

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра “Експлуатація та ремонт машин”

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
для студентів напряму підготовки 132 "Матеріалознавство"

м. Кропивницький -2018

Зварювальні джерела живлення. - "Зварювальні трансформатори".
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів
напряму 132 "Матеріалознавство" / Уклад.: О.Ю. Жулай, М.М. Труш, В.О.
Дубовик - Кропивницький, ЦНТУ., 2018. - 51с.

(Протокол №2 від "5" вересня 2018 р.)

ЗВАРЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
для студентів напряму підготовки 132 "Матеріалознавство"**

Укладачі: О.Ю. Жулай, М.М. Труш, В.О. Дубовик.

Рецензент: к.т.н., доцент Лисенко С.В.

ЗМІСТ

№ п/п	Назва роботи	стор.
1.	Лабораторна робота №1. Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДФ-1001У3.	2
2.	Лабораторна робота №2. Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДМ - 411У2 “ТРАНС-3”.	9
3.	Лабораторна робота №3. Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДМ-401У2.	15
4.	Лабораторна робота №4. Вивчення конструкції а дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу “РАЗРЯД-250” або “РАЗРЯД-160” (трансформатори серії И-120У3).	20
5.	Лабораторна робота №5. Вивчення конструкції та дослідження роботи зварювального трансформатора підвищеної частоти типу ЦС-200 для ручного дугового зварювання.	29
6.	Лабораторна робота № 6. Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДФЖ-1002У3.	36
7.	Лабораторна робота №7. Особливості формування ВАХ тиристорних трансформаторів у залежності від виду та коефіцієнту підсилення зворотного зв’язку.	46

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

1. Тема Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДФ-1001УЗ

2. Мета роботи

2.1. Вивчити конструкцію і принцип роботи трансформатора.

2.2. Освоїти методику випробування і порядок зняття характеристик трансформатора.

2.3. Провести аналіз одержаних даних.

3. Основні відомості про конструкцію і принцип роботи трансформатора

3.1. Зварювальний трансформатор призначений для автоматичного дугового зварювання і наплавлення під флюсом змінним струмом від 400 до 1200 А. За принципом роботи трансформатор ТДФ-1001УЗ відноситься до групи зварювальних трансформаторів з розвиненим магнітним розсіянням.

3.2. За конструктивною схемою трансформатор виконаний з осердям магнітопроводу стрижневого типу, в середній частині вікна якого розміщується додаткове ярмо із трансформаторної сталі (магнітний шунт), на якому знаходяться котушки обмотки керування. Шунт з обмотками керування призначений для точного і плавного регулювання струму зварювальної дуги і розміщується у вікні магнітопроводу нерухомо. Магнітний шунт розділяє магнітопровід трансформатора на нижню та верхню частини.

На рис.1.1 представлено схему розміщення котушок трансформатора ТДФ-1001УЗ.

3.3. У верхній частині магнітопроводу розміщуються котушки первинної обмотки (котушки 2 і 7), над ними – секції вторинної обмотки (котушки 4 і 5 з меншою кількістю витків).

Основна частина вторинної обмотки знаходиться в нижній частині магнітопроводу (котушки 1, 3, 6 і 8). Котушки з'єднуються зустрічно-последовно відносно наведених в них ЕРС.

Наявність зазору між шунтом і магнітопроводом трансформатора сприяє кращому формуванню зовнішньої спадної характеристики.

3.4. На магнітному шунті розміщуються чотири котушки обмотки керування (ОК), які закріплені попарно на обох його стрижнях.

3.5. На рис.1.2 представлено принципову електричну схему з'єднання первинної і вторинної обмоток трансформатора.

Котушки первинної обмотки 2 і 7 включаються паралельно між собою, а шість котушок вторинної обмотки підключаються секціями, чим і досягається ступінчасте регулювання зварювального струму. При підключенні зварювальної мережі до клем 1 і 2 можна одержати струм у межах 700...1200 А, а до клем 2 і 3 – 400...700 А. Плавне регулювання струму навантаження в межах цих двох ступенів проводиться зміною струму I_{OK} в обмотках керування магнітного шунта.

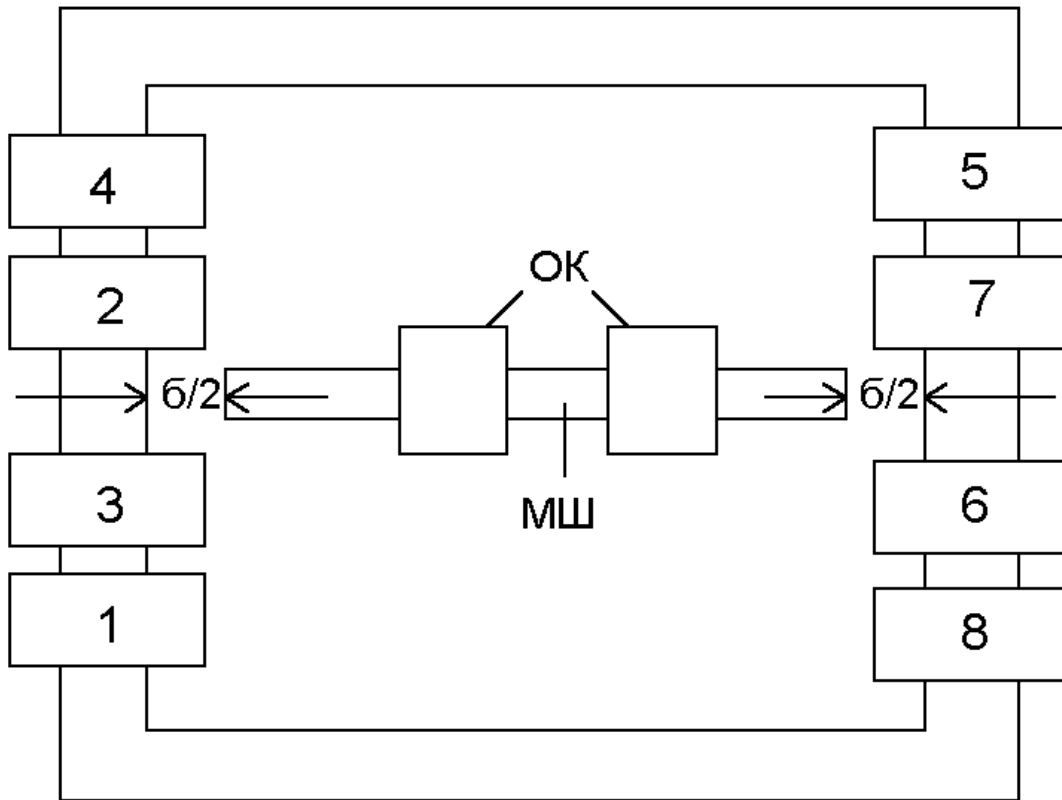


Рис. 1.1 - Схема розміщення котушок трансформатора ТДФ-1001У3

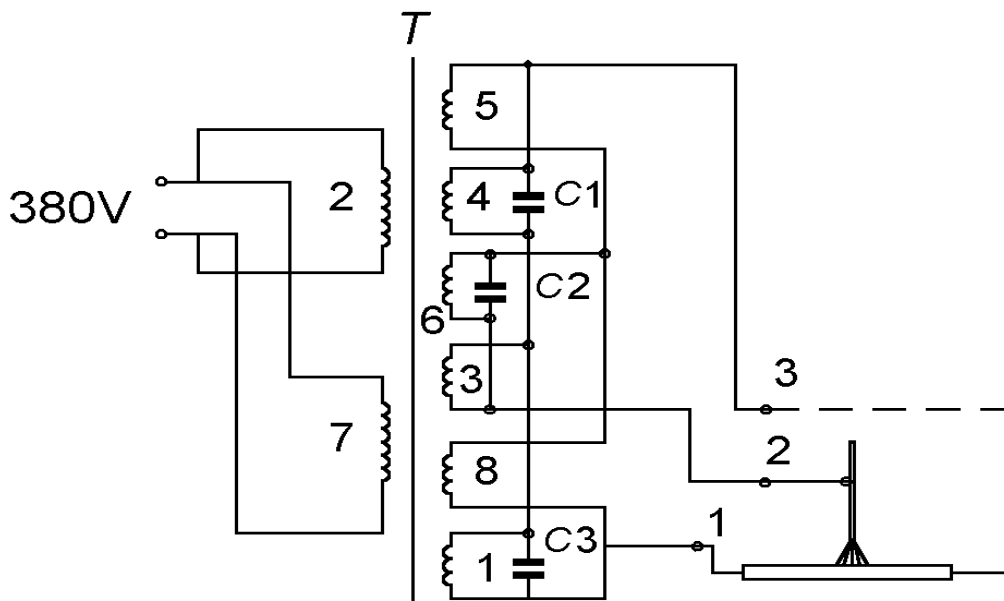


Рис. 1.2 - Принципова електрична схема з'єднання первинної і вторинної обмоток трансформатора ТДФ-1001У3

Обмотка керування живиться постійним струмом від спеціального тиристорного випрямляча. Регулюючи фазовий кут відкриття тиристора, змінюють значення струму в обмотках магнітного шунта, що призводить до зміни значення зварювального струму.

3.6. При відімкненій обмотці керування магнітного шунта або при мінімальному струмі I_{OK} в обмотках керування магнітні потоки розсіяння діють достатньо

ефективно і індуктивний опір трансформатора X_T буде максимальним. По мірі збільшення I_{OK} буде зменшуватись опір трансформатора X_T , а зварювальний струм I_d – збільшуватись. Таким чином, існує функціональна залежність величини зварювального струму від струму в обмотках керування зварювального шунта, тобто $I_d = f(I_{OK})$.

3.7. Випрямляч, що призначений для живлення обмотки керування шунта, є одностристорним. Його електричну схему наведено на рис.1.3. Одержання імпульсів, що подаються на керуючі електроди тиристорів, та їх фазорегулювання здійснюється за допомогою блока керування тиристором.

В основу блоку покладено транзисторний елемент “Логіка” типу М-403. У блоці керування відбувається перетворення напруги живлення в імпульси відповідної форми, які подаються на керуючий електрод тиристора випрямляча. Кут відкриття тиристора буде змінювати струм ОК шунта, який відповідно буде змінювати ступінь магнітного насичення шунта. Регулятор плавної зміни зварювального струму R винесений на пульт керування трансформатора.

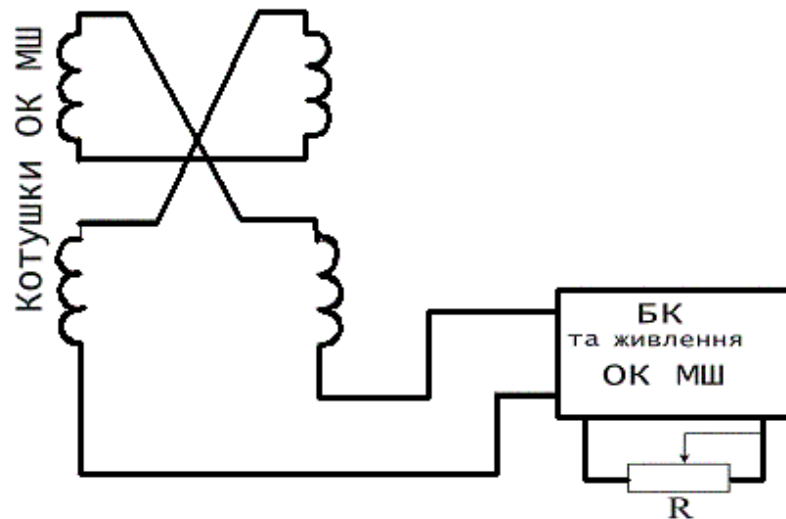


Рис. 1.3 - Принципова електрична схема живлення обмоток керування ТДФ-1001УЗ

Режим роботи трансформатора

3.8. Неробочий хід

$$I_d = 0$$

$$U_{20} = \frac{U_1}{k},$$

де U_1 – напруга мережі, В; U_{20} – напруга неробочого ходу трансформатора, В; k – коефіцієнт трансформації.

3.9. Навантаження трансформатора

У режимі навантаження трансформатора напруга вторинної обмотки трансформатора врівноважується векторною сумою напруги дуги і спадом напруги в активному і індуктивному опорах вторинної обмотки трансформатора:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_d + \dot{I}_d \cdot X_T + \dot{I}_d \cdot R_T,$$

де U_d - напруга на дузі, В; X_T , R_T - індуктивний і активний опори обмоток трансформатора, Ом.

Величиною R_T можна знехтувати, оскільки вона зовсім мала, тобто $R_T \approx 0$.
Тоді

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_\delta + \dot{I}_\delta \cdot X_T = \dot{U}_{20}.$$

Векторний трикутник трансформатора при навантаженні наведено на рис.1.4.

Із векторної діаграми визначаємо напругу дуги:

$$U_\delta = \sqrt{U_{20}^2 - I_\delta^2 \cdot X_T^2}.$$

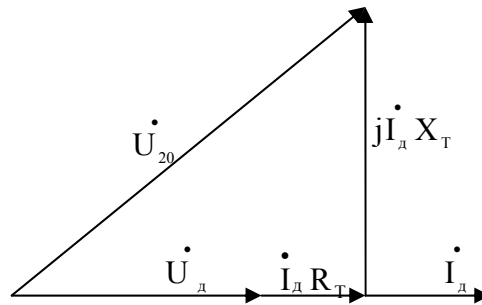


Рис. 1.4 - Векторна діаграма трансформатора

Тоді зварювальний струм:

$$I_\delta = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_\delta^2}}{X_T}.$$

Індуктивний опір трансформатора можна обчислити за формулою

$$X_T = \omega \cdot W_2^2 \cdot \frac{\sigma}{R_\mu},$$

де ω – кутова частота; W_2 – кількість витків вторинної обмотки трансформатора; R_μ – загальний магнітний опір потоку розсіяння; σ – коефіцієнт розсіяння.

Із збільшенням струму в обмотках керування магнітного шунта зменшується індуктивний опір трансформатора, а зварювальний струм збільшується.

3.10. Коротке замикання

$$U_\delta = 0$$

Струм короткого замикання визначається за формулою:

$$I_\kappa = \frac{U_{20}}{X_T} = \frac{U_1}{k \cdot X_T}.$$

Струм короткого замикання I_κ , як і струм I_δ , можна змінювати двома способами:

- за допомогою X_T трансформатора шляхом зміни величини струму в обмотці керування магнітного шунта (спосіб плавного регулювання струму);
- змінюючи коефіцієнт трансформації k , шляхом секціювання вторинної обмотки трансформатора (спосіб ступінчастого регулювання струму).

5. Технічні дані трансформатора ТДФ-1001УЗ

Номінальний зварювальний струм, А	– 1000
Номінальна первинна напруга, В	– 220/380

Первинний струм, А	– 380/220
Межі регулювання зварювального струму, А в діапазоні “малих струмів”	– 400...700
в діапазоні “великих струмів”	– 700...1200
Вторинна напруга неробочого ходу, В при мінімальному зварювальному струмі	– 68
при максимальному зварювальному струмі	– 71
Вторинна номінальна робоча напруга, В	– 44
Тривалість циклу, хв.	– 10
ТУ, %	– 100
ККД, %	– 87
Споживана потужність, кВА	– 82

6. Випробування трансформатора

6.1. Випробування трансформатора полягає в знятті його зовнішніх і регулювальних характеристик.

6.2. Зняття зовнішніх характеристик трансформатора (навантаження, коротке замикання).

Зовнішня характеристика представляє собою функціональну залежність зміни напруги вторинної обмотки трансформатора від величини струму навантаження: $U_2 = U_D = f(I_D)$.

6.3. Зняття регулювальних характеристик трансформатора.

Визначити залежність струму короткого замикання трансформатора від зміни величини струму в обмотці керування магнітного шунта при включенні навантаження на першу ступінь (клеми 2 і 3, рис.1.2).

7. Обладнання і прилади

7.1. Трансформатор ТДФ-1001У3	– 1 шт.
7.2. Баластові реостати типу РБ-302У3	– 4 шт.
7.3. Амперметр змінного струму на 5 А	– 2 шт.
7.4. Трансформатор струму типу И-509 на 1000 А	– 1 шт.
7.5. Вольтметр змінного струму на 150 В	– 1 шт.
7.6. Вольтметр постійного струму на 75 мВ	– 1 шт.
7.7. Силові контактори типу КМ-600Д	– 2 шт.

8. Порядок випробування трансформатора

8.1. Робота виконується бригадою студентів у складі не менше 4 осіб.

8.2. Зібрати схему випробування трансформатора, що наведена на рис.1.5, і провести перевірку зібраної схеми.

8.3. Установити мінімальний струм короткого замикання, для чого регулятор R перевести на максимальне значення. Зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора підключити на першу ступінь навантаження (клеми 2 і 3).

Включити трансформатор і перевести його в режим короткого замикання (контактори $K1$ і $K2$ замкнути). Регулятором плавного регулювання зварювального струму R поступово збільшувати струм в обмотці керування, поки не встановиться струм короткого замикання зовнішнього кола $I_K = 450$ А. Після цього

трансформатор перевести у режим неробочого ходу, вимиканням контактора $K2$ (рис.1.5).

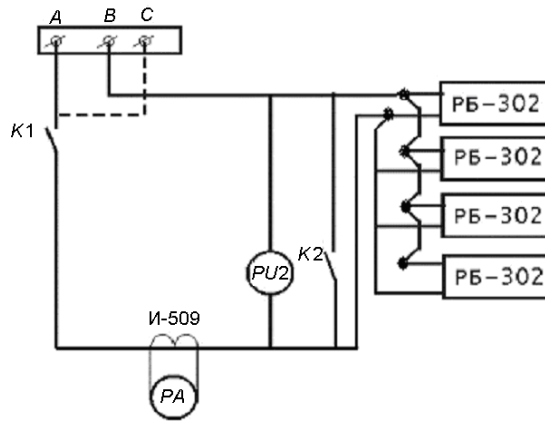


Рис.1.5 - Принципова електрична схема випробування ТДФ-1001УЗ

Відлік даних випробування потрібно почати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажувати шляхом вмикання рубильників баластових реостатів РБ-302. Рубильники рекомендується вмикати одночасно на всіх баластових реостатах (наприклад, всі перші, всі другі і т.д.). Після вмикання кожної серії рубильників робити відлік напруги трансформатора і струму навантаження зовнішнього кола. Після вимірювання вказаних параметрів при всіх увімкнених рубильниках РБ-302, зовнішнє коло замкнути (включити контактор $K2$). У цьому режимі слід виміряти напругу вторинної обмотки трансформатора і струм в режимі короткого замикання.

Одержані дані занести до таблиці 1.1. За даними таблиці побудувати графік зовнішньої характеристики.

Таблиця 1.1

№ досліду	$U_{д}, В$	$I_{д}, А$	Примітки
1. Неробочий хід			$I_{к}=450 А$
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

8.4. Після зняття зовнішньої характеристики для значення струму $I_{к}=450 А$, зовнішнє коло трансформатора переключити на другу ступінь (клеми 1 і 2). Установити $I_{к}=750 А$ і знову зняти зовнішню характеристику у порядку вказаному в пункті 8.3. Одержані дані занести до таблиці 1.2, яка аналогічна за формою до таблиці 1.1.

За одержаними даними побудувати графіки зовнішніх характеристик. Характеристики $U_{д}=f(I_{д})$ для $I_{к}=450 А$ і для $I_{к}=750 А$ побудувати на одному графіку.

Таблиця 1.2

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$I_K=750$ А
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

8.5. Зняття регульовальної характеристики.

Зовнішнє коло трансформатора підключити до клем (2 і 3). Установити мінімальний струм в обмотці керування магнітного шунта. Включити трансформатор у режим неробочого ходу. Потім перевести його в режим короткого замикання (замкнути контактори $K1$ і $K2$).

Регулятором плавного регулювання струму навантаження R поступово збільшувати струм керування через проміжки в 1...2 А. При цьому необхідно фіксувати струм в ОК, і, відповідно, струм короткого замикання кола трансформатора.

Одержані дані випробування занести до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

I_{OK} , А	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
I_K , А								

За одержаними даними побудувати графік $I_K=f(n)$.

9. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 9.1. Назву, мету роботи, короткий опис принципу роботи трансформатора.
- 9.2. Електричну схему випробування трансформатора.
- 9.3. Порядок випробування трансформатора ТДФ-1001У3.
- 9.4. Таблиці спостережень з одержаних експериментальними даними випробувань.
- 9.5. Графіки характеристик.
- 9.6. Короткі висновки по виконаній роботі.

10. Контрольні питання

- 10.1. Призначення і конструкція зварювального трансформатора ТДФ-1001У3.
- 10.2. Принцип роботи трансформатора. Його робота у трьох режимах: неробочий хід, навантаження, коротке замикання.
- 10.3. Порядок зняття характеристик трансформатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2.

1. Тема Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДМ – 411 У2 “Транс-3”.

2. Мета роботи

- 2.1. Вивчити конструкцію і принцип роботи трансформатора.
- 2.2. Засвоїти методику випробування і порядок зняття основних характеристик.
- 2.3. Провести аналіз одержаних даних.

3. Основні відомості про конструкцію і принцип роботи трансформатора

3.1. Зварювальний трансформатор ТДМ-411 У2 призначений для живлення одного зварювального поста для ручного дугового зварювання та різання штучним електродом $\varnothing 2 \dots 8$ мм на змінному струмі.

3.2. ТДМ-411 складається з двох трансформаторів із магнітопроводами броньового типу $T1$, $T2$, нерухомих первинних $L1$, $L2$ та вторинних $L3$, $L4$ обмоток, рухомого шунта – 1, перемикача діапазону струмів та струмовказівного механізму (рис.2.1).

Між стрижнями трансформатора $T2$ розміщений рухомий шунт, який закріплено на ходовому гвинті. При обертанні його за допомогою ручки – 3, шунт може переміщуватись угору або вниз, тим самим забезпечується плавне регулювання струму.

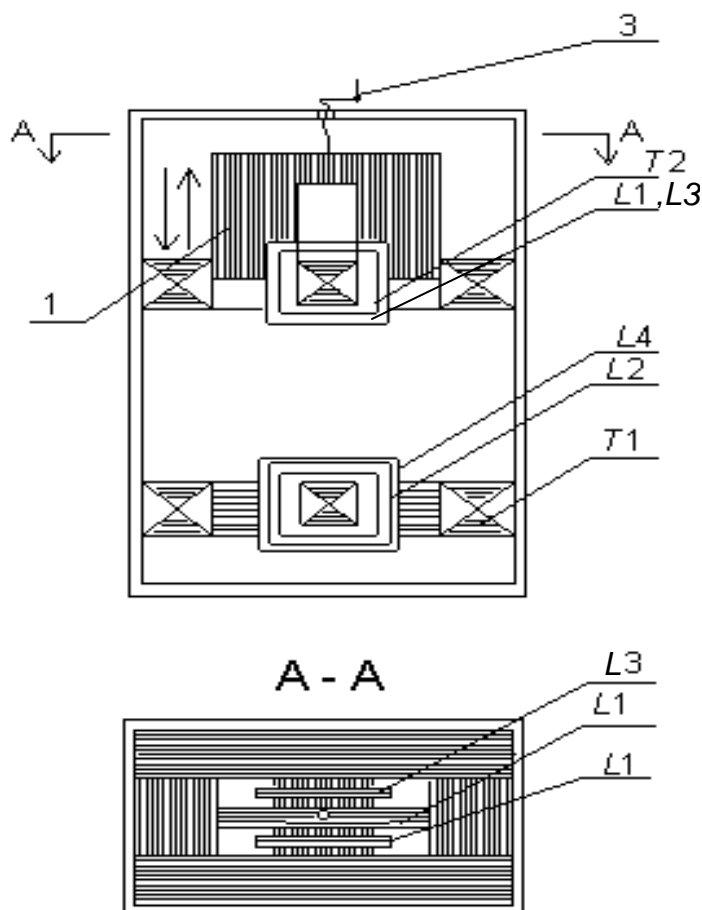


Рис. 2.1 - Конструкція трансформатора ТДМ-411 “Транс-3”

Трансформатор працює на двох діапазонах зварювальних струмів (малі та великі струми). При роботі трансформатора в режимі великих струмів до

первинної обмотки $L2$ за допомогою перемикача K паралельно підключається обмотка $L1$. (рис.2.2).

Режим роботи трансформатора

3.3. Неробочий хід

$$I_D = 0$$

$$U_{20} = \frac{U_1}{k},$$

де k – коефіцієнт трансформації.

3.4. Навантаження трансформатора

При навантаженні напруга U_{20} врівноважується напругою дуги і падінням напруги на опорах вторинної обмотки трансформатора:

$$\dot{U}_{20} = \dot{I}_D \cdot X_T + \dot{I}_D \cdot R_T + \dot{U}_D,$$

де X_T , R_T – індуктивний і активний опори трансформатора відповідно.

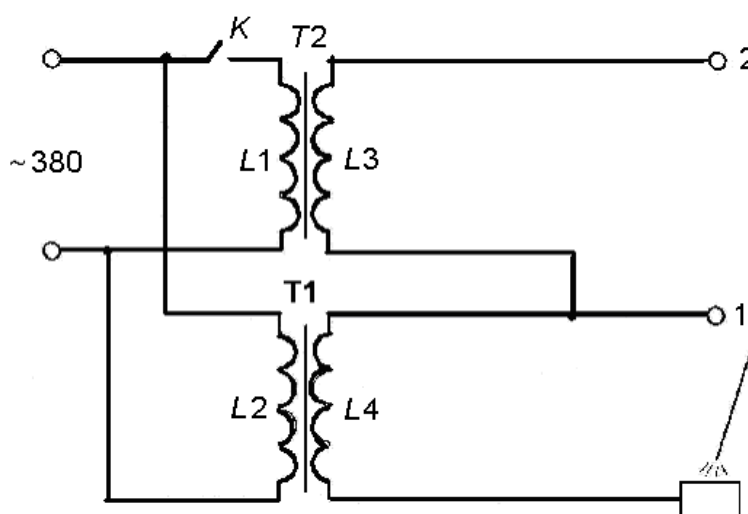


Рис. 2.2 - Принципова електрична схема ТДМ-411

Враховуючи що $R_T \approx 0$, тоді:

$$U_D = \sqrt{U_{20}^2 - I_D^2 \cdot X_T^2}.$$

$$I_D = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_D^2}}{X_T}, \text{ де } X_T = \frac{\omega \cdot W_2^2 \cdot \sigma}{R_\mu},$$

де ω - кутова частота; R_μ - повний магнітний опір на шляху потоку розсіяння, Ом; σ - коефіцієнт розсіяння.

При переміщенні шунта вниз потік розсіяння зростає, оскільки R_μ між обмотками $L1$, $L3$ зменшується, при цьому значення σ збільшується, X_T – збільшується, а I_D – зменшується. При переміщенні шунта трансформатора вгору спостерігається протилежна картина.

3.5. Коротке замикання

$$U_D = 0$$

$$I_K = \frac{U_{20}}{X_T} = \frac{U_1}{k \cdot X_T}.$$

Значення I_K а I_D можна змінювати двома способами:

-за рахунок зміни X_T , переміщуючи шунт вниз або вгору – метод плавного регулювання струму і напруги;

-за рахунок зміни коефіцієнта трансформації k тобто підключення або відключення обмотки $L1$ – метод ступінчастого регулювання.

4. Технічні дані ТДМ-411 У2 “Транс-3”

Номінальний струм навантаження, А	- 400
Межі регулювання зварювального струму, А	
при діапазоні “великих струмів”	- 120 - 400
при діапазоні “малих струмів”	- 50 – 240
Номінальна первинна напруга, В	- 380
Вторинна напруга неробочого ходу, В	
при діапазоні “великих струмів”	- 80
при діапазоні “малих струмів”	- 48
Номінальна робоча напруга, В	
при діапазоні “великих струмів”	- 36
при діапазоні “малих струмів”	- 30

Тривалість циклу ТУ, % – від 10 до 100 в залежності від струму навантаження.

ККД -0.53

Маса, кг - 80.

5. Випробування трансформатора

Зняти зовнішні характеристики трансформатора (неробочий хід, навантаження, коротке замикання). Характеристики зняти при двох умовах короткого замикання:

$$I_K=150 \text{ А}, I_K=300 \text{ А}.$$

Одночасно при знятті характеристик визначити залежність зміни потужності P_1 , $\cos\phi$, X_T при збільшенні струму навантаження.

Регульовальна характеристика визначається залежністю струму короткого замикання від величини індуктивного опору трансформатора X_T . Оскільки X_T змінюється пропорційно відстані шунта від магнітопровода трансформатора $T2$ (рис. 2.1), а величина віддалення змінюється за рахунок обертання ручки регулятора, то $X_T=f(n_{об})$.

Регульовальна характеристика буде являти собою залежність $I_{К.з.}=f(n_{об})$.

6. Обладнання і прилади

6.1	Трансформатор ТДМ-411У2 “Транс-3”	-1 шт.
6.2	Баластовий реостат РБ-302-У3	-2 шт.
6.3	Амперметр змінного струму на 5 А	-1 шт.
6.4	Трансформатор струму для вимірювань величини I_D на 1000 А (И-509)	- 1 шт.
6.5	Комплект вимірювальний К-541	- 1 шт.
6.6	Вольтметр змінного струму не нижче ніж на 100 В	- 1шт

7. Порядок випробування трансформатора

7.1. Роботу виконує бригада у складі не менше 4 осіб.

7.2. Зібрати схему випробування трансформатора (рис.3). Установити мінімальне значення струму короткого замикання, для чого вивести шунт на максимальну відстань угору, а перемикач K встановити на значення малих струмів – I .

7.3. Підключити трансформатор і перевести його в режим короткого замикання (контактори $K1$ і $K2$ увімкнуті). Обертаючи ручку-3 регулятора зварювального струму, встановити значення $I_K=150$ А. Перевести трансформатор у режим неробочого ходу (вимкнути контактор $K2$).

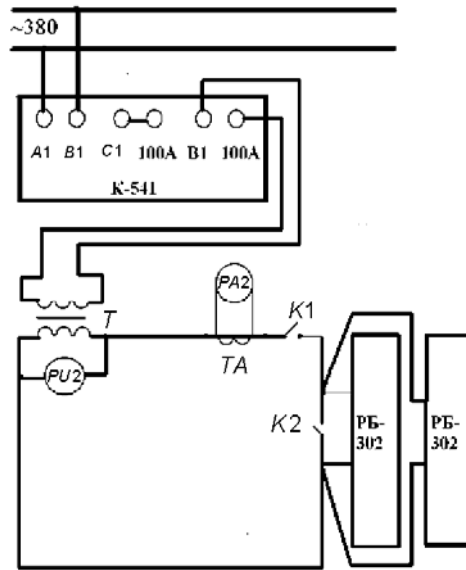


Рис. 2.3 - Електрична схема випробування трансформатора ТДМ-411 У2

Відлік даних випробування необхідно почати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажувати шляхом увімкнення рубильників реостатів РБ-302. Після увімкнення кожного рубильника виконувати відлік даних по приладах. При кожному встановленому значенні струму навантаження провести відлік таких параметрів первинної та вторинної обмотки трансформатора:

- напруги мережі живлення U_1 , В;
- струму первинної обмотки I_1 , А;
- активної потужності P_1 , Вт;
- напруги вторинної обмотки U_2 , В;
- струму навантаження зовнішнього кола I_2 , А.

Примітка: параметри а, б, в вимірювати за допомогою комплекту К-541 (рис.3).

Після вимірювання вказаних параметрів при всіх увімкнених рубильниках РБ-302 замкнути зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора накоротко (ввімкнути контактор $K2$). У цьому режимі виміряти параметри трансформатора. Одержані дані занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

№ досліду	$U_1, В$	$U_2, В$	$P_1, Вт$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos(\varphi)$	Примітки
1.Неробочий хід							I _к =150 А
2.I рубильник							
3.II рубильник							
4.III рубильник							
5.IV рубильник							
6.V рубильник							
7.VI рубильник							
8.Коротке замикання.							

7.4. Після зняття зовнішньої характеристики для $I_K=150 А$ трансформатор перевести в режим короткого замикання, установити $I_K=300 А$. Для цього ручку перемикачів діапазонів установити в положення **II** “великі струми”. Знову зняти зовнішню характеристику в порядку, який подано в п. 7.3. Отримані дані занести до таблиці 2.2, яка за формою аналогічна до таблиці 2.1.

Таблиця 2.2

№ досліду	$U_1, В$	$U_2, В$	$P_1, Вт$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos(\varphi)$	Примітки
1.Неробочий хід							I _к =300 А
2.I рубильник							
3.II рубильник							
4.III рубильник							
5.IV рубильник							
6.V рубильник							
7.VI рубильник							
8.Коротке замикання							

Побудувати графіки залежностей $U_2=f(I_2)$, $P_1=f(I_2)$, $I_1=f(I_2)$, $\cos\varphi=f(I_2)$. Активна потужність P_1 в однорідному колі при послідовно увімкнених первинних обмотках вбудованих трансформаторів струму в комплекті К-541 (рис. 3) визначається за формулою:

$$P_1 = \frac{1}{2} C_W \alpha_W,$$

де: C_W – ціна поділки шкали вольтметра,

α_W – відлік за шкалою ватметра в поділках.

Коефіцієнт потужності визначається за формулою: $\cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$.

Зовнішні характеристики $U_2=f(I_2)$ для $I_K=150$ А і $I_K=300$ А побудувати на одній координатній площині. Аналогічно побудувати графіки залежностей $P_1=f(I_2)$, $\cos\varphi=f(I_2)$, $I_1=f(I_2)$.

7.5. Для зняття регулювальної характеристики необхідно встановити мінімальне значення I_K в діапазоні I “малі струми” перемістивши шунт вниз. Перевести трансформатор у режим короткого замикання (ввімкнути $K1$ і $K2$). Провести відлік параметрів U_1 , I_1 , P_1 , I_K трансформатора. У подальшому заміри параметрів P_1 , I_1 , I_K проводити через 10 обертів ручки регулятора струму. Дані занести до таблиці 2.3

Таблиця 2.3

$n_{об}$	I_K , А	U_{20} , В	I_1 , А	U_1 , В	P_1 , Вт	$\cos \varphi$	X_T
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							

Індуктивний опір трансформатора в режимі короткого замикання дорівнює:

$$X_T = \frac{U_{20}}{I_K},$$

де: U_{20} – напруга неробочого ходу при переміщенні шунта вгору при зміні $n_{об}$.

За одержаними даними у двох діапазонах струму побудувати залежності $I_K=f(n_{об})$, $I_1=f(n_{об})$, $P_1=f(n_{об})$, $\cos\varphi=f(n_{об})$, $X_T=f(n_{об})$, $I_K=f(X_T)$.

8. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 8.1. Назву та мету роботи, короткий опис принципу роботи трансформатора.
- 8.2. Електричну схему випробування трансформатора.
- 8.3. Порядок випробувань трансформатора.
- 8.4. Таблиці з одержаними даними досліджень.
- 8.5. Графіки характеристик.
- 8.6. Висновки по виконаній роботі.

9. Контрольні питання

- 9.1. Будова і призначення зварювального трансформатора ТДМ-411 У2 “Транс-3”.
- 9.2. Принцип роботи ТДМ-411У2 в режимах неробочого ходу, навантаження і короткого замикання.
- 9.3. Порядок зняття характеристик трансформатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

1. Тема Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДМ-401У2.

2. Мета роботи

- 2.1. Вивчити конструкцію і принцип роботи трансформатора.
- 2.2. Освоїти методику випробування і порядок зняття основних характеристик.
- 2.3. Провести аналіз одержаних даних.

3. Основні відомості про конструкцію і принцип роботи трансформатора

Зварювальний трансформатор ТДМ-401У2 призначений для живлення одного зварювального поста при ручному дуговому зварюванні, різанні і наплавленні металів змінним струмом з частотою 50 Гц.

Трансформатор складається з магнітопроводу стрижневого типу, первинної - I і вторинної - II обмоток (рис.3.1), перемикача діапазону струмів, струмовказівного механізму. Обмотки ТДМ-401У2 мають по дві котушки, які розміщені попарно на загальних стрижнях магнітопроводу. Котушки I обмотки $L1$ зі скляною ізоляцією нерухомі, закріплені біля нижнього ярма, котушки II обмотки $L2$ рухомі, намотані "на ребро" з ізольованої алюмінієвої шини. Через верхнє ярмо трансформатора пропущений ходовий гвинт, при обертанні якого рукояткою переміщуються вторинні котушки, змінюючи тим самим відстань між обмотками.

Діапазони струму змінюються за допомогою перемикача барабанного типу, керувальна ручка якого знаходиться на кришці кожуху. Орієнтовний відлік струму проводиться за шкалою через вікно на кришці кожуху. Напруга, яка необхідна для зварювання, і спадна зовнішня характеристика дуги забезпечуються конструкцією трансформатора з підвищеним магнітним розсіянням.

Плавне регулювання струму відбувається за рахунок зміни відстані між котушками I і II обмоток. Зменшення відстані зменшує індуктивність розсіювання, що призводить до збільшення зварювального струму. Збільшення відстані між обмотками збільшує індуктивність розсіювання і, відповідно, зменшує I_d .

Ступінчасте регулювання струму проводиться шляхом одночасного перемикування котушок I і II обмоток. Паралельне вмикання обмоток відповідає діапазону великих струмів, послідовне – малих струмів.

Напруга неробочого ходу трансформатора залежить від відстані між котушками. Більше значення U_{20} досягається при зсунутих обмотках, менше – при розсунутих.

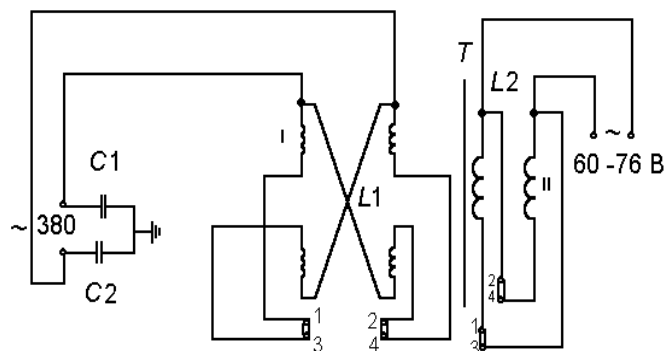


Рис. 3.1 - Принципова електрична схема трансформатора ТДМ-401У2

Режим роботи трансформатора

3.1. Неробочий хід

$$I_D = 0$$

$$U_{20} = \frac{U_1}{k},$$

де k - коефіцієнт трансформації.

3.2 Навантаження трансформатора.

При навантаженні U_{20} урівноважується напругою дуги і падінням напруги на опорах вторинної обмотки трансформатора:

$$\dot{U}_{20} = \dot{I}_\delta \cdot X_T + \dot{I}_\delta \cdot R_T + \dot{U}_\delta,$$

де X_T, R_T – індуктивний і активний опори трансформатора. Враховуючи, що $R_T \approx 0$, тоді:

$$U_\delta = \sqrt{U_{20}^2 - I_\delta^2 \cdot X_T^2}, \quad I_\delta = \frac{\sqrt{U_{20}^2 - U_\delta^2}}{X_T}.$$

Тоді

$$X_m = \frac{\omega \cdot W_2^2 \cdot \sigma}{R_\mu},$$

де ω – кутова частота; R_μ – магнітний опір на шляху потоку розсіяння; σ – коефіцієнт розсіяння.

При розсуванні обмоток (метод плавного регулювання струму) потік розсіювання зростає, оскільки R_μ зменшується. Величина σ збільшується. Відповідно X_T - збільшується, а I_D - зменшується. При зближенні обмоток трансформатора спостерігається протилежна картина.

3.3. Коротке замикання

$$U_D = 0$$

$$I_k = \frac{U_{20}}{X_T} = \frac{U_1}{k \cdot X_T}.$$

Величину I_D а I_K можна змінювати двома способами:

- плавним регулюванням – за рахунок зміни X_T (змінюючи відстань між обмотками);
- ступінчастим регулюванням секцій – за рахунок зміни коефіцієнту трансформації k , тобто вмиканням первинної та вторинної обмоток послідовно або паралельно.

4. Технічні дані ТДМ-401У2.

Номінальний струм зварювання, А	– 400
Межі регулювання зварювального струму, А	
при діапазоні “малих струмів”	– 65...180
при діапазоні “великих струмів”	– 180...460
Номінальна первинна напруга, В	– 220/380
Первинний струм, А	
при виконанні на 220 В	– 120
при виконанні на 380 В	– 70

Вторинна напруга неробочого ходу, В	
при діапазоні “великих струмів”	– 64
при діапазоні “малих струмів”	– 80
Номинальна робоча напруга, В	– 36
Тривалість циклу ТУ, %	– 60
Маса, кг	– 145

5. Випробування трансформатора

5.1. Зняти зовнішні характеристики трансформатора (неробочий хід, навантаження, коротке замикання). Характеристики зняти при двох умовах короткого замикання:

$$I_K=200 \text{ А}; I_K=300 \text{ А, при } U_1=\text{const.}$$

5.2. Регульовальна характеристика визначається залежністю струму короткого замикання від величини індуктивного опору трансформатора X_T . Оскільки X_T змінюється пропорційно відстані ℓ між котушками I і II обмоток трансформатора, а ℓ змінюється в залежності від кількості обертів ручки регулятора $n_{об}$, то:

$$X_T=f(\ell)=f(n_{об})$$

Регульовальна характеристика являє собою залежність $I_K=f(n_{об})$.

6. Обладнання і прилади

6.1. Трансформатор ТДМ-401У2	– 1 шт.
6.2. Баластовий реостат РБ-302У3	– 2 шт.
6.3. Амперметр змінного струму на 5 А	– 2 шт.
6.4. Трансформатор струму для вимірювань величини I_d на 1000 А	– 1 шт.
6.5. Вольтметр змінного струму на 150 В	– 1 шт.
6.6. Силові контактори КМ-600Д на струм 600 А	– 1 шт.

7. Порядок випробування трансформатора

7.1. Роботу виконує бригада студентів у складі не менше 4 осіб.

7.2. Зібрати схему випробування трансформатора (рис.3.2).

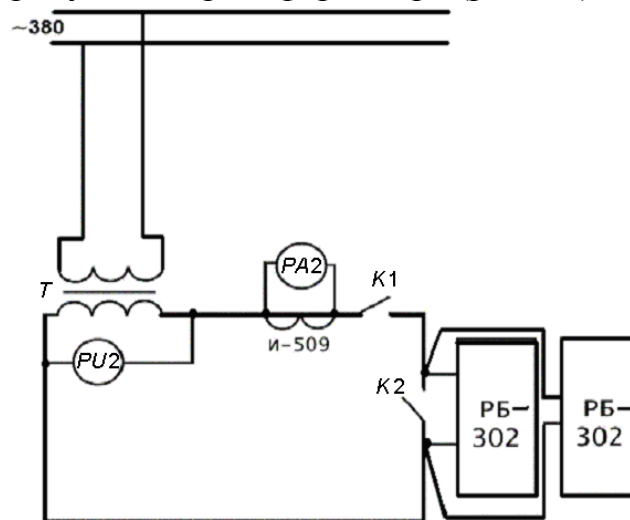


Рис. 3.2 - Принципова схема випробувань ТДМ-401У3

Встановити мінімальне значення струму короткого замикання, для чого віддалити котушки обмоток на максимальну відстань ℓ , а перемикач обмоток встановити на значення “малих струмів”.

7.3. Увімкнути трансформатор і перевести в режим короткого замикання (контактори $K1$ і $K2$ увімкнути). Обертаючи ручку точного регулятора зварювального струму, встановити значення $I_K=200$ А. Потім трансформатор перевести в режим неробочого ходу (вимкнути контактор $K2$).

7.4. Відлік даних випробування необхідно почати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажувати шляхом увімкнення перемикачів реостату РБ-302. Після увімкнення кожного перемикача робити відлік даних по приладах. При кожному встановленому значенні струму навантаження провести відлік параметрів напруги U_2 вторинної обмотки трансформатора.

7.5. Після вимірювань вказаних параметрів при всіх увімкнених перемикачах РБ-302 замкнути коло вторинної обмотки трансформатора (ввімкнути контактор $K2$). У цьому режимі виміряти параметри трансформатора. Одержані дані занести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$I_K=200$ А
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

7.6. Після зняття зовнішньої характеристики для значення $I_K=200$ А трансформатор перевести в режим короткого замикання, встановити $I_K=300$ А. Для цього ручку діапазонів перемикачів струму встановити в положення “великі струми”.

Знову зняти зовнішню характеристику в порядку, що вказаний в п. 7.4, дані занести до таблиці 3.2, за формою, яка аналогічна таблиці 3.1.

Таблиця 3.2

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$I_K=300$ А
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

Побудувати графік залежності $U_D=f(I_D)$. Зовнішні характеристики $U_D=f(I_D)$ для $I_K=200$ А а $I_K=300$ А побудувати на одному графіку.

7.7. Для зняття регулювальної характеристики необхідно встановити мінімальне значення I_K , розсунувши котушки I і II обмоток на максимальну відстань. Перевести трансформатор у режим короткого замикання (ввімкнути $K1$ і $K2$). Провести відлік параметрів струму трансформатора. В подальшому заміри параметрів проводити через 10 обертів ручки регулятора струму. Регулювальну характеристику $I_K=f(n_{OB})$ знімати в діапазонах “малі струми” і “великі струми”. Одержані дані занести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

n_{OB}	I_K , А (“малі струми”)	I_K , А (“великі струми”)
10		
20		
30		
40		
60		
70		

Індуктивний опір трансформатора в режимі короткого замикання дорівнює:

$$X_m = \frac{U_{20}}{I_K}$$

За одержаними даними у двох діапазонах струму побудувати залежності $I_K=f(n_{OB})$, $I_K=f(X_T)$.

8. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 8.1. Назву та мету роботи; короткий опис принципу роботи трансформатора.
- 8.2. Електричні схеми випробування трансформатора.
- 8.3. Порядок випробувань ТДМ-401-У2.
- 8.4. Таблицю з одержаними даними досліджень.
- 8.5. Графіки характеристик.
- 8.6. Короткі висновки по виконаній роботі.

9. Контрольні питання

- 9.1. Конструкція і призначення зварювального трансформатора ТДМ-401-У2
- 9.2. Принцип роботи ТДМ-401-У2 в режимах неробочого ходу, навантаження і короткого замикання.
- 9.3. Порядок зняття характеристик трансформатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

1. Тема Вивчення конструкції а дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу “Разряд-250” або “Разряд-160” (трансформатори серії И-120У3).

2. Мета роботи

- 2.1. Вивчити призначення, конструкцію, принцип дії трансформатора і блока імпульсної стабілізації горіння дуги (ІСГД).
- 2.2. Виявити характерні несправності та визначити способи їх усунення.
- 2.3. Засвоїти методику випробування трансформатора, порядок зняття характеристик і осцилограм стабілізуючих імпульсів на дуговому проміжку.
- 2.4. Проаналізувати одержані результати.

3. Короткі відомості про призначення, конструкцію та принцип дії трансформатора

Зварювальні трансформатори типу “Разряд-250” або “Разряд-160” призначені для ручного дугового зварювання на змінному струмі електродами різних марок як для змінного, так і для постійного струму (типу УОНИ 13/45, ОЗЛ-8), а також неплавкими електродами для зварювання алюмінію та його сплавів у середовищі аргону на будівельно-монтажних майданчиках, у ремонтних майстернях а інших місцях, що потребують частого транспортування та перенесення зварювальних апаратів. Регулювання зварювального струму в цих трансформаторах плавно-ступінчасте.

Трансформатори складаються з таких головних частин: трансформатора, стабілізатора, корпусу, перемикача діапазонів зварювального струму (ПДЗС). Принципову електричну схему трансформатора “Разряд-160” і схему випробування наведено на рис.4.1.

Первинна обмотка I і вторинна II трансформатора взаємно незв’язані. Додаткові обмотки V, VI, VII намотуються поверх первинної і вторинної обмоток і вмикаються через перемикач ПДЗС спочатку зустрічно, а потім послідовно підключаються до первинної обмотки, що дає можливість отримати сім діапазонів зварювального струму.

Додаткова обмотка III намотується поверх вторинної обмотки, а додаткова обмотка VIII – поверх первинної і вторинної обмоток. Додаткові обмотки і витки зі зварювального кабелю не впливають на значення напруги неробочого ходу.

Ступінчасте регулювання здійснюється перемикачем діапазонів зварювального струму ПДЗС, а плавне між ступенями – навиванням у той чи іншій бік від одного до п’яти витків зварювального кабелю, що з’єднується з електродотримачем. Межі регулювання зварювального струму наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Положення перемикача	Межі регулювання зварювального струму, А, для типів трансформаторів	
	“Разряд-250”	“Разряд-160”
I	90...105	60...65
II	100...125	65...75
III	120...145	75...90
IV	140...170	95...105
V	165...200	105...120
VI	190...235	125...140
VII	225...250	140...160

Схема стабілізатора (рис.4.1) складається зі схеми формування імпульсів, керування тиристорами E і силової частини, яка формує стабілізуючі імпульси на дуговий проміжок.

Трансформатори повинні видавати стабілізуючі імпульси в час, коли напруга на зварювальній обмотці сягне 60...80% амплітудного значення на неробочому ході і під час переходу струму через нуль при зварюванні.

Діюче значення напруги неробочого ходу на виході трансформатора при увімкненому стабілізаторі підвищується не більше, ніж на 5 В.

Схема формування імпульсів керування тиристорами складається з двох однакових функціональних груп, які зібрані на транзисторах $VT1$, $VT2$, $VT3$, $VT4$. Навантаженням для цих транзисторів є імпульсний трансформатор $T1$, у якого: I – колекторна обмотка; II – обмотка керування тиристором $VS6$; III – обмотка керування тиристором $VS5$.

Бази транзисторів $VT1$, $VT2$ підключаються через резистори до дугового проміжку і до датчика струму $T3$. Конденсатори $C1$ і $C2$ захищають вхід схеми від перешкод, які можуть викликати помилкові вмикання стабілізатора.

Транзистори $VT1$ - $VT4$, резистори $R5$ - $R11$ і конденсатори $C3$, $C4$ утворюють напівпровідні реле, що мають два стійкі стани: $VT2$ і $VT3$ – відкриті, а $VT1$ і $VT4$ – закриті, або навпаки.

Процес перемикання з одного стану в іншій відбувається дуже швидко завдяки дії додатного зворотного зв'язку, що здійснюється через резистор $R11$.

При додатній півхвилі на електроді транзистори $VT1$ і $VT3$ відкриваються, а $VT2$ і $VT4$ – закриваються, і первинна обмотка I трансформатора $T1$ через конденсатор $C5$ підключається до “+” джерела живлення. При від'ємній півхвилі транзистори $VT2$ і $VT4$ відкриваються, а $VT1$ і $VT3$ – закриваються, первинна обмотка $T1$ через $C5$ підключається до “-” джерела живлення.

Таким чином, при кожній зміні полярності на електроді відбувається імпульсне перемагнічування первинної обмотки I трансформатора $T1$, викликаючи появу імпульсів струму в обмотках II, III, що керують тиристорами $VS5$ і $VS6$. Резистори $R3$, $R4$ і конденсатор $C2$ підібрано таким чином, що перемикання напівпровідного реле і поява стабілізуючих імпульсів відбувається в той час, коли напруга на електроді сягає 60...80% амплітудного значення напруги неробочого ходу зварювального трансформатора.

Датчик струму $T3$, який являє собою диференціюючий трансформатор, видає керуючі імпульси в момент переходу зварювального струму через нуль, викликаючи тим самим спрацьовування напівпровідного реле і появу стабілізуючих імпульсів.

Схема формування імпульсів керування живиться від додаткової обмотки VIII трансформатора $T2$. Ця обмотка охоплює обидва стрижні магнітопроводу і знаходиться на шляху потоку розсіяння трансформатора $T2$. При неробочому ході потік розсіяння замалий і напруга на обмотці не перевищує 3...4 В. При зварюванні потік розсіяння різко зростає, і напруга на обмотці VIII сягає 24...30 В. Ця напруга випрямляється діодами $VD9$, $VD10$ і згладжується конденсаторами $C9$, $C10$. Стабілізатор вимикається не одразу, а через 0,8...1,0 с. після закінчення процесу, оскільки стабілізатор живиться за рахунок енергії, що накопичилась у конденсаторах $C9$, $C10$ (50 мкФ). Силова частина схеми стабілізатора складається з конденсаторів $C7$, $C8$, $C11$, резистора $R19$, тиристорів $VS5$, $VS6$ і обмоток III, IV трансформатора $T2$. Обмотка IV необхідна для обмеження швидкості наростання струму через тиристори $VS5$, $VS6$. Конденсатори $C12$, $C13$ виконують роль фільтрів від радіоперешкод.

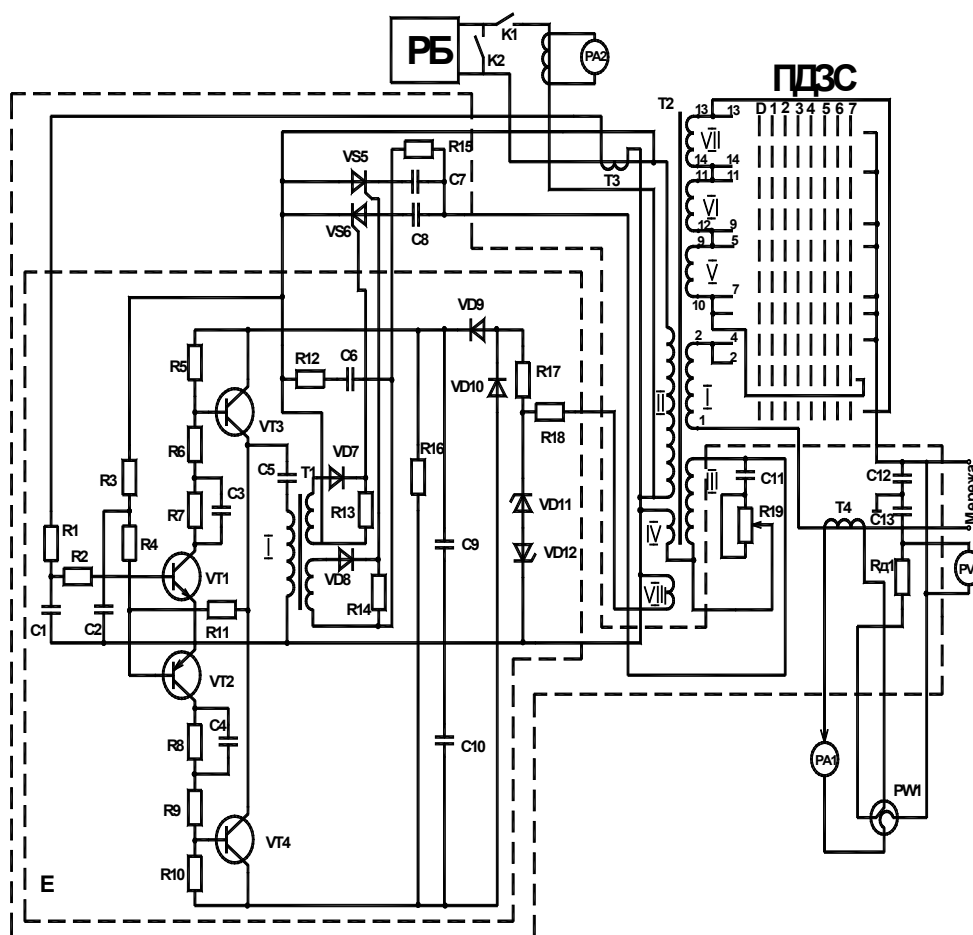


Рис. 4.1 - Принципова електрична схема і схема випробувань трансформатора "Разряд-160"

4. Характерні несправності та способи їх усунення

Найбільш характерні несправності наведено в таблиці 4.2. Причини несправностей та способи їх усунення студенти повинні записати до таблиці протоколу, яка за формою аналогічна таблиці 24..

Таблиця 4.2

№	Несправність	Можлива причина	Способи усунення
4.1.	Перегрівання трансформатора вище норми, ознакою чого є поява характерного запаху або диму		
4.2.	Встановлений діапазон не відповідає струму, що очікується		
4.3.	Пристрій перегрівається на неробочому ході		
4.4.	Підвищений шум на неробочому ході		
4.5.	Пристрій не дає напруги на неробочому ході		

5. Технічні дані трансформаторів

	Разряд- 250	Разряд- 160
Напруга живлення, В	380	220
Частота мережі живлення, Гц		50
Номінальний первинний струм, А		43
Номінальний зварювальний струм, А	250	160
Регулювання зварювального струму	Плавно-ступінчасте	
Межі регулювання зварювального струму, А	90...250	60...160
Кількість ступенів регулювання зварювального струму, А		7
Напруга неробочого ходу, В		60±2
Номінальна робоча напруга, В	30	26.4
Тривалість роботи при п'ятихвилинному циклі та номінальному струмі ТУ, %		20
Коефіцієнт потужності, не менше		0.55
ККД, %, не менше		69
Клас ізоляції		Н
Частота стабілізуючих імпульсів, Гц		100
Габаритні розміри, мм	350x310x480	
Маса, кг	50	42

6. Випробування трансформатора

6.1. Зняти зовнішні характеристики трансформатора (неробочий хід, навантаження, коротке замикання). Характеристики зняти при двох умовах короткого замикання:

$I_K=200$ А для трансформатора “Разряд-250”,

$I_K=100$ А для трансформатора “Разряд-160”.

6.2. Одночасно при знятті характеристик визначити залежність зміни активної потужності P_1 і коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ при збільшенні струму навантаження зовнішнього кола.

Активна потужність трансформатора визначається за допомогою ватметра, що включений до кола первинної обмотки (рис.4.2). Коефіцієнт потужності визначається за формулою

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$$

6.3. Регульовальна характеристика визначає залежність струму короткого замикання від індуктивного опору трансформатора X_T . Так як X_T змінюється пропорційно зміні кількості ступенів перемикача зварювального струму $N_{ст}$, то $X_T=f(N_{ст})$.

Регульовальна характеристика являє собою залежність $I_K=f(N_{ст})$.

7. Обладнання та прилади

7.1. Трансформатор типу “Разряд-250” або “Разряд-160”	– 1 шт.
7.2. Баластовий реостат РБ-302У3	– 2 шт.
7.3. Амперметр змінного струму на 5 А	– 1 шт.
7.4. Трансформатор струму УТТ-5 для вимірювання I_1	– 1 шт.
7.5. Трансформатор струму И-509 для вимірювання I_2	– 1 шт.
7.6. Вольтметр змінного струму на 380 В	– 1 шт.
7.7. Вольтметр змінного струму на 150 В	– 1 шт.
7.8. Ватметр змінного струму, або комплект К-541	– 1 шт.
7.9. Силові контактори КМ-600Д на струм 600 А	– 2 шт.
7.10. Осцилограф С1-18	– 1 шт.

8. Порядок випробування трансформатора

8.1. Роботу виконує бригада студентів у складі не менше 4 осіб.

8.2. Зібрати схему випробування трансформатора (рис.4.2).

Установити мінімальний струм короткого замикання, для цього перемикач ПДЗС перевести у положення ступені І.

8.3. Увімкнути трансформатор і перевести його у режим короткого замикання (контактори $K1$ і $K2$ увімкнені). Потім трансформатор перевести у режим неробочого ходу, вимкнувши контактор $K2$.

8.4. Відліки даних випробування необхідно розпочати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажувати вмиканням рубильників реостата РБ-302. Після включення кожного з рубильників проводити всі відліки даних за приборами.

При кожному встановленому значенні струму навантаження провести відлік таких параметрів кіл первинної та вторинної обмоток трансформатора: напруги мережі живлення U_1 , В, струму первинної обмотки I_1 , А, активної потужності P_1 , Вт, напруги вторинної обмотки U_2 , В, струму навантаження зовнішнього кола I_2 , А.

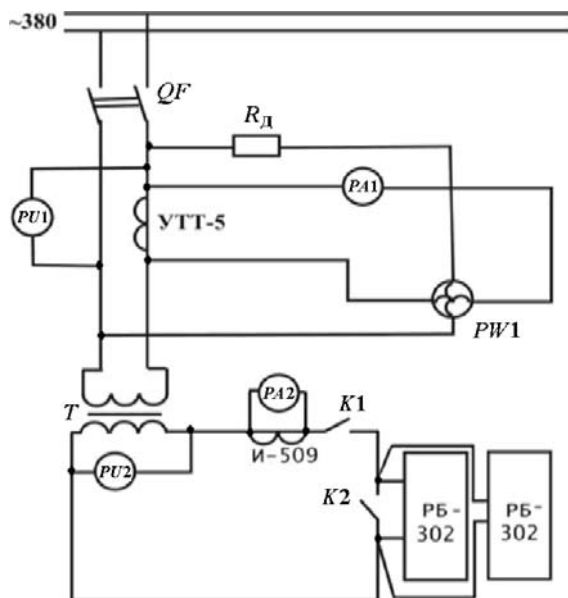


Рис. 4.2 - Принципова електрична схема випробувань трансформатора

8.5. Після вимірювання вказаних параметрів при всіх увімкнених рубильниках РБ-302 замкнуті зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора накоротко (ввімкнути контактор К2). У цьому режимі виміряти параметри кіл I і II обмоток трансформатора. Одержані дані занести до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

№ досліду	$U_1, В$	$U_2, В$	$P_1, Вт$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos(\varphi)$	Примітка
1.Неробочий хід							Ступінь I ПДЗС
2.I рубильник							
3.II рубильник							
4.III рубильник							
5.IV рубильник							
6.V рубильник							
7.VI рубильник							
8.Коротке замикання.							

8.6. Після зняття зовнішньої характеристики для положення ступеня I ПДЗС необхідно зняти вольт-амперну характеристику трансформатора для положень ступенів IV і VII ПДЗС.

Зовнішню характеристику необхідно знімати у порядку, який вказаний в п.п. 8.4., 8.5. Дані вимірювань занести до таблиць 4.4 і 4.5, які за формою аналогічні таблиці 4.3.

Таблиця 4.4

№ досліду	$U_1, В$	$U_2, В$	$P_1, Вт$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos(\varphi)$	Примітка
1.Неробочий хід							Ступінь IV ПДЗС
2.I рубильник							
3.II рубильник							
4.III рубильник							
5.IV рубильник							
6.V рубильник							
7.VI рубильник							
8.Коротке замикання.							

Таблиця 4.5

№ досліду	$U_1, В$	$U_2, В$	$P_1, Вт$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos(\varphi)$	Примітка
1.Неробочий хід							Ступінь VII ПДЗС
2.I рубильник							
3.II рубильник							
4.III рубильник							
5.IV рубильник							
6.V рубильник							
7.VI рубильник							
8.Коротке замикання.							

Побудувати графіки залежностей $U_2=f(I_2)$, $P_1=f(I_2)$, $\cos \varphi=f(I_2)$.

Зовнішні характеристики $U_2=f(I_2)$ для I, IV і VII ступенів ПДЗС побудувати на одному графіку. Аналогічно побудувати графіки залежностей $P_1=f(I_2)$, $\cos \varphi=f(I_2)$.

8.7. Для зняття I регульовальні характеристики необхідно перевести трансформатор у режим короткого замикання (включити $K1$ і $K2$). Провести відлік параметрів $U_{20}, U_1, I_1, P_1, I_K$ трансформатора в залежності від зміни кількості ступенів $N_{ст}$ перемикача діапазонів зварювання ПДЗС. Одержані дані занести до таблиці 4.6.

Індуктивний опір трансформатора визначається за формулою

$$X_T = \frac{U_{20}}{I_K},$$

де U_{20} – напруга неробочого ходу на кожній ступені трансформатора.

За одержаними даними на одному графіку побудувати залежності $I_K=f(N_{ст})$, а на іншому – залежності $P_1=f(N_{ст})$, $\cos \varphi=f(N_{ст})$, $X_T=f(N_{ст})$.

Таблиця 4.6

Номер ступеня $N_{ст}$ ПДЗС	U_{20} , В	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	$\cos \varphi$	I_K , А	X_T , Ом
I							
II							
III							
IV							
V							
VI							
VII							

8.8. Для зняття II регулювальної характеристики, яка дає уяву про плавне регулювання зварювального струму усередині діапазону, трансформатор необхідно перевести у режим короткого замикання на будь-якій ступені ПДЗС.

Виміряти струм I_K на даному ступені. Потім, укладаючи витки зварювального кабелю навколо корпусу трансформатора спочатку за годинниковою стрілкою, а потім навпаки, виміряти струм I_K в залежності від напрямку навивання і кількості витків, що укладені, n_K .

Результати досліджень занести до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Номер ПДЗС	Напрямок укладання зварювального кабелю	Кількість витків зварювального кабелю n_K	I_K , А
I	Проти годинникової стрілки	1	
		2	
		3	
	За годинниковою стрілкою	1	
		2	
		3	

За одержаними даними побудувати графік залежності $I_K=f(n_K)$.

9. Осцилографування кривої напруги і форми імпульсу при роботі трансформатора в режимі навантаження

Для цієї мети необхідно використовувати двопробеневий осцилограф типу С1-18. Схему його підключення наведено на рис.4.3.

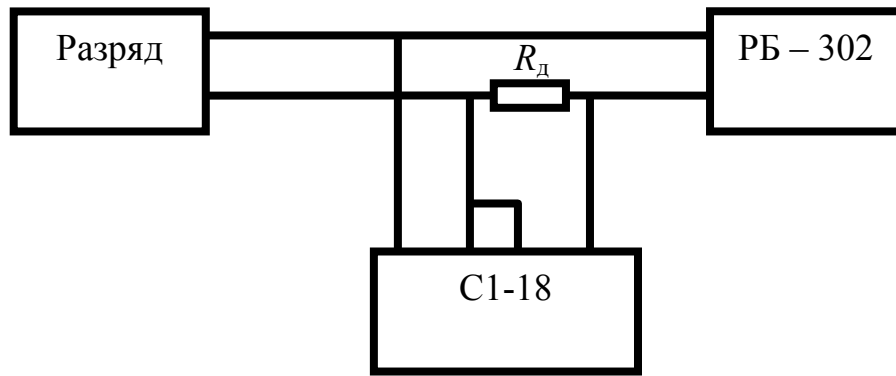


Рис. 4.3 - Схема осцилографування кривої напруги і формування імпульсу

У процесі осцилографування слід установити такий час розгортки, щоб на екрані осцилографа розміщувалось не менше одного періоду синусоїди.

Підсилювачами С1-18 встановити амплітуду сигналу, яка зручна для спостереження. Зарисувати осцилограми.

10. Вимоги до звіту

Звіт повинен містити:

- 10.1. Найменування і мету роботи, короткий опис принципу дії трансформатора.
- 10.2. Електричну принципову схему випробовувань трансформатора.
- 10.3. Таблицю з одержаними даними досліджень.
- 10.4. Графіки характеристик.
- 10.5. Короткі висновки про виконану роботу.

11. Контрольні питання

- 11.1 Призначення зварювальних трансформаторів типів “Разряд-250”, “Разряд-160”.
- 11.2 Конструкція зварювальних трансформаторів типів “Разряд-250”, “Разряд-160”.
- 11.3 Порядок зняття характеристик трансформатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

1. Тема Вивчення конструкції та дослідження роботи зварювального трансформатора підвищеної частоти типу ЦС-200 для ручного дугового зварювання.

2. Мета роботи

2.1. Ознайомитись з конструкцією і вивчити принцип дії трансформатора.

2.2. Засвоїти методику випробувань і порядок зняття зовнішніх і регулювальних характеристик.

2.3. Провести осцилографування кривих напруги і струму при роботі трансформатора в режимі навантаження.

2.4. Проаналізувати одержані результати досліджень.

3. Короткі відомості про конструкцію та принцип дії ЦС-200

Однопостовий зварювальний трансформатор (циклоконвертор) типу ЦС-200 призначений для ручного дугового зварювання змінним струмом частотою 150 Гц конструкцій на будівельно-монтажних майданчиках і при ремонтних роботах.

Принципову електричну схему трансформатора і його схему випробувань наведено на рис.5.1.

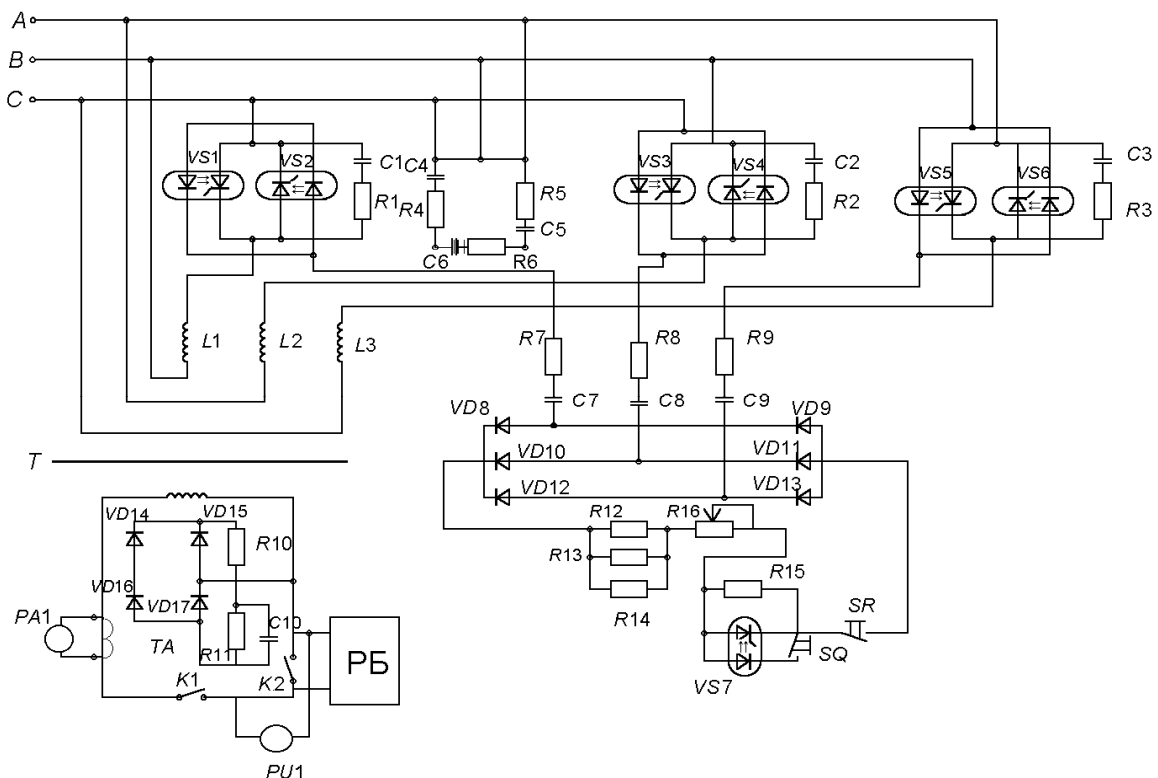


Рис. 5.1 - Принципова електрична схема та схема випробувань циклоконвертора ЦС-200

Джерело складається з двох головних вузлів: трифазного трансформатора і єдиного блоку керування. Принцип дії джерела характеризується діаграмою, яка показана на рис.5.2, де:

a – діаграми напруги мережі живлення; b, c, d – діаграми струмів через керуючі елементи оптичних тиристорів; e, f, g – діаграми напруг на первинних обмотках силового трансформатора; k – діаграма напруги на вторинній обмотці силового трансформатора.

При підключенні клем зварювального циклоконвертора до мережі живлення напруга подається на блок випрямлення $VD8...VD13$ через керуючі електроди оптронних тиристорів (оптронів) $VS1-VS6$ і RC -кіл $R7-C7$ і $R9-C9$.

Струм протікає по колу: катод блоку випрямлення, струмообмежуючі резистори $R12...R14$ і регулюючий резистор $R16$, резистор $R15$, шунтуючий оптронний тиристор $VS7$, кнопка “Стоп” SR і анод блоку випрямлення. При цьому на електроди оптрону $VS7$ подається напруга запускання. Пуск джерела зварювального струму відбувається за допомогою кнопки “Пуск” SQ . Після її натискання відкривається оптронний тиристор $VS7$, вмикається блок керування силових оптронів $VS1...VS6$, і на трансформатор $T1$ подається напруга частотою 150 Гц.

Конденсатори $C7...C9$ з резисторами $R7-R9$, блок випрямлення $VD8...VD13$, резистори $R12...R14$ і змінний резистор $R16$ складають RC -фазообертач, що регламентує момент відпирання силових оптронів $VS1...VS6$. Резистор $R16$ загальний для всіх трьох фаз, тому значення його опору викликає синхронний зсув фаз струму через керуючі електроди оптронів.

На рис.5.2 (b, c, d) суцільними лініями показані діаграми струмів, які протікають через керуючі електроди оптротирісторів при максимальному опорі $R16$, а пунктирними – при певному його значенні. Для пояснення послідовності вмикання оптронів установимо опір $R16$ таким чином, щоб імпульс струму через керуючий електрод $VS5$ потрапив у момент часу $t=0$. При цьому $VS5$ відкривається і на обмотку $L3$ силового трансформатора $T1$ подається напруга $U5$. У момент часу a_1 полярність напруги на силовій частині оптрону зміниться на зворотну і $VS5$ закриється. У той же час на керуючий електрод $VS4$ подається імпульс струму, той відкривається, і на обмотку $L2$ трансформатора $T1$ подається напруга $U4$. У час b_1 полярність напруги на оптроні $VS4$ змінюється, і він закривається. У той же час b_1 на керуючий електрод $VS1$ потрапляє імпульс струму i_1 , оптрон $VS1$ відкривається і на обмотку $L1$ трансформатора подається напруга $U1$. В час c_1 полярність напруги на оптроні $VS1$ змінюється і він закривається. У цей же час на керуючий електрод оптрону $VS6$ потрапляє імпульс струму i_6 , оптрон $VS6$ відкривається і на обмотку $L3$ трансформатора $T1$ подається напруга $U6$. У час d_1 полярність напруги на оптроні $VS6$ змінюється, і він закривається. У цей же час на керуючий електрод $VS3$ потрапляє імпульс струму i_3 , оптрон $VS3$ відкривається і на обмотку $L2$ силового трансформатора надходить напруга $U3$. У час e_1 $VS3$ закривається, і на керуючий електрод оптрону $VS2$ потрапляє імпульс струму i_2 , який відкриває оптрон. На первинну обмотку $L1$ трансформатора потрапляє напруга $U2$. У час f_1 полярність напруги на $VS2$ змінюється на зворотну, і він закривається. Так закінчується один цикл. На первинні обмотки $L1...L3$ силового трансформатора $T1$ послідовно потрапляють періодичні імпульси напруги з частотою 150 Гц. При цьому напруга, яка трансформується на вторинну обмотку трансформатора, також має частоту 150 Гц.

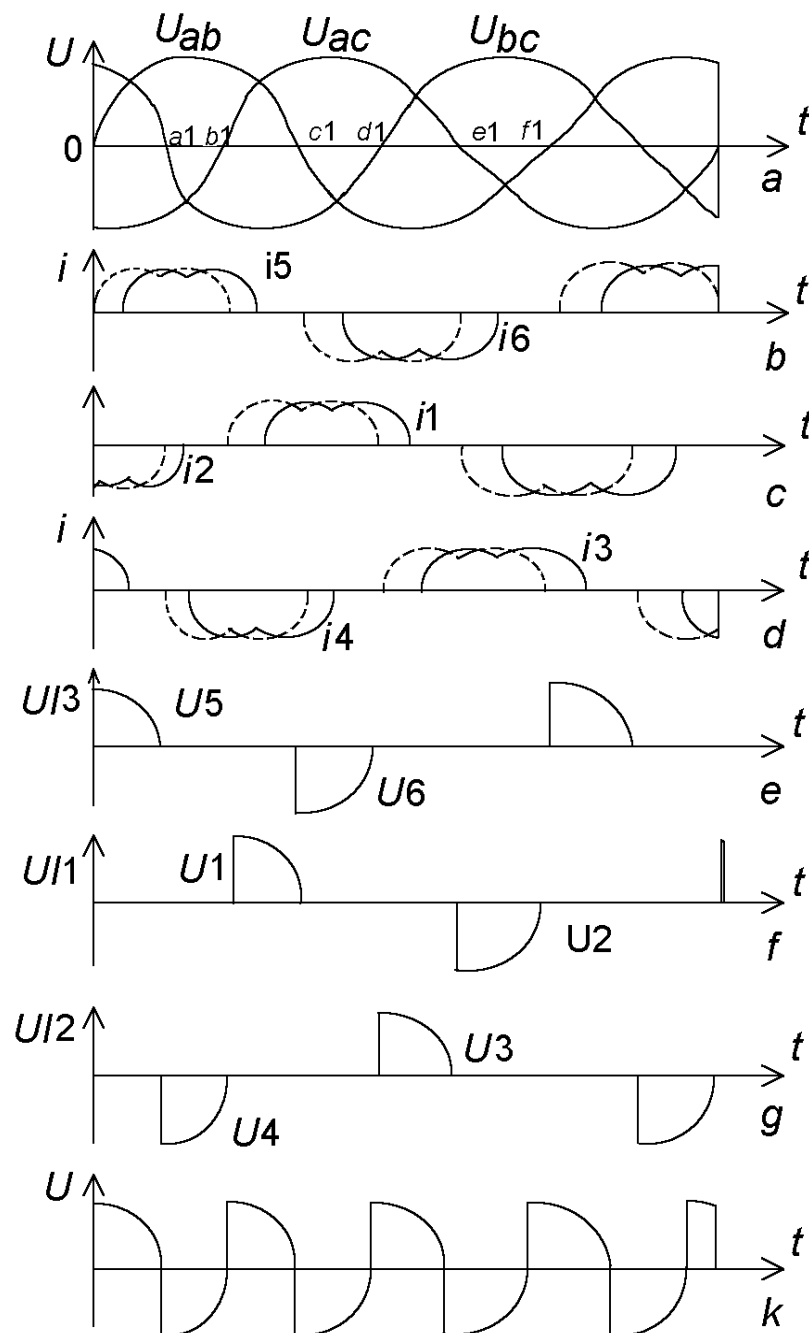


Рис. 5.2 - Осцилограми напруг і струмів циклоконвертора

Джерело живлення вимикається кнопкою “Стоп” *SR*.

Таким чином, використання оптронів у якості керуючих вентилів за схемою, що пропонується, призводить до поліпшення рівномірності завантаження фаз, виключає підмагнічування осердя трансформатора, внаслідок чого зменшуються його масогабаритні показники. За рахунок підвищення частоти зменшується розбризкування металу при зварюванні, підвищується ККД і стабільність горіння дуги.

4. Технічні характеристики ЦС-200

Номінальна напруга мережі живлення трифазного змінного струму, В	– 380
Номінальна частота мережі живлення, Гц	– 50

Номинальна частота зварювального кола, Гц	– 150
Первинний струм, А, не більше	– 30
Номинальна напруга (неробочий хід), В	
І ступінь	– 63
ІІ ступінь	– 80
Номинальна робоча напруга, В	– 24
Номинальний зварювальний струм, А	
І ступінь	– 160
ІІ ступінь	– 200
Межі регулювання зварювального струму, А	– 50...220
Номинальний режим роботи ТУ, %	
І ступінь	– 60
ІІ ступінь	– 20
Первинна потужність, кВт, не більше	– 12
ККД, %	– 75
Маса, кг, не більше	– 23
Габаритні розміри, мм	– 515x340x227

5. Характерні несправності, які виникають при роботі циклоконвертора ЦС-200

5.1. Характерні несправності занесено до таблиці 1. Їх причини та методи усунення студенти повинні записати до таблиці звіту, яка аналогічна за формою таблиці 5.1.

6. Випробування зварювального трансформатора

6.1. Зняти зовнішні характеристики трансформатора (неробочий хід, навантаження, коротке замикання). Характеристики зняти для І і ІІ ступенів трансформатора при кутах відпирання тиристорів α_{MN} і α_{MAX} , тобто, коли регулятор струму – резистор $R16$ повністю виведений і повністю введений.

6.2. Зняти регульовальну характеристику, яка визначає залежність струму короткого замикання від кута відкриття оптотиристора α , тобто, від оберту потенціометра $R16$ (n_p).

Регульовальна характеристика являє собою залежність $I_K=f(n_p)$ або $I_K=f(\alpha)$.

Таблиця 5.1

№	Несправність	Можлива причина	Засоби усунення
5.1.	При натисканні на кнопку “Пуск” циклоконвертор не вмикається.		
5.2.	Перегрівання джерела вище норми, з’явився характерний запах або дим.		
5.3.	Циклоконвертор не дає необхідний струм.		
5.4.	Підвищений шум на неробочому ході.		
5.5.	Підвищене нагрівання в контактних з’єднаннях.		

7. Обладнання і прилади

- 7.1. Джерело зварювального струму (циклоконвертор) ЦС-200 – 1 шт.
- 7.2. Баластовий реостат РБ-302У3 – 1 шт.
- 7.3. Амперметр змінного струму на 5 А – 1 шт.
- 7.4. Трансформатор струму для вимірювання струму I_2 – 1 шт.
- 7.5. Вольтметр змінного струму на 150 В – 1 шт.
- 7.6. Силові контактори КМ-600ДВ – 1 шт.
- 7.7. Осцилограф С1-18 – 1 шт.

8. Порядок випробувань

- 8.1. Роботу виконує бригада студентів у складі не менше 4 осіб.
- 8.2. Зібрати схему випробувань трансформатора (рис.5.1). Спочатку необхідно підключити I ступінь регулювання струму.
- 8.3. Увімкнути джерело і встановити його в режим неробочого ходу. Обертаючи рукоятку регулятора зварювального струму $R16$, встановити $U_{20} \approx 63$ В.
- 8.4. Відлік даних випробувань необхідно почати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажити, вмикаючи рубильники баластового реостату РБ-302. Після вмикання кожного рубильника провести відліки значень U_d і I_d .
- 8.5. Після вимірювання вказаних даних при всіх включених рубильниках РБ-302 замкнути зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора накоротко (включити контактор $K2$). Усі одержані дані занести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20} = 63$ В
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

- 8.6. Після зняття зовнішньої характеристики для $U_{20} \approx 63$ В циклоконвертор перевести на другу ступінь неробочого ходу $U_{20} \approx 80$ В, попередньо увімкнувши джерело натисканням кнопки SR . Увімкнути джерело, натиснувши кнопку SQ , і знову зняти зовнішню характеристику в порядку, що вказаний раніше. Дані занести до таблиці 5.3.

За одержаними даними на одному графіку побудувати дві залежності $U_d = f(I_d)$, при значеннях $U_{20} = 63$ В та 80 В.

- 8.7. Для зняття регулювальної характеристики необхідно ручку $R16$ встановити в положення "0", а циклоконвертор перевести в режим короткого замикання (включити $K1$ і $K2$). Провести відлік I_K трансформатора. У подальшому

вимірювання слід проводити через 0,1 повного ходу рукоятки. Регулювальну характеристику знімають тільки при $U_{20} \approx 63$ В. Дані занести до таблиці 5.4.

Таблиця 5.3

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20} = 80$ В
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. VI рубильник			
7. VII рубильник			
8. Коротке замикання			

Таблиця 5.4

№ п/п	Положення рукоятки n_p	Струм I_K , А
1.	0,1	
2.	0,2	
...	...	

За одержаними даними побудувати залежність $I_K = f(n_p)$.

8.8. Провести осцилографування кривих напруги і струму навантаження джерела. Схему підключення осцилографа наведено на рис.5.3.

Для зняття осцилограм струму і напруги необхідно використовувати двопробеневий осцилограф типу С1-18.

У процесі осцилографування необхідно встановити такий час розгортки, щоб на координатній сітці, що нанесена на екрані осцилографа, можна було визначити частоту зварювального струму. Підсилювачами U_1 і U_2 встановити амплітуду сигналу, зручну для спостереження.

Замалювати осцилограми.

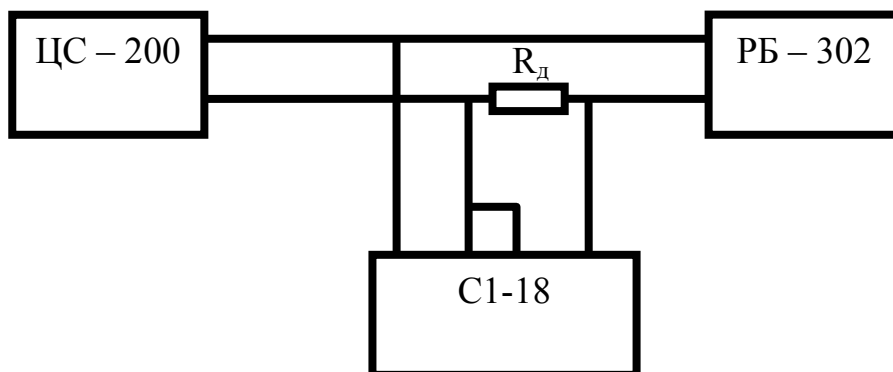


Рис. 5.3 - Схема осцилографування кривих напруги і струму

9. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 9.1. Короткий зміст і принцип дії циклоконвертора.
- 9.2. Електричну схему випробувань циклоконвертора.
- 9.3. Порядок випробувань ЦС-200.
- 9.4. Таблиці з одержаними даними випробувань.
- 9.5. Графіки характеристик.
- 9.6. Осцилограми кривих напруги і струму.
- 9.7. Висновки по роботі.

10. Контрольні питання

- 10.1. Призначення, конструкція і принцип дії циклоконвертора.
- 10.2. Порядок зняття характеристик циклоконвертора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

1. Тема Вивчення конструкції і дослідження роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДФЖ-1002УЗ.

2. Мета роботи

2.1. Вивчити конструкцію і принцип дії трансформатора.

2.2. Засвоїти методику випробування і порядок зняття зовнішніх і регулювальних характеристик.

2.3. Провести аналіз одержаних даних.

3. Основні відомості про конструкцію і принцип дії трансформатора

Зварювальний трансформатор типу ТДФЖ-1002УЗ призначений для автоматичного дугового зварювання під флюсом змінним струмом частотою 50 Гц.

Трансформатор складається з понижуючого однофазного силового трансформатора, блоку силових тиристорів, пускорегулюючої та захисної апаратури, вентилятора, блоку живлення і керування тиристорами. У корпусі трансформатора передбачено відсік для встановлення апаратури керування зварювальним автоматом.

Трансформатор має пристрій фазового регулювання напруги і спадні зовнішні характеристики.

Плавне регулювання робочої напруги і включення трансформатора на зварювання може здійснюватись місцево або дистанційно. Він забезпечує стабілізацію напруги зварювання до $\pm 2.5\%$ при коливанні напруги мережі від $+5\%$ до -10% .

Принципову електричну схему трансформатора зображено на рис.6.1.

Підключення ТДФЖ-1002УЗ до мережі живлення відбувається за допомогою автоматичного вимикача *QF1*.

Для підключення зварювальних кабелів на рамі трансформатора з боку передньої решітки встановлено дві панелі підключення. На блоці керування встановлено роз'єм для під'єднання блоку живлення зварювального автомата або здійснення дистанційного включення і регулювання робочої напруги.

При необхідності місцевого включення і керування процесом зварювання в роз'єм необхідно встановити вилку з перемичками, які замикають коло амперметра і коло включення трансформатора на зварювання.

На лицевій стороні панелі блоку керування розміщено тумблер місцевого і дистанційного режиму роботи, а також перемикач, який вмикає трансформатор на зварювання. Там же встановлені амперметр *PA* і вольтметр *PU*, автоматичний вимикач *QF1* кіл керування, вимикачі "Пуск" *S1* і "Стоп" *S2*, потенціометр плавного регулювання робочої напруги *R18*, сигнальна лампа *HL*, яка вказує на наявність напруги у первинній обмотці трансформатора.

На задньому каркасі трансформатора знаходиться панель перемикачів діапазонів струму зварювання *Q2*.

Вентиляція трансформатора – повітряна примусова. Обертання вентилятора здійснюється за допомогою трифазного асинхронного двигуна *M*. При вірному

напрямку вентиляції повітря повинне поступати до трансформатор з боку лицевої панелі і виходити з боку підключення до мережі живлення. Нормальна робота системи вентиляції контролюється повітряним реле $K1$. При порушенні вентиляції контакт реле $K1$, який підключений до кола блокування вимикача “Пуск”, розриває коло котушки магнітного пускача $K2$, який припиняє подачу живлення до кіл керування трансформатора.

Силовий трансформатор $T1$ стрижневого типу, магнітопровід якого виконаний з електротехнічної сталі, а обмотки – з алюмінієвого дроту. Котушки I...VIII первинної і вторинної обмоток трансформатора намотані на “ребро” і з’єднані згідно принципової схеми. Реакторна обмотка складається з двох дискових котушок $T1.9$ і $T1.10$ і встановлених між стрижнями трансформатора. З’єднання котушок реакторної обмотки послідовне. Для полегшення виготовлення первинних і вторинних обмоток їх котушки розбиті на дві частини і підключені між собою послідовно. Між частинами вторинних котушок встановлені слабострумні стабілізуючі обмотки XI і XII, які з’єднані паралельно.

Регулятором напруги зварювання є пара силових тиристорів $VS1$ і $VS2$, підключених зустрічно-паралельно і увімкнених послідовно з первинною обмоткою силового трансформатора. Захист силових тиристорів від комутаційних перенапружень здійснюється колом RC ($C6$ і $R6$). Захист керуючих переходів тиристорів від випадкових сигналів здійснюється опорами $R13$, $R14$ і конденсаторами $C8$, $C9$.

Напруга на первинній обмотці трансформатора визначається кутом відкриття тиристорів $VS1$ і $VS2$. Імпульси керування подаються на тиристири від блоку керування трансформатором. Блок керування (рис. 6.2) складається з блоку елементів, до якого входять кола завдання робочої напруги і кола негативного зворотного зв’язку за напругою, блоку фазового керування тиристорами БФК і трансформатора живлення кіл керування $T2$. Блок фазового керування і блок елементів виконані друкованим монтажем на платах з фольгованого склотекстоліту. Трансформатор живлення кіл керування $T2$ однофазний броньового типу.

Коло завдання робочої напруги живиться від обмотки $T2.2$ трансформатора $T2$ напругою 36 В. Після випрямлення її діодним мостом $VD23$ і згладжування конденсатором $C23$ напруга подається через резистори $R42$ і $R46$ на стабілітрон $VD22$. Для здійснення параметричної стабілізації робочої напруги трансформатора використовується подільник з резисторів $R40$ і $R41$. На потенціометр завдання величини напруги $R18$ (або потенціометр дистанційного керування) подається різниця стабілізованої напруги стабілітрона $VD22$ і нестабілізованої напруги резистора $R40$. Таким чином, при збільшенні напруги мережі, сигнал завдання на потенціометр $R18$ зменшується, а при зменшенні напруги мережі – збільшується. Резистор $R39$ існує для встановлення мінімального значення робочої напруги трансформатора. У повністю сформованому вигляді напруга завдання виділяється на резисторі $R38$ і порівнюється з сигналом зворотного зв’язку за робочою напругою.

Коло зворотного зв’язку складається з випрямного моста $VD15$, резисторів подільника напруги зворотного зв’язку $R34$, $R35$ і згладжуючого конденсатора $C20$. У повністю сформованому вигляді напруга зворотного зв’язку виділяється на

резисторі *R34*. Різниця між напругами завдання і зворотного зв'язку через фільтр (резистор *R36*, конденсатор *C21*) подається на вхід базового керування тиристорами. БФК призначений для перетворення неперервного сигналу керування в імпульси, синхронізовані з мережею, які відстають від початку півперіоду на кут, що визначається величиною керуючого сигналу. Живлення БФК здійснюється змінною напругою 110 В від обмотки трансформатора *T2.3* через фільтри *R4*, *R5*, *C4*, *C5*.

Принцип формування фазового зсуву імпульсу керування заснований на зарядженні конденсатора *C16* до певного рівня напруги з послідовним його розрядженням на первинну обмотку імпульсного трансформатора *T4*. Час зарядження конденсатора *C16* (фазовий зсув імпульсу) визначається напругою керування на вході БФК. Конденсатор *C16* заряджається через колектор-емітерний перехід транзистора *VT12* і підключені в його емітерні кола резистори *R26* і *R27*.

Для обмеження вхідного опору БФК на вході транзистора включений шунтуючий резистор *R28*. Для обмеження величини вхідного сигналу керування включені резистор *R29* і стабілітрон *VD13*. Коло зарядження живиться трапецеїдальною випрямленою напругою від стабілітрона *VD7*, який знаходиться на виході випрямного моста *VD6*.

При зарядженні конденсатора *C16* до напруги перемикавання одноперехідного транзистора (двохбазового діода) *VT11* відбувається лавиноподібне відкриття транзистора *VT11*, і конденсатор *C16* розряджається на первинну обмотку імпульсного трансформатора *T4*.

Імпульси, що утворюються, тривалістю біля 10 мкс трансформуються у вторинній обмотці і через резистори *R23* і *R24* поступають на керуючі електроди тиристорів *VS4* і *VS5*. Після розрядження конденсатора *C16* транзистор *VT11* знову закривається і починається повторне зарядження конденсатора. Цей процес утворення пилкоподібної напруги скінчиться тільки в кінці півперіоду при спаді напруги живлення до нуля і знову розпочнеться на початку наступного півперіоду.

При нульовому значенні напруги живлення конденсатор *C16* повністю розряджається. Це забезпечує синхронізацію БФК з силовою схемою трансформатора і незалежність його роботи в кожен півперіод від попереднього. Кількість імпульсів, що індукуються у вторинних обмотках імпульсного трансформатора *T4*, дорівнює кількості розрядів конденсатора *C16* і залежить від величини сигналу керування.

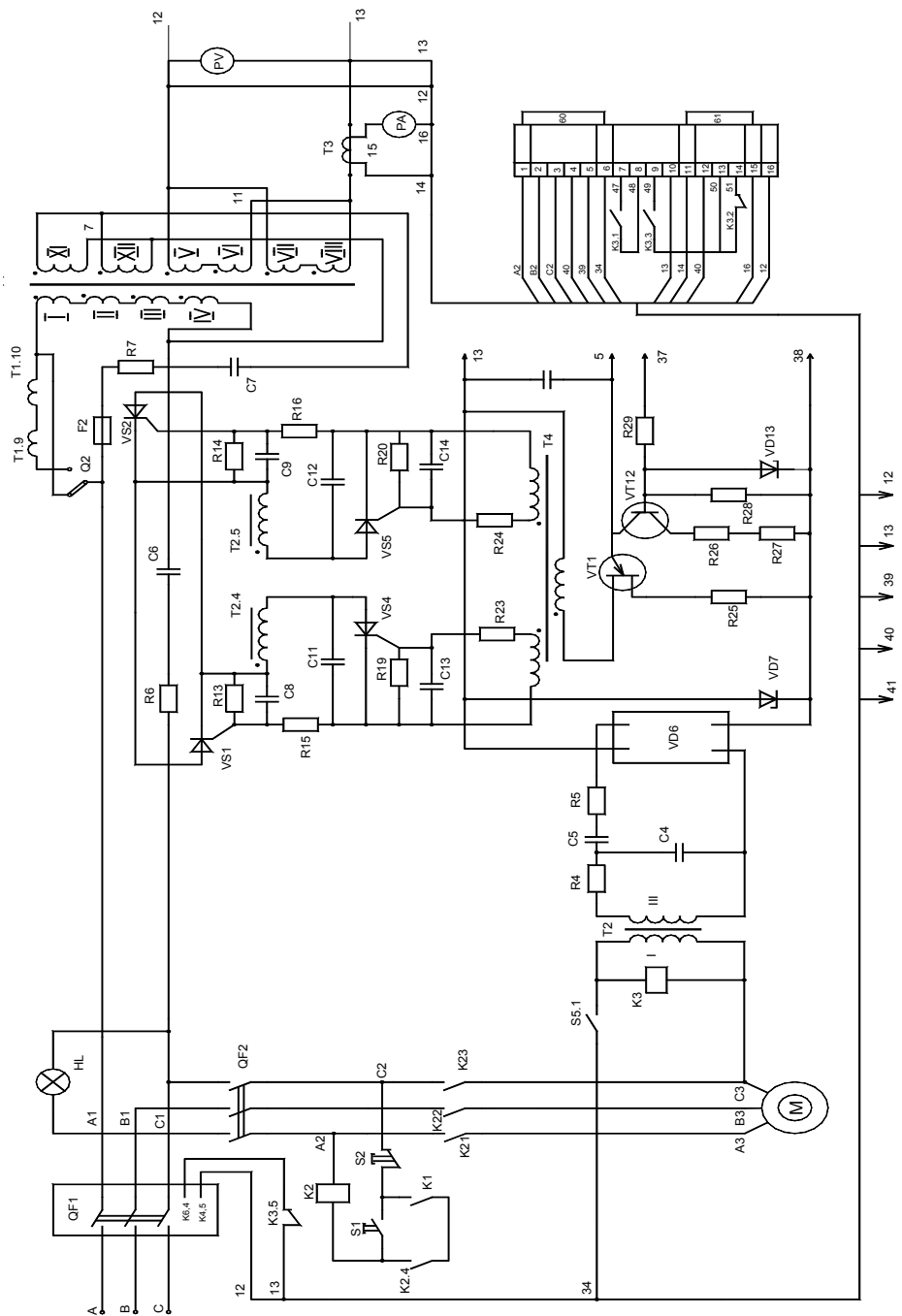


Рис. 6.1 - Принципова електрична схема ТДФЖ-1002УЗ

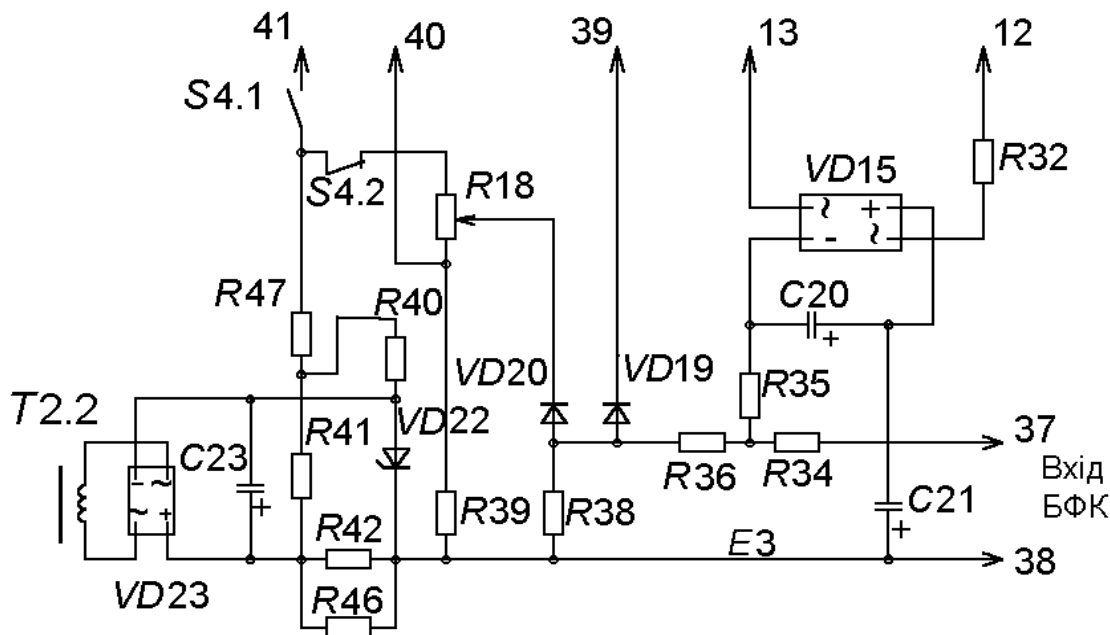


Рис.6.2 - Принципова електрична схема трансформатора ТДФЖ-1002. Блок керування

Тиристри $VS4$ і $VS5$ є підсилювачами, які дозволяють одержати достатні за амплітудою і тривалістю імпульси керування, які необхідні для вмикання потужних тиристорів, встановлених у колі первинної обмотки силового трансформатора. Це досягається за рахунок підключення до тиристорів $VS4$ і $VS5$ обмоток трансформатора $T2.4$ і $T2.5$ з напругою 24 В і баластових резисторів $R15$ і $R16$, з послідовним включенням цих кіл на вхід відповідних потужних тиристорів.

Таким чином, збільшення напруги керування на вході БФК викликає прискорення росту напруги на конденсаторі $C16$, зменшується час від початку півперіоду мережі живлення до моменту розрядження конденсатора і отримання імпульсів керування на тиристри БФК і, таким чином, імпульсу керування на одному з силових тиристорів трансформатора (обмотки трансформатора $T2.4$ і $T2.5$ підключені таким чином, щоб у кожен півперіод напруги мережі живлення вмикався б тільки один з тиристорів БФК). У результаті напруга на первинній і вторинній обмотках силового трансформатора зростає. Зменшення вхідного сигналу БФК приводить до запізнення імпульсів керування і зменшення робочої напруги на виході зварювального трансформатора.

Робота БФК ілюструється діаграмою напруг, яка показана на рис.6.3.

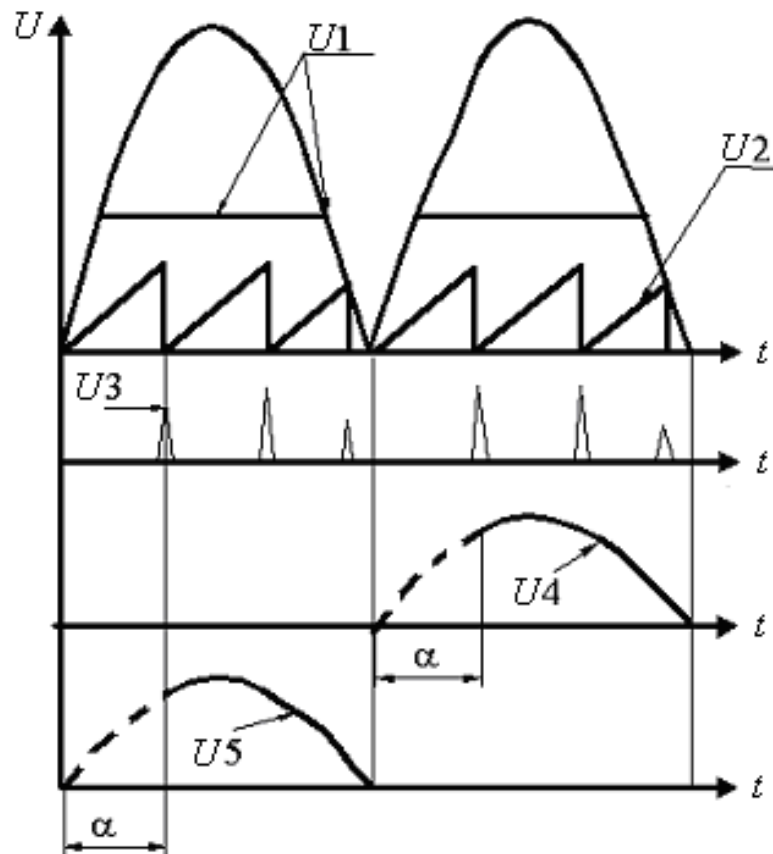


Рис. 6.3 - Діаграма напруг БФК

Трапецеїдальна напруга живлення U_1 формується з синусоїдальної випрямленої напруги. Пилкоподібна напруга U_2 , що характеризує заряд-розряд конденсатора $C16$, синхронізується напругою U_1 . Утворені в результаті розряду конденсатора $C16$ імпульси на вторинних обмотках імпульсного трансформатора $T4$ (напруга U_3) керують моментом запалювання (кут α) тиристорів $VS4$ і $VS5$. Наявність пилкоподібної напруги на конденсаторі $C16$ можна контролювати, підключивши на його входи електронний осцилограф. Імпульси керування силовими тиристорами зварювального трансформатора (напруги U_4 і U_5) одержуються за рахунок включення в коло керування силових тиристорів обмотки допоміжного трансформатора, баластового опору і тиристора БФК.

У випадку пробивання силових тиристорів $VS1$ і $VS2$ при відсутності зварювання на вторинній обмотці трансформатора з'являється напруга неробочого ходу. Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачено спеціальний автоматичний захист. З цією метою виводи обмотки дистанційного розчіплювача автоматичного вимикача $QF1$ через нормально закритий контакт магнітного пускача $K3$ подані на вихідні затискачі трансформатора, що забезпечує практично миттєве його відключення від мережі при появі напруги неробочого ходу в процесі робіт налагодження.

Оскільки тривалість стану провідності силових тиристорів менше тривалості півперіоду мережі живлення, струм дуги носить розривний характер. Типова форма струму зварювання при живленні дуги від трансформатора зображена на рис.6.4.

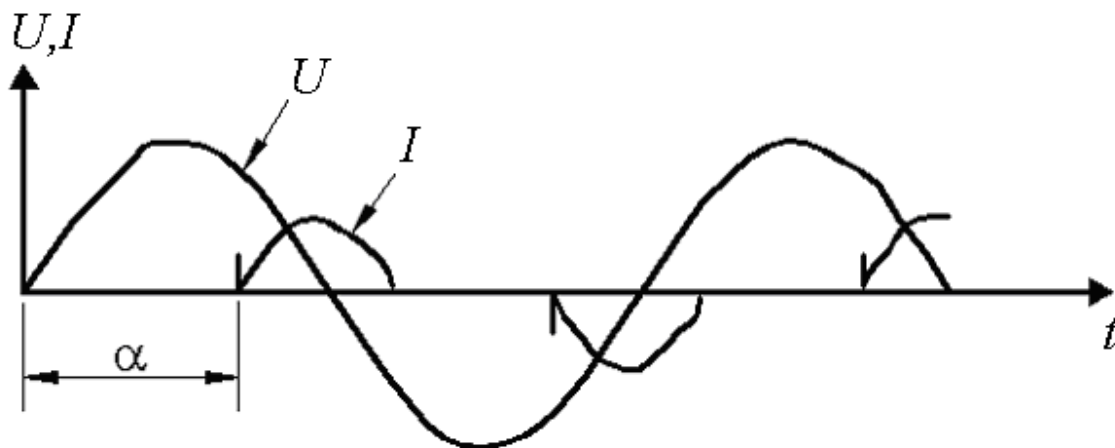


Рис. 6.4 - Осцилограма зварювального струму

Для підвищення стабільності горіння дуги переривчастого струму в трансформаторах введено коло імпульсної стабілізації, що складається з конденсатора $C7$, резисторів $R7-R12$, запобіжника $F2$ і додаткових слабострумних обмоток силового трансформатора XI і XII. Конструктивно ці обмотки розміщені між половинами вторинних котушок V, VI, VII, VIII, чим обумовлений хороший магнітний зв'язок стабілізуючих і вторинних обмоток трансформатора.

При вмиканні тиристорів $VS1$ і $VS2$ зарядний струм конденсатора $C7$ проходить по обмотках XI, XII і наводить у вторинних обмотках зварювального трансформатора імпульс напруги, що достатній для забезпечення впевненого повторного збудження дуги.

Паралельна робота зварювальних трансформаторів типу ТДФЖ недопустима. При паралельній роботі трансформаторів знижується стабільність повторних збуджень дуги внаслідок відсутності повної синхронізації моментів вмикання тиристорів і погіршується коефіцієнт форми струму зварювання, що призводить до появи пор і інших дефектів шва.

При виключеному автоматичному вимикачі $QF1$ частина елементів всередині трансформатора залишається під напругою. Тому будь-які ремонтні роботи повинні проводитись тільки при повністю відключеному від мережі трансформаторі.

4. Технічні дані трансформатора

Номінальна напруга мережі, В	– 380
Номінальна частота, Гц	– 50
Первинний струм, А, не більше	– 310
Номінальний струм зварювання, А	– 1000
Номінальна робоча напруга, В	– 56
Межі регулювання робочої напруги, В	– 30...56
Напруга неробочого ходу, В, не більше	– 120
Межі регулювання струму зварювання, А	
діапазон “малих струмів”	– 300...800
діапазон “великих струмів”	– 700...1200
Номінальний режим роботи, ТУ %	– 100

Первинна потужність кВт, не більше	– 120
Коефіцієнт корисної дії, %, не менше	– 86
Маса, кг, не більше	– 550
Габаритні розміри (довжина x ширина x висота), мм	– 1370x760x1220

5. Випробування трансформатора

5.1. Зняти зовнішні характеристики трансформатора (неробочий хід, навантаження, коротке замикання). Характеристики зняти при напрузі неробочого ходу трансформатора $U_{20}=50$ В і $U_{20}=100$ В.

5.2. Зняти регульовальну характеристику трансформатора. Вона являє собою залежність струму на дузі від кількості поділок n потенціометра R , що умовно відповідає значенню величини кута відкриття силових тиристорів $I_d=f(n)$.

6. Обладнання і прилади

6.1. Трансформатор ТДФЖ-1002УЗ	– 1 шт.
6.2. Баластові реостати РБ-302УЗ	– 4 шт.
6.3. Амперметр змінного струму 5 А	– 1 шт.
6.4. Трансформатор струму для вимірювання величини I_d не менше 1000 А	– 1 шт.
6.5. Вольтметр змінного струму на 150 В	– 1 шт.
6.6. Силові контактори КМ-600ДВ	– 2 шт.

7. Порядок випробування трансформатора

7.1. Роботу виконує бригада студентів у складі не менше 4 осіб.

7.2. Зібрати схему випробування трансформатора (рис.6.5).

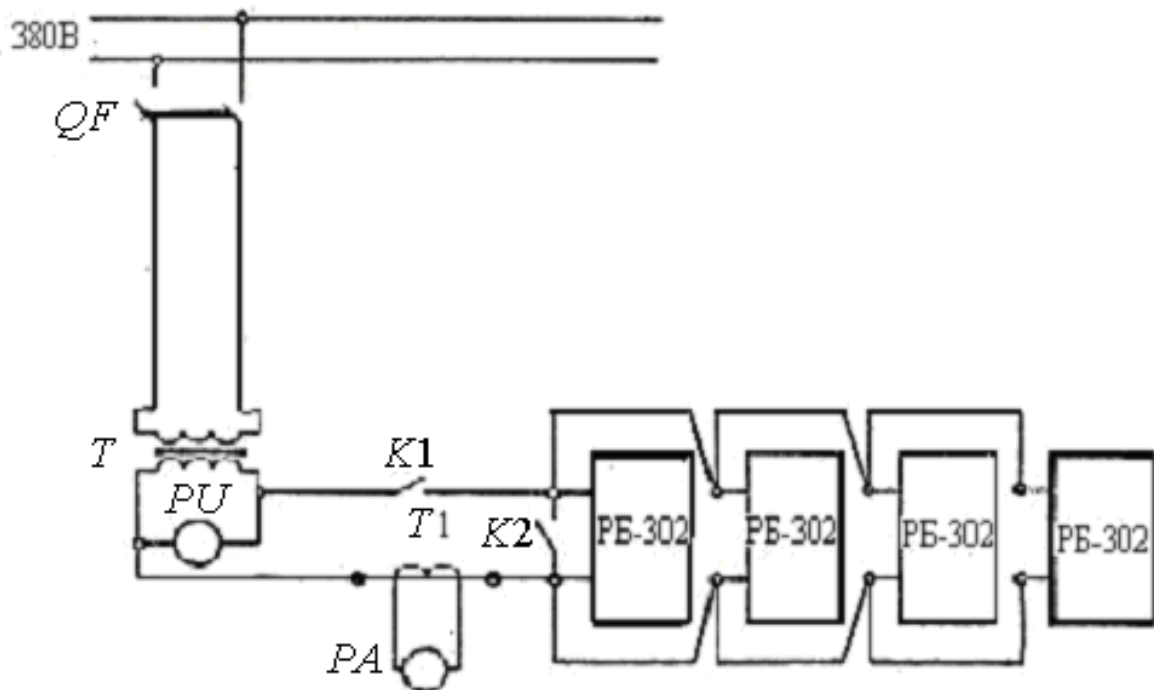


Рис. 6.5 - Електрична схема випробувань ТДФЖ-1002УЗ

Перемикач реакторної обмотки $Q2$ встановлюють на значення малих струмів.

7.3. Увімкнути трансформатор і перевести його в режим неробочого ходу (підключити контактор $K1$). Обертаючи рукоятку точного регулювання струму зварювання R , встановити значення $U_{20}=50$ В.

7.4. Відлік даних випробування необхідно почати з режиму неробочого ходу. Потім трансформатор поступово навантажують, включаючи рубильники баластового реостата РБ-302. Після включення кожного рубильника всі дані отримують з приладів. При кожному встановленому значенні струму навантаження проводять відлік напруги вторинної обмотки U_d і струму навантаження зовнішнього кола I_d .

7.5. Після вимірювань указаних даних при всіх положеннях рубильників РБ-302 замкнути зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора накоротко (включити контактор $K2$). У цьому режимі виміряти параметри кіл обмоток трансформатора. Одержані дані занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20}=50$ В
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

7.6. Після зняття зовнішньої характеристики для значення $U_{20}=50$ В, трансформатор перевести в новий режим неробочого ходу, встановивши $U_{20}=100$ В, і знову зняти зовнішню характеристику в порядку, що наведений раніше при роботі трансформатора в режимі $U_{20}=50$ В. Дані занести до таблиці 6.2, яка аналогічна за формою таблиці 1 і побудувати графік залежності $U_d=f(I_d)$.

Зовнішні характеристики $U_d=f(I_d)$ для $U_{20}=50$ В і $U_{20}=100$ В побудувати на одному графіку.

Таблиця 6.2

№ досліду	U_d , В	I_d , А	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20}=100$ В
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			
7. VI рубильник			
8. Коротке замикання			

7.7. Для зняття регулювальної характеристики необхідно рукоятку R встановити в положення “0”, трансформатор перевести в режим навантаження (включити $K1$), увімкнути перші чотири рубильника РБ-302. Провести відліки параметрів трансформатора I_d . У подальшому вимірювання параметрів кола проводять через одну поділку регулятора R . Регулювальну характеристику зняти тільки в режимі “малі струми”. Дані занести до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Кількість поділок регулятора n	U_d , В	I_d , А	Примітки
1.			Навантаження проводити на 4 рубильниках РБ-302
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			

За одержаними даними побудувати залежності $I_d=f(n)$, $U_d=f(n)$.

8. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 8.1. Короткий опис і принцип роботи трансформатора.
- 8.2. Електричну схему випробування трансформатора.
- 8.3. Порядок випробування ТДФЖ-1002У3.
- 8.4. Таблиці з одержаними даними досліджень.
- 8.5. Графіки характеристик.
- 8.6. Короткі висновки по виконаній роботі.

9. Контрольні питання

- 9.1. Призначення, конструкція і принцип роботи трансформатора.
- 9.2. Порядок зняття характеристик трансформатора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

1. Тема Особливості формування ВАХ тиристорних трансформаторів у залежності від виду та коефіцієнту підсилення зворотного зв'язку.

2. Мета роботи

2.1. Ознайомитись з принципом формування ВАХ в однопостових трансформаторах з тиристорним регулюванням зварювального струму та напруги.

2.2. Вивчити конструкцію та принцип роботи однопостового зварювального трансформатора типу ТДФЖ-1002УЗ (ТДФЖ-2002УЗ).

2.3. Освоїти методику випробування та порядок зняття зовнішніх характеристик трансформатора в залежності від коефіцієнту підсилення зворотного зв'язку за напругою.

2.4. Провести аналіз одержаних результатів випробувань.

3. Основні відомості про формування зовнішніх характеристик в тиристорних трансформаторах

Застосування силових тиристорів у зварювальних трансформаторах створило умови для розробки та виробництва нових джерел живлення для дугового зварювання. Для формування необхідних зовнішніх характеристик і стабілізації режиму зварювання в тиристорних трансформаторах (ТТ) застосовують систему автоматичного керування. У трансформаторах з жорсткою зовнішньою характеристикою в ролі керуючого параметру використовується напруга дуги, а в трансформаторах зі спадною характеристикою – зварювальний струм. Структурна схема ТТ з замкненою системою автоматичного керування наведена на рис.7.1.

Силовий трансформатор T з фазорегулятором ФР у первинному або вторинному колі підключається до навантаження – зварювальної дуги Д. Фазорегулятор має систему імпульсно-фазового керування СФК. На вхід СФК з блоку порівняння БП надходить різниця сигналів $U_3 - U_{3,зв}$, з блоку завдання БЗ та датчика зворотного зв'язку ДЗ регульованої величини. Елементом порівняння може бути транзистор чи операційний підсилювач, що входить до складу СФК. За рахунок збільшення коефіцієнту підсилення системи (відношення напруги на виході ФР до напруги на вході СФК), можна добитися дуже малої помилки регулювання, тобто одержати зовнішні характеристики різної форми.

4. Конструкція і принцип дії тиристорного зварювального трансформатора типу ТДФЖ-1002УЗ

Трансформатор типу ТДФЖ-1002УЗ призначений для автоматичного зварювання під флюсом. Він має тиристорне регулювання і забезпечує імпульсну стабілізацію процесу зварювання.

Трансформатор ТДФЖ-1002 має два діапазони зварювального струму, причому для роботи на ступенях “малих” струмів котушки реакторної обмотки включені послідовно до первинної обмотки. Регулювання зварювальної напруги і формування штучної пологоспадної характеристики виконується за допомогою

пари зустрічно-паралельно з'єднаних силових тиристорів. Спрощена принципова схема трансформатора ТДФЖ-1002У3 наведена на рис.7.2.

Регулятором напруги на первинній обмотці силового трансформатора Т1 служать тиристори VS1 і VS2. При зварюванні в діапазоні “великих” струмів обмотки 7, 8 реакторної котушки вимикаються. В трансформаторі ТДФЖ-2002У3 використовуються 3 котушки реакторної обмотки, які можуть з'єднуватись послідовно або паралельно в залежності від діапазону зварювального струму.

Імпульси керування надходять на тиристори з блоку фазозсувного керування БФК, на вхід якого подана різниця сигналів завдання робочої (опорної) напруги і зворотного зв'язку. Коло завдання робочої напруги живиться від обмотки Т2.3 допоміжного трансформатора Т2.

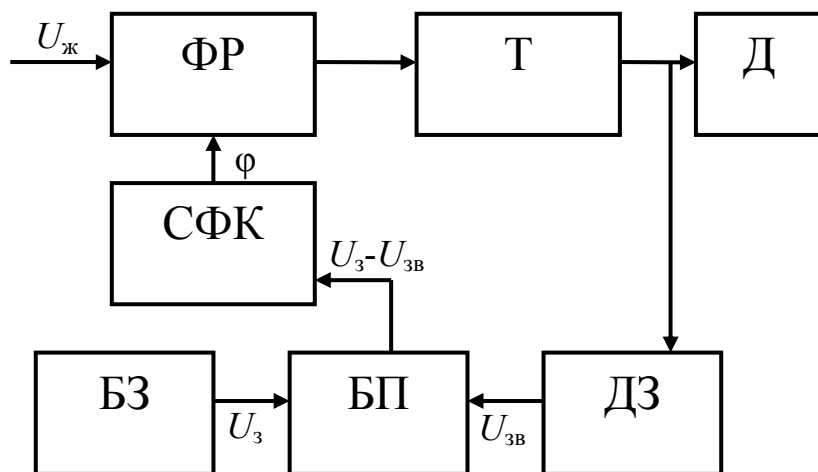


Рис. 7.1 - Структурна схема тиристорного трансформатора

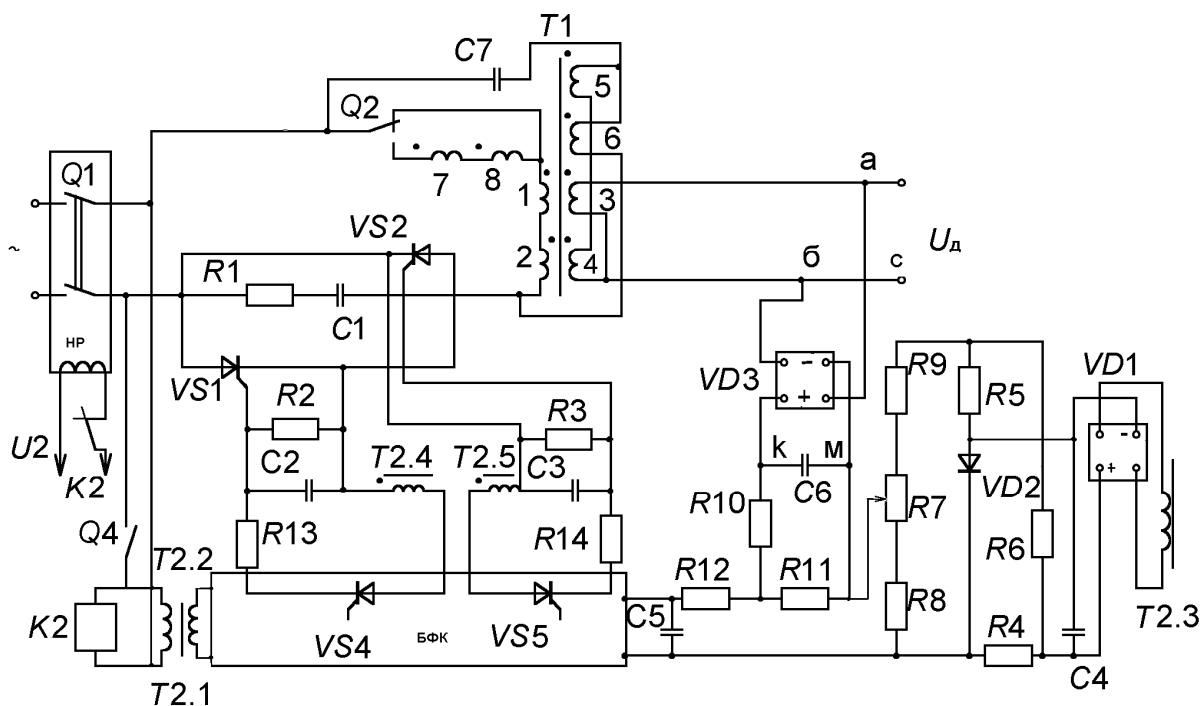


Рис. 7.2 - Спрощена принципова електрична схема ТДФЖ-1002У3

Після випрямлення мостом $VD1$ і згладжування конденсатором $C4$ напруга подається на стабілітрон $VD2$. Для стабілізації робочої напруги трансформатора використовується подільник з резисторів $R5$ і $R6$. На потенціометр завдання робочої напруги $R7$ подається різниця стабілізованої напруги на стабілітроні $VD2$ і нестабілізованої на резисторі $R5$. Таким чином, у випадку підвищення напруги мережі сигнал завдання на $R7$ зменшується, а при зниженні напруги мережі – збільшується. Напруга завдання з потенціометру $R7$ порівнюється з сигналом зворотного зв'язку за робочою напругою. Коло зворотного зв'язку складається з випрямного блоку $VD3$, резисторів подільника напруги зворотного зв'язку $R10$, $R11$ і згладжувального конденсатора $C6$. У повністю сформованому вигляді напруга зворотного зв'язку виділяється на $R11$. Резистори $R8$ і $R9$ служать для встановлення мінімального і максимального значення робочої напруги трансформатора. Різниця між напругами завдання і зворотного зв'язку через RC -фільтр ($R12$, $C5$) подається на вхід БФК. Зменшення напруги на виході трансформатора в результаті дії будь-яких збурень призводить до зниження сигналу зворотного зв'язку. Оскільки напруга завдання залишається постійною, то зростає різниця сигналів на виході БФК. Швидкість заряду часозадаючого конденсатора фазозсувного пристрою збільшується, зменшується час від початку півперіоду напруги мережі живлення до моменту розрядження конденсатора і надходження імпульсів керування на силові тиристори. Все це призводить до підвищення напруги трансформатора до попереднього значення. Захист силових тиристорів від комутаційних перенапруг здійснюється за рахунок кола $R1-C1$, захист керуючих переходів тиристорів від випадкових сигналів забезпечується фільтрами $R2-C2$ і $R3-C3$. Імпульсна стабілізація процесу зварювання здійснюється за рахунок конденсатора $C7$ і слабострумних обмоток 5, 6 трансформатора. При включенні вимикача $Q4$ напруга мережі поступає на блок БФК, вузол завдання робочої напруги (обмотка $T2.3$) і вихідне обладнання БФК (обмотки $T2.4$ і $T2.5$). На вторинній обмотці 3, 4 трансформатора $T1$ встановлюється напруга неробочого ходу, відповідна до значення, яке встановлює потенціометр $R7$. У випадку пробією силових тиристорів при відсутності навантаження на зварювальних клемах з'являється повна напруга неробочого ходу. Тому для створення умов безпечної роботи оператора передбачено автоматичний захист у вигляді незалежного розчеплювача автоматичного вимикача $Q1$. Виводи через нормально-замкнутий контакт магнітного пускача $K2$ підключені на вихідні затискачі трансформатора. Це забезпечує миттєве відключення вимикача і розчеплювача від мережі у випадку появи високої напруги неробочого ходу при налагоджувальних роботах.

5. Технічні дані

	ТДФЖ-1002УЗ	ТДФЖ-2002УЗ
Номинальний зварювальний струм, А	1000	2000
Режим роботи, ТУ, %	100	100
Напруга неробочого ходу, не більше, В	120	120
Номинальна робоча напруга, В	56	76
Межі регулювання зварювального струму, А при діапазоні "малих струмів"	300...800	600...1200

при діапазоні “великих струмів”

700...1200	1100...1800
	1500...2200
Межі регулювання робочої напруги, В	30...56
Первинна потужність, кВА	120
ККД, %	86
Габаритні розміри, мм	1370x760x1220
Маса, кг	550
	830

6. Випробування трансформатора

6.1. Випробування трансформатора відбувається шляхом зняття його зовнішніх характеристик із зворотними зв'язками за напругою (ЗЗН) в залежності від його коефіцієнту підсилення.

6.2. Зовнішня характеристика є функціональною залежністю напруги від величини струму навантаження зовнішнього кола джерела, тобто $U_D = f(I_D)$.

6.3. Для визначення k_{Π} при роботі трансформатора із ЗНН в електричну схему ТДФЖ-1002УЗ додається подільник напруги R_{D1} та R_{D2} з параметрами опору 10 та 4,7кОм (рис.7.3).

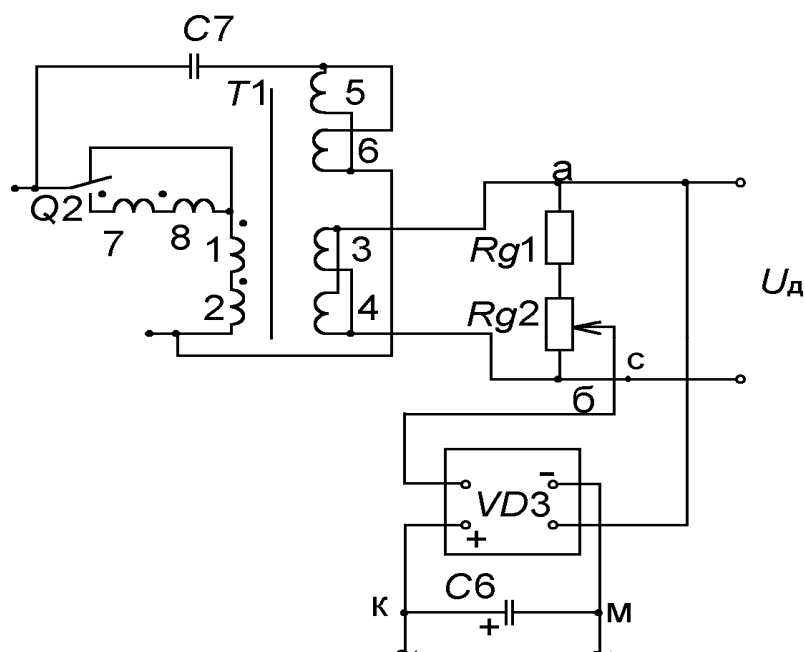


Рис. 7.3 - Схема визначення k_{Π} трансформатора ТДФЖ-1002УЗ

Величину коефіцієнта підсилення k_{Π} можна визначити за формулою:

$$k_n = \frac{U_{ab}}{U_{ac}}, \quad (1)$$

де U_{ab} – вихідна напруга трансформатора, U_{ac} – напруга зворотного зв'язку ЗЗН. У принциповій електричній схемі ТДФЖ-1002УЗ (рис.7.2) $U_{ab} = U_{ac}$ і $k_{\Pi} = 1$.

7. Обладнання та прилади

- | | |
|---|---------|
| 7.1. Трансформатор ТДФЖ-1002УЗ | – 1 шт. |
| 7.2. Баластові реостати типу РБ-302 | – 4 шт. |
| 7.3. Амперметр змінного струму на 5А | – 1 шт. |
| 7.4. Трансформатор струму для вимірювання I_D | – 1 шт. |
| 7.5. Вольтметр змінного струму на 150 В | – 1 шт. |

- 7.6. Вольтметр цифровий – 1 шт.
 7.7. Силові контактори типу КМ-600Д – 2 шт.

8. Порядок виконання роботи

8.1. Робота виконується бригадою студентів у кількості не менше 4 студентів. Ознайомитись з конструкцією і пуско-регулюючою апаратурою трансформатора, з електричною схемою випробування (рис.7.4).

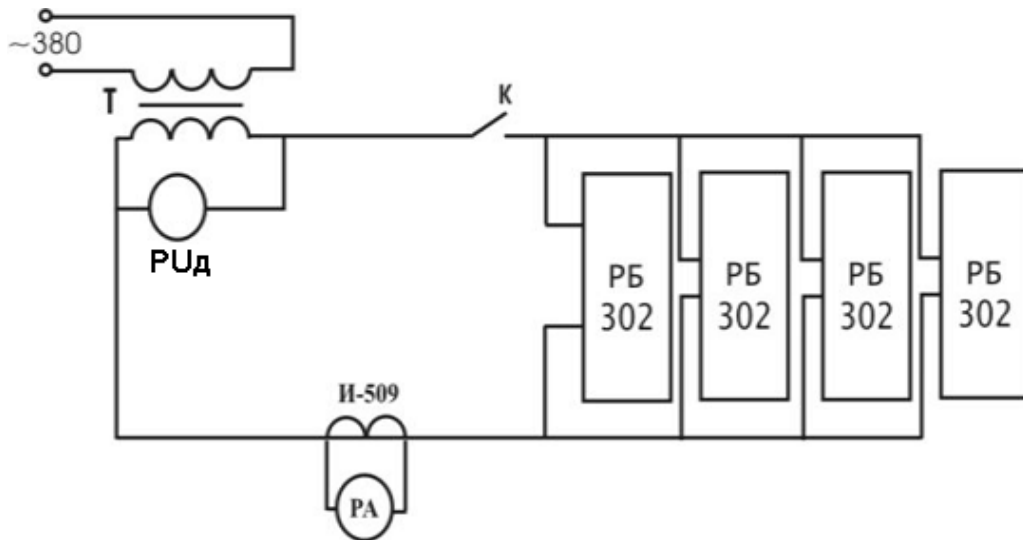


Рис. 7.4 - Електрична схема випробування ТДФЖ-1002У3.

8.2. Зібрати схему випробування випрямляча. З метою запобігання пошкодження приладів та обладнання провести перевірку зібраної схеми під струмом. Для цього встановити регулятором кута керування силових тиристорів напругу неробочого ходу не більше 50 В.

8.3. Порядок зняття спадних зовнішніх характеристик при різних коефіцієнтах підсилення зворотного зв'язку за напругою.

8.3.1. Вивести опір реостату $R_{д2}$ подільника напруги на мінімальну величину (рис.7.3). У режимі неробочого ходу $U_{20}=50$ В зробити перший відлік вимірювань $U_{д}$. Увімкнути перші рубильники баластового реостату РБ-302, встановивши мінімальний струм навантаження $I_{д}$. Провести відлік $U_{д}$ і $I_{д}$. У подальшому, поступово вмикати рубильники РБ-302, фіксуючі значення напруги та струму навантаження після кожного вмикання рубильника реостату. Одночасно заміряти величини напруг $U_{аб}$, $U_{ас}$.

Вимірювання даних параметрів можна проводити при вмиканні одного чи декількох рубильників баластного реостату.

Вимірявши максимальний струм навантаження та напруги дуги на всіх 6 рубильниках, зафіксувати величини $I_{д}$, $U_{д}$. За формулою (1) визначити коефіцієнт підсилення $K_{п}$.

Одержані дані занести до таблиці 7.1.

8.3.2. Зняти зовнішню характеристику при іншому значенні коефіцієнта підсилення. Для цього вивести реостат $R_{д2}$ на максимальний опір і виміряти його величину.

Порядок зняття ВАХ випрямляча та визначення значення $k_{п}$ проводити згідно п.

8.3.1. Отримані дані занести до таблиці 7.2, яка за формою аналогічна таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

№ досліду	$U_{Д}, В$	$I_{Д}, А$	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20}=50В$
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			$k_{II}=$
7. VI рубильник			

Таблиця 7.2

№ досліду	$U_{Д}, В$	$I_{Д}, А$	Примітки
1. Неробочий хід			$U_{20}=50В$
2. I рубильник			
3. II рубильник			
4. III рубильник			
5. IV рубильник			
6. V рубильник			$k_{II}=$
7. VI рубильник			

За одержаними даними на одному графіку побудувати дві зовнішні характеристики в залежності від коефіцієнту підсилення зворотного зв'язку за напругою і провести аналіз отриманих результатів.

Згідно проведеним випробуванням видно, як формується ВАХ трансформатора в залежності від виду зворотного зв'язку за напругою та його коефіцієнтів підсилення.

9. Вимоги до звіту по лабораторній роботі

Звіт повинен містити:

- 9.1. Назву і мету роботи.
- 9.2. Короткий опис конструкції трансформатора.
- 9.3. Принципову електричну схему випробувань джерела живлення.
- 9.4. Стислий опис порядку зняття характеристик.
- 9.5. Результати вимірювань у вигляді таблиць і графіків.

10. Контрольні питання

- 10.1. Поясніть принцип формування зовнішніх характеристик тиристорного трансформатора.
- 10.2. Поясніть призначення та конструкцію універсального зварювального джерела типу ТДФЖ-1002УЗ.
- 10.3. Як визначаються коефіцієнти підсилення зворотних зв'язків за напругою? Поясніть їх вплив на форму ВАХ.
- 10.4. За рахунок чого може змінюватись форма зовнішніх характеристик тиристорного зварювального трансформатора?