

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

Методичні вказівки
до виконання
дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-3
"ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ"
для студентів напрямку підготовки 6.050701
„Електротехніка та електротехнології”

Дніпропетровськ
2015

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

Методичні вказівки
до виконання
дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-3
"ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ"
для студентів напрямку підготовки 6.050701
„Електротехніка та електротехнології”

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

Дніпропетровськ
2015

Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-3 "Дослідження характеристик джерела живлення електричної дуги" для студентів напряму підготовки 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” / Упоряд.: С.І.Випанасенко, О.Р.Ковальов, С.В.Дибрін, О.В.Бобров - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 14 с.

Упорядники:

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

Відповідальний за випуск заст. зав. кафедри систем електропостачання

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

Друкується в редакційній обробці упорядників

Лабораторна робота ЕТУ-3 "Дослідження характеристик джерела живлення електричної дуги"

Мета роботи: дослідити зовнішню характеристику джерела живлення електричної дуги; уявити засоби керування електричною дугою.

Теоретичні основи

Типовим представником джерела живлення електричної дуги є зварювальний трансформатор (ЗТ). Електрозварювання – це основний спосіб відновлення працездатності знарядь та інструментів.

Зварювальна дуга (**рис.1**) являє собою тривалий електричний розряд в іонізованій суміші газів та пари різних матеріалів між металевим стрижнем електрода 2 і виробом 3, що знаходиться під напругою джерела живлення 12 постійного або змінного струму. Дуга складається з анодної області 4, стовпа 1 і катодної області 5. Температура дуги ($5000...7000^{\circ}\text{C}$) дозволяє розплавляти усі метали і сплави. Але на поверхні анода і катода температура дуги знижується до $3500...4000^{\circ}\text{C}$.

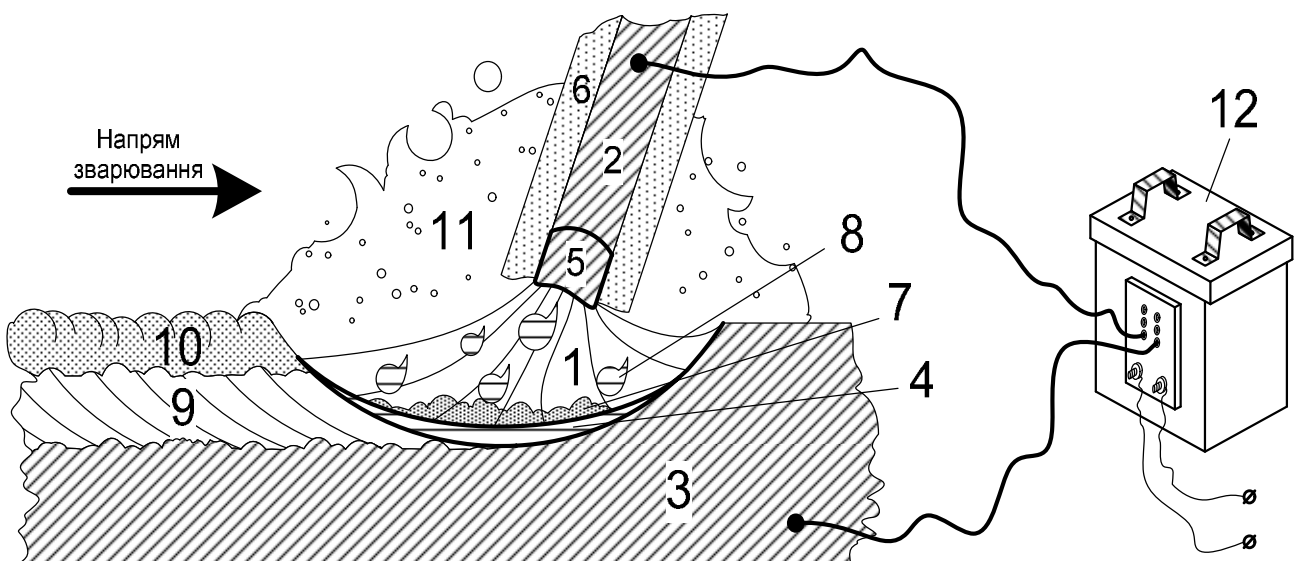


Рис. 1 Процес зварювання

Електричну дугу збуджують коротким замиканням ланцюга зварювальної дуги і наступним швидким відводом електрода від виробу, що зварюється. Довжина дуги практично дорівнює діаметру електродного стрижня.

Загалом процес зварювання протікає наступним чином. Під дією тепла дуги метал електрода, покриття електрода й основний метал розплавляються, утворюючи зварювальну ванну 4. Краплі рідкого металу 8 з торця розплавленого електродного стрижня переносяться у ванну крізь дуговий проміжок. Разом зі стрижнем плавиться покриття електрода 6, утворюючи навколо дуги газовий захист 11 і рідку шлакову ванну 7. У міру руху дуги, метал зварювальної ванни твердне, утворюється зварювальний шов 9 і шлакова коринка 10 на поверхні шва.

Залежність напруги на дузі (між електродом та виробом) від зварювального струму називають статичною вольт-амперною характеристикою (ВАХ) дуги, що показана на **рис. 2**.

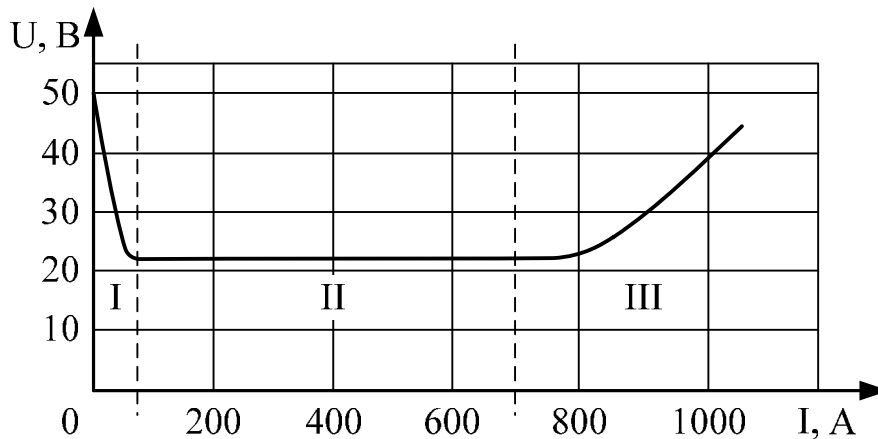


Рис. 2 Статична вольт-амперна характеристика дуги

Запалювання дуги відбувається при напрузі 40...50 В. При збільшенні струму в дузі напруга на ній знижується до 22...25 В. Це зниження напруги припиняється при струмі 80 А (потужність порядку 1700 ВА). При подальшому підвищенні струму напруга дуги стабілізується. Це основна ділянка ВАХ дуги,

що використовується при зварюванні. При токах більше 800 А напруга на дузі починає підвищуватись.

При використанні зварювального трансформатора зварювання можна вести на змінному струмі, тому на кожному півперіоді промислової напруги дуга запалюється знову (і так 100 разів за секунду).

На **рис. 3, а** показані графіки струму і напруги на дузі при зварюванні змінним струмом при підключенні дуги безпосередньо до трансформатора [1]. При підвищенні напруги на трансформаторі дуга запалюється при напрузі U_3 (точка 'А'). Потім напруга дуги U_d зменшується і дуга гасне (точка 'В'). Точно такий же процес відбувається при негативній півхвилі напруги трансформатора $U_{тр}$. Таким чином, дуга горить тільки в проміжок часу, відповідний α_2 (період, коли існує струм зварювання). Час, відповідний $\alpha_1 + \alpha_3$, - перерва в роботі дуги. Для того, щоб збільшити час горіння, послідовно зі зварювальним трансформатором включають індуктивний опір - дросель. У цьому випадку виникає різниця фаз ϕ між зварювальною напругою і струмом (**рис. 3, б**). Коли струм дуги I_d досягає нуля, напруга $U_{тр}$ становить $-U_3$, що необхідно для повторного запалювання дуги. У цьому випадку дуга горить практично без перерви.

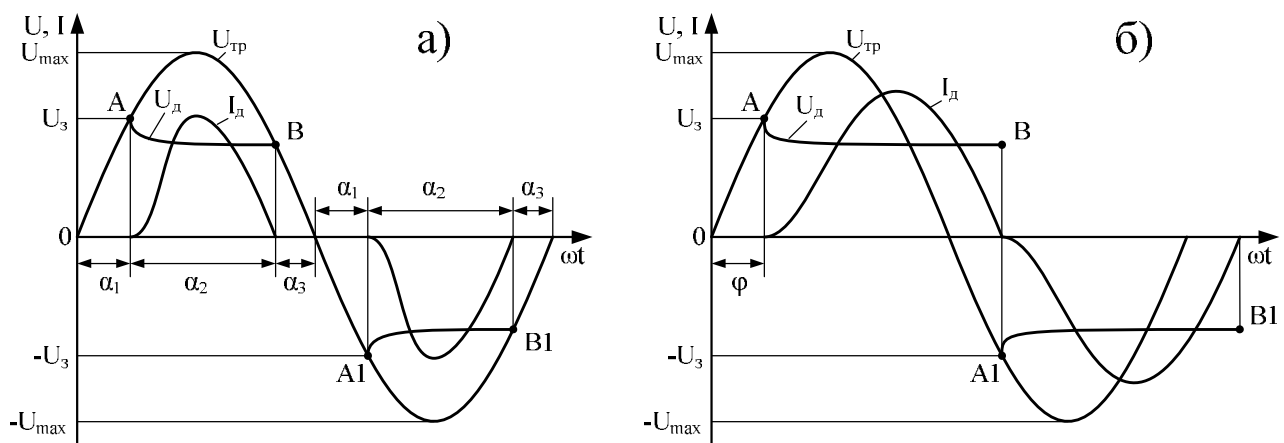


Рис. 3 Графіки струму і напруги при зварюванні змінним струмом: а) без дроселя; б) при підключеному дроселі

Зварювальний трансформатор (ЗТ) повинен забезпечити швидке і безпечне запалення дуги. Для цього його напруга холостої ходи повинна бути в 1,8...2,5 рази вищою за робочу, тобто в межах 60...80 В. У процесі зварювання відбувається зміна довжини дуги. Зварювальний струм не має при цьому різко змінюватися. ЗТ мусить забезпечувати плавне регулювання зварювального струму і можливість налагодження різних режимів зварювання. Струм короткого замикання ЗТ не має перевищувати робочий зварювальний струм більше, ніж на 40...50 %. ЗТ не має перегріватися вище припустимих норм при роботі в номінальному режимі.

Існують різні типи характеристик ЗТ, тобто залежності напруги на затискачах від струму зварювання. На **рис. 4, а** показано чотири типи характеристик:

- 1 - крутопадаюча;
- 2 - пологопадаюча;
- 3 - жорстка;
- 4 - зростаюча.

Для ручного дугового зварювання найкращою характеристикою є *крутопадаюча*. На **рис. 4, б** показані ВАХ дуги при різній її довжині L_1 і L_2 та дві різні ВАХ зварювального трансформатору. При характеристиці ЗТ, що круто падає, та змінюванні довжини дуги зміна робочого струму незначна (n_1), а при *пологопадаючій* – зміна набагато більша (n_2). Тому при характеристиці, що круто падає, стабільність горіння дуги буде високою і у зварному шві не буде дефектів.

Інші типи характеристик використовують для автоматичного і напівавтоматичного зварювання.

Найбільш простий спосіб домогтися характеристики, що круто падає, є установка послідовно зі зварювальним трансформатором баластового опору.

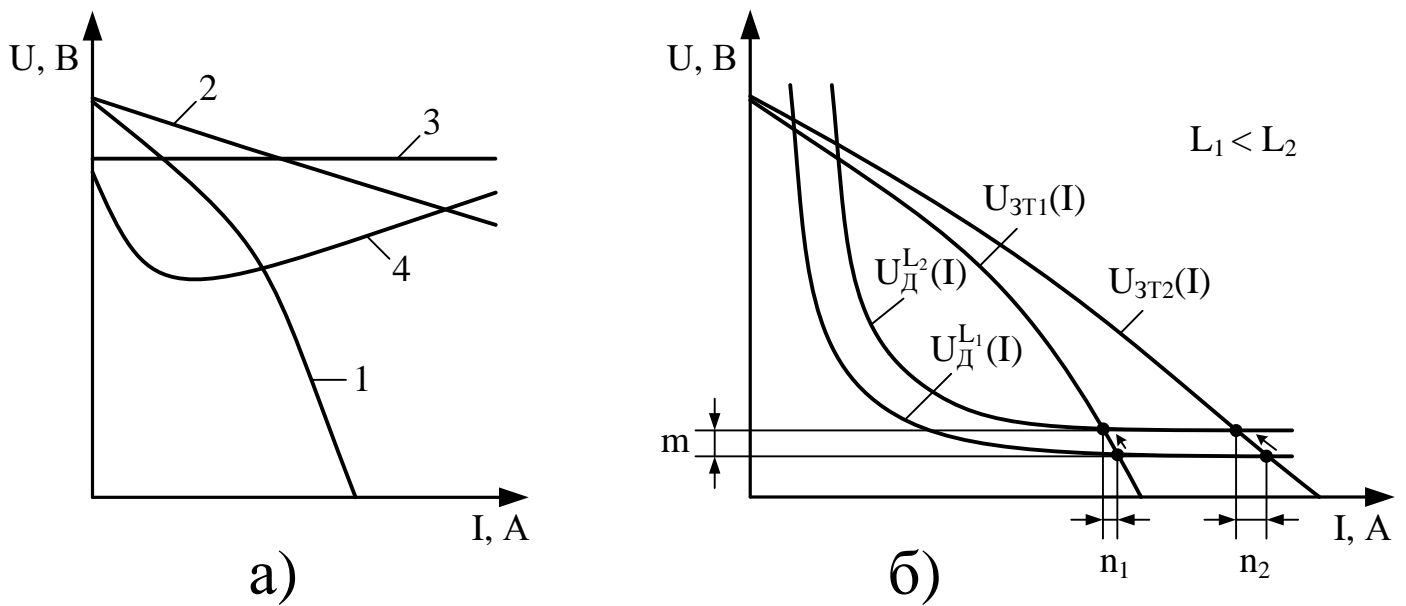


Рис. 4 ВАХ дуги

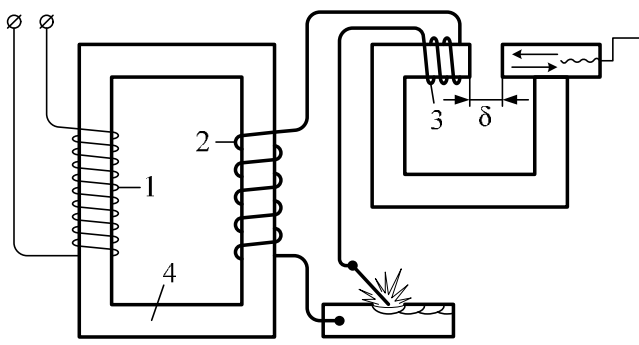
Якщо такий опір - індуктивний елемент, то це zarazom поліпшить і характеристики запалювання дуги в часі. Серійні зварювальні трансформатори мають різні варіанти такого регулювання.

ЗТ поділяють на дві групи [2]:

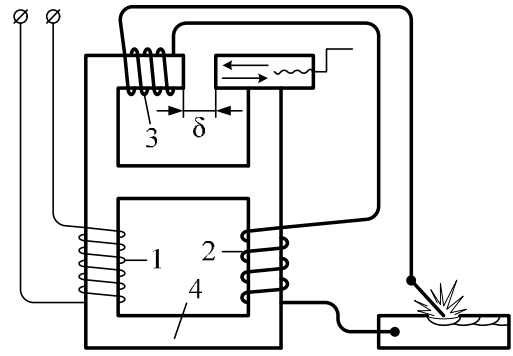
- трансформатори з нормальним розсіюванням і окремою реактивною обмоткою (дроселем);
- трансформатори зі збільшеним магнітним розсіюванням.

Трансформатор з нормальним розсіюванням і окремою реактивною обмоткою (дроселем) приведено на **рис. 5, а**. Реактивна обмотка 3 послідовно включається у зварювальний ланцюг. Падаюча характеристика створюється завдяки ЕРС самоіндукції в дроселі. Зварювальний струм плавно регулюється зміною зазору δ між рухливою і нерухомою частинами дроселя. При $\delta = 0$ зварювальний струм мінімальний. Цій схемі відповідають ЗТ типів СТЭ-24у (на 350 А) і СТЭ-34у (на 500 А).

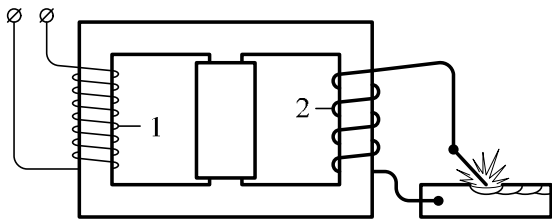
Інший варіант такого ЗТ показано на **рис. 5, б**. Реактивну обмотку 3 намотано на загальному сердечнику 4 ЗТ. Її включено до зварювального ланцюга послідовно з таким розрахунком, що потік в



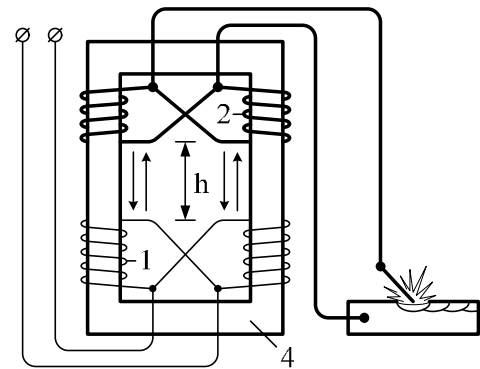
а)



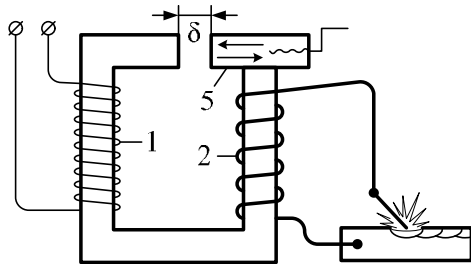
б)



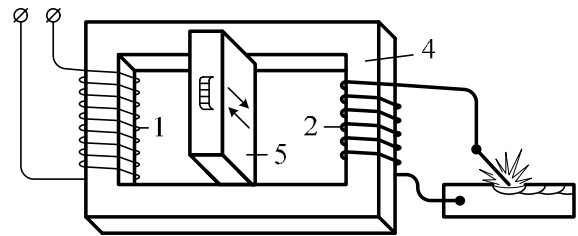
в)



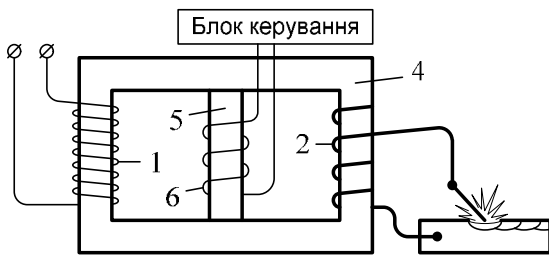
г)



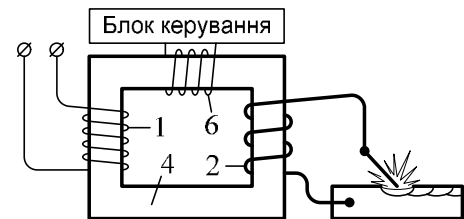
д)



е)



ж)



з)

Рис.5 Варіанти конструкції зварювальних трансформаторів

обмотці спрямовано назустріч основному потокові трансформатора. Струм регулюється зміною магнітного зазору δ . Цій схемі відповідають ЗТ типів ТСД-500-1, ТСД-1000-4, ТСД-2000-2.

Трансформатори зі збільшеним магнітним розсіюванням приведено на **рис. 5, в-з**. Збільшені потоки розсіювання створюються наступними способами:

- розміщенням первинних 1 і вторинних 2 обмоток ЗТ на різних стрижнях сердечника 4 (нерегульований) (**рис. 5, в**);
- віддаленням первинних обмоток 1 від вторинних 2 (**рис. 5, г**);
- розміщенням у сердечнику 4 магнітного шунта 5 рухомого (**рис. 5, д, е**) або нерухомого з обмоткою керування 6 (**рис. 5, ж**);
- використанням магнітного підсилювача, шляхом зміни магнітного опору та потоку розсіювання за допомогою обмотки керування 6 (**рис. 5, з**).

Типи ЗТ з рухливим магнітним шунтом: СТШ-250, СТШ-300, СТШ-500; з нерухомим магнітним шунтом і розташованою на ньому обмоткою керування: ТДФ-1001 і ТДФ-2001; з рухливими вторинними обмотками: ТС-300, ТС-500, ТСК-300, ТС-500, ТД-300, ТД-500.

Характеристики ЗТ наведено в табл. 1. Тут використовуються наступні позначення:

U_{xx} - напруга холостої ходи;

T_p - відношення тривалості роботи в дуговому режимі до загальної тривалості роботи;

I_n - межа регулювання зварювального струму;

S - номінальна потужність;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності.

Перераховані вище механічні засоби керування зварювальним струмом на сьогоднішній день є застарілі, але в той же час вони все ще достатньо поширені на виробництві. Розвиток тиристорної техніки дозволяє створити більш компактні регулятори на основі напівпровідникових приладів.

Таблиця 1

Характеристики зварювальних трансформаторів

Тип	U_{xx} ,	T_p ,	I_n ,	S ,	$\cos \varphi$	Габаритні розміри,	Маса,
	В	%	А	кВА		мм	кг
СТЄ-34-у	60	65	150-700	30	0.53	690*370*660	160
СТЄ-24у	60	65	100-500	23	0.5	690*370*660	130
СТН-700	60	65	200-900	44	0.66	796*429*840	380
СТН-500-1	60	60	80-450	32	0.52	775*410*100 5	275
СТН-350	70	50	150-700	25	0.5	695*398*700	220
ТСД-500-1	80	60	200-600	42	0.6	950*818*120 5	420
ТСД-1000-4	71	60	400-1200	78	0.6	950*818*124 2	510
ТСД-2000-2	79	60	800-2200	162	0.6	950*818*138 2	675
З рухливим шунтом							
СТАН-0	55-80	65	20-150	76	0.52	698*429*485	85
СТАН-1	60-70	65	60-480	20	0.52	870*520*800	185
ОСТУ-350	70	65	50-445	20	0.7	810*450*710	200
СТШ-250	61	20	70-260	16	0.4	420*260*425	44
СТШ-300	63	60	110-405	20	0.52	545*694*707	158
СТШ-500	62	60	145-650		0.5	665*753*670	220
СТШ-500-80	80	60	600-650	44	0.62	980*765*766	323
З рухливими обмотками							
ТС-120	68	—	50-160	9	0.43	650*340*800	90
ТС-300	63	—	30-385	20	0.51	760*520*970	180
ТС-500	60	—	40-650	32	0.53	840*576*106 0	250
ТСК-300	63	—	30-385	20	0.72	760*520*970	215
ТСК-500	60	—	40-650	32	0.65	840*576*106 0	280
ТД-300	61.79	—	60-385	20	0.53	692*620*710	137
ТД-500	60.76	—	90-650	32	0.65	720*570*835	210

У промислових зварювальних випрямлячах використовується трифазна мережа і здебільшого шестифазний випрямляч. Характеристики серійних зварювальних випрямлячів приведено в табл. 2.

Характеристики зварювальних випрямлячів

Тип	U _{хх} , В	I _н , А	Тип тиристорів
ВДУ-305	70	20-213	T160
ВДУ-504-1	80	60-500	T160
ВДУ-505,506	80	50-500	T160
ВДУ-601	90	50-630	Tл250
ВДУ-1201	85	400-1250	T500
ВДУ-1601	100	600-1600	T600

Швидкість зварювання залежить від номінального струму зварювання, а отже, і від потужності зварювального трансформатора. При цьому маса наплавленого металу:

$$M = A \cdot I \cdot t,$$

де A - коефіцієнт (для електродів із якісним покриттям складає 7...10 г/А·годин); I - номінальний струм, А; t - час, год.

Наприклад, при номінальному струмі 10 А за 1 годину можна наварити 100 грам металу, при номінальному струмі 100 А - 1 кг металу. Таким чином для нормального зварювання струми мають бути досить великими, а потужності зварювальних трансформаторів, принаймні, повинні досягати декількох кіловат. Для розрахунку зварювального трансформатора необхідно задати зварювальний струм, по якому визначити потужність, а далі розрахунок здійснювати за відомими методиками [1]. Наприклад, при зварювальному струмі 100 А потужність трансформатора має бути не меншою 3 кВА, при 200 А - 6 кВА і т.д.

Опис лабораторного стенду

Схему стенду приведено на **рис. 6**. У верхньому лівому куті встановлено індикаторну лампу червоного кольору. Лампа інформує що на стенд подано напругу. По центру стенда, розташовані прилади РВ і РА для виміру напруги і струму на

навантаженні R_H . Імітація навантаження здійснюється почерговим включенням автоматичних вимикачів AV1...AV6. Тумблер у лівій частині стенда призначено для зміни зазору магнітопроводу джерела живлення електричної дуги.

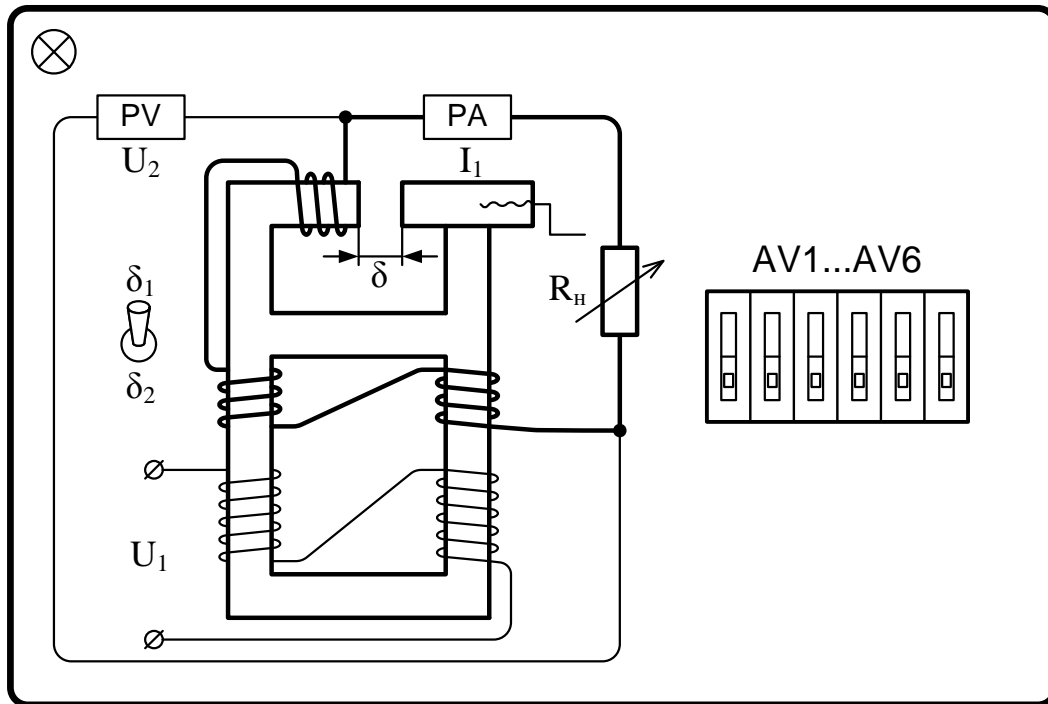


Рис. 6 Схема стенда

Послідовність виконання роботи

1. Подають напругу на стенд (горить лампа червоного кольору).
2. Встановлюють тумблер зміни зазору магнітопроводу в положення δ_1 .
3. По черзі включають автоматичні вимикачі AV1...AV6 та фіксують показання приладів PV (U_2) і PA (I_1).
4. Вимикають всі автоматичні вимикачі і встановлюють тумблер у положення δ_2 .
5. Виконують пункт 3.
6. Вимикають всі автоматичні вимикачі.
7. Будують вольт-амперні характеристики (ВАХ) джерела живлення електричної дуги.

Звіт повинен містити:

- 1) назву і мету роботи;
- 2) короткі теоретичні викладки;
- 3) таблицю даних виміру;
- 4) графіки ВАХ для різних δ .

Питання для самоперевірки

1. Що являє собою електрична дуга?
2. Що таке статична ВАХ дуги?
3. Яка особливість горіння дуги на змінному та постійному струмі?
4. Які є типи зварювальних трансформаторів, в чому їх особливість?
5. На які типи поділяють ЗТ за конструктивним виконанням?
6. Які основні характеристики ЗТ?
7. Назвіть засоби керування зварювальним струмом?

ЛІТЕРАТУРА

1. Резницкий А.М., Коцюбинский В.С. Ремонт и наладка сварочного оборудования. Москва: Машиностроение, 1991. – 256 с.
2. Сергеев Н.П. Справочник молодого электро-сварщика. – Москва: Высшая школа, 1980. – 192с.

Упорядники:

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ЕТУ-3
"ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 6.050701
„ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ”

Редакційно-видавничий комплекс

Підписано до друку . Формат 30x42/4.
Папір Rollux. Ризографія. Умови, друк. арк. . Обліково-видавн.
арк. . Тираж 100 прим. Зам. № . Безкоштовно.

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