

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
ДВНЗ "Національний гірничий університет"

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ЕПІ-3**  
**"РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ**  
**ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ"**  
**З ДИСЦИПЛІНИ "ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ"**  
для студентів напряму підготовки  
6.050701 "Електротехніка та електротехнології"

Дніпропетровськ  
НГУ  
2011

Заїка В.Т. / Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕПП-3 „Регулювання напруги в промислових електричних мережах” з дисципліни „Електропостачання” для студентів напряму підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" / В.Т. Заїка, Л.П. Ворохов, Н.Ю. Рухлова, А.С. Румянцев. – Д. : Державний ВНЗ "Національний гірничий університет".– 2011.– 18 с.

Упорядники:

В.Т. Заїка, д-р техн. наук, професор,

Л.П. Ворохов, доцент,

Н.Ю. Рухлова, асистент,

А.С. Румянцев, асистент.

Затверджено методичною радою Державного ВНЗ "Національний гірничий університет"

Анотація:

Приведено вимоги нормативних документів щодо режиму напруги в вузлі енергосистеми, методика розрахунку відхилень напруги на затискачах споживачів та методи регулювання напруги на шинах центра живлення. Приведено принцип роботи регуляторів напруги та методика вибору уставок регуляторів.

Відповідальний за випуск – заст. зав. кафедри СЕП

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

## ЗМІСТ

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Загальні положення                  | 4  |
| Опис лабораторного стенда           | 12 |
| Порядок і методика виконання роботи | 13 |
| Зміст звіту                         | 16 |
| Контрольні питання                  | 16 |
| Список рекомендованої літератури    | 16 |
| Додаток А                           | 17 |

## МЕТА РОБОТИ

- \* Дослідження засобів регулювання напруги.
- \* Придбання практичних навичок розрахунку настройок (робочих параметрів) блоку автоматичного регулювання (БАР).
- \* Забезпечення допустимих відхилень напруги у споживачів за допомогою пристрою автоматичного регулювання напруги трансформаторів під навантаженням (АРТ-ІН)

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

При проектуванні систем електропостачання підприємств необхідно передбачити заходи, які забезпечують високу якість електроенергії, одним з основних показників якої є відхилення напруги на затискачах електроприймачів.

Найкращі технічні та економічні параметри електроприймачі (ЕП) мають тоді, коли напруга на їх затискачах номінальна, але оскільки ЕП зв'язані загальною мережею, в якій мають місце втрати напруги, то до кожного з них підводиться напруга, відмінна від номінальної.

Режими напруги в мережі повинні бути такими, що відповідають вимогам ГОСТ 13109-97. Значення показників якості електроенергії (ПЯЕ) в нормальному режимі роботи електричної мережі не повинні виходити за межі максимальних значень, вказаних в таблиці 1. При цьому протягом не менше 95% часу кожної доби значення ПЯЕ не повинні виходити за межі нормальних значень, вказаних там же.

Таблиця 1

| Найменування показника                            | Допустимі значення показника |             |
|---|------------------------------|-------------|
|   | нормальне                    | максимальне |
| Відхилення напруги в електричній мережі напругою: |                              |             |
| до 1 кВ   | ±5%                          | ±10%        |
| 6 – 20 кВ   | —                            | ±10%        |
| 35 кВ і вище                                      | —                            | —           |

Сучасні електричні системи характеризуються значним числом трансформацій, великою протяжністю ліній, значними втратами напруги. В свою чергу, втрати напруги змінюються в часі через мінливість навантаження споживачів електроенергії протягом доби і року. Тому всю мережу слід перевірити на допустимі відхилення напруги.

Перевірка режиму напруг на шинах центру живлення (ЦЖ) проводиться для двох граничних режимів – режиму найбільших і найменших навантажень.

Напруга на затискачах електроприймача визначається за формулою:

$$U = U_{ЦЖ} - \Delta U + \sum_{i=1}^n E_i,$$

де  $U_{ЦЖ}$  – напруга на шинах ЦЖ;

$\Delta U$  – сума втрат напруги в послідовно з'єднаних елементах мережі від шин ЦЖ до точки підключення електроприймача, що розглядається;

$\sum_{i=1}^n E_i$  – сума добавок напруги, що створюють трансформатори та спеціальні засоби регулювання.

При відхиленні напруги на затискачах ЕП більше допустимого необхідно коректувати рівень напруги. Для забезпечення режиму напруги, що вимагається, можуть бути використані наступні способи:

- регулювання напруги на шинах ЦЖ;
- зміна опору елементів мережі;
- зміна величини реактивної потужності, що протікає по мережі;
- зміна коефіцієнта трансформації нерегульованих (з ПБЗ) і регульованих (з РПН) трансформаторів та автотрансформаторів, лінійних регуляторів (ЛР), що включаються на ділянці ЦЖ – ЕП.

*Регулювання напруги на шинах ЦЖ може здійснюватися:*

- 1) на електростанціях – шляхом зміни струму збудження генераторів за допомогою спеціальних автоматичних регуляторів збудження (АРЗ);
- 2) на шинах низької напруги знижувальних підстанцій за допомогою:
  - трансформаторів з РПН;
  - синхронних компенсаторів (СК) або керованих батареї конденсаторів (БК);
  - лінійних регуляторів.

*Зміну опорів елементів мережі пов'язують зі зміною режиму напруги в ній лише в двох випадках:*

- 1) при виборі перетинів дротів і жил кабелів з урахуванням відхилень напруги у електроприймачів (за допустимими втратами напруги);
- 2) при застосуванні послідовного включення конденсаторів у повітряних лініях.

*Зміна величини реактивної потужності, що протікає по мережі залежить від потужності компенсуючих установок (КУ), встановлених в промислових мережах. Регулюючи частку вироблення реактивної потужності різними джерелами, можна змінити втрати напруги на ділянці мережі що розглядається. Забезпечивши КУ автоматичним регулятором, отримуємо керовані БК, які використовують як засоби місцевого регулювання напруги, аналогічно синхронним двигунам, які мають системи регулювання збудження.*

*Зміна коефіцієнта трансформації розподільних трансформаторів.* Знижувальні розподільні трансформатори, без пристроїв для перемикання відгалужень під навантаженням, звичайно мають чотири додаткові відгалуження, що відмінні по нарузі від основного відгалуження відповідно на +5;+2,5;-2,5;-5%. Силкові трансформатори, які забезпечені вбудованим перемикаючим пристроєм для регулювання напруги під навантаженням (РПН), мають в шифрі додатково букву "Н". Вказаний пристрій не вимагає відключення трансформатора під час регулювання напруги, тому коефіцієнт трансформації змінюється плавно та у більших, ніж у трансформаторів з ПБЗ, межах.

Трансформатори з РПН залежно від потужності та первинної напруги мають діапазон регулювання напруги від  $\pm 9\% U_H = \pm 6 \times 1,5\% U_H$ , до  $\pm 16\% U_H = \pm 9 \times 1,78\% U_H$ , число додаткових відгалужень від 4 до 10 і ступені регулювання від  $1,2\% U_H$  до  $2,5\% U_H$ .

В наш час всі трансформатори, які мають пристрої РПН, оснащуються регуляторами напруги типу АРТ-1Н (рис. 1).

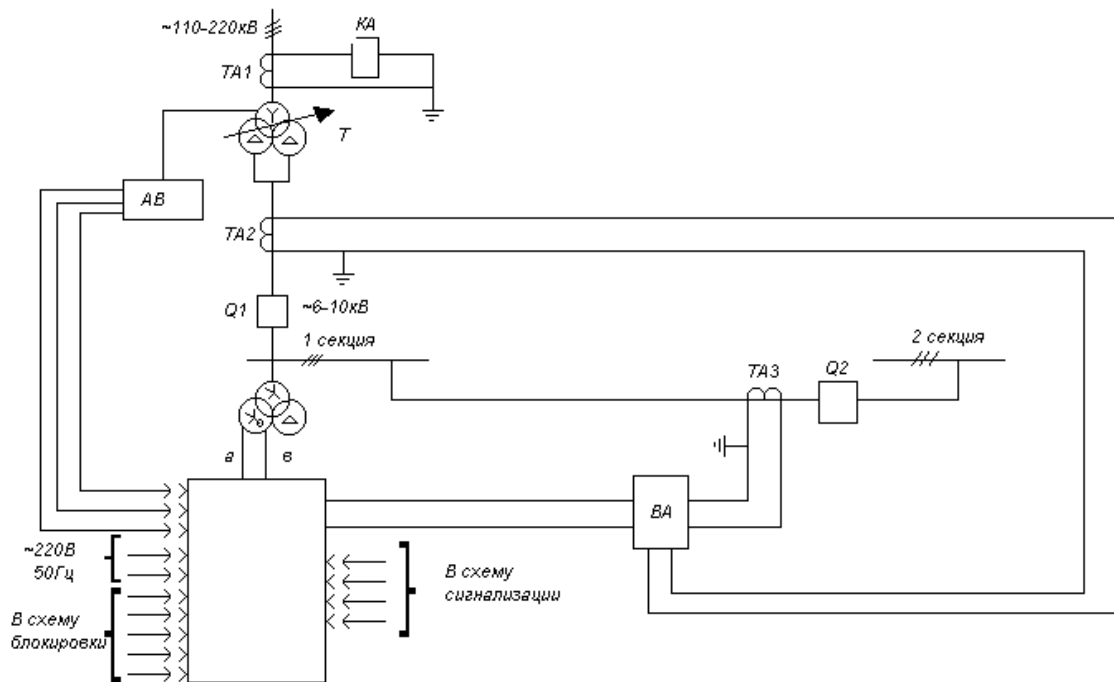


Рис. 1. Комплексна система автоматичного регулювання коефіцієнта трансформації силових трансформаторів АРТ-1Н

Регулятор характеризується наступними величинами:

- напруга ступені регулювання;
- зона нечутливості;
- точність регулювання;
- витримка часу.

Ступінь регулювання напруги  $U_{СТ}$  – це різниця між напругами сусідніх відгалужень. Звичайно її виражають у відсотках від номінальної напруги обмотки, яка має регульовані відгалуження.

Зоною нечутливості (мертвою зоною) регулятора називають деяку смугу зміни напруги, при якій не відбувається спрацьовування регулюючої апаратури. Зона нечутливості повинна бути більше ступені регулювання на  $0,2 - 0,5\% U_H$ , оскільки інакше регулятор працюватиме нестало.

Зона нечутливості визначає точність регулювання, яка дорівнює половині зони нечутливості.

Витримка часу в регуляторах служить для запобігання непотрібних перемикань при короточасних відхиленнях напруги від заданого значення. При збільшенні витримки часу значно зменшується загальна кількість перемикань, проте знижується точність (якість) регулювання. При зменшенні витримки часу

якість регулювання підвищується, але збільшується частота перемикачів. Це погіршує умови роботи перемикаючого пристрою.

Пристрій АРТ-1Н складається з блоку автоматичного регулювання АУ типу БАР і блоку датчика струму ВА типу ДТ5 (див. рис. 1) і забезпечує дистанційне або автоматичне керування електроприводами перемикачів відгалужень пристрою регулювання напруги під навантаженням (РПН).

Вибір способу керування здійснюється перемикачем SA1 (рис. 2), що має три положення: 1 – автоматичне, 2 – дистанційне, 3 – вимкнено.

Дистанційне керування виконується за допомогою ключа SA2 або від пристроїв телемеханіки.

Автоматичне керування здійснюється від блоку АУ. Напруга, що контролюється, на блок АУ подається від двох фаз трансформатора напруги TV, а струмова компенсація вводиться підключенням вторинних обмоток трансформаторів струму ТА-2 (встановленого в ланцюзі силового трансформатора) і ТА-3 (встановленого в ланцюзі секційного вимикача) до датчика струму ВА.

Крім основної функції – *регулювання напруги на шинах 6-10 кВ ГПП (з корекцією за струмом навантаження або без такої)*, – АРТ-1Н контролює справність приводних механізмів та окремих елементів самого автоматичного пристрою, блокує процес регулювання при зниженні напруги на шинах ЦЖ нижче рівня мінімальної експлуатаційної напруги, здійснює покрокове управління приводними механізмами та їх надійний пуск незалежно від коливань напруги на “регульованих” шинах.

Вимірвальний орган пристрою реагує на відхилення середнього значення напруги, що за наявності вищих гармонійних складових викликає менші погрішності регулювання, ніж використання амплітудного значення напруги.

Регулятор напруги впливає на пристрій перемикачів відгалужень трансформатора під навантаженням і таким чином підтримує задану напругу:

$$U_2 = \frac{U_1}{K_T} = const,$$

де  $U_1$  – напруга, підведена до трансформатора від системи та, в загальному випадку, що змінюється в часі;

$K_T = U_1/U_2$  – коефіцієнт трансформації, який змінюється шляхом перемикачів відгалужень обмотки ВН трансформатора під дією регулятора.

**Робочі параметри АРТ – 1Н.** До тих уставок регулятора, що настраюються (до регульованих), відносяться наступні величини:

- 1) номінальна напруга, пропорційна рівню регульованої напруги розподільної мережі, В;
- 2) витримка часу  $T$ , що встановлюється з урахуванням характеру навантаження в діапазоні 40с – 4 мін;
- 3) напруга струмової компенсації або корекція  $K$ , %;
- 4) зона нечутливості  $\varepsilon$  (різниця між верхньою  $U_{cp.max}$  і нижньою  $U_{cp.min}$  напругою спрацьовування регулятора), %.

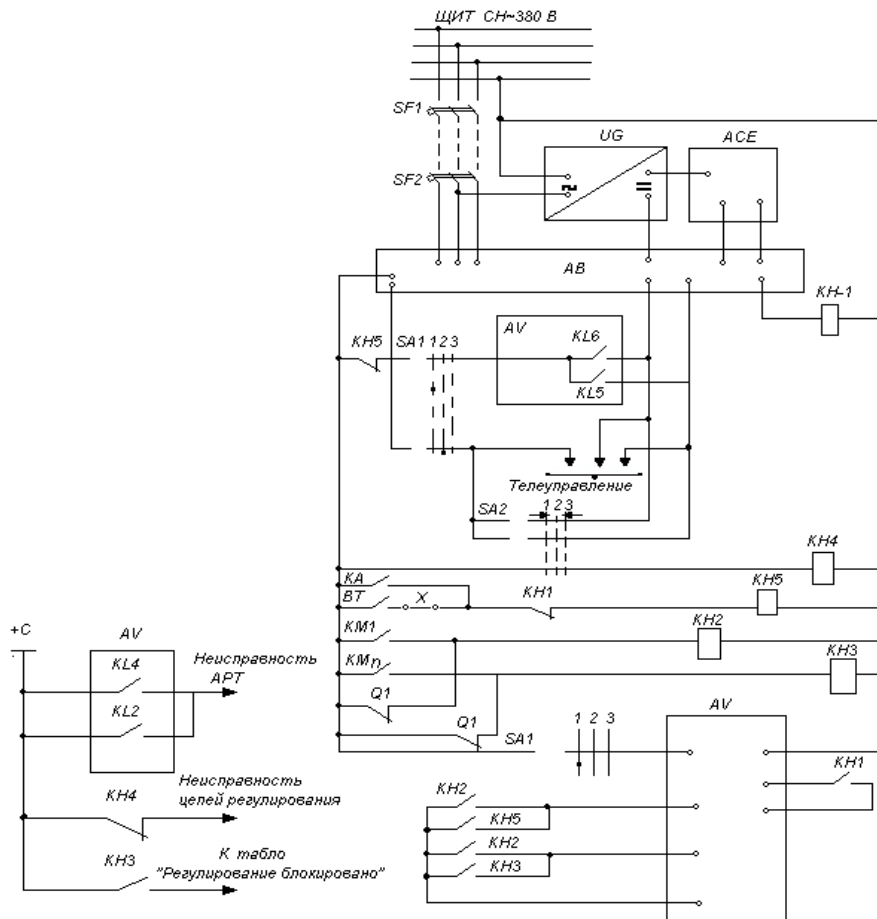


Рис. 2. Ланцюги керування та сигналізації пристрою АРТ-1Н

Зона нечутливості вибирається таким чином, щоб перемикання РПН з одного ступеня на інший, яке спричиняє зміну напруги  $U_2$  на величину напруги ступеня  $U_{CT}$ , не приводило до зворотного перемикання в початкове положення. Звідси витікає, що зона нечутливості повинна бути більше напруги ступеня:

$$\varepsilon > U_{CT}.$$

Звичайно вибирається  $\varepsilon = (1,2 - 1,4) U_{CT}$ . Величина  $U_{CT}$  приймає значення 1,2; 1,25; 1,5; 1,78; 2,0, 2,5%, що, як згадувалося, залежить від первинної напруги, типу та потужності силового трансформатора.

Вибір закону регулювання напруги на шинах розподільних трансформаторних підстанцій, оснащених пристроями АРТ-1Н, визначається двома режимами роботи мережі – режимом максимальних і режимом мінімальних навантажень однорідних споживачів.

Решта параметрів регулятора АРТ-1Н – уставки по напрузі і струмовій корекції – можуть бути знайдені по статичній характеристиці регулятора (рис. 3), що описується виразом:

$$U = U_H + I \cdot Z,$$



де  $U$  – рівень напруги на шинах центру живлення, що підтримується регулятором з точністю  $\pm \varepsilon / 2\%$ , В;

$U_H$  – номінальна напруга центру живлення (ЦЖ), В;

$I$  – сумарне струмове навантаження споживачів, А;

$Z$  – опір моделі струмової компенсації, пропорційний опорі лінії, що з'єднує трансформатор зі споживачем, Ом.

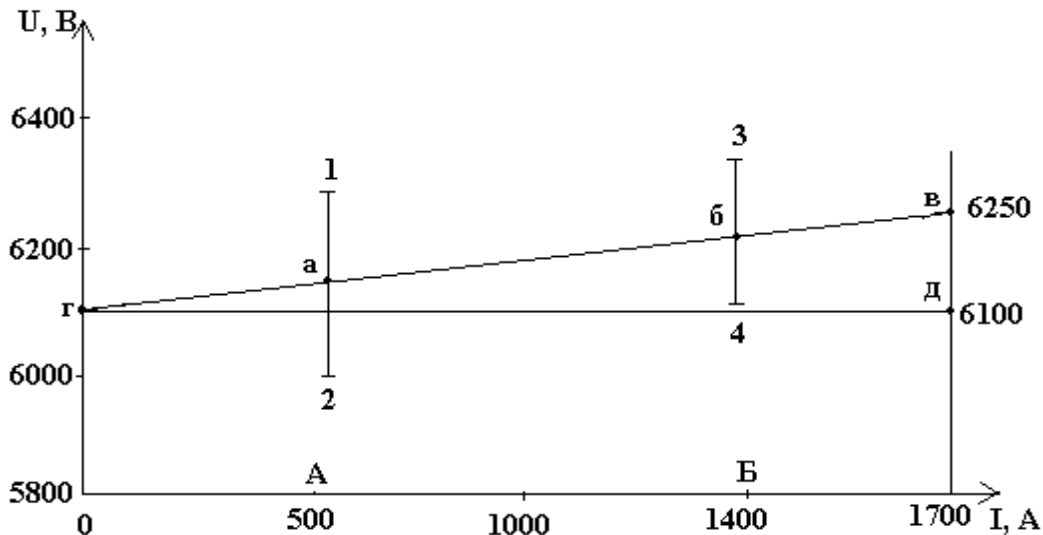


Рис. 3. Регулювальна характеристика регулятора АРТ-1Н

Побудова статичної характеристики здійснюється за умови підтримки регулятором певної напруги, при якій задовольняються вимоги до напруги як віддалених, група I, так і близько розташованих, група II, споживачів, тобто такої, при якій відхилення напруги у споживачів в режимі мінімальних і максимальних навантажень не виходитимуть за допустимі межі.

Для цього за допомогою регулятора на шинах підстанції необхідно підтримувати напругу, яка визначається як сума номінальної напруги  $U_H$ , допустимих відхилень напруги на затискачах споживача  $\pm \delta U$  і втрат напруги в мережі  $\Delta U$ , пропорційних струму навантаження споживача:

$$U = U_H \pm \delta U + \Delta U.$$

Таким чином, побудова статичної характеристики здійснюється в наступній послідовності:

1) визначаються допустимі значення напруги  $U$  на шинах ЦЖ в режимі мінімальних навантажень (наприклад, при  $I_{min} = 500 \text{ A}$ ), що задовольняють споживача I та споживача II;

2) визначається зона, в якій напруга задовольняє як споживача I, так і споживача II в цьому режимі (точки 1, 2 на рис. 3);

3) аналогічно знаходиться напруга на шинах ЦЖ в режимі максимальних навантажень (наприклад, при  $I_{max} = 1400 \text{ A}$ ) і визначається відповідна зона (точки 3, 4);

4) середини зон бажаних напруг (точки **а** і **б** на рис. 3) з'єднуються прямою **а-б** до перетину осі напруг (точка **г**). Відрізок **0-г** на осі напруг і визначає уставку напруги  $U_0$ , що забезпечується регулятором. Відрізок **д-в** визначає напругу, яка забезпечується за рахунок струмової компенсації для номінального струму трансформатора  $I_{2H.T}$ , прийнятого, для прикладу, рівним 1700 А, %.

$$K = \frac{U_B - U_0}{U_H} \cdot 100.$$

На відміну від режиму зустрічного регулювання, в режимі стабілізації напруги на шинах ЦЖ блок ДТ не використовується, напруга компенсації не вводиться, і контрольована напруга визначається лише вхідною напругою. Уставка регулятора по нарузі  $U_y$  для цього випадку визначається за формулою:

$$U_y = U_0 + \frac{(I_{min} + I_{max})(U_B - U_0)}{2I_{2H.T}}, \text{кВ},$$

$$U_y = 100 \times \left[ U_0 + \frac{(I_{min} + I_{max})(U_B - U_0)}{2I_{2H.T}} \right] / U_H, \text{\%}.$$

Зона нечутливості регулятора встановлюється (визначається) з умови запобігання частих спрацьовувань пристрою внаслідок його перерегулювання.

Витримка часу спрацьовування регулятора АРТ-1Н приймається на рівні 1–3 хвилини, виходячи з мінливості навантаження споживача. Менші значення встановлюються для швидко змінних навантажень, більші – при постійному навантаженні і, отже, повільних змінах напруги.

**Приклад розрахунку.** На підстанції встановлений трансформатор типу ТДН–16000–110 / 6 кВ. Номінальна напруга обмоток трансформатора  $115 \pm 9 \times 1,78\% / 6,6$  кВ. Номінальний струм обмотки 6,6 кВ – 1700 А. Трансформатор живить віддалений споживач I та близько розташований споживач II з номінальною напругою 6 кВ. Допустимі відхилення напруги у споживачів  $\delta U_{I,II} = \pm 3\%$ . Сумарне навантаження споживачів змінюється від 500 А при мінімальному навантаженні до 1400 А при максимальному навантаженні. Втрати напруги в живлячій лінії до споживача I складають 0,3 кВ при максимальному навантаженні і 0,2 кВ при мінімальному навантаженні. Втрата напруги до споживача II для тих же режимів складає відповідно 0,15 і 0,1 кВ. Визначити параметри настройки регулятора БАР.

Допустимі відхилення напруги при  $\delta U = \pm 3\%$  дорівнюють  $\pm 180$  В,  $U_H = 6000$  В. Напруга на шинах підстанції при навантаженні 500 А (точка **А** на рис. 3) не повинна виходити за межі:

- 1) для задоволення вимог по нарузі споживача I:  
 $U_{AI} = 6,0 + 0,18 + 0,2 = 6,38$  кВ;  
 $U'_{AI} = 6,0 - 0,18 + 0,2 = 6,02$  кВ;
- 2) для задоволення вимог по нарузі споживача II:  
 $U_{AII} = 6,0 + 0,18 + 0,1 = 6,28$  кВ;

$$U_{\text{AII}} = 6,0 - 0,18 + 0,1 = 5,92 \text{ кВ.}$$

Напруга, що задовольняє споживача I та споживача II, знаходиться в зоні між напругами 6,28 – 6,02 кВ (точки **1** і **2** на рис. 3).

Напруга на шинах підстанції при максимальному навантаженні 1400А (точка **б** на рис. 3) не повинна виходити за межі:

1) для задоволення вимог по напрузі споживача I:

$$U_{\text{BI}} = 6,0 + 0,18 + 0,3 = 6,48 \text{ кВ;}$$

$$U'_{\text{BI}} = 6,0 - 0,18 + 0,3 = 6,12 \text{ кВ;}$$

2) для задоволення вимог по напрузі споживача II:

$$U_{\text{BII}} = 6,0 + 0,18 + 0,15 = 6,33 \text{ кВ;}$$

$$U'_{\text{BII}} = 6,0 - 0,18 + 0,15 = 5,97 \text{ кВ.}$$

Напруга, що задовольняє обох споживачів в режимі максимальних навантажень, знаходиться в зоні між напругами 6,33 – 6,12 кВ (точки **3**, **4** на рис. 3).

З'єднаємо прямою **а-б** середини обох зон бажаних напруг і продовжимо її до перетину з віссю напруг в точці **г** і перпендикуляром, відновленим з точки, відповідної номінальному струму трансформатора, в точці **в**. Відрізок **0-г** на осі напруг визначає постійну складову напруги, що забезпечується регулятором БАР і дорівнює 6,1 кВ. Відрізок **д-в** визначає напругу, яку необхідно забезпечити за рахунок струмової компенсації і яка дорівнює у відсотках величині *K*:

$$K = \frac{(6,25 - 6,1)}{6,0} \times 100 = 2,5 .$$

**Розрахунок характеристики нечутливості регулятора.** Нечутливість регулятора для певного режиму можна визначити з креслення як величину, яка дорівнює різниці між середньою напругою зони "бажаних напруг" і її крайнім значенням. Так, при навантаженні 500 А (мінімальний режим) маємо – максимально допустима напруга 6280 В. Найбільша нечутливість, яка в даному випадку може бути допущена, дорівнює:

$$\Delta U_{\text{нч}} = U_{\text{max}} - U_{\text{жел}} = 6280 - 6150 = 130 \text{ В.}$$

Зона нечутливості  $\varepsilon$  (розрахункове значення) у відсотках:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_{\text{нч}}}{U_0} \times 100 = \frac{130}{6000} \times 100 = 2,17 .$$

Зона нечутливості  $\varepsilon$  для конкретного трансформатора з РПН може бути визначена також за формулою:

$$\varepsilon = K_3 \times U_{\text{НО}},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу (дорівнює 1,2 – 1,4).

При ступені регулювання 1,78% –  $\varepsilon = (1,2 - 1,4) \times 1,78 = 2,13 - 2,49$ .

**Розрахунок витримки часу.** Витримку часу на спрацьовування регулятора вибирають в межах 1 – 3 хвилини на основі аналізу реального графіка навантаження споживача.

## ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторний стенд є діючою моделлю електричної мережі (в однофазному виконанні), яка складається (див. рис. 1) з трансформатора  $T$  з РПН, блоку автоматичного регулювання  $AV$  типу БАР, приводного механізму  $AB$  перемикаючого пристрою трансформатора.

Зміна напруги на шинах ЦЖ сприймається блоком  $AV$ , який при підвищенні напруги видає на приводний механізм команду “Збавити” (замиканням контакту  $KL5$ ), а при зниженні напруги – команду “Додати” (замиканням контакту  $KL6$ ).

Контроль початку та закінчення циклу перемикання здійснює реле  $KH1$ , яке отримує живлення від відповідних контактних елементів приводу. Реле спрацьовує після початку циклу перемикання і повертається після його закінчення. При застряванні пристрою РПН якір реле залишається підтягнутим до зняття живлення з приводу. Контроль справності приводів досягається логічним аналізом послідовності спрацьовування реле  $KL5$  і  $KL6$  і положенням реле  $KH1$ . Якщо після спрацьовування  $KL5$  або  $KL6$  протягом заданого часу не замкнеться контакт  $KH1$  в ланцюзі  $AV$ , то автоматичним пристроєм фіксується несправність “привід застряг в початковому положенні”. При цьому замикаються контакти реле  $KL4$  в блоці  $AV$ . Реле  $KL2$  в блоці  $AV$  спрацьовує при несправності “привід застряг в середньому положенні”, коли після початку циклу перемикання довше заданого часу залишаються замкнутими контакти реле  $KH1$ .

При всіх несправностях приводу і самого автоматичного пристрою процес регулювання припиняється і відновлюється тільки після втручання експлуатаційного персоналу.

Досягши крайніх положень РПН замиканням контактів  $KM1$  і  $KMn$  комутаторів приводу запобігає помилковому блокуванню регулювання і появі сигналу несправності.

Регулювання виводиться з роботи при перевантаженні і неприпустимому зниженні температури масла (розмикаючими контактами реле  $KH5$  – повторювача реле струму  $TA$  і датчика температури  $BT$ ), а також при втраті зв'язку з регульованими шинами (допоміжними контактами вимикача  $Q1$ ).

В схемі виконані контроль справності ланцюгів керування (реле  $KH4$ ) і передача інформації черговому про положення пристрою РПН за допомогою сельсинаго зв'язку для приводів виробництва СРСР і зв'язку (перетворювач  $UG$ ) потенціометра з логометром АСІ – для приводів виробництва Болгарії і ГДР.

Пристрій АРТ-1Н забезпечує керування і контроль електроприводів, які мають час перемикання від 2,5 до 12 с.

Для моделювання роботи мережі 6 – 10 кВ (зміни величини напруги) на лицеву панель виведена рукоятка регулювання напруги  $PH$ . Контроль величини напруги досягається підключенням вольтметра з межею вимірювання 150 В до вторинної обмотки трансформатора напруги.

На лицеву панель винесений також ключ керування  $SA1$  (див. рис. 2), за допомогою якого здійснюється керування електроприводами механізму  $AB$ .

Для контролю справності приводів встановлено реле часу  $KT$ , яке задає час циклу перемикання. Якщо протягом 2 с не завершився цикл перемикання, то спалахує лампа "Розузгодження" пристрою АРТ-1Н, працюючого в режимі контролю "Застрявання електроприводу". Для зняття блокування необхідно натиснути кнопку "Вимкн."

Окрім елементів електричної мережі та АРТ-1Н на лицеву панель стенду винесені наступні необхідні для виконання роботи, пристрої комутації, захисту та сигналізації:

- 1) кнопка аварійного відключення стенду;
- 2) лампочка  $Л1$  (зелена), що сигналізує про подачу на стенд живлячої напруги;
- 3) автоматичний вимикач  $SF$  для подачі напруги в модельовану мережу та сигнальна лампа  $Л2$  (червона).

БАР випускається заводом-виробником з відкаліброваними шкалами "Уставка", "Зона", "Час", а також матрицею "Режим".

Уставка по напрузі регулюється ступенями "грубо" через 5% в межах від 85 до 110%  $U_H$  і "точно" в межах від 0 до 5% через 1% номінального значення напруги, що виміряється. Уставка по зоні нечутливості регулюється ступенями через 0,5%  $U_H$  від 0 до 4% номінальної напруги.

Вхід блоку  $ДТ5$  (в режимі стабілізації не використовується) має два струмові гальванічно не зв'язані обмотки з номінальними струмами 2,5; 3,5; 5,0; 7,0 і 2,5; 3,5; 5,0 А відповідно.

Живлення здійснюється напругою 220 В промислової частоти. Пристрій працює нормально при зміні напруги живлення в межах від 80 до 120% номінального. Споживана регулятором потужність не перевищує 40 ВА.

Уставки за часом накопичення: мінімальна – не більше 60 с, максимальна – не менше 180 с. Значення часу скидання не перевищує уставки часу накопичення. Повторне спрацьовування вихідних реле при тому ж знаку відхилення напруги на вході пристрою відбувається із затримкою не менше 1,5 с після чергового спрацьовування приводу РПН.

## ПОРЯДОК І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити принцип роботи АРТ-1Н (лабораторний стенд, рис.1, 2).
2. Виконати розрахунок напруг  $U_1, U_2, U_3, U_4$  для максимального і мінімального режимів роботи споживачів I та II за даними індивідуального завдання (таблиця А1).
3. Побудувати регульовальну характеристику пристрою АРТ, використовуючи дані розрахунку відхилень напруги. Визначити напругу струмової компенсації для можливих режимів роботи споживачів.
4. Визначити параметри настройки АРТ-1Н:  $U_0, U_y, \varepsilon$ , уставку за часом, а також розрахувати  $U_{max}$  і  $U_{min}$ . Занести відповідні величини в таблиці 2 і 3.
5. При відключеному автоматі  $SF$ , розташованому на панелі стенду, виставити розраховані уставки спрацьовування пристрою АРТ-1Н. Уставки по

напрузі  $U_y$  і по зоні нечутливості  $\varepsilon$  виставляються шляхом установки штекерів в гнізда матриць "Уставка" і "Зона". Уставка за часом накопичення встановлюється відповідним перемиканням регулятора "Час".

Необхідно також перевірити правильність установки штекерів в гнізда матриці "Режим". Штекери встановлюються в гніздо 1 за відсутності струмової компенсації, в гнізда 2 і 4 при необхідності оперативної зміни уставки по напрузі, а за відсутності такої необхідності в гнізда 3 і 5; в гніздо 6, якщо час перемикання на один ступінь не перевищує 10 с; в гніздо 7, якщо цей час не перевищує 30 с, в гнізда 8 і 9, якщо вимагається, щоб скидання часу накопичення відбувалося не більше ніж за 3 с, в гніздо 10 для контролю роботи електроприводів перемикаючого пристрою.

6. Подати напругу в модельовану електричну мережу (вимикач  $SF$ ). При цьому ключ  $SAI$  повинен знаходитися в положенні III "Вимкнено". Регулятором  $PH$  (панель стенду) виставити розраховану напругу  $U_y$  (уставку по напрузі) на шинах ЦП.

7. Вибрати режим роботи регулятора "автоматичне управління" (ключ  $SAI$ ) Визначити з досліду  $U_{max}$  і  $U_{min}$  для режиму стабілізації напруги, відхиляючись від напруги  $U_y$  по черзі на  $\pm 1,5\%$ ;  $\pm 2\%$  і т.д. від номінального. Напруги, при яких регулятор починає реагувати на зміни напруги на шинах ЦЖ, будуть визначатися. За даними досліду розрахувати фактичну зону нечутливості регулятора. Дані вимірів заносяться в табл. 3. Уставка за часом в цих дослідах – мінімальна.

8. Встановити по черзі напругу  $U > U_{max}$ ,  $U < U_{min}$  і визначити положення перемикача "Час", відповідно заданій уставки за часом. Уставки за часом задаються викладачем і знаходяться в межах 40 – 240 с. Дані заносяться в табл. 3.

9. Перевірити роботу АРТ-1Н в режимі мінімальних навантажень, виставляючи напругу, розраховану для споживача I або II (по вказівці викладача). Аналогічну перевірку виконати для режиму максимальних навантажень.

### **Примітки:**

1. Відхилення напруги  $\pm \delta U_C$  для режиму середніх навантажень визначаються інтерполяцією за аналогічними величинами, заданих для максимального і мінімального режимів.

2. Параметри напруги у відсотках визначаються по відношенню до номінальної напруги мережі.

3. Напруги  $U_0$ ,  $U_B$ , слід брати з таблиці 2.

Таблиця 2

## Режим зустрічного регулювання

| Найменування  | Розрахункові значення  | Примітка                                    |
|---|--|---|
| 1. Допустимі на шинах ЦЖ граничні значення напруги для ближніх і віддалених ЕП в максимальному і мінімальному режимах (точки 1, 2, 3, 4 на рис.3), в [кВ] і [%]                         | $U_1, U_2, U_3, U_4$   | Значення в [кВ] і [%] записувати через дріб |
| 2. Постійна складова уставки по напрузі, в [кВ] і [%]   | $U_0$  | См. регул. характеристики                   |
| 3. Напруга струмової компенсації, $K$ , %:<br>а) режим мінімальних навантажень<br>б) режим максимальних навантажень<br>в) при номінальному струмі трансформатора                        | $K = ((U_a - U_0)/U_H) \times 100$<br>$K = ((U_b - U_0)/U_H) \times 100$<br>$K = ((U_c - U_0)/U_H) \times 100$ | См. регул. характеристики                   |
| 4. Вибрана уставка за часом, $c$  | $T$  |   |
| 5. Значення зони нечутливості $\varepsilon$ , %:<br>а) допустима, при заданих відхиленнях напруги у споживачів I та II<br>б) залежна від ступеня регулювання конкретного трансформатора | $\varepsilon = (\Delta U_{нч} / U_0) \times 100$<br>$\varepsilon = K_3 \times U_{CT}$                          |   |

Таблиця 3

## Режим стабілізації напруги на шинах ЦЖ

| Найменування   | Значення параметрів  |  | Примітка                         |
|--|--|--|----------------------------------|
|  | Розрахункові   | Фактичні                                     |                                  |
| 1. Допустимі на шинах ЦЖ граничні значення напруги $U_{max}$ , і $U_{min}$ для віддалених (I) і ближніх (II) ЕП в режимі середніх навантажень, в [кВ] і [%]:   | $U_{max} = U_V + \delta U_C$<br>$U_{min} = U_V - \delta U_C$ | Одержують з досліду                          |                                  |
| 2. Уставка по напрузі $U_V$ , в кВ і %:<br>$U_V = U_0 + \frac{(I_{min} + I_{max})(U_B - U_0)}{2I_{2HT}}, \text{кВ},$<br>$U_V = 100 \times (U_0 + \frac{(I_{min} + I_{max})(U_B - U_0)}{2I_{2HT}}) / U_H, \%$ |  |  |                                  |
| 3. Уставки часу, $T$ , с:<br>а) основна<br>б) додаткові:<br>перша, друга, третя, і т.д.  | Виставляється перемикачем на реле часу                       | Реєструється за секундоміром                 | Додаткові уставки задає викладач |
| 4. Значення зони нечутливості $\varepsilon$ , %  | $\varepsilon = K_3 \times U_{CT}$                            | $\varepsilon = 100(U_{max} - U_{min}) / U_H$ | $U_{max}, U_{min}$ з досліду     |

## ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Короткий опис способів і засобів регулювання напруги та принципу роботи АРТ-1Н.
3. Схема автоматичного регулювання напруги трансформатора (рис.1).
4. Розрахунок уставок регулятора АРТ 1Н згідно з індивідуальним завданням (додаток А).
5. Регулювальна характеристика пристрою АРТ-1Н.
6. Таблиці 2 и 3 з результатами розрахунків і вимірювань.
7. Висновки про доцільність застосування для заданих розрахункових умов: а) режиму стабілізації; б) режиму зустрічного регулювання.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які застосовуються способи для регулювання напруги?
2. Які використовуються засоби для регулювання напруги?
3. Яке основне призначення пристрою АРТ-1Н?
4. З яких основних блоків складається пристрій АРТ-1Н?
5. Як здійснюється процес регулювання напруги в ЦЖ?
6. В яких випадках регулятор виводиться з роботи?
7. Як здійснюється зустрічне регулювання напруги?
8. З яких міркувань встановлюється зона нечутливості регулятора?
9. З якою метою при регулюванні вводиться витримка часу?
10. Які режими роботи споживачів враховуються при виборі уставки регулятора за напругою?
11. Які регулювальні ступені мають трансформатори з ПБЗ?
12. Які відхилення напруги допускає ГОСТ 13109-97 на затискачах електроприймачів?
13. Які чинники впливають на вибір закону регулювання напруги на шинах ЦЖ?
14. Які основні параметри настройки АРТ-1Н?
15. Як виставити розрахункові уставки на панелі БАР?
16. Як з досліду встановити зону нечутливості АРТ-1Н?
17. Як знайти і виставити витримку часу регулятора напруги?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Крупович В.И. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергия, 1980. –456с. [§ 2-40...2-42, § 2-112].
2. Карпов Ф.Ф. Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий / Карпов Ф.Ф., Солдаткина Л.А. – М.: Энергия, 1970.



**Додаток А**  
*Індивідуальні завдання*

На підстанції промислового підприємства встановлений трансформатор з первинною напругою  $U_1$ ,  $\kappa B$ , потужністю  $S$ ,  $MBA$ , забезпечений перемикачем РПН з автоматичним управлінням (пристрій АРТ-1Н), номінальною вторинною напругою  $U_2$ ,  $\kappa B$  і номінальним струмом обмотки  $I_{2H}$ ,  $A$ . Трансформатор живить віддалений споживач I та близько розташований споживач II з номінальною напругою  $U_H$ ,  $\kappa B$ . Допустимі відхилення напруги у споживача I прийняті рівними  $\pm\delta U_I$  %, у споживача II –  $\pm\delta U_{II}$  %. Сумарне навантаження споживачів змінюється від  $I_{min}$  (точка А) – при мінімальному навантаженні – до  $I_{max}$  (точка Б) – при максимальному навантаженні. Втрати напруги в живлячій лінії до споживача I складають  $\Delta U_{AI}$ ,  $\kappa B$  – при мінімальному навантаженні – і  $\Delta U_{BI}$ ,  $\kappa B$  – при максимальному навантаженні. Втрати напруги до споживача II складають, відповідно,  $\Delta U_{AII}$ ,  $\kappa B$  і  $\Delta U_{BII}$ ,  $\kappa B$ .

Визначити параметри настройки регулятора АРТ-1Н, встановленого на трансформаторі. Початкові дані для розрахунку за варіантами завдання приведені в таблиці А1.

Таблиця А1

| Номер варіанту | $S$ , $MBA$ | $U_1$ , $\kappa B$      | $U_2$ , $\kappa B$ | $I_{2H}$ , $A$ | $U_H$ , $\kappa B$ | $I_{min}$ , $A$ | $I_{max}$ , $A$ |
|----------------|-------------|-------------------------|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| 1              | 10          | 36,75                   | 6,3                | 920            | 6                  | 500             | 800             |
| 2              |             | $\pm 8 \times 1,5\%$    |                    |                |                    | 400             | 850             |
| 3              |             |                         |                    |                |                    | 350             | 750             |
| 4              | 10          | 115                     | 11                 | 570            | 10                 | 250             | 550             |
| 5              |             | $\pm 9 \times 1,78\%$   |                    |                |                    | 200             | 500             |
| 6              |             |                         |                    |                |                    | 300             | 550             |
| 7              | 25          | 230                     | 6,6                | 2190           | 6                  | 800             | 1700            |
| 8              |             | $\pm 10 \times 1,2\%$   |                    |                |                    | 900             | 1500            |
| 9              |             |                         |                    |                |                    | 700             | 1600            |
| 10             | 10          | 38,5                    | 10,5               | 550            | 10                 | 240             | 450             |
| 11             |             | $\pm 8 \times 1,5\%$    |                    |                |                    | 270             | 480             |
| 12             |             |                         |                    |                |                    | 300             | 480             |
| 13             | 16          | 115                     | 6,3                | 1400           | 6                  | 600             | 1400            |
| 14             |             | $\pm 9 \times 1,78\%$   |                    |                |                    | 750             | 1300            |
| 15             |             |                         |                    |                |                    | 700             | 1200            |
| 16             | 32          | 158                     | 11                 | 880            | 10                 | 250             | 550             |
| 17             |             | $\pm 8 \times 1,5\%$    |                    |                |                    | 340             | 650             |
| 18             |             |                         |                    |                |                    | 450             | 800             |
| 19             | 40          | 230                     | 6,6                | 2100           | 6                  | 600             | 1500            |
| 20             |             | $\pm 10 \times 1,2\%$   |                    |                |                    | 900             | 1600            |
| 21             |             |                         |                    |                |                    | 400             | 1400            |
| 22             | 6,3         | $35 \pm 6 \times 1,5\%$ | 10,5               | 600            | 10                 | 200             | 500             |
| 23             |             |                         |                    |                |                    | 300             | 500             |
| 24             |             |                         |                    |                |                    | 250             | 550             |
| 25             | 63          | 158                     | 6,3                | 1730           | 6                  | 700             | 1500            |
| 26             |             | $\pm 8 \times 1,5\%$    |                    |                |                    | 900             | 1600            |
| 27             |             |                         |                    |                |                    | 600             | 1700            |
| 28             | 32          | 230                     | 6,3                | 1980           | 6                  | 800             | 1700            |
| 29             |             | $\pm 9 \times 1,78\%$   |                    |                |                    | 900             | 1500            |
| 30             |             |                         |                    |                |                    | 700             | 1600            |

## Продовження таблиці А1

| Номер<br>варіанту | $\pm\delta U_I, \%$ | $\pm\delta U_{II}, \%$ | $\Delta U_{AI}, \text{кВ}$ | $\Delta U_{BI}, \text{кВ}$ | $\Delta U_{AII}, \text{кВ}$ | $\Delta U_{BII}, \text{кВ}$ |
|-------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1                 | 4                   | 5                      | 0,3                        | 0,45                       | 0,15                        | 0,2                         |
| 2                 | 3                   | 4                      | 0,3                        | 0,4                        | 0,1                         | 0,16                        |
| 3                 | 3,5                 | 3                      | 0,2                        | 0,3                        | 0,05                        | 0,14                        |
| 4                 | 5                   | 2,5                    | 0,2                        | 0,55                       | 0,15                        | 0,25                        |
| 5                 | 4                   | 5                      | 0,3                        | 0,3                        | 0,1                         | 0,15                        |
| 6                 | 3                   | 4                      | 0,25                       | 0,5                        | 0,12                        | 0,2                         |
| 7                 | 4                   | 3                      | 0,3                        | 0,4                        | 0,11                        | 0,15                        |
| 8                 | 3                   | 3                      | 0,2                        | 0,35                       | 0,1                         | 0,14                        |
| 9                 | 5                   | 2,5                    | 0,18                       | 0,3                        | 0,1                         | 0,16                        |
| 10                | 4                   | 3                      | 0,2                        | 0,5                        | 0,15                        | 0,2                         |
| 11                | 3,5                 | 4                      | 0,3                        | 0,43                       | 0,12                        | 0,15                        |
| 12                | 3                   | 5                      | 0,2                        | 0,6                        | 0,2                         | 0,25                        |
| 13                | 4                   | 3                      | 0,2                        | 0,3                        | 0,07                        | 0,16                        |
| 14                | 3                   | 4                      | 0,25                       | 0,35                       | 0,1                         | 0,15                        |
| 15                | 2,5                 | 4                      | 0,2                        | 0,32                       | 0,05                        | 0,12                        |
| 16                | 5                   | 3                      | 0,3                        | 0,5                        | 0,06                        | 0,25                        |
| 17                | 3                   | 5                      | 0,4                        | 0,6                        | 0,1                         | 0,2                         |
| 18                | 4                   | 6                      | 0,3                        | 0,65                       | 0,15                        | 0,3                         |
| 19                | 5                   | 3                      | 0,35                       | 0,7                        | 0,05                        | 0,12                        |
| 20                | 3                   | 3                      | 0,3                        | 0,6                        | 0,12                        | 0,25                        |
| 21                | 3                   | 6                      | 0,4                        | 0,5                        | 0,1                         | 0,2                         |
| 22                | 5                   | 3                      | 0,2                        | 0,4                        | 0,1                         | 0,2                         |
| 23                | 3,5                 | 5                      | 0,18                       | 0,3                        | 0,05                        | 0,15                        |
| 24                | 4                   | 4                      | 0,15                       | 0,35                       | 0,1                         | 0,16                        |
| 25                | 4                   | 5                      | 0,3                        | 0,6                        | 0,1                         | 0,15                        |
| 26                | 3                   | 3                      | 0,4                        | 0,7                        | 0,1                         | 0,2                         |
| 27                | 5                   | 5                      | 0,6                        | 0,8                        | 0,15                        | 0,3                         |
| 28                | 4                   | 3,5                    | 0,3                        | 0,54                       | 0,03                        | 0,15                        |
| 29                | 3                   | 4                      | 0,35                       | 0,4                        | 0,1                         | 0,2                         |
| 30                | 2                   | 5                      | 0,25                       | 0,35                       | 0,13                        | 0,3                         |

Упорядники:  
Заїка Володимир Терентійович  
Ворохов Леонід Петрович  
Рухлова Наталія Юріївна  
Румянцев Андрій Сергійович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ЕПІ-3  
"РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ"  
З ДИСЦИПЛІНИ "ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ"**

Редакційно-видавничий комплекс  
Редактор Ю.В. Рачковська

Підписано до друку . . . . Формат 30x42/4.  
Папір офсетн. Умовн. друк. арк. 0,9  
Обліково-видавн. арк. 0,9. Тираж 40 прим. Зам. №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»  
49027 м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.