

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
будівництва, транспорту та
енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

**ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ**

*методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"*

Кропивницький
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
будівництва, транспорту та
енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

**ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ**

*методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"*

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 13 від 13.02.2023 р.

Кропивницький 2023

Ефективне використання електроенергії в системах енергоспоживання: метод. рекомендації до виконання лабораторних робіт / [уклад. : П.Г. Плешков, В.П. Солдатенко, В.В. Зінзура]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023.– 59 с.

Укладачі:

П. Г. Плешков – канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри ЕТС та ЕМ
В. П. Солдатенко – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ
В. В. Зінзура – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕТС та ЕМ

Рецензент: О. К. Дідик – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. АВП ЦНТУ

© Плешков П.Г., Солдатенко В.П.
Зінзура В.В. 2023
© Центральноукраїнський
національний технічний університет,
2023

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Експериментальна побудова графіків електричних навантажень	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Дослідження оптимального режиму роботи трансформаторів на двохрансформаторній підстанції	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. Експериментальне визначення рівнів вищих гармонік в електричних мережах	26
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. Дослідження параметрів якості електроенергії мережі з тиристорним джерелом живлення печей опору	35
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. Дослідження методів підвищення коефіцієнту потужності асинхронного двигуна	42
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7. Визначення впливу електродугових установок на мережу живлення	48
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8. Дослідження енергетичних параметрів печі опору з автоматичним регулюванням потужності	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	58

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Мета роботи: вивчити методику дослідної побудови графіків навантаження промислових підприємств; визначення коефіцієнтів і параметрів, що характеризують ці графіки.

Теоретичні відомості

Режим роботи споживачів електричної енергії безупинно змінюється протягом доби, тижнів і місяців року. Зміна навантажень електроустановок у перебігу часу прийнято зображувати графічно у виді навантажувальних діаграм.

Розрізняють графіки активних і реактивних навантажень. По тривалості графіки навантажень поділяються на добові і річні.

Добові графіки навантажень споживачів можна побудувати за показниками лічильників активної і реактивної енергії встановлюваних на лініях, що відходять від підстанцій промислових підприємств. Для цього записують показання лічильників через визначений інтервал часу і визначають середню потужність навантаження за цей інтервал.

Розрізняють два типи річних графіків. Перший - графік зміни добових максимумів навантаження. Цей графік дає можливість правильно запланувати вивід електроустановок в ремонт Другий тип - графік по тривалості, що будується по двох добових графіках підприємства - за зимову і літню добу (тривалість зимового періоду - 7 місяців; літнього - 5).

Графіки електричних навантажень промислових підприємств дають можливість правильно і раціонально вибрати джерела живлення, трансформатори на лінії, а також виконати найбільш раціональну схему електропостачання, що забезпечує необхідні рівні напруги, визначити споживання активної і реактивної енергії.

Графіки навантажень характеризуються наступними параметрами і коефіцієнтами:

P_{c3} ; Q_{c3} – відповідно середня активна і реактивна потужності навантаження за найбільш завантажену зміну (середньо змінні);

$$P_{c3} = \frac{W}{T_{c3}}; Q_{c3} = \frac{V}{T_{c3}}$$

де: W і V – відповідно споживання активної і реактивної енергії за найбільш завантажену зміну;

T_{c3} – тривалість зміни;

P_{cp} , Q_{cp} , S_{cp} - середньодобові активна, реактивна і повна потужності навантаження;

P_{max} , Q_{max} , S_{max} - максимуми активної, реактивної і повної потужностей навантажень;

K_u - коефіцієнт використання; для найбільш завантаженої зміни: $K_u = \frac{P_{c3}}{P_n}$ для добового графіка: $K_u = \frac{P_{cp}}{P_n}$

де:

P_n - номінальна потужність електроприймачів, (для графіка навантаження який розглядається в даній лабораторній роботі ($P_n = 900 \text{ кВт}$));

K_{max} - коефіцієнт максимуму навантаження, визначається для найбільш завантаженої зміни: $K_{max} = \frac{P_{max}}{P_{c3}}$

K_n - коефіцієнт навантаження: $K_n = \frac{P_{cp}}{P_{max}}$

P_e , Q_e , S_e - ефективні (середньоквадратичні) активне, реактивне і повне навантаження добового графіка.

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_i^2 t_i}{t_1 + t_2 + \dots + t_i}}$$

де:

$P_1, P_2, \dots, P_i$ - середні навантаження за інтервали часу між вимірами показань лічильника;

$t_1, t_2, \dots, t_i$ - інтервали між вимірами;

Якщо інтервали часу між вимірами рівні, то:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_i^2}{i}}; Q_e = \sqrt{\frac{Q_1^2 + Q_2^2 + \dots + Q_i^2}{i}}; S_e = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_i^2}{i}}$$

де:

i - число вимірів.

Середній за добу коефіцієнт потужності: $\cos(\varphi_{cp}) = \frac{P_{cp}}{\sqrt{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}}$

Середньозважений коефіцієнт потужності:

$$\cos(\varphi_{св}) = \frac{W_p}{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}$$

де:

W_p - річне споживання активної енергії;

V_p - річне споживання реактивної енергії;

T_{max} - число годин використання максимуму активного

навантаження: $T_{max} = \frac{W}{P_{max}}$

$T_{max.p}$ - число годин використання максимуму реактивного

навантаження: $T_{max.p} = \frac{V}{Q_{max}}$

α - коефіцієнт змінності: $\alpha = \frac{P_{cp.p}}{P_{сз}}$

де:

$P_{CP.G}$ - середньорічне активне навантаження: $P_{cp.p} = \frac{W_p}{8760}$

Опис установки

У даній лабораторній установці моделюється фідер, що відходить від РУ заводської підстанції. Напряга на шинах РУ 10,5 кВ.

Струмові обмотки лічильників активної і реактивної енергії підключені до трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації: $K_{m,m} = \frac{50A}{5A}$.

Котушки напруги цих лічильників підключені до трансформатора напруги з коефіцієнтом трансформації: $K_{m,n} = \frac{10000B}{100B}$.

На стенді приведена мнемонічна схема модельованої установки і встановлені лічильники активної і реактивної енергії. Живлення на стенд подається автоматом.

Записувати показання лічильників з інтервалом часу 30 хв., як це робиться неможливо. Тому інтервал часу між записами показань лічильника приймається рівним 1 хв.

У лабораторній установці за допомогою спеціальної схеми автоматики здійснюється східчаста зміна навантаження по заданій програмі. Схема включається і відключається кнопкою “У”.

Кнопка “КУ” служить для переключення ступеней навантаження вручну.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою і порядком проведення вимірів показань лічильників.

2. Зняти показання лічильників активної і реактивної енергії за зимовий день і занести їх у таблицю. За літній день навантаження приймається на 15% нижче.

3. Побудувати добові графіки активного і реактивного навантаження за зимовий і літній дні та визначати:

а) максимум активного і реактивного навантажень - $P_{\max}, Q_{\max}$;

б) середні навантаження для найбільш завантажених змін зимнього і літнього днів $P_{сз}, Q_{сз}$ (тривалість змін дорівнює 8 год., починаючи з 0 годин);

в) середньодобові навантаження за зимовий і літній дні: $P_{ср}, Q_{ср}$;

г) коефіцієнти використання по активній і реактивній потужності для літнього і зимового днів;

д) коефіцієнти навантаження і коефіцієнти максимуму для усіх графіків;

е) коефіцієнти потужності в момент максимуму та середньо добове його значення.

4. Побудувати річні графіки активного і реактивного навантажень по тривалості, прийнявши кількість зимових днів 213 і літніх 152
Визначити:

а) річне споживання активної і реактивної енергії: W_p, V_p ;

б) середні річні навантаження: $P_{cp.p}, Q_{cp.p}$;

в) число годин використання максимумів активної і реактивної навантажень: $T_{max}, T_{max.p}$;

г) середньозважене значення коефіцієнта потужності $\cos(\varphi_{св})$;

д) коефіцієнт змінності для активного навантаження – α .

Таблиця 1.1. Результати експериментальних досліджень

години доби	Показання лічильника, активної енергії, обертів	Різниця показань, обертів	Р, кВт	Показання лічильника реактивної енергії, обертів	Різниця показань, обертів	Q, квар
1	2	3	4	5	6	7
0						
1						
2						
...						
24						

Споживана потужність (активна і реактивна) визначається як

$$P = \frac{K_{m.m} K_{m.n} 3600n}{ct} ;$$

де:

n - різниця показань лічильника наприкінці і на початку прийнятого інтервалу часу в обертах;

c - постійна лічильника, прийняти 1000 на 1 кВт год;

t - інтервал часу між вимірами в сек.

Вимоги до звіту

Звіт по лабораторній роботі повинний містити:

1. Схему модельованої установки;
2. Таблиці з записами показань приладів;
3. Графіки активних і реактивних навантажень зимової і літньої доби;
4. Річні графіки по тривалості активного і реактивного навантаження.
5. Визначення всіх необхідних коефіцієнтів і параметрів добових і річних графіків.

Контрольні питання

1. З якою метою знімаються графіки навантажень на промпідприємствах?
2. Що таке коефіцієнт використання, як він визначається?
3. Чому рівні коефіцієнти максимуму навантаження для досліджуваного графіка?
4. Число годин використання максимуму навантаження і його визначення.
5. Що таке середньозважений коефіцієнт потужності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ДВОХТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ

Мета роботи: вивчити метод розрахунку автоматичного регулювання економічно доцільного режиму роботи трансформаторів при зміні навантаження.

Теоретичні відомості

Споживання електричної енергії промисловими підприємствами змінюється в широких межах. Трансформатори цехових підстанцій у зв'язку з цим ніколи не працюють при постійному навантаженні. При різко змінному навантаженні і при роботі цеху в другій і третій змінах цехові трансформатори протягом багатьох годин виявляються навантаженими усього на 20-30%.

Робота трансформаторів з таким завантаженням не економічна і тому з метою економії електроенергії вигідніше замість одного трансформатора, розрахованого на повну потужність цеху, встановлювати два трансформатори половинної потужності. При повному навантаженні працюють два трансформатори, а при навантаженні менше економічно доцільної, один з них відключається чи вручну або автоматично. При підвищенні навантаження до економічно доцільного значення проводиться включення другого трансформатора.

Відключити або включити трансформатор при зміні навантаження вручну не завжди зручно, а шляхом застосування нескладної автоматики вдається значно знизити втрати електроенергії за рахунок економічної роботи трансформаторів (зменшення втрат холостого ходу).

З метою зменшення потужності короткого замикання, тобто для забезпечення стійкості низьковольтної апаратури до дії струмів К.З. необхідно забезпечити роздільну роботу трансформаторів. Навантаження між ними розподіляється порівну. При відключенні одного трансформатора на стороні низької напруги включается шинний автомат, чим забезпечується нормальна робота всіх споживачів через один трансформатор.

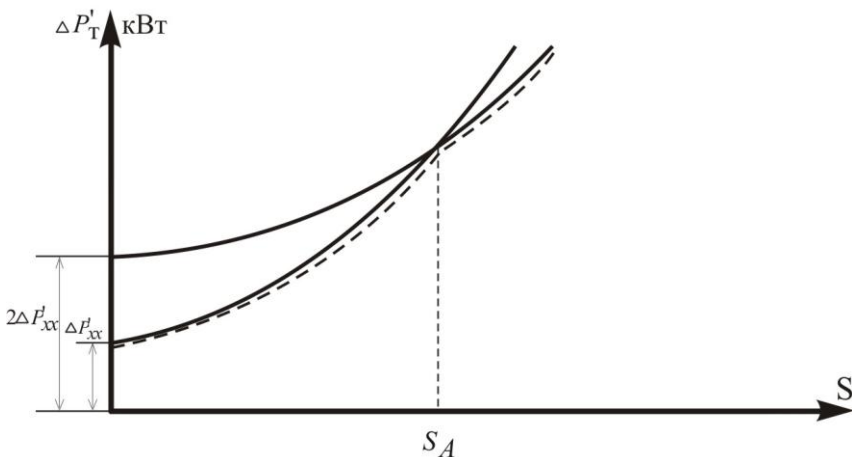


Рис. 2.1. Залежність приведених втрат активної потужності $\Delta P'_T$ від навантаження.

1. Працює один трансформатор;
2. Працюють два трансформатори.

Опис установки

Лабораторний стенд виконаний у вигляді панелі на який з лицьової сторони змонтована мнемонічна схема лінії і трансформаторних підстанцій з вимикачами й апаратурою автоматики і вимірювання.

В якості силових трансформаторів цехових підстанцій встановлені два однофазних трансформатори, 220/14 В, Р=175 Вт - моделі тр-рів з параметрами:

$$S_{нт} = 400 \text{ кВА}; U_1 = 10 \text{ кВ}; U_2 = 0.23 \text{ кВ}; K_{тт} = 15/5;$$

$$\Delta P_{xx} = 0,92 \div 1,08; \quad \Delta P_{кз} = 5,5 \div 5,9 \text{ кВт}; I_{xx} = 2,1\%; U_{кз} = 4,5\%;$$

$$K_{пп} = 0,1 \text{ кВт/кВар}.$$

Сутність економічно доцільного режиму роботи трансформаторів визначається умовою, що забезпечують мінімум втрат потужності в цих трансформаторах при роботі їх за графіком навантаження. Відомо, що; приведені втрати в трансформаторах визначаються за рівнянням:

$$\Delta P'_m = \Delta P'_{xx} + \Delta P'_{кз} \cdot K_3^2$$

де:

$\Delta P'_{\text{хх}} = \Delta P_{\text{хх}} + K_{\text{пп}} \cdot \Delta Q_{\text{хх}}$ - приведені втрати потужності х.х. трансформатора;

$\Delta P'_{\text{кз}} = \Delta P_{\text{кз}} + K_{\text{пп}} \cdot \Delta Q_{\text{кз}}$ - приведені втрати потужності К.З.

Порядок виконання роботи

Ознайомившись з метою роботи, загальними відомостями і описом лабораторного стенда, необхідно вивчити схему автоматичного, регулювання економічно доцільного режиму роботи трансформаторів при зміні навантаження. Потім по наведених формулах розрахувати потужність S_A (Рис. 2.1.). Визначивши S_A , при якій втрати в одному трансформаторі дорівнюють втратам у двох, знаходять відповідно струм I_A і потім уставку струмового реле РТ-1.

I_{1p} - струм установки РТ-1: $I_1 = I_A = S_1 / (\sqrt{3} \cdot U_1)$; $I_{1p} = I_1 / K_{mm}$; $U_1 = 10 \text{ кВ}$, що другий трансформатор не включиться при пуску і самозапуску двигунів і при К.З. в трансформаторі і не відключиться при короточасних скидах навантаження. Для цього беруть витримку часу реле РВ-1 і РВ-2 на дві ступені вище в порівнянні з основним захистом трансформатора.

Відповідно до схеми на рис. 2.1, на лабораторному стенді зібрати схему, поставити уставку на РТ-1.

Після включення пакетного вимикача натискаємо кнопку П1, що приводить до включення контакторів К1 і К2, тобто трансформатор Т1 включений. (При включенні К1 і К2 загоряються сигнальні лампочки В1 і В2). Навантаження в даний момент менше S_A . Натисканням кнопки П2 вручну включаємо контактори К3 і К4. Але тому що потужність навантаження менше S_A , то реле РВ-2 виключає К3 і К4. Змінюємо навантаження за допомогою реостата до значення $\geq S_A$. В цьому випадку РВ-2 включить К3 і К4, тобто включить трансформатор Т2. Натисканням кнопки С2 відключимо Т2, але РВ-2, з витримкою часу, знову - включить другий трансформатор. При зниженні навантаження нижче S_A трансформатор Т2 виключається.

При роботі двох трансформаторів втрати потужності дорівнюють:

$$\Delta P_{1,2} = 2\Delta P'_{xx} + \frac{2\Delta P'_{k3}}{S_{нт}^2} \cdot \left(\frac{S}{2}\right)^2$$

Якщо підставити S_A замість S , то одержимо:

$$\Delta P'_{xx} + \Delta P'_{k3} \cdot \frac{S_A^2}{S_{нт}^2} = 2\Delta P'_{xx} + \frac{1}{2} \cdot \frac{P'_{k3} \cdot S_A^2}{S_{нт}^2}$$

$$\text{Звідки: } S_A = S_{нт} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{k3}}}$$

При такому навантаженні однаково доцільно працювати на одному чи двох трансформаторах.

$$K_3 = \frac{S}{S_{нт}} - \text{коефіцієнт завантаження трансформатора};$$

$K_{пп}$ - коефіцієнт підвищення втрат (вводиться для обліку активних втрат у живлячій мережі, які утворюються при передачі потужності реактивних втрат трансформатора).

$K_{пп} = 0,02 \div 0,12 \text{ км/кВА}$ - в залежності від віддаленості споживача від джерела живлення та конфігурації мережі;

S - фактичне навантаження трансформатора, кВА;

$S_{нт}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$$\Delta Q_{xx} = S_{нт} \cdot \frac{I_{xx}, \%}{100} - \text{реактивні втрати х.х. трансформатора, кВар};$$

$\Delta Q_{k3} = S \cdot \frac{U_{k3}, \%}{100}$ - реактивні втрати короткого замикання, трансформатора.

З рис. 2.1. видно, що, при навантаженні, менше S_A вигідніше працювати на одному трансформаторі, а при навантаженні більше S_A – на двох.

Зміст звіту

Звіт повинний містити:

1. Розрахунок потужності навантаження S_A .
2. Розрахунок струму уставки реле РТ-1.
3. Схему автоматики рис.2.
4. Пояснення результатів дослідів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

ПОТУЖНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК

Мета роботи: вивчення схем автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок пром підприємств по напрузі на шинах підстанції і по струму навантаження, розрахунок установок регулюючої автоматики.

Теоретичні відомості

Більшість промислових підприємств мають нерівномірний добовий графік активного і реактивного навантаження. Це особливо характерно для підприємств машинобудівної галузі промисловості.

У зв'язку з цим у ряді випадків необхідно автоматично регулювати потужність пристроїв компенсації реактивних навантажень.

На пром підприємствах в якості компенсуючих пристрої зазвичай використовуються статичні конденсатори і перезбуджені синхронні двигуни.

Автоматичне регулювання потужності статичних конденсаторів здійснюється шляхом періодичного автоматичного включення і відключення частини всієї батареї конденсаторів.

Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок (КУ) може здійснюватися у функції рівня напруги, струму навантаження, напрямку реактивної потужності, часу доби й у функції комбінованого параметра, наприклад, по напрузі з корекцією по струму навантаження тощо.

а) Автоматичне регулювання потужності КУ по напрузі на шинах підстанції.

Цей спосіб регулювання потужності КУ доцільний у тих випадках, коли для споживачів пром підприємств потрібно забезпечити мінімальне відхилення величини робочої напруги від номінальної.

У цьому випадку КУ, поряд з основною функцією - підвищенням коефіцієнта потужності споживачів електроенергії використовується (у сполученні з іншими засобами) для регулювання напруги. Регулювання

потужності КУ здійснюється ступенями, отже регулювання напруги також буде здійснюватися ступенями.

Регулювання напруги конденсаторами економічно і доцільно тільки в тому випадку, якщо воно зв'язано з підвищенням коефіцієнта потужності. Регулювання напруги за допомогою КУ, пов'язане зі збільшенням перетоків реактивної потужності в живильних лініях і, отже, збільшенням втрат у них, неекономічне.

Основною вимогою до режиму регулювання по напрузі з допомогою конденсаторної установки, яка підключена до шин підстанції є наступне: напруга, що підтримується трансформатором і КУ на затискачах електроприймачів не повинне виходити з зони що допускаються ДЕСТом напруг, як на затисках у найбільше "віддаленого" електроприймача, так і "найближчого" до шин споживача.

Виходячи з цієї вимоги, верхня $U_{верх}$ і нижня $U_{ниж}$ межі допустимих напруг на шинах підстанції визначаються з виразів:

$$\begin{aligned} U_{верх} &= U_H + \Delta U_C' + \delta U'; \\ U_{ниж} &= U_H + \Delta U_C'' - \delta U'' \end{aligned} \quad (3.1)$$

де: U_H - номінальна напруга мережі;

$\Delta U_C'$ - втрата напруги в мережі від шин підстанції до "найближчого" електроприймача;

$\Delta U_C''$ - те ж, що і $\Delta U_C'$, але для найбільш віддаленого електроприймача;

$\delta U'$ и $\delta U''$ - припустимі верхні $\delta U'$ і нижній $\delta U''$, межі відхилень напруги на затисках електроприймачів.

При розрахунку режимів регулювання КУ визначається $U_{верх}$, $U_{ниж}$ для режимів мінімального і максимального навантаження підстанції. Отримані значення $U_{верх}$ і $U_{ниж}$ визначають зону допустимих напруг на шинах підстанції при зміні навантаження від мінімального значення до максимального.

При цьому оптимізація режиму напруги складається в підтримці напруги на шинах підстанції по можливості ближче до верхньої границі зони, тому що при цьому досягається мінімум втрат електроенергії (Л-1).

Тому що втрата напруги в мережі від шин підстанції до найближчого споживача $\Delta U'_C$ звичайно не значна (живильні лінії мають невелику довжину) і дорівнює нулю, якщо споживач живиться безпосередньо від шин підстанції, то ΔU_C можна знехтувати і формули (3.1) можна записати у вигляді:

$$U_{верх} = U_n + \delta U';$$

$$U_{ниж} = U_n + \Delta U_C'' - \delta U''$$

Для розрахунку режимів роботи регульованої по напрузі КУ необхідно так вибрати уставки автоматики на включення й відключення КУ, щоб напруга на шинах підстанції при зміні навантаження від мінімального значення до максимального підтримувалося ближче до верхньої границі зони допустимих напруг. Розрахунок уставок реле напруги проводиться графоаналітичним методом.

Для цього:

1. По формулі (2) визначається значення $U_{верх}$ і $U_{ниж}$ для режимів мінімального і максимального навантажень і будується зона припустимих відхилень напруги на шинах підстанції, рис.1.

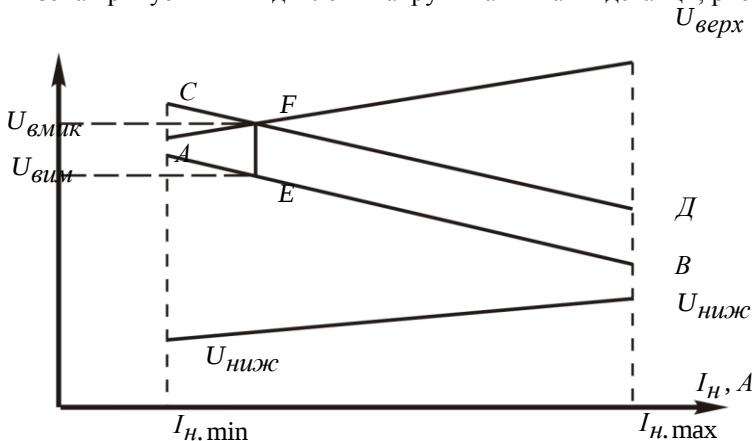


Рис. 3.1. Зміна напруги в залежності від струму навантаження

Втрата напруги до найбільш віддаленого електроприймача визначається по формулі:

$$\Delta U_c'' = \sqrt{3} \cdot I_n (r_c \cos(\varphi) + x_c \sin(\varphi))$$

де: I_n – номінальний струм приймача;

r_c, x_c – активний і індуктивний опір ділянки мережі від шин підстанції до затисків електроприймача.

2. По відомому відхиленню напруги на шинах вищої напруги (ВН) трансформатора підстанції визначається відхилення напруги на шинах нижчої напруги (НН) підстанції, для режиму максимального і мінімального навантажень (при відключеній КУ).

Відхилення напруги на шинах НН підстанції (%) визначається за формулою:

$$\delta U_{НН} = \delta U_{ВН} + \delta U_m - \Delta U_m, \%$$

де: $\delta U_{ВН}$ - відхилення напруги на шинах ВН підстанції;

δU_m - “добавка” трансформатора, % приймається рівній обраному відгалуженню трансформатора;

ΔU_m - утрата напруги в трансформаторі, % визначається за формулою:

$$\Delta U_m = \beta (U_a \cos(\varphi) + U_p \sin(\varphi)) + \frac{\beta^2}{200} (U_a \sin(\varphi) - U_p \cos(\varphi))$$

де: β – відношення фактичного навантаження трансформатора до його номінальної потужності (коефіцієнт завантаження);

U_a - активна складова напруги короткого замикання, (КЗ);

U_p - реактивна складова напруги (КЗ);

U_a і U_p визначається по наступним формулах:

$$U_p = \sqrt{U_{k\%}^2 - U_{a\%}^2} \cdot U_a = \frac{\Delta P_{КЗ}}{S_n} \cdot 100\%$$

де: $U_{k\%}$ - напруга короткого замикання трансформатора;

$\Delta P_{КЗ}$ - потужність К.З. трансформатора;

S_H - номінальна потужність трансформатора.

3. Визначається напруга на шинах підстанції, у режимі мінімального і максимального навантаження за формулою (8.) і будується пряма АВ (рис.1).

$$U_m = U_H + \frac{\delta U_{HH}}{100} U_H$$

де: U_H - номінальна напруга на шинах НН підстанції.

4. Проводиться розрахунок напруг на шинах підстанції в режимі мінімального і максимального навантаження при включеному КУ (формули 3-8) і будується пряма СД.

При цьому коефіцієнт завантаження трансформатора β визначається за формулою:

$$\beta = \frac{\sqrt{P_{нав}^2 + (Q_{нав} - Q_{ку})^2}}{S_H}$$

де: $P_{нав}, Q_{нав}$ - активне і реактивне навантаження підстанцій;

$Q_{ку}$ - потужність конденсаторної установки;

S_H - номінальна потужність трансформатора.

Опис установки

У лабораторній роботі моделюється цехова трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ; до шин якої підключена конденсаторна установка КУ і фідери споживачів. Лабораторна робота зібрана на стенді, де змонтовані всі прилади, реле, навантажувальні дроселі і лампи.

Зовнішній вигляд стенда приведений на рис. 3.2. На стенді також приведена схема модельованої підстанції, і схема релейної частини регульованої конденсаторної установки.

При виконанні розрахунків показання всіх приладів (з обліком прийнятих при розробці стенда масштабів повинні збільшуватися на наступні коефіцієнти:

<u>ПРИЛАД</u>	<u>КОЕФІЦІЄНТ</u>
Вольтметр	$n_V = 1.73$
Амперметр	$n = 333$
Кіловатметр	$n_W = 1000$

Наприклад, потужність навантаження підстанції через показання приладів визначається як

$$S_{нав} = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot n_V \cdot I_a \cdot n_a)$$

де: U_V і I_a - показання відповідних приладів стенда.

Необхідні для розрахунку лабораторної роботи вихідні дані приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Вихідні дані до розрахунку

Трансформатор п/ст				Шини ВН п/ст	Потужність КУ	Вилучений ел. приймач			
						струм		мережа	
S, кВА	U _K , %	ΔP _{кз} , кВт	δU _т , %	δU _{ВН} , %	Q _{КУ} , квар	I _{min} , А	I _{max} , А	r _с , Ом	x _с , Ом
1000	10	12	0		450				

Завдання і методика проведення роботи

1. Регулювання потужності КУ по напрузі.

а) Після ознайомлення з лабораторним стендом подають живлення на стенд і поставивши регулятор потужності навантаження в положення S_{min} , а потім у положення S_{max} по показниках приладів (з урахуванням прийнятих коефіцієнтів) визначають потужність навантаження в максимальному і мінімальному режимі, табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Дослідні та розрахункові дані

Дослід			Розрахунок			
Режим	I _{нагр} , А	P _{нагр} , кВт	P _{нагр} , кВт	S _{нагр} , кВА	Q _{нагр} , квар	Cos(φ) _{нагр}
Минім. 1						
Максим. 4						

б) Проводиться розрахунок зони допустимих напруг на шинах підстанції для мінімального і максимального режиму і проводяться всі необхідні графічні побудови.

в) Проводиться розрахунок напруг на шинах 0,4 кв п/ст. для випадку:

1. КУ відключена;

2. КУ включена.

для режимів мінімального і максимального навантажень.

г) Виробляється розрахунок уставок реле напруги і їхня установка на реле.

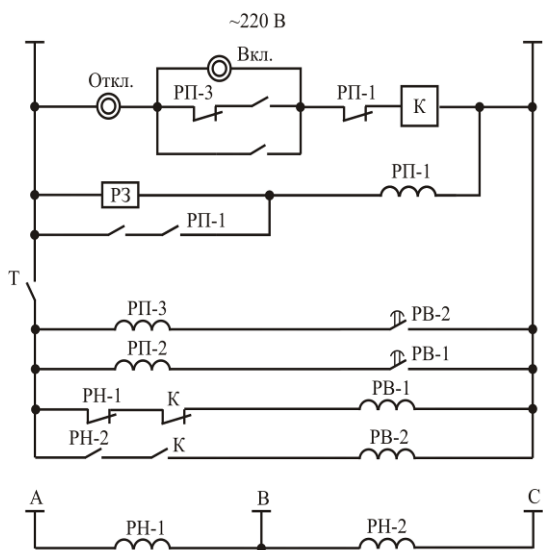


Рис.3.

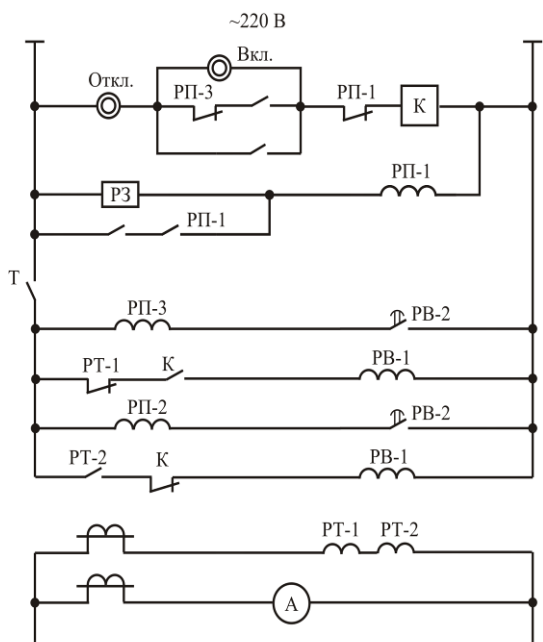


Рис.4.

д) Збирається схема, рис.3. і збільшуючи навантаження від “ $S_{\min}$ ” до “ $S_{\max}$ ” перевіряється дія автоматики. При цьому при всіх значеннях навантаження вольтметр повинний показувати напруги не вихідні з зони припустимих.

е) Відключивши вимикачем Т - ланцюга автоматики, уключивши кнопкою "пуск" КУ змінюючи навантаження від “ $S_{\min}$ ” до “ $S_{\max}$ ” переконуються, що при відсутності регулювання КУ по напрузі напруга на шинах підстанції виходить за зону припустимих значень.

2. Регулювання КУ по струму навантаження.

а) Розраховуються уставки токових реле, і виробляється їхня установка.

б) Збирається схема рис.4.

в) Змінюючи навантаження від “ $S_{\min}$ ” до “ $S_{\max}$ ” перевіряється дія автоматики на включення і відключення КУ.

З рис.1, випливає, що різниця ординат крапок А и С представляє зміну напруги на шинах підстанції при включенні КУ. З аналізу рис.1 випливає, що включення КУ повинне вироблятися при зниженні напруги нижче чим напруга в крапці Е тоді при включенні КУ напруга на шинах п/ст не перевищить $U_{\text{верх}}$.

З обліком цього уставка реле напруги на включення КУ визначається по виразу:

$$U_{\text{вмик}} = U_E \cdot \alpha_1$$

де: U_E - напруга в крапці Е обумовлене з графічної побудови, рис.1.

α_1 - коефіцієнт запасу приймається рівним 0,98.

Включення КУ повинне відбуватися тоді, коли напруга на шинах перевищить напругу в точці F, рис.1. Уставка реле напруги на відключення КУ вибирається за умовою:

$$U_{\text{вим}} = U_F$$

де: U_F - напруга в крапці F.

Для того, щоб автоматика не спрацьовувала при короточасних поштовхах і скиданнях навантаження в схемі регулювання передбачено реле часу.

Уставки реле часу вибираються в межах 5÷10 сек.

б) Регулювання потужності КУ по струму навантаження.

Якщо компенсуюча КУ реактивна потужність різко міняється в плинні доби, то регулюванні КУ доцільно здійснювати (Л-1) у залежності від споживаного струму за допомогою токових реле.

Регулювання КУ здійснюється за допомогою двох токових реле, включених на одну фазу, рис.4.

а) На включення КУ:

$$I_{cp} = \frac{0,3 \cdot I_{н. \max}}{\eta_{mt}}$$

де: $I_{н. \max}$ - максимальний струм, навантаження;

η_{mt} - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

б) На відключення КУ:

$$I_{cp} = \frac{0,2 \cdot I_{н. \max}}{\eta_{mt}}$$

Вимоги до звіту

Звіт по лабораторній роботі повинний містити:

1. Схеми автоматичного регулювання потужності, КУ.
2. Таблиці з записом показань приладів і розрахунками.
3. Графічний розрахунок уставок реле напруги.

Контрольні питання

1. По яких параметрах виробляється автоматичне регулювання потужності КУ.
2. У яких випадках доцільно застосовувати регулювання потужності КУ по напрузі, по струму навантаження.
3. Як виконується розрахунок зони допустимих напружень на шинах підстанції.
4. Вимоги нормативних документів до величин припустимих відхилень напруги на затисках різних електроприймачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Мета роботи: ознайомлення з вищими гармоніками в електричних мережах промислових підприємств і методикою розрахунку і виміру коефіцієнту несинусоїдальності напруги. Вибір засобів і заходів щодо зниження несинусоїдальності напруги.

Теоретичні відомості

Сучасний розвиток електроустаткування промислових підприємств відрізняється великим поширенням електроприймачів з несприятливими з погляду роботи системи електропостачання характеристиками. Вищі гармоніки напруги і струму несприятливо впливають на електроустаткування системи автоматики, релейного захисту і телемеханіки. З'являються додаткові втрати в електричних машинах трансформаторах і мережах, ускладнюється компенсація реактивної потужності за допомогою батарей статичних конденсаторів.

Викривлення форм криві напруги позначається на значенні коефіцієнта потужності й обертання моменту електродвигунів. Рівень додаткових активних втрат складає 2-4% при синусоїдальній напрузі. У мережах підприємств великих промислових центрів, а також у мережах електрифікованого залізничного транспорту ці втрати сягають 10-15%.

Причиною появи несинусоїдальності напруг і струмів можуть бути, як генератори струму так і приймачі електроенергії. У генераторах однією з причин викривлення ЕРС є несинусоїдальний розподіл магнітної індукції в повітряному зазорі через наявність у якоря зубців і впадин, реакції якоря і т.д. Несинусоїдальні струми з'являються в ланцюзі у всіх випадках роботи приймачів енергії з нелінійними опорами (електрична дуга, випрямляча). Це: ртутно-випрямні і тиристорні перетворювачі; дугові сталеплавильні печі; силові трансформатори (криві їхніх струмів, що намагнічують, несинусоїдальні) силові магнітні підсилювачі (МП).

Перераховані джерела генерують, в основному, непарні гармоніки канонічних порядків. Причому для вентильних перетворювачів порядок гармонік визначається фазністю випрямляча.

Генерування вищих гармонік струму і напруги в трансформаторах вентилях перетворювачів спричиняє появу таких же гармонік напруги в мережі, що живить ці трансформатори, тобто приводить до несинусоїдальності напруги. Синусоїда струму первинної обмотки трансформатора, що живить випрямні установки істотно спотворюється, однак вона залишається періодичною і симетричною щодо осі часу. При розкладанні цієї функції в ряд Фур'є, крім синусоїди (гармоніки) основної частоти з'являються також синусоїди (гармоніки) вищих частот.

Змінна величина x зв'язана з часом t_1 співвідношенням:

$$x = \omega t = 2\pi \frac{t}{T}$$

де: T - період функції в часі.

Таким чином, період функції по x дорівнює 2π , за часом період функції дорівнює T , ряд Фур'є:

$$f(x) = A_0 + A_1' \cdot \sin(x) + A_2' \cdot \sin(2x) + A_3' \cdot \sin(3x) + \dots + \\ + A_1'' \cdot \cos(x) + A_2'' \cdot \cos(2x) + A_3'' \cdot \cos(3x) + \dots$$

де: A_0 - постійна складова;

A_1' - амплітуда синусної (що змінюється за законом синуса) складової

1-ої гармоніки;

A_1'' - амплітуда косинусної складової 1-ої гармоніки;

A_2'' - амплітуда синусної складової 2-ї гармоніки і т.д.

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx$$

$$A_1' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(x) dx; \quad A_1'' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(x) dx$$

$$A_k' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx) dx; \quad A_k'' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx) dx$$

$$\text{Тому що: } A_k' \sin(kx) + A_k'' \cos(kx) = A_k(kx + \varphi_k)$$

де:

$$A_k = \sqrt{(A_k')^2 + (A_k'')^2} \quad \text{і} \quad \operatorname{tg}(\varphi_k) = \frac{A_k''}{A_k'},$$

то ряд Фур'є, може бути записаний в іншій формі:

$$f(x) = A_0 + A_1 \sin(x + \varphi_1) + A_2 \sin(x + \varphi_2) + \dots = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(kx + \varphi_k)$$

де: A_k - амплітуда k - гармоніки ряду Фур'є.

Гармоніки для яких k - число парне називаються парними гармоніками; гармоніки для яких k - число непарне - непарними.

Криві, для яких виконується властивість:

$$-f(x + \pi) = f(x)$$

називаються симетричними щодо осі абсцис. У розкладанні таких кривих у ряд Фур'є відсутні постійна складова і парні гармоніки, тобто

дорівнюють нулю коефіцієнти: $A_0 = A_2' = A_2'' = A_4' = A_4'' = 0$

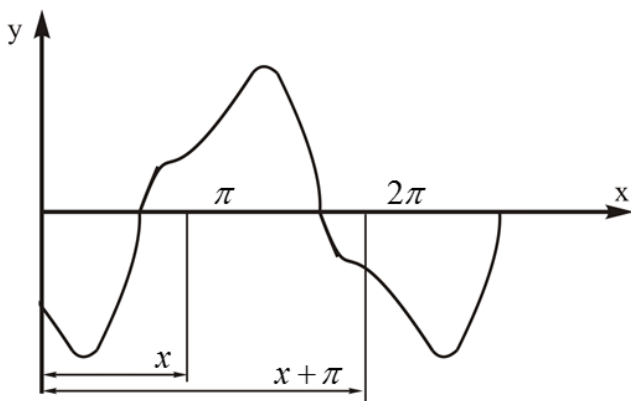


Рис.1.

Тому криві такого роду розкладаються в наступний ряд:

$$f(x) = A_1' \sin(x) + A_1'' \cos(x) + A_3' \sin(3x) + A_3'' \cos(3x) \dots$$

Кожен доданок такого ряду задовольняє умові: $-f(x + \pi) = f(x)$

Наприклад: $-\sin(x + \pi) = \sin(x)$. Маючи графік кривої можна розкласти його графічним шляхом у ряд Фур'є і визначити гармоніки.

Трансформатори ГЗП створюють 5-ю гармоніку невеликої величини. Люмінесцентні лампи створюють 3-ю гармоніку величиною до 30% першої гармоніки, що складаючись у нульовому проводі 380/220 В, обумовлюють струм у ньому майже рівним току у фазному проводі.

Дугові печі є джерелами гармонік порядку:

$$n = 5; 7; 11; 13$$

Відповідно до додатка до ДСТ 13109-97 гармоніки вище 13-го порядку не враховуються.

Несинусоїдальність напруги характеризується значенням коефіцієнта несинусоїдальності:

$$K_{nc} = K_d = \sqrt{\frac{\sum_{\nu=m-1}^{\nu_n} U_{\nu}}{U_1}} \cdot 100\%$$

де: U_{ν} - фазна чи лінійна напруга i -й гармоніки;

U_1 - фазна чи лінійна напруга першої гармоніки, що при розрахунках можна прийняти рівним номінальній напрузі мережі;

ν - номер гармоніки;

ν_n - граничний номер гармоніки, який варто враховувати при розрахунку;

m - число фаз випрямлення;

K_d - коефіцієнт, що враховує вплив на значення нормальних гармонік струму вентильних перетворювачів, а також гармонік намагнічуючих струмів.

Припустимо значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги складає 5% на виводах будь-якого електроприймача.

Зниження несинусоїдальності напруги може бути досягнуте різними способами, такими як збільшення потужності короткого замикання на шинах перетворювачів, побудова і вибір параметрів мережі таким чином, щоб виключити вищі гармоніки. Найбільш розповсюдженим технічним засобом є силові резонансні фільтри визначеної вищої гармоніки, що настроюються на частоту, так щоб опір реактора на частоті гармоніки дорівнював опорі конденсаторних батарей.

Фільтри включаються в зірку з ізолюваної нейтраллю, до нульової точки фільтра доцільно підключати реактор, тому що при цьому корпусна ізоляція конденсаторів одержує менше напругу щодо землі. Крім погашення вищих гармонік фільтри є джерелами реактивної потужності на першій гармоніці і, отже, можуть використовуватися як джерела реактивної потужності.

Опис установки

Для визначення поточного значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги використовується аналізатор несинусоїдальності типу АН. На мал.2. приведено мнемонічну схему перетворюючої підстанції.

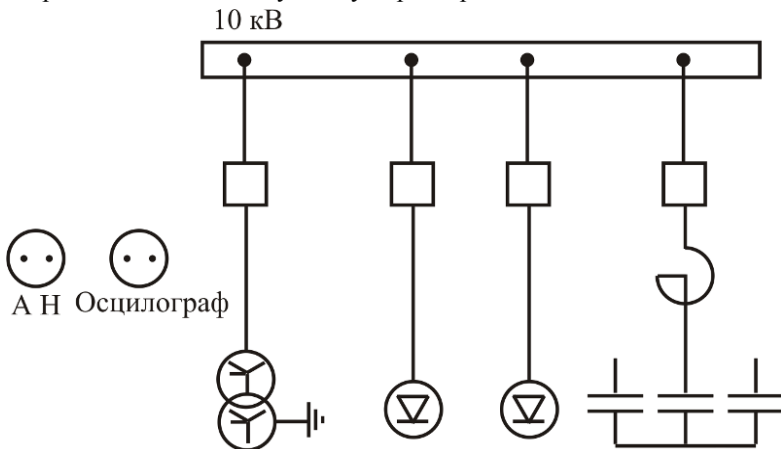


Рис.2. Мнемонічна схема перетворюючої підстанції.

Аналізатор АН дозволяє визначити несинусоїдальність форми кривої напруги в електричних мережах змінного струму частотою 50 Гц і реагує на діюче значення усіх вищих гармонік.

Аналізатор АН забезпечує визначення несинусоїдальності безпосередньо візуальним відліком і спільною роботою з осцилографом.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з передньою панеллю аналізатора і технічним описом.

2. Установити стрілку амперметра в нульове положення за допомогою коректора (конструктивно передбачений отвір на лицьовій стороні).

3. Установити перемикач "Напрямок живлення" у положення відповідне досліджуваній напрузі.

4. Установити перемикач "Межі виміру" у положення "Мережа". Підключити аналізатор АН до досліджуваної напруги. Установити ручкою "Калібрування" повне відхилення стрілки на шкалі мікроамперметра.

5. Установити перемикач "Межа виміру" у положення "50" і ручкою "Настроювання" домогтися мінімального показання вимірювального приладу аналізатора АН. Зробити відлік несинусоїдальності.

6. Якщо цей відлік менше 10%, то установити перемикач "Межі виміру" у положення "10" і зробити відлік несинусоїдальності.

7. Після визначення несинусоїдальності досліджуваної напруги перемикач "Межі виміру" установити в положення "Мережа", а перемикач "Напруга живлення" у положення 380 В.

8. Підключити до виводів "Осцилограф" на стенді - осцилограф і змалювати форму кривої напруги.

9. За заданим значенням потужності короткого замикання на шинах підстанції S_k МВА. Робочій напрузі U_H кВ і величинам струмів гармонік зробити розрахунок фільтрів відповідно до таблиці 1.

10. Після проведення розрахунків включити фільтр на стенді і визначити як п.п.1-6 величину несинусоїдальності напруги і зняти форму кривої по осцилографу.

Таблиця 1.

Розрахунок фільтрів вищих гармонік

№	Вихідні чи розраховані величини, позначення	Розрахункові формули	Гармоніки	Числове значення
ВИХІДНІ ДАНІ				
1	Потужність трифазного замикання на шинах підстанції S_k , МВА			
2	Робоча напруга U_H , кВ			

№	Вихідні чи розраховані величини, позначення	Розрахункові формули	Гармоніки	Числове значення
3	Номінальна напруга конденсаторів $U_{н.к}$, кВ			
4	Розрахункові величини струмів гармонік $I_{н.к}$, А		Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
ВИБІР БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРІВ ДЛЯ ФІЛЬТРІВ				
5	Орієнтована потужність батарей конденсаторів, обумовлена струмом гармоніки, квар	$Q = \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ли} \cdot I_V$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
6	Потужність батарей конденсаторів, обумовлена умовою ефективності поглинання гармоніки, квар	$Q_0 \geq S_k \cdot K_p$ $K_p = 0.45 \cdot 10^{-2}$ для Ф5 и Ф7 $K_p = 0.25 \cdot 10^{-2}$ для Ф11 и Ф13	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
7	Прийнята потужність батарей конденсаторів з умов забезпечення вимог пп.5,7	Q_n	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
8	Коефіцієнт ефективності поглинання гармоніки для прийнятої батареї конденсаторів, відн.один.	$K_p = \frac{Q_n}{S_{к.з}}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
9	Розрахунок коефіцієнта характеризуючого збільшення напруги основної частоти на конденсаторах у порівнянні з напругою на шинах підстанції, відн.один.	$a_p = \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
10	Розрахунок коефіцієнта, що характеризує запас по напрузі батарей конденсаторів з урахуванням номінальної напруги батареї і розрахункової напруги мережі, відн.один.	$K_u = \frac{U_{ли}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.б}}$		
11	Реактивна потужність, що видається батареями конденсаторів фільтрів, квар	$Q_{вид} = Q_n \cdot a_p \cdot K_u$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	

№	Вихідні чи розраховані величини, позначення	Розрахункові формули	Гармоніки	Числове значення
ВИБІР РЕАКТОРІВ ФІЛЬТРІВ				
12	Визначення ємнісного опору фази батареї конденсаторів, Ом	$x_{CV} = \frac{3 \cdot U_{ном.\bar{b}}^2}{Q_n}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
13	Визначення індуктивного опору реактивів з умови резонансу, Ом	$x_{pV} = \frac{x_{CV}}{\nu^2}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
14	Номінальний струм реактора, А	$I_{p.n} \geq \frac{Q_n}{\sqrt{3} \cdot U_{ли}}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
15	Реактивність реактора, %	$x_p = \frac{\sqrt{3} I_{p.n} x_{pV}}{10 U_{p.ном}}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
16	Відсоток гармонік напруги в мережі після фільтра	$U_{VCP} = U_{\partial} \eta \nu$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	

ПРИМІТКА: 1. При недотриманні нерівності п.7 розрахунку ефективність використання фільтрів мала.

2. Фільтри вибираються зі стаціонарних конденсаторів 6,6 кВ включених за схемою “Зірка”.

Зміст звіту

1. Схема установки.
2. Форма знятої по осцилографу кривої і значення коефіцієнта несинусоїдальності в двох режимах:
 - а) без фільтра;
 - б) з фільтром.
3. Розрахунок фільтрів вищих гармонік.
4. Висновки по роботі в цілому.

Контрольні питання

1. Перелічите електроприймачі і гармоніки вищого порядку, що генеруються ними в промислових розподільних мережах?
2. Указати заходи щодо зниженню несинусоїдальності напруги?
3. Які гармоніки мають місце в розподільних мережах, де включені вентильні перетворювачі?
4. Що таке коефіцієнт несинусоїдальності і його припустима величина?
5. Як проводиться вимір коефіцієнта несинусоїдальності в аналізаторі несинусоїдальності АН?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МЕРЕЖІ З ТИРИСТОРНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ ПЕЧЕЙ ОПОРУ

Мета роботи: – дослідити гармонічний спектр тиристорних джерел живлення печей опору; визначити рівні вищих гармонік електричних мереж при зміні параметрів електричної печі.

Теоретичні відомості

Тиристорні керовані джерела живлення (ТКДЖ) застосовуються в системах безперервного регулювання температури або потужності печі опору.

Промисловістю серійно випускаються однофазні ТКДЖ типу РНТО потужністю 12...200 кВт і трифазні типу РНТТ потужністю 35...590 кВт.

Джерела живлення виконані по схемі фазово-імпульсного регулювання. Регулювання напруги за допомогою ТКДЖ створює несинусоїдальність струмів і напруг в електричній мережі. При роботі ТКДЖ з печами опору, що являються активним навантаженням, гармонійний спектр залежить від схеми з'єднання, кутів регулювання α і провідності λ . При використанні в схемі двох тиристорів, ввімкнених зустрічно-паралельно, регулювання напруги і струму навантаження okazується можливим при зміні кута відпирання тиристорів в межах $0 < \alpha < \pi$. Так як навантаженням являється чисто активний опір, то струм повторює по формі напругу (змінюється по синусоїді) і прирощення проходить при зміні знаку на аноді тиристора (рис. 5.1).

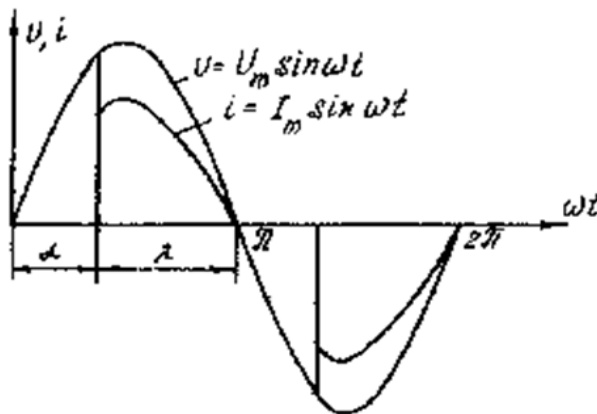


Рис. 5 1 . Діаграма струму та напруги при активному навантаженні ТКДЖ

При оцінці енергетичних показників ТКДЖ несинусоїдальний характер струму і напруги кількісно визначається наступними коефіцієнтами:

При оцінці енергетичних показників ТКДЖ несинусоїдальний характер струму і напруги кількісно визначається наступними коефіцієнтами:

Коефіцієнт викривлення

$$K_{U\text{кр}} = \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2}}; \quad K_{U\text{кр}} = \frac{U_1}{\sqrt{\sum_{v=1}^n U_v^2}}$$

відношення діючого значення основної гармоніки до діючого значення всієї кривої;

Коефіцієнт несинусоїдальності - відношення діючого значення вищих гармонік до діючого значення основної гармоніки (або номінальному значенню). Наведені коефіцієнти являються амплітудами гармонік, але не враховують порядок гармонік, що не дає повної характеристики несинусоїдальності струму та напруги.

$$K_{yc(I)} = \frac{\sqrt{\sum_{v=3}^n (I_v)^2}}{I_{1(H)}}; \quad K_{yc(U)} = \frac{\sqrt{\sum_{v=3}^n (U_v)^2}}{U_{1(H)}}$$

Для оцінки впливу вищих гармонік на живлячу мережу необхідно мати картину гармонічного спектру ТКДЖ.

Для ТКДЖ, побудованих за принципом фазово-імпульсного керування, з збільшенням кута регулювання різко зростають непарні вищі гармоніки: 3, 5, 7, 11, 9, 13-та.

Амплітуда V -ї гармоніки струму визначається виразом:

$$I_{mV} = \frac{U_m}{R} \cdot \sqrt{A_{V*}^2 + B_{V*}^2}, \quad (5.1)$$

де:

$$A_{V*} = \frac{2}{\sqrt{2} - 1} \pi \cdot \sqrt{\sin \alpha - \sin V\alpha};$$

$$B_{V*} = \frac{2}{\sqrt{2} - 1} \pi \cdot \sqrt{\cos V\alpha - \cos \alpha}.$$

V - порядок гармоніки; A_{V*} , B_{V*} - відносне амплітудне значення струму V -ї гармоніки.

Опис лабораторної установки

В даній лабораторній установці досліджуються залежності вищих гармонік струму і напруги від зміни навантаження печі опору (зміна кута регулювання). В якості ТКДЖ моделюється тиристорний регулятор типу РНТО, що працює з пиччо СНОЛ-1,6.2.0.0,8/9-МІ потужністю 2.5 кВт (рис. 5.2). Вхідний струм, а також струми напруги на виході регулятора при великих кутах керування сильно викривлені і мають високі коефіцієнти несинусоїдальності. Тривалість проходження струму через тиристори, яка залежить від кута регулювання α і характер навантаження, визначається по осцилограмам напруги або струму навантаження. Осцилографічні методи дають можливість безпосередньо визначати ступінь викривлення струму і напруги на вході регулятора (рис. 5.2). Схема керування ТКДЖ дозволяє змінювати кут регулювання від 0 до 180°. Перемикачі К1, К3 дозволяють виконати осцилографування форми кривої струму або напруги на вході або виході регулятора. При вимірюванні струму навантаження перемикачі К2 і К4 повинні бути відключеними. Осцилографування виконується за допомогою

осцилографів: електронно-променевого типу Н-3013 та світлопроменевого типу Н-117.

Методика розрахунку полягає в наступному.

Період функції $T=2\pi$ розділити на n рівних частей $\Delta x = \frac{2\pi}{n}$.

Амплітуда синусної складової V -ї гармоніки.

$$A_v = \frac{2}{n} \cdot \sum_{p=1}^n f(x_p) \sin vx, \quad (5.2)$$

амплітуда косинусної складової V -ї гармоніки

$$B_v = \frac{2}{n} \cdot \sum_{p=1}^n f(x_p) \cos vx, \quad (5.3)$$

де $f(x_p)$ – значення функції при $x_p=(p-0,5)\Delta x$, тобто в середині p -го інтервалу.

Амплітуда I_v V -ї гармоніки

$$I_v = \sqrt{A_v^2 + B_v^2}, \quad (5.4)$$

кут початкової фази

$$\psi_v = \arctg\left(\frac{B_v}{A_v}\right). \quad (5.5)$$

Для виразу амплітуд гармонік в вольтах (амперах) необхідно визначити масштаб побудови, це виконується наступним чином: при осцилографуванні діюче значення струму (напруги) фіксується амперметрами (вольтметрами). Середнє квадратичне значення ординат досліджується кривою

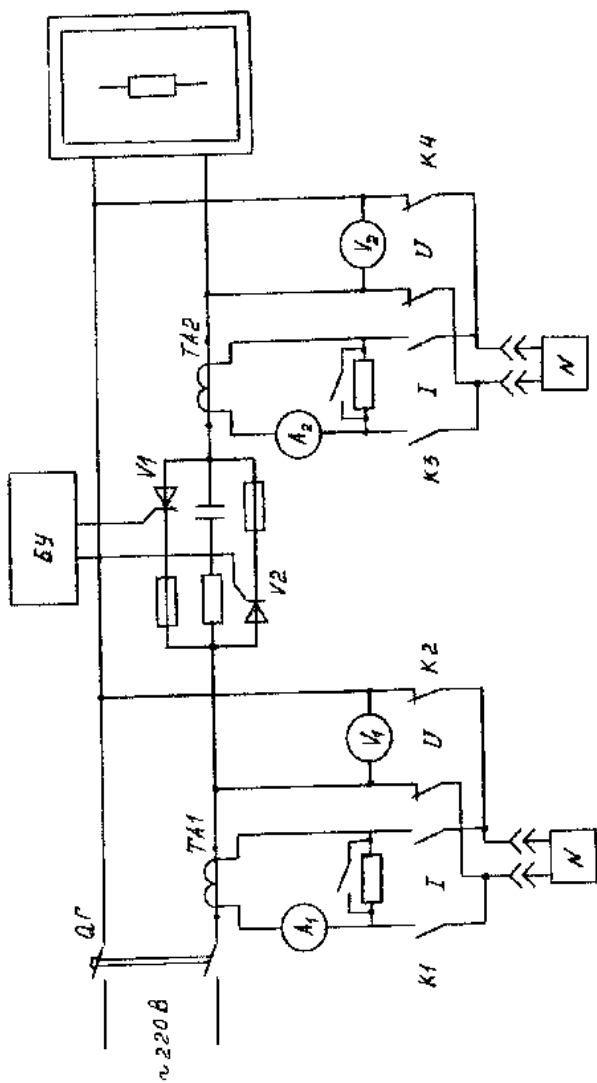


Рис. 5.2. Схеми вимірів параметрів однофазного тиристорного керованого джерела типу РНТО печей опоры

$$I_{\text{сер.кв}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I^2}}{n}.$$

Тоді масштаб визначиться виходячи з того, що 1 мм відповідає $I/I_{\text{сер.кв}}$. Коефіцієнт амплітуди $K_a = I_m/I$ (для синусоїди рівної 1,41).

Порядок виконання роботи

1. Перемикач К1 перевести в положення вимірювання струму, під'єднати осцилограф, виставити мінімальне значення кута. Ввімкнути автоматичним вимикачем електричну піч і зафіксувати форму кривої струму, відмітити по амперметру А значення струму (попередньо з допомогою К2 закортити активний опір).

2. Виконати ті ж операції при збільшені кута α до 180° (порядку 5...6 вимірів) і розрахувати амплітудні і діючі значення 3-, 5-, 6-ї гармонік.

3. Результати вимірів і розрахунків звести до табл. 5.2 – 5.3.

4. За формулою (5.1) розрахувати амплітудний спектр струму ТКДЖ і порівняти з експериментальними значеннями.

Таблиця 5.2

Графоаналітичний аналіз несинусоїдальності кривої

Номер ординати	Значення ординат, мм					
	В досліді					
	1-му	2-му	3-му	4-му	5-му	6-му
	$\alpha_1 =$	$\alpha_2 =$	$\alpha_3 =$	$\alpha_4 =$	$\alpha_5 =$	$\alpha_6 =$

Таблиця 5.3

Показання приладів і результати розрахунків

Номер досліджу	Номер гармоніки	Дослідні данні			Розрахункові данні		
		I_1, A	U_1, B	Амплітуд а, мм	Масштаб	Амплітуд ний струм I_{np}, A	Діючий струм $I,$ А

5. Побудувати залежність $I_\nu = f(\varphi)$ і визначити коефіцієнти викривлення і несинусоїдальності.

6. Зняти осцилограми струму та напруги на виході ТКДЖ і порівняти з аналогічними осцилограмами на вході, пояснити отримані результати.

7. Програму досліджень задає викладач.

Контрольні питання

1. Як виконати плавне регулювання температури (потужності) печі опору при застосування ТКДЖ?
2. Чому гармонійний спектр ТКДЖ складається з непарних гармонік?
3. Як впливає зміна кута регулювання на рівні вищих гармонік струму, напруги?
4. Який вплив вищих гармонік на електрообладнання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Мета роботи: дослідження залежності $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна від його навантаження, вивчення способів поліпшення $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна.

Теоретичні відомості

Як відомо, в промисловості велика частина приймачів споживає реактивну потужність Q . Передача цієї потужності викликає збільшення струму й отже, з'являються додаткові втрати активної потужності в всіх елементах систем електропостачання, починаючи від генераторів станції і кінчаючи приймачем електроенергії.

Для створення кращого технічного й економічного режиму роботи системи електропостачання необхідно прагнути, наскільки це доцільно, до зменшення споживання реактивної потужності. Одержання такого, $\cos(\varphi)$ досягається за рахунок компенсації реактивної потужності, як природними шляхами (за рахунок поліпшення режиму роботи приймачів і т.д.), так і за рахунок установки спеціальних пристроїв компенсації, у відповідних точках системи електропостачання.

Реактивна потужність, необхідна промислому підприємству, в основному споживається таким чином: близько 65-70% - асинхронними двигунами, близько 20-25% - трансформаторами, близько 10% - лініями.

Величина споживання реактивної потужності асинхронними двигунами залежить від коефіцієнта завантаження двигуна.

Реактивна потужність холостого ходу дорівнює 60-70% від усієї реактивної потужності, що споживається при повному завантаженні двигуна. Тому велике значення має правильний режим роботи асинхронного двигуна. Необхідно прагнути до того, щоб асинхронні двигуни працювали з високим коефіцієнтом завантаження, обмежити холостий хід, підвищити якість ремонту, замінити малозавантажені двигуни двигунами меншої потужності, а якщо можливо, то понизити

напругу малозавантажених двигунів, переключенням обмоток статора з трикутника на зірку.

Опис установки

В лабораторній роботі для обертання генератора використовується асинхронний двигун потужністю $P_H = 1 \text{ кВт}$; $\cos(\varphi) = 0.8$; КПД = 0.82. До генератора потужність $P_2 = 0,8 \text{ кВт}$ підключені навантажувальні опори (лампи), струм яких контролюється амперметром "А". Збудження генератора регулюється за допомогою реостата R, встановленого на лицьовій стороні панелі.

Напруга генератора контролюється вольтметром "V"

$$U_{\text{ном.ген}} = 220 \text{ В}$$

Споживання асинхронних двигунів активної і реактивної потужності контролюється за допомогою ватметра, фазометра, вольтметра й амперметра, установлених на лицьовій стороні панелі. На панелі встановлені також пакетний вимикач і автомат для включення асинхронного двигуна: тумблери 3х3 групи для підключення конденсаторних батарей необхідної потужності до двигуна; клемна колодка шести виводів статорної обмотки, асинхронного двигуна. Конденсаторні батареї з'єднані в трикутник і підключаються до асинхронного двигуна за допомогою трьох однофазних тумблерів (всього 3 групи).

УВАГА! Відключати тумблери конденсаторів дозволяється тільки після відключення асинхронного двигуна, що необхідно для розряду конденсаторів на обмотку статора.

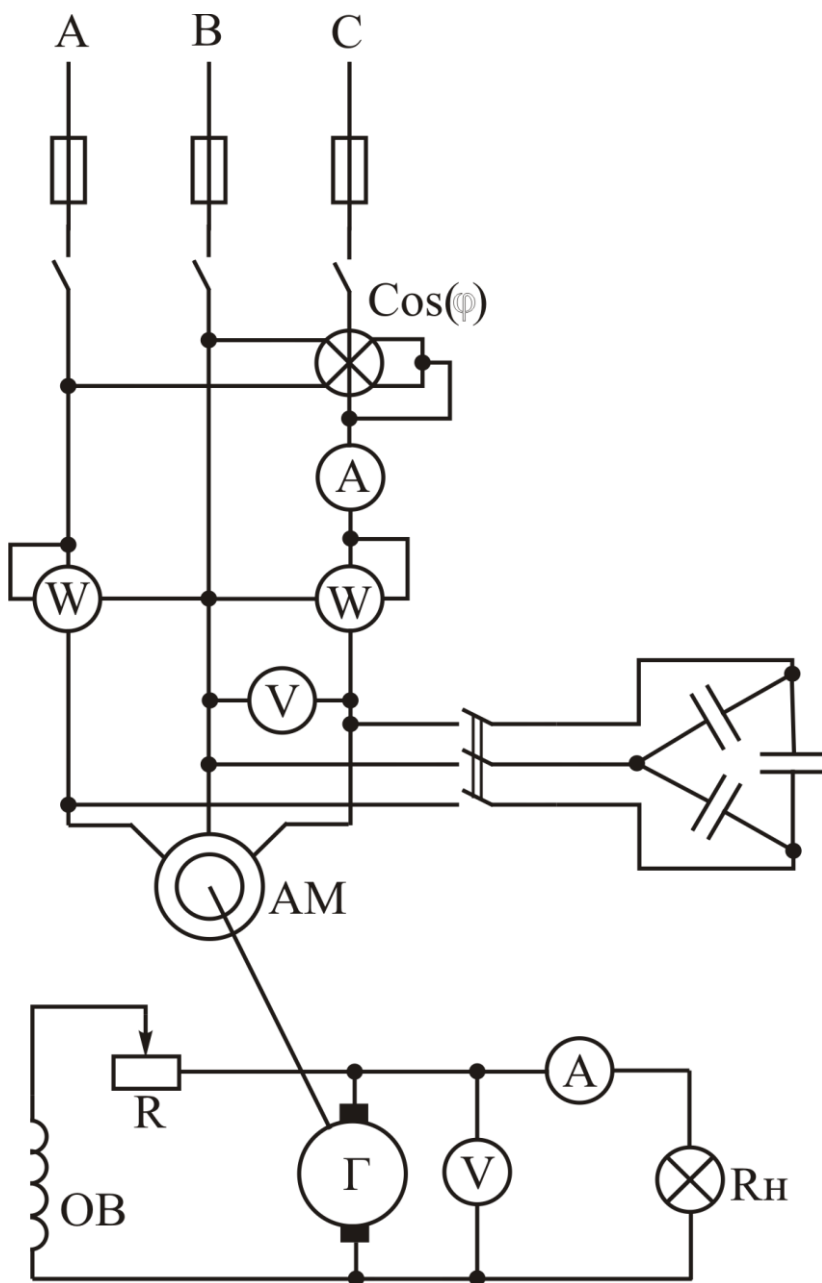


Рис.1. Схема дослідження $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна

Порядок виконання роботи

1. Послідовним включенням навантажувальних ламп навантажувати двигун від холостого ходу до $1,2P_H$ підтримуючи за допомогою реостата R напругу генератора $U_{ген} = 220 \text{ В}$. При цьому показання приладів заносяться в Табл.1.

2. Переключити обмотку двигуна з трикутника на зірку. Встановити навантаження двигуна в межах $0,25 \div 0,4P_H$, порівняти значення $\cos(\varphi)$ при даному навантаженні до і після переключення з трикутника на зірку.

3. За отриманими результатами табл.1, побудувати залежність $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна від коефіцієнта завантаження з огляду на, що:

$$K_{з.д} = \frac{P_{д}}{P_H} = \frac{U_{г} \cdot I_{г}}{\eta_{г} \cdot P_H}$$

де: $P_{д}$ - навантаження на валу двигуна;

P_H - номінальна потужність двигуна;

$U_{г}$ - напруга генератора;

$I_{г}$ - струм навантаження генератора;

$\eta_{г}$ - К.К.Д. генератора, обумовлене по кривій рис.2, у залежності від коефіцієнта завантаження генератора $K_{зг}$.

$$K_{зг} = \frac{U_{г} \cdot I_{г}}{P_{нг}}$$

де: $P_{нг}$ - номінальна потужність генератора;

Розрахункове значення $\cos(\varphi)$ визначається з виразу:

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{д.спож}}{S_{д}} = \frac{P_{д.спож}}{\sqrt{3} \cdot U_a \cdot I_a}$$

де: $P_{д.спож}$ - споживана двигуном активна потужність визначається методом двох ватметрів;

$$P_{д.спож} = P_1 + P_2 = K_{mm}(a_1 + a_2)$$

де: K_{mm} - межа ватметра по струму;

$a_1 + a_2$ - алгебраїчна сума показань ватметра.

Розрахункові значення $\cos(\varphi)$ порівняти з показанням фазометра.

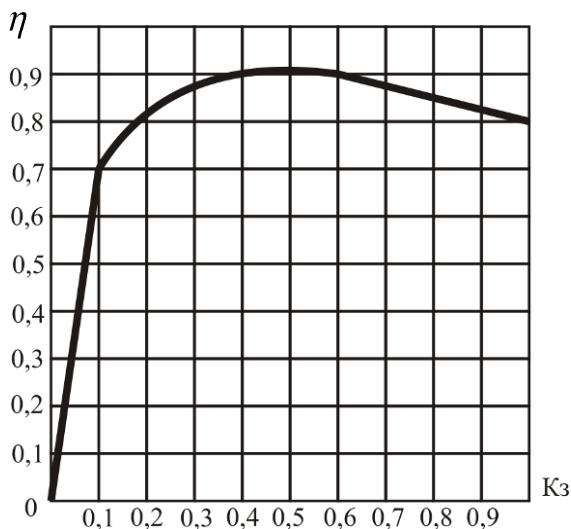


Рис.2. Залежність η генератора від його завантаження

Таблиця 1.

№ п/п	Дослідні дані						Розрахункові дані				
	U_e, B	I_e, A	U_o, B	I_o, A	$P_o, кВт$	$\cos(\varphi)$	$K_{зГ}$	η_e	$K_{зo}$	S_o	$\cos \varphi_{расч}$
1											
2											
...											

5. Послідовно підключити конденсаторну батарею до двигуна, дослідити їхній вплив на $\cos(\varphi)$ двигуна. Результати пояснити.

Зміст звіту

1. Специфікація приладів із указівкою їхніх параметрів.
2. Опис установки.
3. Криві залежності $\cos(\varphi)$ від навантаження асинхронного двигуна.
4. Існуючі розрахунки і таблиці.
5. Пояснення результатів дослідів.

Контрольні питання

1. На що витрачається активна і реактивна потужність в асинхронному двигуні?
2. Чому зі збільшенням завантаження асинхронного двигуна збільшується $\cos(\varphi)$?
3. Чому збільшується $\cos(\varphi)$ в результаті переключення обмотки статора з трикутника на зірку при навантаженні асинхронного двигуна менш 50%?
4. Указати способи підвищення $\cos(\varphi)$ промислового підприємства.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ УСТАНОВОК НА МЕРЕЖУ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи: ознайомитися з причинами виникнення вищих гармонік в електричній мережі з електродуговими установками, з методами оцінки їх впливу і способів зниження вищих гармонік

Теоретичні відомості

Електродугові установки, являються крупними споживачами електроенергії в системах електрозабезпечення, мають ряд фізичних особливостей. Електрична дуга електродугових установок мають нелінійну характеристику, що приводить до генерації вищих гармонік в системі електропостачання. До електродугових установок відносяться дугові сталеплавильні печі, а також дугове електричне зварювання.

Ступінь викривлення кривих струму дугових печей в значній мірі залежить від режиму горіння в різні періоди плавлення: розплавлення, окислення, рафінування.

В даний час на промислових підприємствах широко використовуються зварювальні установки, як джерело живлення яких застосовуються напівпровідникові перетворювачі. У зварювальних випрямлячах використовуються однофазні і трифазні мостові схеми двонапівперіодного випрямлення. Найбільше поширення одержали некеровані зварювальні випрямлячі серій ВР, ВД, ВДМ, ВКСВВ. Напруга живлення випрямлячів 380/220 В, споживана потужність 9-70 кВ·А.

Основні джерела змінного струму – зварювальні трансформатори серії СТИ, СТ і ТСД.

На форму кривих струму і напруги дуг перемінного струму впливають параметри її електричного контуру й умови горіння дуги. При чисто активному опорі контуру струм дуги двічі переривається за період, тому що дуга може горіти лише в той відрізок часу, коли напруга джерела більше необхідної напруги дуги. При наявності в ланцюзі індуктивності при переході струму через нуль напруга джерела не дорівнює нулю і відбувається повторне запалювання дуги. Для оцінки ступеня впливу

електродугових установок на живильну мережу необхідно знати гармонійні спектри і значення коефіцієнтів несинусоїдальності напруги.

Для оцінки рівнів вищих гармонік струму і напруги звичайно використовуються наступні методи : графоаналітичний і апаратний, заснований на застосуванні спеціальних аналізаторів типу 34-48 і др.

Графоаналітичний метод заснований на тому, що будь-яка періодична функція, що задовольняє умовам Дірихле, тобто, що має за повний період кінцеве число розривів першого роду і кінцеве число максимумів і мінімумів, може бути представлена рядом Фур'є. Вираження для напруги $U(t)$ (аналогічно для струму $I(t)$) має наступний вигляд :

$$U(t) = A_0 + \sum_{\gamma=1}^n A_{\gamma} \cdot \sin \gamma \omega t + \sum_{\gamma=1}^n B_{\gamma} \cdot \cos \gamma \omega t, \quad (7.1)$$

де $A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\gamma=1}^n f(\omega t) d\omega t$ - постійна складова ряду;

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cdot \sin(\gamma \omega t) d\omega t$$
 - коефіцієнт ряду при синусних

складових;

$$B_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cdot \cos(\gamma \omega t) d\omega t$$
 - коефіцієнт ряду при косинусних

складових.

$$\text{Амплітуда } \gamma\text{-ї гармоніки } U_{\gamma} = \sqrt{A_{\gamma}^2 + B_{\gamma}^2}.$$

Метод визначення коефіцієнтів Фур'є оснований на заміні визначеного інтервалу сумою кінцевого числа складових. Для цього період функції $f(\omega t)$, рівний 2π , розбивають на n рівних частин,

$$\Delta \omega t = \frac{2\pi}{n} \quad (6.2)$$

і замінюють їх сумами.

Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд використовується для моделювання режимів роботи електродугових установок на постійному та змінному струмах. Принципова схема показана на рис. 2.3. Осцилографування струмів і напруг виконується за допомогою осцилографів - світло променевого Н-117 або електронного Н-3013. Лабораторна установка дозволяє досліджувати форму кривих струму і напруги дуги при активному або індуктивному характері опору системи джерела живлення – електрична дуга, а також форму кривих струму і напруги в системі вентильний перетворювач – електрична дуга.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з метою роботи, теоретичними відомостями і описом лабораторного стенду (див. лабораторну роботу №2).

2. Під'єднати осцилограф до джерела живлення змінного струму, запалити дугу і, змінюючи активний опір в мережі за допомогою K1...K5, зафіксувати форму кривих струму і напруги (роблячи відмітки в кожному досліді значення струму і напруги). Аналогічно виконати досліді при зміні індуктивності в мережі.

3. Під'єднати осцилограф до джерела живлення постійного струму. запалити дугу і, змінюючи активний опір в мережі та довжину дуги, зафіксувати форму кривих струму і напруги.

Таблиця 6.1

Номер досліду	Показання приладів		Джерело струму			
	Опір, Ом	Довжина дуги, мм	змінного		постійного	
			U _д , В	I _д , А	U _д , В	I, А
1	R ₁ =0					
2	R ₂ =1					
3	R ₃ =0.4					
4	R ₄ =0.9					
5	R ₅ =0.5					

4. Програму роботи здає викладач.
5. Результати дослідів по пп. 2-3 заносять до табл. 6.1. Виконати графоаналітичний аналіз форм кривих струму і напруги. Періоди необхідно розділити на 12 або 18 частин.
7. Результати заносять до табл. 6.2.
8. Провести аналіз отриманих результатів розрахунків .

Таблиця 6.2

Номер дослідів	Напруга ν -ї гармоніки, В						Струм ν -ї гармоніки, А					
	3	5	7	9	11	$K_{nc}, \%$	3	5	7	9	11	$K_{nc}, \%$
1												
2												
3												

Контрольні питання

1. Перерахуйте основні групи електродугових установок, що викликають появлення вищих гармонік в живлячій мережі.
 2. Як впливають умови горіння дуги (відкрита, захищена, що горить в середовищі захисних газів) на ступінь викривлення форм кривих струму і напруги.
 3. Які типи періодичних функцій не містять парних гармонік?
 4. Який вплив вищих гармонік на різноманітні групи електроспоживачів.
- [1;4].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕЧІ ОПОРУ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ

Мета роботи: закріпити знання студентів по розділу “Електричні печі опору і позиційні системи регулювання температури (потужності)”. Робота носить розрахунково-дослідний характер і включає в себе визначення головних параметрів і режимів роботи електричних печей опору.

Теоретичні відомості

Електричні печі опору непрямого нагріву – найбільш масові електротехнологічні установки. Печі опору випускаються номінальною потужністю від одиниці до тисяч кіловат і живляться від електричної мережі з частотою 50 Гц. В якості нагрівального звичайно використовуються хромо-нікелеві сплави (ніхроми), виконані в вигляді спіралей, стержнів, пластин і т.п. Електричний опір нагрівача носить активний характер, нагрівачі вмикаються як в однофазну, так і в трифазну систему.

За технологічному призначенню і характеру роботи печі опору підрозділяються на періодичної та безперервної дії.

Вітчизняна промисловість випускає серійно печі камерні, шахтні, ковпакові та інші печі опору періодичної дії.

Відрізняють наступні головні параметри електропечей:

1. Встановлена потужність – сума встановлених потужностей всіх споживачів електроенергії, що входять в склад електропечі.
2. Споживана потужність – це потужність, що витрачається для нагріву виробів та на теплові втрати.
3. Потужність холостого ходу – потужність, що споживається електричною піччю без завантаження при встановленому тепловому режимі.
4. Час розігріву – час, витрачений на розігрів ненавантаженої електропечі від температури 20 °С до встановленого теплового режиму.
5. Максимальна часова продуктивність печі, кг:

$$q_{\min} = \frac{0.85 \cdot P_H - P_{\text{отр}}}{B},$$

де P_H – номінальна потужність печі, перевірена по показанням ватметра;
 $P_{\text{втр}}$ – потужність теплових втрат печі, яка визначається дослідним шляхом по показанням лічильника з досліду холостого ходу; B – теоретичні витрати електроенергії, необхідні для нагріву виробу до температури, необхідною за технологічним процесом, кВт.год. / кг.

6. Мінімальні питомі витрати енергії, визначений діленням часовими витратами енергії на часову продуктивність печі, кВт.год. / кг.

$$Q_{\min} = \frac{0.85 \cdot P_H}{q_{\max}} = \frac{0.85 \cdot P_H \cdot B}{0.85 \cdot P_H - P_{\text{отр}}}$$

В печах опору для регулювання температури (потужності) використовують системи плавного і позиційного регулювання. Частіше для зміни потужності печі використовують двопозиційну систему, при якій піч періодично вмикається на свою номінальну потужність, а потім повністю вимикається. Змінюючи співвідношення часу ввімкненого $\tau_{\text{вмк}}$ та відключеного $\tau_{\text{відкл}}$ стану печі, можна плавно в широких межах регулювати середню в часі потужність $P_{\text{ср}}$:

Опис лабораторного стенду

Моделювання режимів роботи печі опору виконується на електропечі СНОЛ-1,6,2.00.0,8/9М1. Номінальна потужність – 2,5 кВт (потужність необхідно перевірити за приладами), напруга – 220 В. Принципова схема установки показана на рис. 8.1. Автоматичне регулювання температури виконується електричним регулятором температури (ЕРТ) типу Ш4501. ЕРТ призначений для вимірювання температури та двопозиційного регулювання температури (потужності) печі опору. Ш4501 використовується в комплекті з термопарою ХА₆₈ і дозволяє регулювати температуру в діапазоні від 0 до 800 °С. ЕРТ типу Ш69006 – регулюючий логометр, використовуються в схемі вимірів для реєстрації температури кожуха печі.

Робота схеми проходить наступним чином. Універсальний перемикач SM встановлюють в положення 1 – автоматичне. При цьому замикаються контакти SM1, SM2. Якщо температура печі нижче значення, встановленого на ЕРТ, регулюючий контакт КМ2 ЕРТ замкнений, а реле КМ3 і контактор КМ1 ввімкнені. До печі підводиться номінальна потужність і її температура в ній починає зростати. При нагріві печі до заданої температури регулюючий контакт розімкнеться, контактор розімкне ланцюг і її температура почне зменшуватися.

Порядок виконання роботи

В якості попередньої підготовки необхідно ознайомитися з технічним описом і інструкцією по експлуатації електропечі і електронних регуляторів температури (інформацію видає викладач).

1. Виміряти потужність, яка споживається піччю в період розігріву. Побудувати графік споживання потужності і визначити втрати холостого ходу.

Перемикач SM встановити в положення 2 і виміряти втрати електроенергії за інтервал часу $\Delta \tau_i = 10 \dots 20$ хвилин (час досягнення номінальної температури 800°C порядку 100 хвилин). Потім розраховується середня потужність, що споживається на цьому інтервалі часу, і наноситься на графіку $P_n = f(\tau)$ середині інтервалу

Аналогічно визначаються середні потужності на наступних інтервалах часу P_{n+1} , P_{n+2} і т.п. Отримані струми з'єднують плавною кривою і визначають втрати холостого ходу при номінальній температурі.

2. Встановити теплові втрати з кожуху печі в процесі розігріву і побудувати графік втрат $P_{\text{втр}} = f(\tau)$.

В табл. 8.1 наведені значення питомих теплових втрат стінки кожуха печі в залежності від її температури та стану поверхні при температурі навколишнього повітря 10°C .

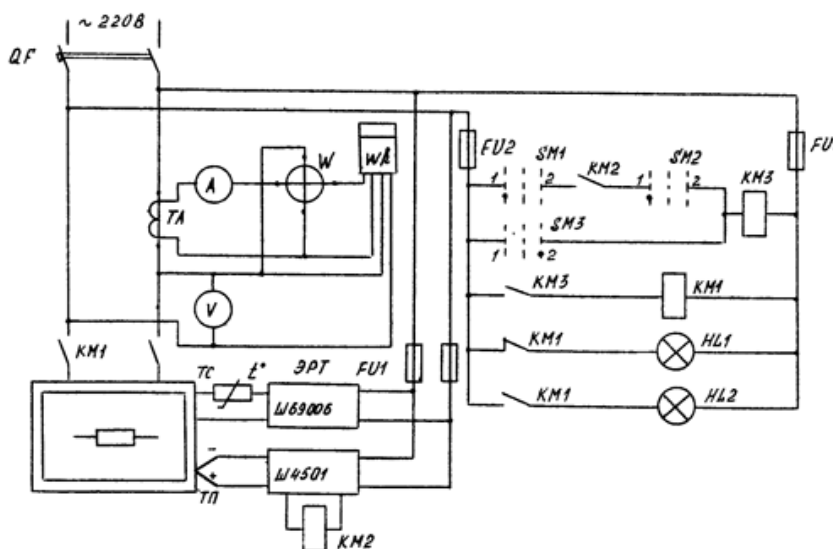


Рис. 8.1. Схема двопозиційного регулювання температури печей опору

Таблиця 8.1.

Температура кожуху, °C	30	40	50	60	80	100	150
Питомі втрати кожуху, пофарбованого алюмінієвою фарбою, кВт/м ²	0,155	0,25	0,36	0,47	0,73	1,0	1,8

Користуючись цією таблицею можна визначити фактичні теплові втрати печі (температуру навколишнього середовища вимірюють термометром). Результати експериментальних досліджень та розрахунків по пп. 1, 2 заносять до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2.

Час	Інтервал часу $\Delta \tau_i$, хвилин	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta W_i, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$P_{\text{вн}}, \text{кВт}$	$P_{\text{нп}}, \text{кВт}$	примітка

3. Перемикач SM встановити в положення 1. Розмістити в печі заготовку і виставити на ЕРТ задану викладачем температуру технологічного процесу. Дослідити залежність температури від часу $t = f \tau$ і спожитої потужності від часу $P_{\text{вн}} = f \tau$. Результати заносять до табл. 4.3.

Таблиця 8.3

Час τ , хв	$\tau_{\text{вмкн}},$ хв	$\tau_{\text{відкл}},$ хв	$t_i, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{ні}},$ кВт	$\Delta W_i,$ $\text{кВт}\cdot\text{год}$	$P_{\text{ні}},$ кВт

Результати вимірювань і розрахунків по п.3 нанести на одному графіку: в верхній частині – залежність температури печі від часу, а в нижній – відповідне значення її потужності.

4 Визначити максимальну продуктивність і мінімальні питомі витрати електроенергії (теоретичні витрати енергії $B = 0,156 \text{ кВт}\cdot\text{год./кг}$).

Контрольні питання

1. Класифікація печей опору.
2. Як розрахувати потужність теплових втрат через кожух печі?
3. Основні енергетичні параметри печей опору.
4. Система автоматичного регулювання температурного режиму в печах опору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
2. Конспект лекцій з курсу «Ефективне використання електроенергії в системах енергоспоживання»: для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спец. 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / уклад. П.Г. Плешков; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. - 266 с.
3. Ефективне використання електроенергії в системах енергоспоживання: метод. рекомендації до виконання самост. роб. / [уклад.: П. Г. Плешков, В.П. Солдатенко, В.В. Зінзура]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023.
4. Ефективне використання електроенергії в системах енергоспоживання: метод. рекомендації до виконання курс. проекту / [уклад. : П. Г. Плешков, К. Г. Петрова, О. І. Сіріков та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 128 с.
5. Малярєнко В.А. Енергозбереження та енергетичний аудит: навч. посіб. / В.А. Малярєнко, І.А. Немировський. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 341 с.
6. Плешков П.Г. Електропостачання промислових підприємств: навч. посіб. для курс. та дипл. проектування / П.Г. Плешков, А. Ю. Орлович, А. І. Котиш. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
7. Соловей О.І. Промислові електротехнологічні установки: навчальний посібник / О. І. Соловей. – К.: Кондор, 2009. – 174 с.
8. Плешков П.Г. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в системах електропостачання промислових підприємств: навч. посіб./ Плешков П.Г., Казанцев Ю.І., Орлович А.Ю. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 182 с.

9. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посібник / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
10. Електропривод: навч. посібник / О. М. Закладний, В. В. Прокопенко, О. О. Закладний. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 316 с.
11. Петрова К.Г. Нормування питомих витрат електричної енергії у промисловості з використанням нейро-нечіткого моделювання / К.Г. Петрова, Б.С. Серебренніков // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2013. – № 3 (23). – С. 84 – 91.
12. Серебренніков Б.С. Вдосконалення ринкового механізму управління режимами роботи електроенергетичної системи / Б.С. Серебренніков, К.Г. Петрова // Енергетика та електрифікація. – 2014. – № 4. – С. 20 – 27.