II}_5 прикладається через тиристири VS21, VS23 до обмоток підмагнічування верхнього ярма $W_{к1}$ і $W_{к2}$.

У той же час при закриванні транзисторів VT2 і VT3 струм в обмотках $W_{к3}$ і $W_{к4}$ підмагнічування середнього ярма почне поступово зменшуватися за рахунок е.р.с. самоіндукції. Це викликає зменшення магнітного опору середнього ярма і відповідно збільшення е.р.с. в обмотках W^I_5 , W^{II}_5 і струму в обмотках $W_{к1}$ і $W_{к2}$ підмагнічування верхнього ярма. В результаті змінний магнітний потік у середньому ярмі збільшуватиметься, а у верхньому зменшуватиметься. Відповідно буде зменшуватися і вихідна напруга випрямляча до тих пір, поки вона не стане меншою за задану. При цьому на базу транзистора VT1 надійде позитивний потенціал і він закриється, а транзистори VT2 і VT3 відкриваються, отримують живлення обмотки W3 і W4 підмагнічування середнього ярма. Напруга на виході випрямляча почне збільшуватися і т. д.

Випрямлена напруга, що знімається з діодного мосту VD2–VD7, підсумовується з напругою, що знімається з резистора R9, яка пропорційна струму навантаження випрямляча, і через резистор R3, що служить для установки необхідної величини робочої напруги, подається на вихід вузла порівняння вихідної напруги. Як джерело опорної напруги застосований стабілітрон VD1.

Для захисту транзистора VT3 від перенапруги при його замиканні та відключенні обмотки управління $W_{к3}$ і $W_{к4}$ та для забезпечення постійного протікання струму через ці обмотки служить діод VD16. Діод VD22 служить для створення умов протікання струму через обмотки $W_{к1}$ і $W_{к2}$ при відключенні тиристорів VS21, VS23.

Резистор R13 служить для захисту транзисторів від високочастотної складової струму при перехідних процесах в обмотках керування, а конденсатор C2 – для згладжування пульсацій сигналу, що подається на вхід транзистора VT1.

Таким чином, за рахунок почергового включення обмоток підмагнічування струм в обмотках змінюється так, що підтримується задана вихідна напруга випрямляча.

Плавне регулювання напруги забезпечується на всіх діапазонах потенціометром R3 «РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ», що входить до складу перемикача SA1 «ДІАПАЗОН НАПРУГИ» з набором резисторів R1, R2, R6, R7, R8. При цьому перемикачі SAC1 та SA1 мають бути встановлені в однакових положеннях.

Регулювання нахилу зовнішньої характеристики випрямляча під навантаженням здійснюється за допомогою резистора R9 «НАХИЛ ХАРАКТЕРИСТИК». При включенні навантаження сигнал, що знімається з потенціометра R3, підсумовується з сигналом, пропорційним зварювальному струму, який знімається з трансформатора струму ТА1, включеного у вторинний ланцюг силового трансформатора, і через випрямний міст VD10–VD13 подається на резистор R9.

Наявність додаткового блоку корекції за струмом дозволяє при роботі від випрямляча виконувати деяке налагодження режиму зварювання шляхом зміни напруги холостого ходу та нахилу зовнішніх характеристик у межах від 0,015 до 0,07 В/А.

4.4. Стабілізуючий дросель

Дросель L1 (рис. 4.2) призначений для зниження швидкості наростання зварювального струму при зварюванні з короткими замиканнями, а також виконує роль індуктивного фільтра, що згладжує пульсації зварювального струму.

Дросель функціонує за принципом самоіндукції, тобто при різкому зростанні струму, особливо під час короткого замикання дугового проміжку, в дроселі формується е.р.с. самоіндукції, завдяки чому затримується наростання струму $I_{к.з}$ і зменшується розбризкування металу.

Завдяки тому, що дросельна котушка пропускає постійний електрострум з мінімальним опором, а для проходження змінного (пульсуючого) струму вона чинить великий опір, дросель виступає у ролі фільтра, тобто згладжує пульсації струму, випрямленого блоком V.

Конструкція дроселя L1 подібна до трансформатора, але відрізняється від нього наявністю лише однієї обмотки. Дросельна котушка має феромагнітний сердечник, набраний із сталевих пластин, ізольованих одна від одної для виключення утворення струмів Фуко. З котушки зроблені два виводи (+) для регулювання індуктивності у зварювальному колі в залежності від сили струму: при $I_{зв} \leq 200$ А підключається частина витків котушки, при $I_{зв} > 200$ А – всі витки.

4.5. Дослідження динамічних властивостей випрямляча

Зварювання у вуглекислому газі супроводжується порівняно великою кількістю коротких замикань дугового проміжку. Умовою стійкості процесу в цьому випадку буде не сталість напруги дуги U_d та сили струму I_d в ній, а певна періодичність зміни всіх параметрів у режимах роботи зварювального джерела живлення – холостого ходу, навантаження та короткого замикання.

Джерела живлення для зварювання в CO_2 повинні забезпечувати високу стабільність зварювального циклу та

достатньо велику швидкість відновлення параметрів процесу після режиму короткого замикання. Зокрема, швидкість наростання струму короткого замикання $dI_{\text{к.з.}}/dt$ та швидкість відновлення напруги повторного збудження дуги dU/dt можуть бути показниками, що характеризують динамічні властивості зварювального джерела живлення.

Так, величина середньої швидкості $dI_{\text{к.з.}}/dt$ є показником, що визначає силу струму короткого замикання в момент обриву краплі електродного металу $I_{\text{к.з.}}$ та тривалість режиму короткого замикання $\Delta t_{\text{к.з.}}$, яка може бути від тисячних до сотих часток секунди. При малій тривалості коротких замикань значення струму $I_{\text{к.з.}}$ і швидкість його наростання $dI_{\text{к.з.}}/dt$ у значній мірі залежать від індуктивності зварювального кола.

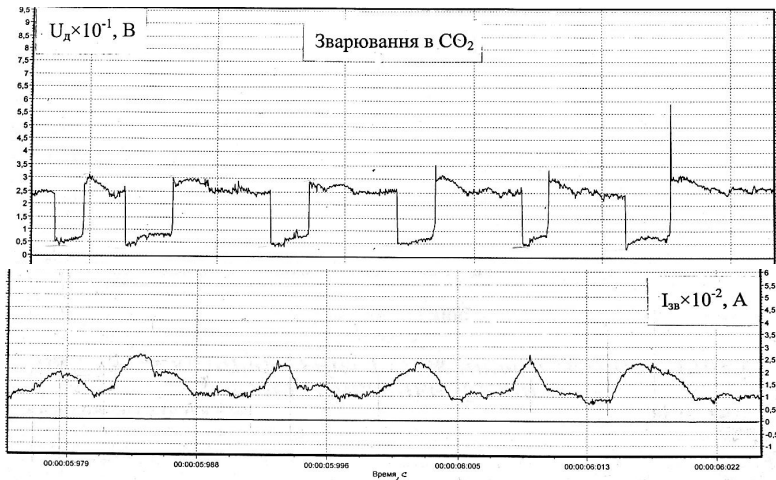
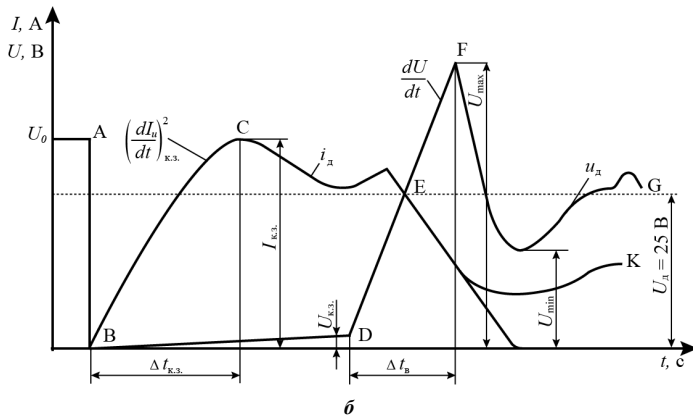
Очевидно, що зменшуючи вказані параметри шляхом регулювання індуктивності джерела живлення, можна знизити розбризкування металу. При зварюванні короткою дугою дротами діаметром від 0,5 до 1,4 мм рекомендується обмежувати швидкість наростання струму $I_{\text{к.з.}}$ значенням 70...180 кА/с.

Швидкість відновлення напруги дугового процесу після короткого замикання dU/dt характеризує якість перехідних процесів зварювального джерела живлення. Час наростання напруги від 0 до 25 В не повинен перевищувати нормативне значення $t_{\text{в}} = 0,05$ с.

Динамічні властивості джерел живлення оцінюють за допомогою осцилограм процесу зварювання.

В даній лабораторній роботі слід визначити показники динамічних властивостей випрямляча ВСЖ-303 шляхом дослідження осцилограми процесу зварюванні в CO_2 , знятої в реальному часі.

Як приклад, на рис. 4.4 наведені частини осцилограм $i_{\text{д}}(t)$ та $u_{\text{д}}(t)$, а також їх суміщений схематизований фрагмент.

 α 

6

Рис. 4.4. Осцилограми струму і напруги при зварюванні в CO_2 (*а*) та їх схематизація на ділянці короткого замикання (*б*) (масштаби шкал параметрів процесу вказані на полях осцилограм; буквами позначені характерні точки зміни параметрів)

На осцилограмі визначають наступні стадії та параметри:

- 1) напругу холостого ходу випрямляча U_0 (точка А);

- 2) початок режиму короткого замикання (В);
 - 3) пікове значення струму $I_{к.з}$ (С) та час його досягнення $\Delta t_{к.з}$ від початку короткого замикання;
 - 4) напругу короткого замикання $U_{к.з}$ (D);
 - 5) час наростання t_b нормованої напруги на дузі $U_{д.н} = 25$ В (E) після короткого замикання;
 - 6) значення U_{max} (F) та час його досягнення Δt_b після короткого замикання;
 - 7) напругу на дузі U_d (G) та зварювальний струм I_d (K).
- За результатами обробки осцилограм струму та напруги визначають і оцінюють показники динамічних властивостей джерела живлення.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Випрямляч ВСЖ-303.
2. Баластний реостат типу РБ-300.
3. Штатні вимірювальні прилади (амперметр, вольтметр).
4. Осцилограми струму і напруги при заданому режимі зварювання.
5. Лінійка з ціною поділки 0,5 мм.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію, структурну та принципову схеми випрямляча.
2. Освоїти порядок вмикання випрямляча та способи регулювання вихідної напруги.
3. Перевірити під наглядом лаборанта або викладача роботу вимірювальної схеми в режимі холостого ходу трансформатора та під навантаженням.
4. Встановити за допомогою перемикача SA1 перший (I) ступінь регулювання напруги і зняти зовнішню вольт-амперну характеристику випрямляча, використовуючи як навантаження баластний реостат. При цьому перемикач SA1 мають бути встановлений в однакове положення з перемикачем SA1.

Увага! Вимірювання параметрів у режимі короткого замикання не проводити! Результати дослідів занести у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати дослідів

Ступінь	I	II	III
Параметри зовнішньої ВАХ			
Напруга U , В	4–5 значень	4–5 значень	4–5 значень
Струм I , А			

5. Повторити дослід за п. 5 при встановленні другого (II) та третього (III) ступенів напруги. Результати дослідів занести у табл. 4.1.

6. Побудувати графіки залежності $U = f(I)$ для трьох ступенів регулювання вихідної напруги випрямляча.

7. Отримати у лаборанта або викладача попередньо записані осцилограми параметрів режиму зварювання, визначити масштаби шкал та вибрати 3 характерних ділянки, включаючи режим короткого замикання, що характеризують циклічність процесу.

8. Виділити на вибраних ділянках точки на кривих струму і напруги, які відповідають схематизованому фрагменту осцилограми (див. рис. 4.4,б).

9. Визначити величини параметрів, занести в табл. 4.2 та осереднити їх значення.

10. За середніми значеннями параметрів розрахувати:

а) швидкість наростання струму короткого замикання $\frac{\Delta I_{\text{к.з.}}}{\Delta t_{\text{к.з.}}}$

і порівняти з рекомендованим значенням для випрямлячів при зварюванні короткою дугою. Зробити висновок;

б) швидкість наростання напруги $\frac{\Delta U_{\text{max.}}}{\Delta t_{\text{в}}}$ після короткого

замикання до значення $U_{\max}$ та швидкість відновлення напруги до нормативного значення $U_{\text{д.н}} = 25$ В. Порівняти час відновлення з нормативною величиною, зробити висновок.

Таблиця 4.2. Результати обробки осцилограми

Точка або відрізок на осцилограмі		<i>A</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>K</i>	<i>BC</i>	<i>DE</i>	<i>DF</i>
Параметр		U_0	$U_{\max}$	$U_{\text{к.з}}$	$I_{\text{к.з}}$	$U_{\text{д.н}}$ В	$I_{\text{д.н}}$ А	$\Delta t_{\text{к.з.}}$	$\Delta t_{\text{в}}$	$t_{\text{в}}$
		В		А	min	max	min	max	мкс	
Ділянка осцилограми	1									
	2									
	3									
Середнє значення										

Оформлення звіту

Звіт повинен вмішувати: 1) мету роботи; 2) короткий опис конструкції випрямляча, його структурну та електричну схеми, технічну характеристику; 3) електричну схему підключення обладнання та вимірювальних приладів; 4) таблиці результатів дослідів; 5) графіки зовнішніх характеристик випрямляча $U = f(I)$; 6) копію осцилограми процесу зварювання з виділеними ділянками та буквеними позначеннями характерних точок; 7) результати розрахунку показників динамічних властивостей випрямляча; 8) висновки з роботи.

Контрольні питання

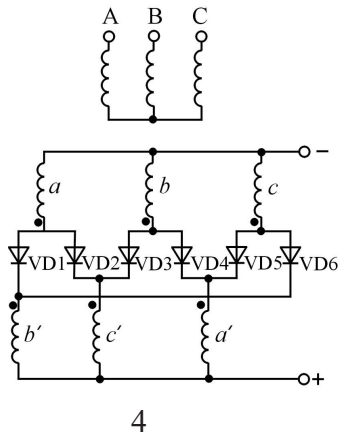
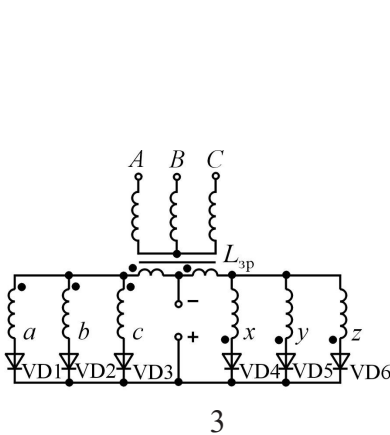
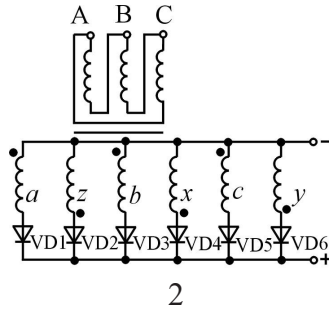
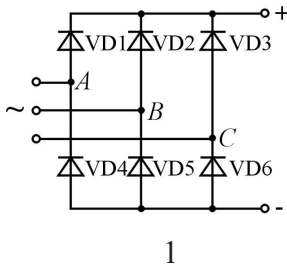
1. Які блоки випрямляча беруть участь у формуванні його зовнішньої вольт-амперної характеристики?
2. У чому полягає особливість конструкції силового трансформатора?
3. Поясніть суть плавного регулювання вихідної напруги випрямляча.

4. Як регулюється нахил зовнішньої характеристики та стабілізується вихідна напруга?
5. Які функції виконує дросель випрямляча?
6. Які показники використовують для оцінки динамічних властивостей випрямляча? Як вони визначаються?

Тестове завдання 4

1. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Багатофазні схеми випрямлення, що використовуються у зварювальних випрямлячах:



А. Трифазна мостова.

Б. Подвійна трифазна
зі зрівняльним реактором.

В. Проста шестифазна
з нульовою точкою.

Г. Кільцева.

2. Яка із схем випрямлення, що використовується у зварювальних випрямлячах, потребує найбільшої розрахункової потужності трансформатора?

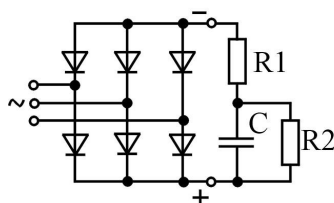
А. Кільцева.

- Б. Трифазна мостова.
- В. Проста шестифазна з нульовою точкою.
- Г. Подвійна трифазна зі зрівняльним реактором.

3. Вкажіть допустиму температуру [°C] нагріву кремнієвих діодів під час роботи їх у силових схемах зварювальних випрямлячів.

- А. 90...100.
- Б. 140... 150.
- В. 190...200.
- Г. 240...250.

4. У якому випадку використовується така схема захисту блока діодів силової частини зварювальних випрямлячів?



- А. При значних коливаннях напруги мережі.
- Б. При перевищенні зворотної напруги діода.
- В. При виникненні перенапруг на електродах вентилів.
- Г. При перевантаженні діодів за струмом.

5. Установіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Призначення окремих блоків силової частини зварювального випрямляча:

- | | |
|---------------------------|--|
| А. Трансформатор. | 1. Випрямлення змінного струму. |
| Б. Блок вентилів. | 2. Зниження напруги мережі до необхідного рівня. |
| В. Стабілізуючий дросель. | 3. Зниження пульсацій випрямленої напруги. |

6. Яка із схем випрямлення потребує найменшої розрахункової потужності трансформатора?

- А. Кільцева.
- Б. Трифазна мостова.
- В. Проста шестифазна з нульовою точкою.
- Г. Подвійна трифазна зі зрівняльним реактором.

7. Який із типів дроселів не використовують у силових схемах зварювальних випрямлячів?

- А. Зрівняльний дросель-реактор.
- В. Дросель-регулятор з повітряним зазором.
- Б. Дросель насичення.
- Г. Стабілізуючий дросель.

8. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Завдяки чому тиристори, що використовуються у зварювальних випрямлячах, дозволяють:

- | | |
|---|--|
| А. Перетворювати змінний струм у постійний. | 1. Наявності керуючого електроду. |
| Б. Плавно змінювати величину випрямленої напруги. | 2. Властивості слабого керуючого сигналу впливати на значні анодні струми. |
| В. Працювати з високим ККД. | 3. Властивості пропускати струм лише в одному напрямку. |

9. Якою буде зовнішня ВАХ зварювального випрямляча, якщо його еквівалентна схема заміщення характеризується параметрами: $X_{\text{єз}} \approx 0$; $R_{\text{єз}} \approx 0$?

- А. Спадною.
- Б. Жорсткою.
- В. Зростаючою.
- Г. Комбінованою.

10. Які блоки структурної блок-схеми зварювального випрямляча можуть бути використані для формування його зовнішньої ВАХ, якщо еквівалентна схема заміщення характеризується параметрами: $X_{\text{е3}} > 0$; $R_{\text{е3}} \approx 0$?

- А. Силовий трансформатор і дросель-регулятор.
- Б. Силовий трансформатор і стабілізуючий дросель.
- В. Силовий трансформатор і випрямний блок на діодах.
- Г. Силовий трансформатор і випрямний блок на тиристорах.

11. Для ступінчастого регулювання робочої напруги у випрямлячах для ручного дугового зварювання використовують зміну:

- А. Індуктивності стабілізуючого дроселя.
- Б. Числа витків обмоток силового трансформатора.
- В. Схеми з'єднання котушок обмоток силового трансформатора.
- Г. Фазового кута відпирання тиристорів силового випрямного блоку.

12. Вкажіть буквою правильне слово для закінчення речення.

При введенні рухомого магнітного шунта у вікно сердечника силового трансформатора у випрямлячі для ручного дугового зварювання зварювальний струм _____.

- А. Збільшується.
- Б. Зменшується.
- В. Стабілізується.
- Г. Випрямляється.

13. Найчастіше регулювання вихідної напруги у випрямлячах зі ступінчастим регулюванням здійснюється секціонуванням:

- А. Лише первинної обмотки силового трансформатора.
- Б. Лише вторинної обмотки силового трансформатора.

В. Первинної та вторинної обмоток силового трансформатора.

Г. Обмотки стабілізуючого дроселя.

14. Як змінюється напруга на вихідних клеммах випрямляча ВСЖ-303 при збільшенні струму в обмотці керування верхнього ярма силового трансформатора?

А. Зростає.

Б. Не змінюється.

В. Знижується.

Г. Зникає.

15. Зв'язок між швидкістю наростання струму короткого замикання di/dt та параметрами зварювального кола при зварюванні МАГ встановлюється залежністю:

А. $\frac{di}{dt} = \frac{U_0 - iR}{L}$.

В. $\frac{di}{dt} = \frac{U_0 + iR}{L}$.

Б. $\frac{di}{dt} = \frac{iR - U_0}{L}$.

Г. $\frac{di}{dt} = \frac{L}{U_0 + iR}$.

16. Вкажіть найбільш повну та правильну відповідь.

Якими способами здійснюють плавне регулювання струму за допомогою силового трансформатора у випрямлячах для дугового зварювання?

А. Зміною відстані між обмотками та схеми з'єднання котушок обмоток.

Б. Зміною схеми з'єднання котушок вторинної обмотки, відстані між обмотками та положення магнітних шунтів.

В. Зміною відстані між обмотками, положення магнітних шунтів та підмагнічуванням ярем сердечника.

Г. Зміною схеми з'єднання котушок первинної обмотки, відстані між обмотками та підмагнічуванням ярем сердечника.

17. Вкажіть суттєві недоліки випрямлячів з жорсткими зовнішніми ВАХ та ступінчастим регулюванням вихідної напруги.

А. Необхідність у великій кількості ступенів для точного встановлення режиму зварювання та неможливість дистанційного регулювання.

Б. Збільшена необхідна розрахункова потужність при секціонуванні первинної обмотки.

В. Низький коефіцієнт використання трансформатора при роботі на максимальній потужності через секціонування первинної обмотки.

Г. Усі відповіді правильні.

18. Плавне регулювання вихідної напруги у випрямлячах з жорсткими ВАХ здійснюється:

А. Зміною коефіцієнту трансформації силового трансформатора.

Б. Підмагнічуванням ярем силового трансформатора.

В. Фазовим регулюванням силових тиристорів.

Г. Усіма переліченими способами.

19. Виберіть найбільш правильну відповідь.

Завдяки можливості зміни нахилу зовнішніх ВАХ випрямлячів типу ВСЖ забезпечується:

А. Підвищення стійкості горіння дуги та стабілізація робочої напруги.

Б. Підвищення стійкості горіння дуги та зниження розбрикування металу.

В. Роздільне регулювання напруги холостого ходу та зниження розбрикування металу.

Г. Роздільне регулювання напруги холостого ходу та стабілізація робочої напруги.

20. Найбільш ефективними способами обмеження струму короткого замикання у випрямлячах при зварюванні у середовищі CO_2 є:

А. Вмикання у зварювальне коло індуктивного та активного опорів.

Б. Вмикання у зварювальне коло індуктивного опору та зміна нахилу зовнішньої ВАХ.

В. Вмикання у зварювальне коло активного опору та зміна нахилу зовнішньої ВАХ.

Г. Усі способи рівнозначні.

Лабораторна робота № 5

ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З КОЛЕКТОРНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ПСГ-500-1 (2 год)

Мета роботи: 1. Вивчити конструкцію та електричну схему перетворювача ПСГ-500-1. 2. Вивчити принцип формування зовнішньої вольт-амперної характеристики генератора ПСГ-500-1 і практично освоїти спосіб регулювання вихідної напруги. Визначити експлуатаційні та техніко-економічні показники перетворювача.

Теоретичні відомості

Зварювальні перетворювачі належать до електричних машин постійного струму спеціального призначення і складаються у загальному випадку зі зварювального генератора з будь-якою зовнішньою характеристикою – спадною, жорсткою або зростаючою та приводного двигуна – електричного або внутрішнього згоряння.

Звичайний колекторний генератор постійного струму містить статор-корпус, на якому закріплені полюси, якір з обмоткою і колектором та щітковий механізм. Корпус генератора є частиною магнітопроводу, через нього замикається магнітний потік. Оскільки магнітний потік у генераторі постійний, то статор виготовляється не з пластин електротехнічної сталі, а з цільної заготовки литої сталі. Сердечники

полюсів виготовляються із пластин електротехнічної сталі, ізольованих між собою, оскільки при обертанні якоря в наконечниках полюсів виникає пульсація магнітного потоку, і з'являються додаткові втрати на вихрові струми та перемагнічування.

Полюси поділяють на головні та додаткові. Головні полюси призначені до створення основного магнітного потоку, задля чого на полюс намотується обмотка збудження. Додаткові полюси призначені для покращення комутації.

Якір генератора складається з вала, сердечника з обмоткою та колектора. Сердечник якоря так само, як і сердечник полюсів, набирають із пластин електротехнічної сталі та напресовують на вал. У сердечнику якоря виштамповані пази, в які укладається обмотка якоря, що виготовляється з обмотувального дроту. Кінці секцій обмоток електрично з'єднані з колекторними пластинами.

Колектор звичайно виконують у вигляді циліндра, зібраного з пластин твердотягнутої міді, ізольованих між собою та валом. Електричний контакт колектора із зовнішнім електричним колом здійснюється щітками, що розташовуються в щіткотримачах. Щітки виготовляються із матеріалів на основі графіту. Щільний і надійний контакт між щіткою та колектором здійснюється за допомогою пружин, що притискають щітки до колектора.

Однопостовий перетворювач ПСГ-500-1У2, призначений для механізованого та автоматичного зварювання у вуглекислому газі з постійною швидкістю подачі електродного дроту, принципово має типову конструкцію. Він має однокорпусне виконання і складається з зварювального генератора типу ГСГ-500-1 і змонтованого з ним на одному валу приводного трифазного асинхронного електродвигуна типу А-71-2 з короткозамкненим ротором (рис. 5.1).

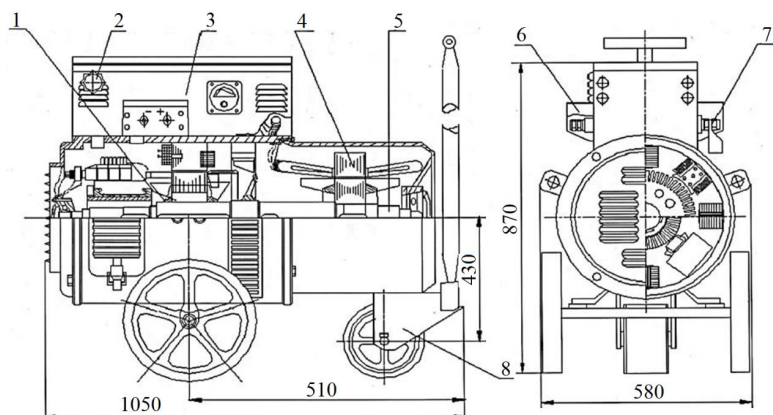


Рис. 5.1. Загальний вигляд перетворювача ПСГ-500-1:
 1 – генератор ГСГ-500-1; 2 – регулятор напруги; 3 – шафа з пусковою та регулюючою апаратурою; 4 – електродвигун А-71-2; 5 – приводний вал; 6 – дошка затискачів генератора; 7 – дошка затискачів двигуна;
 8 – поворотна траверса

Перетворювач може працювати в закритих та відкритих виробничих приміщеннях (під навісом, на верандах, у наметах) при температурі повітря до $+35^{\circ}\text{C}$, відносній вологості 95 % і висоті над рівнем моря до 1000 м. Технічна характеристика перетворювача наведена в додатку 2, табл. 2.2Д.

Зварювальний генератор ГСГ-500 цього перетворювача є чотириполюсною машиною з самозбудженням і обмоткою, розташованою на всіх головних полюсах.

На корпусі генератора з внутрішньої сторони укріплені сердечники полюсів. На полюсах насаджено котушки із ізолюваного дроту з обмотками збудження, які включені в електричне коло генератора. Якір зібраний з пластин з подовжніми пазами, в яких укладені ізолювані витки обмоток якоря. На одному кінці якоря укріплений колектор, що складається з великої кількості мідних пластин, кінці яких спаяні з виводами витків обмотки якоря. До пластин колектора підтискаються графітові щітки, закріплені на корпусі

генератора. На іншому кінці якоря знаходиться вентилятор, що охолоджує внутрішні частини перетворювача.

Ротор приводного електродвигуна і якір генератора змонтовані на одному спільному валу. Пуск та зупинка приводного двигуна здійснюється за допомогою пакетного вимикача.

Зверху на корпусі перетворювача в спеціальному корпусі (див. рис. 5.1) укріплені реостат для регулювання вихідної напруги, пускова апаратура, вольтметр і клемні дошки двигуна й генератора. Також у цьому корпусі розміщений перешкодоподавляючий фільтр – 6 конденсаторів типу КБГ-И-2-600 ємністю 0,025 мкФ кожен.

Генератор працює за принципом електромагнітної індукції. При обертанні якоря його обмотка перетинає магнітні силові лінії магнітів, у результаті в обмотці якоря наводиться змінний струм, який за допомогою механічного випрямляча (колектор-щітки) перетворюється на постійний.

Статор генератора має 4 головних і 4 додаткових полюси (рис. 5.2,*а*).

Одна пара головних полюсів, які розташовані поряд, має розвинений переріз (магнітна система не насичена), друга пара головних полюсів має вирізи (магнітна система сильно насичена, позначено буквою «н»). На полюсах з ненасиченою системою укладена основна намагнічуюча обмотка збудження L1 (рис. 5.2,*б*), а на полюсах з насиченою магнітною системою – додаткова намагнічуюча обмотка L2.

Обидві обмотки підключені до головних щіток «а» і «б», тобто до початку роботи система має залишковий магнетизм, завдяки чому забезпечується самозбудження генератора.

Для регулювання вихідної напруги генератора передбачений реостат R_p . Коли регулятор R_p повністю введений, напруга холостого ходу забезпечується обмоткою L2, роз-

ташованою на насиченій парі полюсів, оскільки намагнічуюча сила обмотки $L1$ обмежена відносно великим опором реостата R_r . Тому е.р.с., яка наводиться під ненасиченими полюсами, при повністю введеному R_p має мінімальне значення і її вплив на е.р.с. генератора незначний.

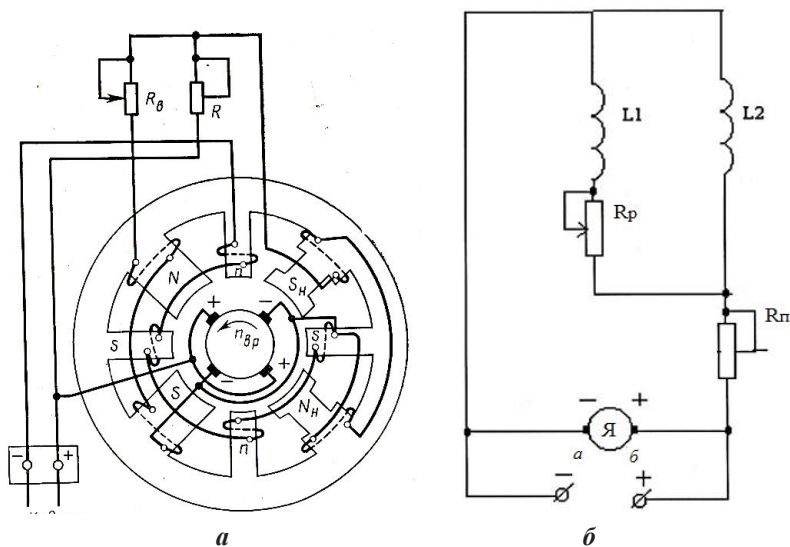


Рис. 5.2. Електромагнітна (а) та принципова електрична (б) схеми генератора ГСГ-500-1

Із зменшенням опору R_p кола обмотки $L1$ напруга генератора від ненасиченої пари полюсів збільшується пропорційно різниці між магнітним потоком Φ_1 , створеним обмоткою збудження ненасичених полюсів, і потоком Φ_2 , створеним обмоткою збудження насичених полюсів, тобто приймає значення $U_r = C(\Phi_1 - \Phi_2)$, де C – стала генератора.

Вихідна напруга генератора U_r при замиканні зварювального кола створює зварювальний струм I_d . Оскільки магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 не залежать від величини I_d , а реакція якоря практично не впливає на напругу U_r , то остання

залишається незмінною при роботі генератора під навантаженням. Таким чином у генераторі ГСГ-500-1 формуються жорсткі зовнішні вольт-амперні характеристики.

Встановлений в колі обмотки L_2 підстроювальний опір R_p дає змогу підібрати жорсткі зовнішні характеристики з відхиленням в межах $\pm 0,04$ В/А для отримання найкращих динамічних властивостей генератора. Величина R_p визначається на заводі-виробнику під час випробовувань перетворювача ПСГ-500-1.

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Перетворювач ПСГ-500-1У2.
2. Баластний реостат типу РБ-300 (або блок баластних реостатів ББР-1200).
3. Амперметр РА1 з трансформатором струму ТА1, РА2, РА3 з шунтом RS (рис. 5.3).
4. Вольтметри PV1, PV3.

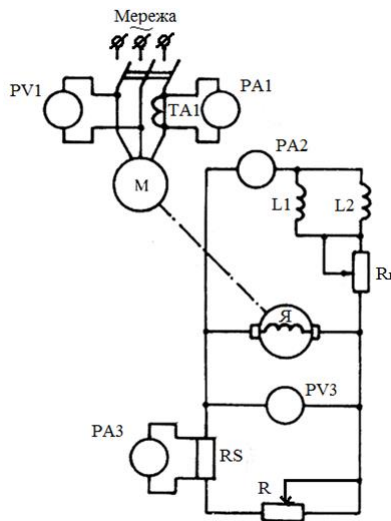


Рис. 5.3. Схема підключення вимірювальних приладів і апаратури

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію, електромагнітну та принципову електричну схеми перетворювача.
2. Освоїти порядок вмикання перетворювача та способи регулювання вихідної напруги.
3. Познайомитися зі схемою підключення вимірювальних приладів для проведення дослідів (рис. 5.3).
4. Рукоюткою на шафі керування увімкнути перетворювач.
5. Встановити за допомогою реостата регулювання вихідної напруги R_r (узагальнений опір $R_p + R_n$) струм у колі збудження генератора $I_2 = 1,0$ А і поміряти в режимі холостого ходу параметри U_1, I_1 та U_3 . Результати занести у табл. 5.1 (дослід № 1).

Таблиця 5.1. Результати дослідів

№ досліду	Режим роботи генератора	Вимірювання					Розрахунок		
		Коло живлення приводного двигуна		Коло збудження генератора		Зварювальне коло	Коло живлення приводного двигуна		Зварювальне коло
		U_1 , В	I_1 , А	I_2 , А	U_3 , В	I_3 , А	$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 I_1$, Вт	$P_3 = U_3 \cdot I_3$, Вт	$\eta = \frac{P_3}{P_1}$
1	XX			1,0					
2	РН	4–5 значень							
3	XX			2,0					
4	РН	4–5 значень							
5	XX			3,0					
6	РН	4–5 значень							

6. Підтримуючи за допомогою реостата R_r струм у колі збудження генератора $I_2 = 1,0$ А, навантажити генератор за допомогою баластного реостата R (Режим роботи генератора – РН). Навантаження змінювати довільно 4–5 разів.

Результати занести у табл. 5.1 (дослід № 2). **Увага! Вимірювання параметрів у режимі короткого замикання не проводити!**

7. Встановити струм у колі збудження генератора $I_2 = 2,0$ А. Повторити дослід за п.п. 5 та 6. Результати занести у табл. 5.1 (дослід № 4).

8. Повторити дослід за п.п. 5 та 6 при струм у колі збудження генератора $I_2 = 3,0$ А. Результати занести у табл. 5.1 (досліди №№ 5; 6).

9. За отриманими результатами дослідів побудувати сімейство зовнішніх вольт-амперних характеристик $U_3 = f(I_3)_{|I_2=1,2,3 \text{ А}}$ та характеристику холостого ходу $U_{30} = f(I_2)$ генератора.

10. Розрахувати параметри P_1 , P_2 та η і побудувати графіки залежності $\eta = f(I_3)_{|I_2=1,2,3 \text{ А}}$. Зробити висновок.

11. Встановити за допомогою баластного реостата R струм навантаження $I_3 = 300$ А і зняти регульовальну характеристику генератора. Результати занести у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Дослідження регульовальної характеристики генератора

Струм збудження I_2 , А	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Вихідна напруга U_3 , В						

12. За даними табл. 5.2 побудувати графік функції $U_3 = f(I_2)$. Зробити висновок.

Оформлення звіту

Звіт повинен вмішувати: 1) мету роботи; 2) короткий опис конструкції перетворювача, його електромагнітну та електричну схеми, технічну характеристику; 3) електричну схему підключення обладнання та вимірювальних приладів; 4) таблиці результатів дослідів; 5) сімейство зовнішніх характеристик генератора ГСГ-500-1 $U_3 = f(I_3)$;

6) характеристику холостого ходу $U_{30} = f(I_2)$; 7) регулювальну характеристику $U_3 = f(I_2)$; 8) графіки залежності $\eta = f(I_3)_{|I_2=1,2,3 \text{ А}}$; 9) висновки з роботи.

Контрольні питання

1. Яке фізичне явище покладене в основу роботи зварювального генератора постійного струму?
2. Як відбувається перетворення електричної енергії живлення приводного двигуна перетворювача ПСГ-500-1 в енергію постійного струму для зварювання?
3. Розкрийте суть формування зовнішньої вольт-амперної характеристики генератора ГСГ-500-1.
4. Як регулюється вихідна напруга цього генератора?
5. Які фактори впливають на величину коефіцієнта корисної дії зварювального перетворювача?

Тестове завдання 5

1. На якому фізичному законі ґрунтується принцип перетворення енергії у зварювальних генераторах?

- А. Джоуля – Ленца.
- Б. Третьому законі Ньютона.
- В. Законі електромагнітної індукції Фарадея.
- Г. Законі Ома для замкнутого магнітного кола.

2. Встановіть відповідність у вигляді комбінації букв і цифр.

Призначення конструктивних вузлів зварювального колекторного генератора постійного струму.

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| А. Щітковий механізм | 1. Випрямлення індукованої е.р.с. |
| Б. Магнітна система | 2. Індукування е.р.с. |
| В. Колектор | 3. Зняття постійної е.р.с. |
| Г. Якір | 4. Створення магнітного потоку. |

3. Визначте буквою правильне словосполучення для закінчення речення.

Принципова різниця між зварювальним перетворювачем і зварювальним агрегатом постійного струму полягає у _____.

- А. Будові магнітної системи збудження.
- Б. Способі випрямлення індукованої е.р.с.
- В. Типі приводного двигуна.
- Г. Конструкції якоря.

4. Вкажіть букву, яка визначає словосполучення для правильного закінчення речення.

Зовнішня характеристика генератора являє собою графічне зображення залежності напруги на вихідних клеммах від сили зварювального струму при незмінній _____.

- А. Частоті обертання якоря.
- Б. Силі струму в колі збудження.

В. Силі струму навантаження та частоті обертання якоря.

Г. Силі струму в колі збудження та частоті обертання якоря.

5. У колекторному зварювальному генераторі намагнічувальна обмотка відрізняється від послідовної обмотки:

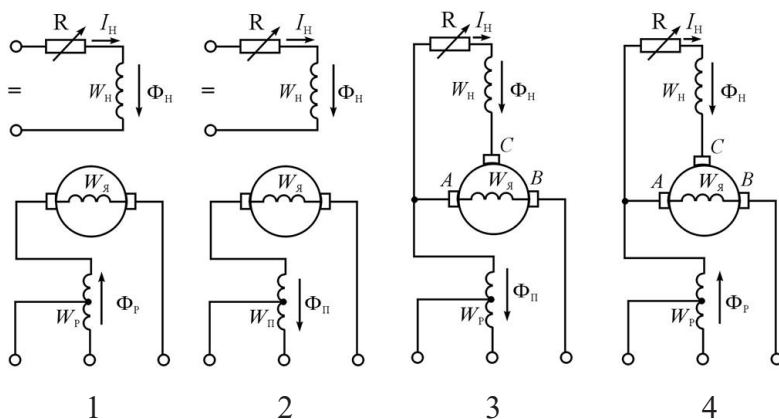
А. Більшою кількістю витків.

Б. Більшою площею поперечного перерізу дроту.

В. Меншою кількістю витків.

Г. Меншою площею поперечного перерізу дроту.

6. Встановіть відповідність у вигляді комбінації букв і цифр між електромагнітною схемою та типом колекторного генератора.



А. З самозбудженням та послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Б. З самозбудженням та послідовною підмагнічувальною обмоткою.

В. З незалежним збудженням та послідовною розмагнічувальною обмоткою.

Г. З незалежним збудженням та послідовною підмагнічувальною обмоткою.

7. Які функції виконує послідовна розмагнічувальна обмотка у зварювальному колекторному генераторі?

- А. Формує спадну зовнішню ВАХ.
- Б. Обмежує напругу холостого ходу.
- В. Забезпечує плавне регулювання зварювального струму.
- Г. Забезпечує ступінчасте регулювання зварювального струму.

8. Вкажіть правильний запис формули для визначення напруги холостого ходу колекторного зварювального генератора.

А. $U_{0r} = \frac{cR_{\mu n} i_n}{w_n}$.

В. $U_{0r} = \frac{cw_n i_n}{R_{\mu n}}$.

Б. $U_{0r} = \frac{cR_{\mu n} w_n}{i_n}$.

Г. $U_{0r} = \frac{cw_n}{i_n R_{\mu n}}$.

9. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв:

Тип колекторного зварювального генератора

Рівняння зовнішньої ВАХ

А. З послідовною розмагнічувальною обмоткою збудження

1. $U_r \approx \frac{c}{R_{\mu n}} w_n i_n$.

Б. З послідовною підмагнічувальною обмоткою збудження

2. $U_r \approx \frac{c}{R_{\mu}} w_n i_n - I_r (R_r + R_e)$.

В. Без послідовної обмотки збудження

3. $U_r \approx \frac{c}{R_{\mu}} w_n i_n + I_r (R_r + R_e)$.

10. Як змінюються параметри зовнішньої ВАХ колекторного генератора незалежного збудження з послідовною розмагнічувальною обмоткою при зростанні струму в обмотці намагнічування?

А. Форма ВАХ не змінюється, напруга холостого ходу знижується.

Б. Форма ВАХ не змінюється, напруга холостого ходу зростає.

В. Напруга холостого ходу та крутизна ВАХ знижуються.

Г. Напруга холостого ходу та крутизна ВАХ зростають.

11. Яке рівняння використовують для оцінки способів регулювання (налагоджування) зварювального струму генератора з розмагнічувальною обмоткою?

А. $I_d = \frac{U_{0r} - U_d}{R_e}$.

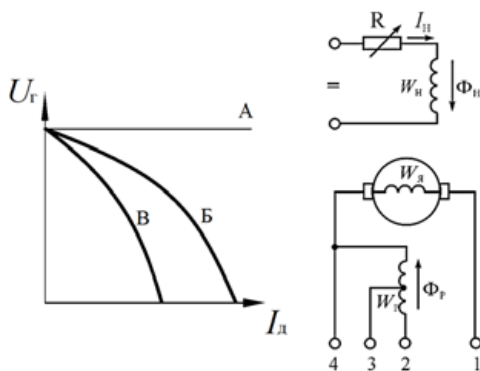
В. $I_d = \frac{\sqrt{U_{0r}^2 - U_d^2}}{R_e}$.

Б. $I_d = \frac{U_d - U_{0r}}{R_e}$.

Г. $I_d = \frac{\sqrt{U_d^2 - U_{0r}^2}}{R_e}$.

12. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

У наведеній електромагнітній схемі колекторного генератора вивід 1 підключений до навантаження незмінно. Позначте відповідними буквами ВАХ підключення другого виводу генератора до клем 2; 3; 4.



13. Яке технічне рішення дозволяє отримати постійну напругу для живлення намагнічувальної обмотки в генераторі з самозбудженням?

А. Стабілізація частоти обертання якоря.

Б. Встановлення на колекторі додаткової щітки між двома основними.

В. Розташування витків обмотки якоря під кутом до осі його обертання.

Г. Щільне притискання струмознімних щіток до пластин колектора.

14. Чим принципово відрізняється колекторний генератор від вентильного?

А. Кількістю та формою полюсів статора.

Б. Конструкцією випрямного блоку.

В. Типом приводного двигуна.

Г. Місцем розташування обмотки збудження.

15. Як змінюється величина індукції в зазорі між полюсами ротора і статора в індукторному генераторі?

А. За синусоїдальним законом.

Б. Характер зміни залежить від режиму навантаження.

В. За законом пульсуючого циклу.

Г. Не змінюється.

16. Вкажіть причину зміни магнітного потоку при роботі вентильного зварювального генератора.

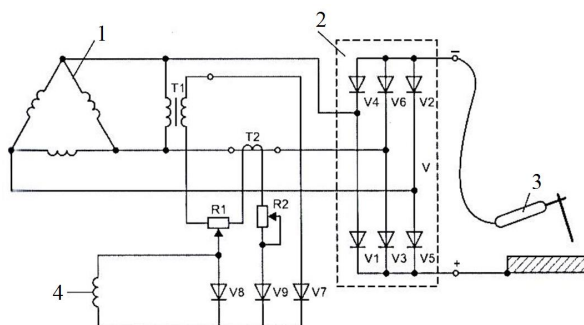
А. Нерухомість обмотки збудження.

Б. Зсув полюсів магнітних пакетів ротора на 180° .

В. Пульсація індукції у зазорі між полюсами статора і ротора.

Г. Періодична зміна магнітного опору на шляху магнітного потоку.

17. Встановіть відповідність у вигляді комбінації букв і цифр, якими позначені елементи спрощеної електричної схеми вентильного генератора з самозбудженням.



- А. Випрямний блок.
- Б. Обмотка статора.
- В. Обмотка збудження.
- Г. Електродотримач.

18. Яку природну зовнішню ВАХ формує вентильний зварювальний генератор?

- А. Зростаючу.
- Б. Жорстку.
- В. Спадну.
- Г. Будь-яку з означених.

19. Регулювання зварювальних режимів вентильних генераторів здійснюється зміною:

- А. Схеми з'єднання силових обмоток.
- Б. Струму обмотки збудження.
- В. Частоти обертання ротора.
- Г. Всіма означеними способами.

20. Вкажіть головний недолік індукторних машин, зокрема вентильних зварювальних генераторів.

- А. Наявність постійної складової магнітного потоку.
- Б. Чутливість вентилів до температурних умов експлуатації.
- В. Висока вибагливість до підтримання частоти обертання ротора.
- Г. Підвищені витрати активних матеріалів.

Лабораторна робота № 6

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ІНВЕРТОР PS 5000 (2 год)

Мета роботи: 1. Вивчити будову та електричну схему силової частини інверторного зварювального джерела постійного струму. 2. Ознайомитись з принципом та засобами синергетичного керування процесом імпульсно-дугового зварювання MIG в мультисистемі «Kemppi». 3. Експериментально дослідити вольт-амперні характеристики зварювального інвертора PS 5000.

Теоретичні відомості

Джерело живлення PS 5000

Джерело PS 5000 являє собою багатофункціональний випрямляч інверторного типу з відносно невеликою частотою зварювального струму. Технічні характеристики джерела (додаток 2, табл. 2.2Д) дозволяють використовувати його для ручного дугового зварювання покритими електродами (MMA), неплавким електродом (TIG) та плавким електродом (MIG) в інертних газах. Але для зварювання TIG джерело має бути укомплектованим додатковим блоком безконтактного збудження дуги, а для зварювання MIG – блоком подачі електродного дроту.

Генерований джерелом зварювальний струм з найбільшою частотою $f = 5000$ Гц обумовлює при достатній потуж-

ності порівняно невеликі габаритні розміри і масу зварювального апарата.

Будова джерела PS 5000 відповідає загальній будові автономного інверторного зварювального джерела живлення (рис. 6.1), але в даному випадку воно є складовою частиною багатофункціональної системи PS 5000 «Кемпрі», яка може бути застосована у комплексі з різними зварювальними автоматами або роботами.

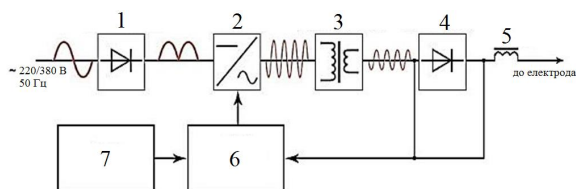


Рис. 6.1. Структурна блок-схема зварювального інверторного випрямляча:

- 1 – первинний низькочастотний випрямляч; 2 – блок інвертування; 3 – високо-частотний трансформатор; 4 – вторинний високочастотний випрямляч; 5 – вторинний дросель; 6 – блок зворотного зв'язку; 7 – блок керування

6.1. Склад та призначення блоків мультисистеми PS 5000 «Кемпрі»

До складу мультисистеми PS входять наступні компоненти: 1) блоки збудження імпульсів для зварювання методом TIG – TU10, TU20; 2) блоки подачі електродного дроту для зварювання методом MIG – FU05, FU 10, FU 20, FU 30; пристрій водяного охолодження – WU10; 4) пристрої дистанційного керування – C100C (зварювання MMA або TIG), C100P (імпульсне зварювання TIG), C110D (зварювання MIG постійним струмом), C120P (імпульсне зварювання MIG); 5) блоки транспортування – T10 (зварювання MIG або TIG з газовим охолодженням), T30 (зварювання MIG/TIG з водяним охолодженням); 6) допоміжні функціональні блоки PSM 10, PSM 11 та PSM 20.

Загальний вигляд джерела живлення PS 5000 (без захисного кожуха) наведений на рис. 6.2, спрощена електрична схема – на рис. 6.3.

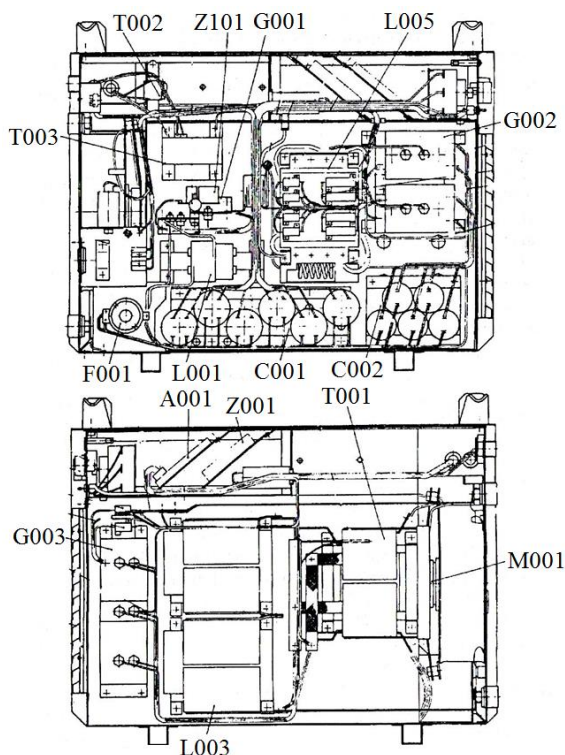
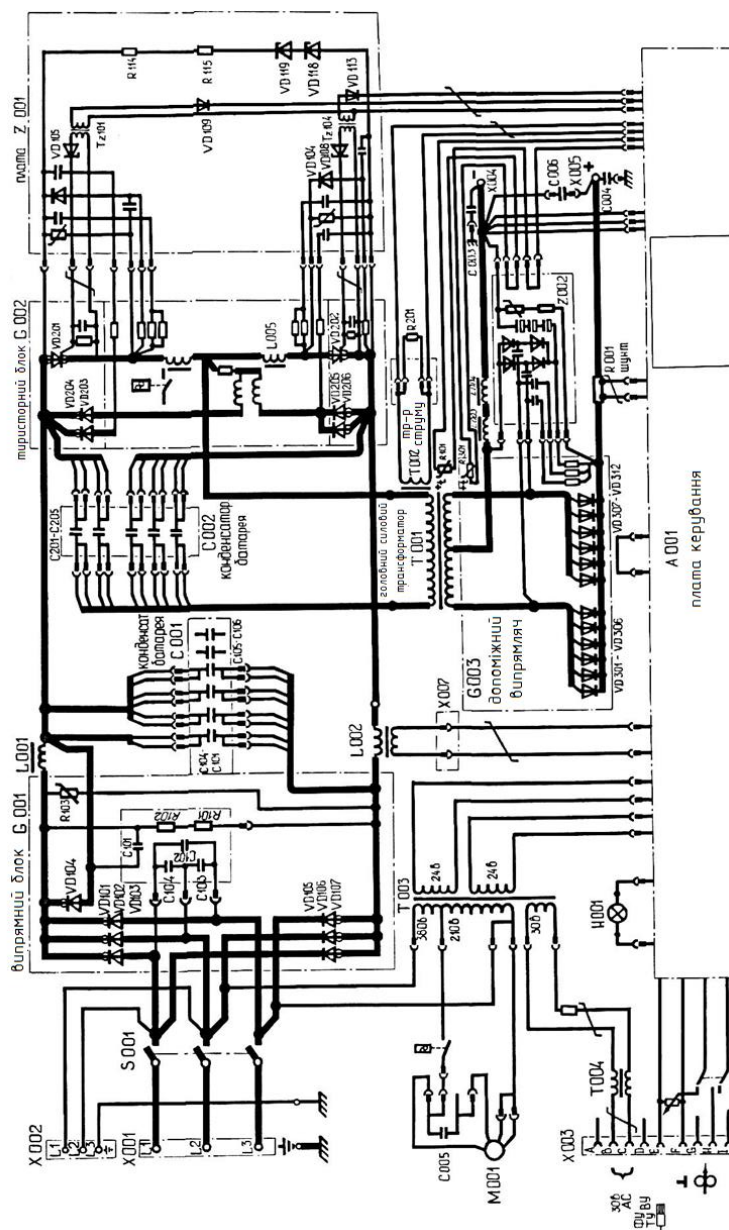


Рис. 6.2. Конструкція джерела живлення PS 5000:

T001 – головний трансформатор; T002 – трансформатор струму; T003 – трансформатор кіл керування; G001 – первинний випрямляч; G002 – інверторний блок; G003 – вторинний випрямляч; L001 – первинний дросель; L003 – вторинний дросель; L005 – блок комутації; C001, C002 – батареї конденсаторів; A001 – плата керування; Z001, Z002 – допоміжні плати; M001 – вентилятор; F001 – запобіжник (назви блоків та елементів, а також їх позначення відповідають оригіналу технічного паспорта)



Джерело отримує напругу від трифазної мережі через перемикач S001 (див. рис. 6.3). Напруга подається до первинного випрямляча G001, який складається з шести діодів VD101–VD107, з'єднаних за трифазною мостовою схемою випрямлення. Для зменшення пульсацій випрямленої напруги на виході з блоку G001 встановлений первинний дросель L001, з якого постійний струм подається до інверторного перетворювача (блок G002), до складу якого входять тиристори VD201 і VD202, діоди VD203–VD206 та блок конденсаторів C002. Керування інверторним перетворювачем здійснюється за допомогою комутаційного блоку L005, з'єданого з платою керування A001.

Високочастотна напруга з інвертора потрапляє на первинну обмотку головного трансформатора T001, на якому вона знижується до необхідної для зварювання величини, а потім випрямляється на вторинному випрямлячеві G003, зібраному на діодах VD301–VD306 і VD307–VD312 за схемою однофазного випрямлення з виводом нульової точки трансформатора T001. Пульсації випрямленої напруги зменшуються за допомогою вторинного дроселя L003, увімкнутого послідовно у зварювальне коло.

Пуск джерела здійснюється перемикачем S001. При встановленні його у положення I (позначка нанесена на передню панель) загоряється лампочка H001, яка сигналізує про наявність напруги холостого ходу на вихідних клеммах X004 (–) і X005 (+) джерела.

Випрямляч PS 5000 має вентилятор охолодження M001 з термостатичним керуванням, тобто вентилятор автоматично вмикається термостатом після досягнення джерелом певної заданої температури.

На передній панелі джерела розміщений перемикач S002 («Місцеве або дистанційне керування»). У положенні «Місцеве керування» формується лише спадна (штикова)

зовнішня вольт-амперна характеристика для зварювання покритими електродами – так звана характеристика постійного струму. Сила струму регулюється потенціометром R001 зі шкалою, який встановлений на лицьовій панелі джерела. В положенні «Дистанційне керування» апарат керується за допомогою окремого дистанційного пристрою, який підключається до клеми на задній панелі випрямляча.

Жорстка зовнішня характеристика для зварювання методом MIG формується автоматично одразу ж після підключення пристрою FU подачі електродного дроту до джерела живлення PS.

У передній частині інверторного джерела встановлюються допоміжні модулі, які полегшують зварювальні роботи, наприклад, вони дозволяють більш точно встановлювати і регулювати деякі параметри зварювального процесу. Так, універсальні блоки PSM10, PSM11 (рис. 6.4) виконують наступні функції:

а) безступеневе (плавне) регулювання потенціометром R12 сили струму, збудження дуги під час зварювання MMA;

б) зварювання MMA матеріалів малої товщини електродними електродами малого діаметра;

в) безступеневе регулювання потенціометром R11 динамічних вольт-амперних характеристик джерела при зварюванні методом MIG/MAG. Таке регулювання застосовується при автоматичному та роботизованому зварюванні, а також для отримання швів високої якості при ручному зварюванні покритими електродами;

г) зміну зовнішніх характеристик за допомогою перемикачів S11 під час зварювання MMA. Функція застосовується при зварюванні точками нержавіючої сталі малої товщини;

д) зміну зовнішньої характеристики за допомогою перемикача S12 (тільки в блоці PSM11). Цей метод зварювання реалізується також з використанням дистанційного регулятора C120P у компоновці мультисистеми MIG.

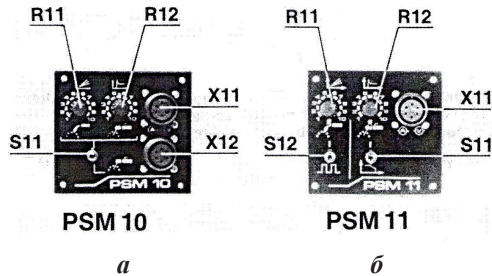


Рис. 6.4. Універсальні комплектуючі функціональні блоки:
 а – PSM 10; б – PSM 11; X11, X12 – роз'єднувачі
 для підключення вимірювальних приладів
 (інші позначення див. у тексті)

6.2. Синергетичне обладнання для імпульсного зварювання MIG в мультисистемі «PS Kemppi»

Як відомо, при зварюванні в захисних газах плавким електродом MIG/MAG перехід металу здійснюється головним чином двома процесами – у діапазонах короткої та довгої дуги.

В процесі зварювання короткою дугою електродний метал переноситься з частими короткими замиканнями, а в процесі зварювання довгою дугою – дрібними краплями без коротких замикань міжелектродного простору. Поєднання цих двох процесів дозволяє зварювати листовий метал різної товщини у всіх просторових положеннях. Такий метод зварювання (імпульсний MIG) потребує регулювання п'яти параметрів процесу: струму імпульсу, струму паузи, тривалості імпульсу, частоти імпульсів та швидкості подачі зварювального дроту.

Ця задача легко розв'язується при застосуванні обладнання з синергетичною системою керування, яка дозволяє на основі використання мікроконтролерів вибирати оптимальні циклограми зварювального процесу, з ура-

хуванням марки, товщини та властивостей металовиробу, а також особливостей зварювальних матеріалів, діаметра та марки дроту, виду і просторового положення зварного з'єднання.

Синергетичний зварювальний апарат визначає імпульси струму для від'єднання розплавлених крапель заданого об'єму у процесі плавлення електродного дроту у поєднанні з іншими параметрами режиму, необхідними для стабільного зварювального процесу. Всі ці параметри закладаються у програму керування синергетичного зварювального апарату.

До головних характеристик синергетичної роботи зварювального апарата відносяться:

- 1) автоматичний вибір параметрів імпульсів.
- 2) безпосередній зв'язок частоти імпульсів та їх тривалості зі швидкістю подачі електродного дроту.
- 3) електронний контроль параметрів режиму зварювання для забезпечення рівномірного формування профілю шва.

Таким чином, керування процесом генерування імпульсів джерела живлення здійснюється через попереднє програмування відносно до швидкості подачі дроту.

Мультисистема PS 5000 MIG перетворюється в ефективну систему імпульсного зварювання простим з'єднанням з нею імпульсного регулятора C120P та блока додаткових функцій PSM11.

В імпульсному регуляторі C120P попередньо запрограмовані оптимальні параметри режиму для дев'яти різних комбінацій матеріалу та діаметра зварювального дроту (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Програмовані режими імпульсного зварювання при використанні мультисистеми PS 5000 MIG

Матеріал	Діаметр дроту	Товщина матеріалу не менше	Середній струм	
			не менше	не більше
	мм		А	
Алюміній	1,0	1,0	35	305
	1,2	1,0	40	360
	1,6	1,0	45	435
Нержавіюча сталь	1,0	1,0	45	300
	1,2	1,0	50	360
	1,6	1,5	65	500
Вуглецева сталь	1,0	0,75	50	320
	1,2	0,75	55	430
	1,6	1,5	95	500

Обладнання, прилади, інструменти та матеріали

1. Інверторне джерело живлення PS 5000.
2. Штатний виносний блок вимірювальних приладів MU 10 (вольтметр, амперметр).
3. Блок баластних реостатів ББР-1200.

Порядок виконання роботи

1. Познайомитися з конструкцією та вивчити головні блоки силової електричної схеми джерела PS 5000.
2. Підключити баластний реостат, перевірити під наглядом лаборанта або викладача роботу джерела в режимі холостого ходу та під навантаженням.
3. Встановити на шкалі потенціометра R001 на лицьовій панелі джерела силу зварювального струму $I_{шк} = 10 \text{ А}$ і зняти зовнішню вольт-амперну характеристику (дослід № 1). Вимірювання параметрів виконати з використанням виносного блоку приладів. Результати занести в табл. 6.2. **Увага! Вимірювання параметрів у режимі короткого замикання не проводити!**

4. Повторити дослід за п. 3 двічі при $I_{\text{шк}} = 200$ А та $I_{\text{шк}} = 500$ А. Результати занести в табл. 6.2.

5. За даними табл. 6.2 побудувати графіки сімейства вольт-амперних характеристик $U = f(I)$.

Таблиця 6.2. Результати дослідів № 1

Положення ручки потенціометра R001	Встановлена сила струму $I_{\text{шк}}$ на шкалі потенціометра R001, А		
	10	200	500
U , В	5–6 значень	5–6 значень	5–6 значень
I , А			

6. Накласти на графіки залежності $U = f(I)$ навантажувальну пряму, розраховану за формулою $U = 20 + 0,04I$ та визначити найменше $I_{2\min}$ і найбільше $I_{2\max}$ значення зварювального струму.

7. Розрахувати кратність регулювання зварювального струму за формулою $k_i = \frac{I_{2\max}}{I_{2\min}}$.

8. Встановити за допомогою баластного реостата струм навантаження $I_{\text{н}} = 200$ А і, змінюючи потенціометром R001 положення його ручки по шкалі на лицьовій панелі джерела живлення з кроком 50 А, фіксувати значення вихідної напруги та струму. Результати дослідів № 2 занести в табл. 6.3.

Таблиця 6.3. Результати дослідів № 2

Параметр	Струм навантаження $I_{\text{н}}$, встановлений баластним реостатом, А										
	200					500					
Струм, що відповідає положенню ручки потенціометра R001	0	50	100	150	200	0	100	200	300	400	500
Вихідна напруга U , В											
струм I , А											

9. Повторити досліди за п. 8 при $I_n = 500$ А та кроці струму 100 А по шкалі потенціометра R001 . Результати занести в табл. 6.3.

10. Побудувати графіки залежності $U = f(I)_{|I_n=200,500\text{А}}$, порівняти їх з графіками п. 6, зробити висновки.

Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати: 1) мету роботи; 2) короткий опис складу мультисистеми PS 5000 «Кемпрі»; 3) технічну характеристику інверторного випрямляча PS 5000, його електричну схему; 4) таблиці результатів дослідів; 5) сімейство зовнішніх характеристик $U = f(I)$ джерела PS 5000; 6) розрахунок коефіцієнта регулювання за струмом k_i ; 7) графіки залежності $U = f(I)_{|I_n=200,500\text{А}}$; 8) висновки з роботи.

Контрольні питання

1. З яких складових блоків побудована мультисистема PS 5000 «Кемпрі»?

2. Як відбувається перетворення напруги мережі в напругу і струм для зварювання в інверторному джерелі живлення?

3. Які відмітні особливості має будова блоку інвертування джерела PS 5000?

4. В чому полягає суть синергетичного керування параметрами режиму імпульсного зварювання методом MIG при використанні мультисистеми PS 5000 «Кемпрі»? Які функціональні блоки при цьому використовуються?

5. Як забезпечується джерелом PS 5000 стабілізація струму при зварюванні методами MMA та TIG?

Тестове завдання 6

1. Як зміниться час перерви у горінні дуги, якщо частоту змінного однофазного струму, що протікає по зварювальному колу, збільшити вдвічі:

- А. Збільшиться у 2 рази. В. Скоротиться у 2 рази.
Б. Збільшиться у 4 рази. Г. Скоротиться у 4 рази.

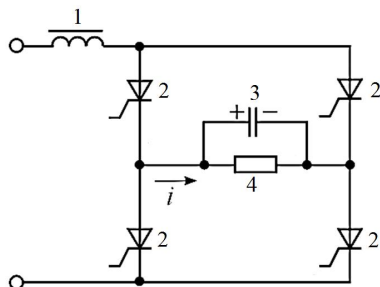
2. Вкажіть буквою правильну відповідь для закінчення речення.

Електронний пристрій, що перетворює постійну напругу у змінну високочастотну, називається _____.

- А. Випрямлячем. В. Інвертором.
Б. Генератором. Г. Конвертором.

3. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Елементи, позначені цифрами на електричній схемі інверторного перетворювача, служать для:

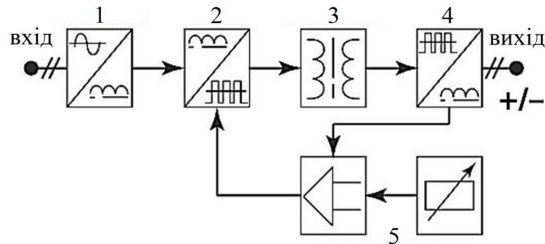


- А. Керування частотою змінної напруги, що генерується.
Б. Згладжування пульсацій струму у входному колі.
В. Навантаження схеми.
Г. Комутації ключів.

4. Інверторний перетворювач, на вході якого встановлений потужний накопичувальний конденсатор, називається:

- А. Інвертором струму. В. Резонансним інвертором.
Б. Інвертором напруги. Г. Зварювальним інвертором.

5. Визначте блоки, позначені цифрами на принциповій блок-схемі інверторного джерела живлення.

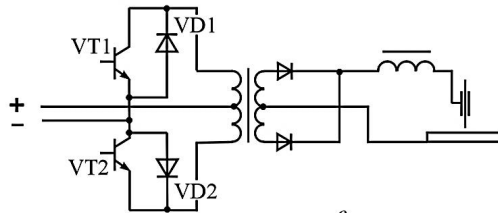


- А. Первинний низькочастотний випрямляч.
- Б. Вторинний високочастотний випрямляч.
- В. Високочастотний трансформатор.
- Г. Електронний регулятор.
- Д. Інвертор.

6. Інверторний перетворювач з установленим на його вході потужним дроселем називається:

- А. Зварювальний інвертор.
- Б. Інвертором напруги.
- В. Резонансний інвертор.
- Г. Інвертором струму.

7. До якого типу належить наведена схема інверторного перетворювача?



- А. Двотактна з нульовим виводом.
- Б. Двотактна мостова.
- В. Двотактна півмостова.
- Г. Однотактна півмостова.

8. Як впливає висока частота струму на експлуатаційні характеристики інверторного джерела живлення?

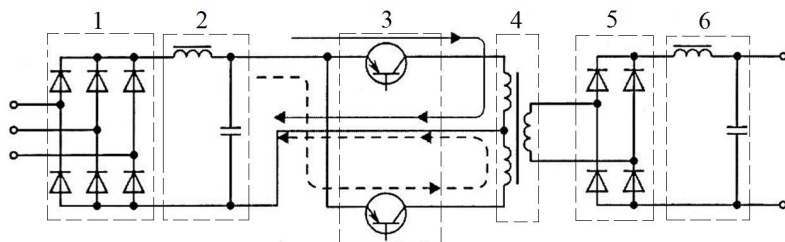
- А. Підвищується ККД.
- Б. Знижуються габарити та маса.
- В. Спрощується система керування.
- Г. Поліпшується технічне обслуговування.

9. Інверторний перетворювач, на вході якого встановлені послідовно з'єднані індуктивність та ємність, називається:

- А. Інвертором струму.
- Б. Зварювальним інвертором.
- В. Резонансним інвертором.
- Г. Інвертором напруги.

10. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

Блоки зварювального інвертора на транзисторах



- А. Високочастотний трансформатор.
- Б. Однофазний випрямний блок.
- В. Мережевий випрямний блок.
- Г. Низькочастотний фільтр.
- Д. Інвертор на транзисторах.
- Е. Високочастотний фільтр.

11. Виберіть найбільш правильну відповідь.

Яку зовнішню ВАХ може формувати інверторне зварювальне джерело?

- А. Крутоспадну.
- Б. Пологоспадну.
- В. Жорстку.
- Г. Зростаючу.
- Д. Комбіновану.
- Е. Будь-яку з означених.

12. Вкажіть буквою правильну відповідь для закінчення речення.

Зовнішня крутоспадна ВАХ інверторного випрямляча формується за рахунок негативного зворотного зв'язку за _____.

А. Напругою.

В. Напругою і струмом одночасно.

Б. Струмом.

Г. Частотою інвертування.

13. Визначте буквою правильне слово або словосполучення, яке потрібно вставити у наступне речення.

Підвищення в інверторних зварювальних випрямлячах частоти мережевої напруги у 500–1000 разів дозволяє замінити крупногабаритний силовий _____ на високочастотний.

А. Первинний випрямляч.

В. Вторинний випрямляч.

Б. Трансформатор.

Г. Стабілізуючий дросель.

14. Виберіть найбільш правильну відповідь.

Які способи регулювання режиму зварювання використовуються в інверторних випрямлячах?

А. Амплітудний.

В. Амплітудний, широтний і частотний.

Б. Амплітудний і широтний.

Г. Широтний і частотний.

15. Вкажіть буквою правильну відповідь для закінчення речення.

Зовнішня жорстка ВАХ інверторного випрямляча формується за рахунок негативного зворотного зв'язку за _____.

А. Напругою.

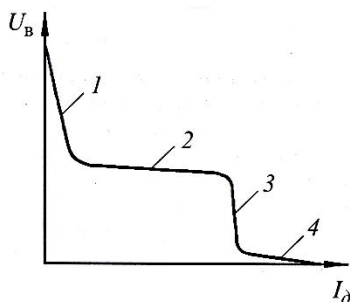
В. Напругою і струмом одночасно.

Б. Струмом.

Г. Частотою інвертування.

16. Встановіть відповідність у вигляді комбінації цифр і букв.

На ломаній зовнішній характеристиці інверторного випрямляча цифрами позначені ділянки. Для яких цілей вони використовуються?



- А. Для стабільного запалювання дуги.
- Б. Для обмеження струму короткого замикання.
- В. Для передбачення пропалин при зварюванні тонкого металу.
- Г. Для ефективного саморегулювання при механізованому зварюванні в CO_2 .

17. Вкажіть буквою правильну відповідь для закінчення речення.

Електронний пристрій, що служить для пониження або підвищення постійної напруги з проміжною високочастотною ланкою, називається _____.

- А. Імпульсним стабілізатором.
- Б. Інвертором.
- В. Осцилятором.
- Г. Конвертором.

18. Які переваги інверторних зварювальних джерел забезпечує використання високочастотного перетворення напруги на транзисторних ключах?

- А. Підвищення ККД апарата до 82...85 %.
- Б. Можливість виключення з силової схеми мережевого трансформатора.

В. Зниження у декілька разів споживання електроенергії в режимі холостого ходу.

Г. Усі означені вище.

19. Вкажіть букву, яка визначає правильну відповідь для закінчення речення.

Електронний пристрій, що перетворює постійну напругу у високочастотну, називається _____

А. Випрямлячем.

В. Інвертором.

Б. Генератором.

Г. Конвертором.

20. Які технологічні можливості забезпечуються додатковими опціями інверторних зварювальних джерел?

А. Швидке збудження зварювальної дуги («гарячий старт»).

Б. Плавне наростання та зниження зварювального струму.

В. Антизалипання електрода.

Г. Усі означені вище.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

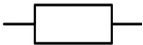
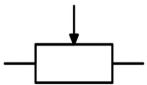
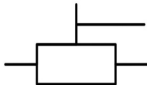
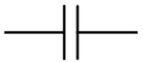
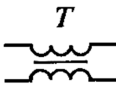
1. Драган, С. В. Джерела живлення для зварювання плавленням : навчальний посібник. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – 320 с.
2. Носовский, Б. И. Сварочные источники питания : учебное пособие. – Мариуполь : ПДТУ, 2013. – 233 с.

ДОДАТКИ

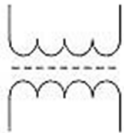
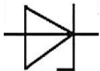
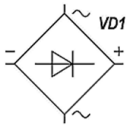
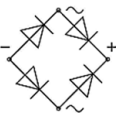
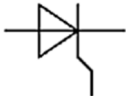
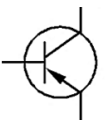
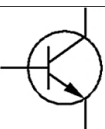
Додаток 1

Умовні позначення та символічні позначки,
що використовуються у зварювальному устаткуванні

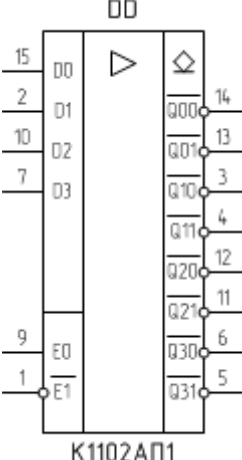
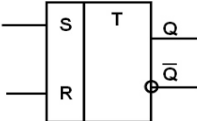
Таблиця 1.1Д. Умовні позначення деяких елементів в електричних принципових схемах зварювальних джерел живлення (згідно з ДСТУ ГОСТ 2.702:2013)

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
Елементи		
	Резистор сталий	R (RP – потенціометр, RS – шунт)
	Резистор змінний	
	Резистор підстроювальний	
	Конденсатор електролітичний сталої ємності	C
	Конденсатор змінної ємності	
	Котушка індуктивності	L
	Котушка індуктивності із сердечником	

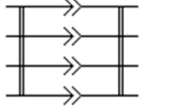
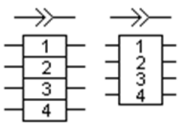
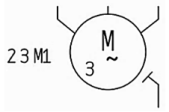
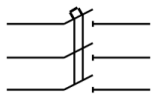
Продовж. табл. 1.1Д

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
	Трансформатор	Т Трансформатор зі сталевим сердечником
		Т Трансформатор з сердечником із фериту
	Діод напів- провідниковий	VD
	Стабілітрон	
 або 	Випрямний діодний міст	V, VD
	Тиристор	VS
	Транзистор біполярний	VT (типу <i>p-n-p</i>)
		VT (типу <i>n-p-n</i>)

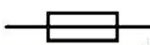
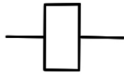
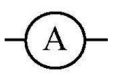
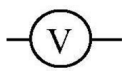
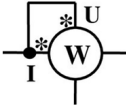
Продовж. табл. 1.1Д

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
	Транзистор польовий	VT Транзистор з керуючим переходом <i>p</i> -типу
		VT Транзистор з керуючим переходом та каналом <i>n</i> -типу
		VT Транзистор із ізолюваним затвором (MOSFET) <i>p</i> -канального типу
		VT Транзистор із ізолюваним затвором (MOSFET) <i>n</i> -канального типу
	Інтегральна схема, мікросхема	DD Мікросхема інтегральна цифрова
		DA Інтегральна схема аналогова, логічний елемент

Продовж. табл. 1.1Д

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
	Світлова сигналізація	НЛ Лампочка індикаційна
 або 	Контактне з'єднання	Х (ХР – штир, ХS – гніздо)
		ХТ Клема (розбірне з'єднання)
 або 	Електродвигун	М Двигун трифазний асинхронний
Пускова та регулювальна апаратура		
	Вимикач, перемикач	QF Вимикач триполюсний автоматичний
		S, SB Вимикач кнопковий натискний з замикаючим контактом

Продовж. табл. 1.1Д

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
		S, SB Вимикач кнопковий натискний з розмикаючим контактом
 або 		S, SA Перемикач
	Плавкий запобіжник	F, FU
	Котушка реле або контактора	K – реле, KM – контактор
	Теплове реле	KK
Вимірювальні прилади		
	Аналоговий	PA Амперметр
		PV Вольтметр
		PW Ватметр
	Трансформатор	TA Трансформатор струму

Продовж. табл. 1.1Д

Графічне позначення	Найменування	Буквене позначення
		TV Трансформатор напруги

Таблиця 1.2Д. Основні символічні позначки, які наносяться на панелі керування зварювальних джерел живлення

Символ	Зміст	Символ	Зміст
	Змінний струм, мережа		Заземлення
	Увімкнуто, пуск		Зварка ввімкнута
	Вимкнуто, стоп		Зварювальний струм не ввімкнутий
	Дистанційне керування		Жорстка характеристика
	Ручне керування, налагодження		Спадна характеристика
	Коло керування		

Технічні характеристики типових зварювальних джерел живлення

Таблиця 2.1Д. Технічні характеристики зварювальних трансформаторів

Параметри	ТДМ-317У2	ТДФЖ-1002У3
Напруга живлячої мережі при частоті 50 Гц, В	380	380
Номінальний зварювальний струм, А	315	1000
Межі регулювання зварювального струму, А	60...360	300...1200
Номінальна робоча напруга, В	32,6	56
Межі регулювання робочої напруги, В	22,4...34,4	30...56
Напруга холостого ходу, В	80	120
Номінальний режим роботи, %	ПН = 60	ПВ = 100
Номінальна споживна потужність, кВА	20	120
Коефіцієнт корисної дії η , %	86	86
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,56	—
Габарити, мм	555×585×818	1370×760×1200
Маса, кг	130	550

Таблиця 2.2Д. Технічні характеристики джерел живлення постійного струму

Параметри	ВСЖ-303УЗ	ПСГ-500-1У2	PS 5000
Напруга живлячої мережі при частоті 50 Гц, В	380	380	380–415 (частота 50–60 Гц)
Номінальний зварювальний струм, А	315	500	500 (при ПВ = 60 %); 390 (при ПВ = 100 %)
Межі регулювання зварювального струму, А	50–315	60 - 500	10 – 500 (TIG) 40 – 500 (MIG)
Номінальна робоча напруга, В	34	40	40 (при ПВ = 60 %; 35,6 (при ПВ = 100 %)
Межі регулювання робочої напруги, В	16–34	16–40	10 – 40 (TIG) 12 – 40 (MIG)
Напруга холостого ходу, В	50	80	80
Номінальний режим роботи, %	ПВ = 60	ПН = 60	ПВ = 60; 100
Номінальна споживна потужність, кВт·А	20	20 (генератор) 31 (двигун)	27,5 (при ПВ = 60 %); 21,4 (при ПВ = 100 %)
Коефіцієнт корисної дії η , %	76	56	85
Габарити, мм	600х650х900	1050х579х870	710х360х580
Маса, кг	200	460	93

Навчальне видання

ДРАГАН Станіслав Володимирович

**ЗВАРЮВАЛЬНІ
ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ**

**Збірник лабораторних робіт
з тестовими завданнями**

Комп'ютерне верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 7,0. Тираж 100 прим. Вид. № 37. Зам. № 0206-17.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.