

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА
ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Електропостачання промислових підприємств

Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів
спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

“Ухвалено”
На засіданні каф. “ЕТС та ЕМ”
Протокол № від _____

Кропивницький 2018

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Електропостачання промислових підприємств” для студентів спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” усіх форм навчання. / Укладачі: А.І. Котиш, О.І.Сіріков Кропивницький, ЦНТУ, 2018. - 51 с. /

Рецензент: к.т.н., проф. Орлович А.Ю.

ЗМІСТ

1. ВВЕДЕННЯ	Арк. 2
2. Правила по техніці безпеки	2
3. Лабораторна робота №1 Дослідна побудова графіків навантажень і визначення їхніх параметрів	
4. Лабораторна робота №2 Дослідження опорів ланцюга “Фаза-нуль” у мережах до 1000 В	
5. Лабораторна робота №3 Дослідження електричних запобіжників і автоматичних вимикачів	
6. Лабораторна робота №4 Автоматичне регулювання доцільного режиму роботи трансформаторів на двохтрансформаторній підстанції при зміні навантаження	
7. Лабораторна робота №5 Дослідження $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна та його поліпшення	
8. Лабораторна робота №6 Вищі гармоніки в електричних мережах промислових підприємств	
9. Лабораторна робота №7 Автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок	
10. Лабораторна робота №8 Оцінки якості напруги в розподільних мережах до 1000 В по інтегральним критеріям	

ВВЕДЕННЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Електропостачання промислових підприємств” містять основні роботи по розділах курсу.

Лабораторні заняття дають можливість студентам закріпити теоретичні знання й одержати практичні навички по основних розділах курсу .

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

В лабораторії “Електропостачання промислових підприємств” робоча напруга 380/220 В, змінного струму. При недотриманні правил по техніці безпеки ці величини напруг являють собою серйозну небезпеку. Перед початком проведення лабораторних робіт студенти вивчають інструкцію з техніки безпеки в лабораторії “Електропостачання промислових підприємств”.

Робочі схеми включають і відключають тільки після перевірки і з дозволу викладача. Під час виконання робіт забороняється:

1. Робити переключення в робочій схемі, що знаходиться під напругою, які не передбачені лабораторною роботою;
2. Залишати без спостереження схему, яка знаходиться під напругою;
3. При виявленні несправності в роботі устаткування чи приладів необхідно припинити роботу і звернутися до викладача.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДНА ПОБУДОВА ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ І ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНІХ ПАРАМЕТРІВ

1. Мета роботи:

Вивчити методику дослідної побудови графіків навантаження промпідприємств; визначення коефіцієнтів і параметрів, характеризуючих ці графіки.

2. 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 електроустаткування 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:

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

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

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

$T_{сз}$ – тривалість зміни;

$P_{ср}$, $Q_{ср}$, $S_{ср}$ - 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: $K_u = \frac{P_{сз}}{P_H}$

для добового графіка: $K_u = \frac{P_{ср}}{P_H}$

де:

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

K_{max} - коефіцієнт максимуму навантаження, визначається для найбільш

завантаженої зміни: $K_{max} = \frac{P_{max}}{P_{сз}}$

K_H - коефіцієнт навантаження: $K_H = \frac{P_{ср}}{P_{max}}$

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.

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

Середньозважений

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

коефіцієнт

де:

W_p - річне споживання активної енергії;

V_p - річне споживання реактивної енергії;

T_{max} - число годин використання максимуму активного

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

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

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

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

де:

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

Опис установки.

У даній лабораторній установці моделюється фідер, що відходить від РУ заводської підстанції. Напруга 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 моделюємої 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 ступіней навантаження вручну.

3. 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 $P_{CЗ}, Q_{CЗ}$ (тривалість змін дорівнює 8 год., починаючи з 0 годин);
- в) середньодобові навантаження за зимовий і літній дні: P_{Cp}, Q_{Cp} ;
- 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 $\cos(\varphi_{CВ})$;
- д) коефіцієнт змінності для активного навантаження – α .

Таблиця 1.

години	Показання	Різниця	кВт	Показання	Різниця	кВАр
--------	-----------	---------	-----	-----------	---------	------

добы	лічильника, активної енергії, обертів	показань, обертів		лічильника реактивної енергії, обертів	показань, обертів	
1	2	3	4	5	6	7
0						
1						
2						
...						
24						

Споживана потужність (активна і реактивна) визначається як

$$P = \frac{K_{m.m} \square K_{m.n} \square 3600 \square n}{c \square t};$$

де:

- п - різниця показань лічильника наприкінці і на початку прийнятого інтервалу часу в обертах;
- с - постійна лічильника, прийняти 1000 на 1 квт год;
- t - інтервал часу між вимірами в сек.

4. Вимоги до звіту.

Звіт по лабораторній роботі повинний містити:

1. Схему моделюємої 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.

5. Контрольні питання.

1. З якою метою знімаються графіки навантажень на пром підприємствах?
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 ОПОРУ ЛАНЦЮГА “ФАЗА-НУЛЬ” У МЕРЕЖАХ ДО 1000 В

1. Мета роботи

У процесі виконання даної роботи закріплюються знання студентів по розділах “Цехові електромережі до 1000 В та їх захист від однофазних коротких замикань” курсу “Електропостачання промислових підприємств”. Робота носить розрахунково-дослідний характер і включає визначення опорів петлі фаз-нуль, розрахунок струмів однофазного замикання для досліджуваної лінії і вибір захисного апарата для захисту від струмів однофазних замикань.

2. Короткі теоретичні відомості.

На промислових підприємствах велике поширення має чотирихпроводна система цехової електромережі 380/220 В з нульовим проводом і

глухозаземленою нейтрал’ю цехового трансформатора 6-10/0.4 кВ. Можливі випадки, коли замикання на корпус можуть створити для персоналу небезпечний потенціал на металевих частинах, що нормально не знаходяться під напругою. Однієї з найважливіших мір для забезпечення безпеки є заземлення.

Глухозаземлена нейтраль трансформатора приєднується до пристрою, що заземлює, чи безпосередньо через малі опори (тр-ри струму й ін.).

Нульовий провід, з’єднаний із глухозаземленою нейтрал’ю трансформатора, служить зворотним проводом при нерівномірному навантаженні фаз. В електроустановках із глухозаземленою нейтрал’ю при замиканнях на заземлені частини повинне бути забезпечене надійне автоматичне відключення, пошкоджених ділянок мережі з найменшим часом відключення. З цією метою в таких установках виконують за допомогою нульового проводу металевий зв’язок корпусів електроустаткування з заземленою нейтрал’ю електроустановки.

Згідно вимога ПУЕ в електроустановках напругою до 1000 В с глухим заземленням нейтралі - з метою забезпечення автоматичного відключення аварійної ділянки провідники, що заземлюють, вибираються таким чином, щоб при замиканні на корпус чи на нульовий провід мережі виникав струм однофазного короткого замикання перевищуючий не менш чим:

а) у три рази номінальний - струм плавкої вставки найближчого запобіжника - для нормального середовища, $I_K^{(1)} \geq 3I_{нв.ст}$

і в чотири рази - для вибухонебезпечного середовища, $I_K^{(1)} \geq 4I_{нв.ст}$

б) у три рази номінальний струм розчіплювача автоматичного, вимикача, що зворотно назад залежну від струму характеристику:

- для нормального середовища, тобто $I_K^{(1)} \geq 3I_{нр}$

і в шістьох разів - для вибухонебезпечного середовища, тобто $I_K^{(1)} \geq 6I_{нр}$

в) у 1,25 - 1,4 рази уставки струму миттєвого спрацьовування, що має тільки миттєвий розцеплювач, (відсічку),

тобто $I_K^{(1)} = (1,25 - 1,4)I$ - уст. мит. спрацюв.

Дослідження і практика показали, що нульові проводи прокладені поза сталюю трубою електропроводки, поза сталюю бронею кабелів і поза металевим кожухом шинопроводу створюють великий опір протіканню струмів нульової послідовності. У результаті чого спостерігалися випадки коли у ввідній коробці відбулося однофазне коротке замикання, горить дуга, а захист не спрацьовує [2]. При цьому струм однофазного замикання на землю, зустрічаючи великий індуктивний опір нульової послідовності, обумовлений магнітним екраном труби, кожуха, броні виходить недостатнім для спрацьовування запобіжника чи автомата. Таким чином, масивні заземлені металеві конструкції і провідники поза бронею кабелю, поза трубою і поза кожухом шинопроводу зовсім не впливають на збільшення струму однофазного замикання на землю і струм замикання на землю по них майже не йде.

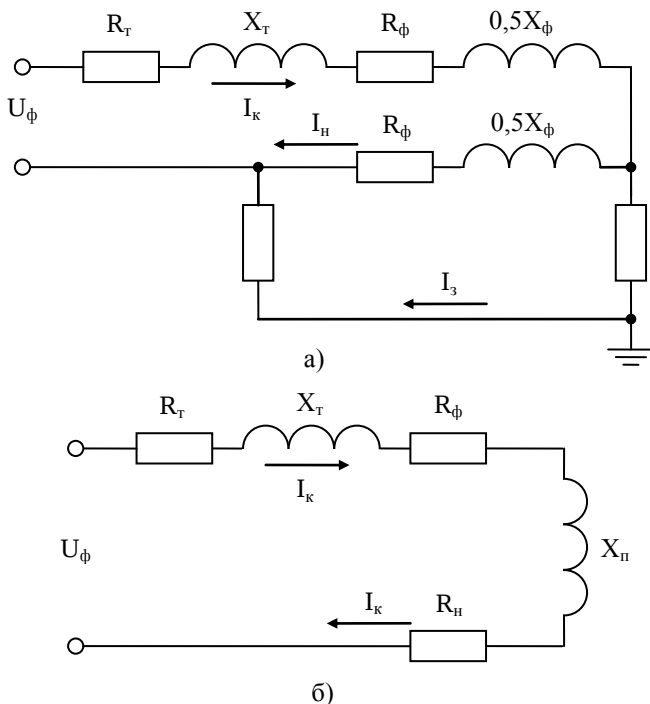


Рис.1. Розрахункова схема петлі фаза-нуль на відключаючу здатність.

Використання броні кабелю, сталеві труби, електропроводки і кожуха шинопроводу як нульовий провід значно збільшує струм однофазного замикання на землю. Найбільше значення струму однофазного замикання на землю можна одержати при прокладці нульового проводу з фазними проводами усередині сталеві труби, чи при прокладці нульові шини усередині кожуха шинопроводу разом з фазними шинами, а також при використанні однієї жили (нульові) 4-х жильного кабелю, як нульовий провід.

Значення струму однофазного короткого замикання залежить від фазної напруги опору ланцюга, тобто від активного й індуктивного опорів трансформатора R_t й X_t активних опорів фазного і нульового проводів R_ϕ і R_n зовнішнього індуктивного опору петлі фаза-нуль X_n і нарешті опорів заземлення нейтралі трансформатора R_o і повторного заземлення нульового проводу $R_{п.з}$ (рис.1.а). Оскільки R_o і $R_{п.з}$ як правило великі в порівнянні з іншими опорами ланцюга, можна не брати до уваги паралельні гілки утворені ними.

Тоді розрахункова схема спроститься (рис.1.б), а струм $I_K^{(1)}$ буде дорівнювати:

$$I_K^{(1)} = \frac{U\phi}{\sqrt{(R_T + R_\phi + R_\Pi)^2 + (X_T + X_\Pi)^2}}, A \quad (2.1)$$

Для практичних розрахунків можна застосовувати наближену формулу, у якій повні опори трансформатора Z_T і петлі фаза-нуль Z_Π складаються алгебраїчно [3]:

$$I_K^{(1)} = \frac{U\phi}{Z_T + Z_\Pi}, A \quad (2.2)$$

Повний розрахунковий опір трансформатора визначається:

$$Z_T = \frac{1}{3}(Z_{T1} + Z_{T2} + Z_{T0})$$

де Z_{T1}, Z_{T2}, Z_{T0} - опори прямої, зворотної і нульової послідовності трансформатора.

Деяка погрішність спрощеної формули (2.2) посилює вимоги до занулення, тобто підвищує умови безпеки і тому припустима. Значення Z_T для трансформаторів потужністю $S \geq 1000$ кВА зі схемою з'єднання обмоток y/Y_0 коливається в межах від 0.05 до 1.5 Ом і визначається по емпіричній формулі, запропонованій в [3]:

$$Z_T = \frac{270}{S+10} \cdot U^2 \text{ Ом}$$

де:

U – номінальна напруга трансформатора з низької сторони трансформатора, кВ;

S – номінальна потужність трансформатора, кВА.

В трансформаторах потужністю вище 1000 кВА Z_T має невелике значення і їм можна знехтувати.

З метою поліпшення умов замикання на корпус пропонується застосовувати силові трансформатори зі схемою з'єднання “трикутник-зірка” при потужності трансформаторів 400 кВА і вище і “зірка-зірка” при потужності трансформаторів 250 кВА і нижче замість трансформаторів зі схемою з'єднання “зірка-зірка”.

Опис установки.

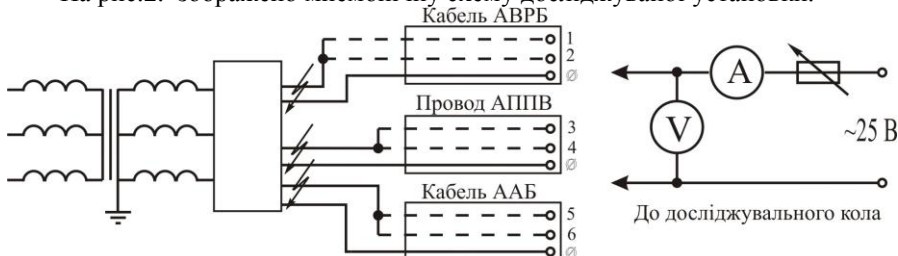
Вимір опору петлі фаза-нуль має на меті визначити дійсну величину повного опору петлі фаза-нуль.

У даній лабораторній роботі використовується одна зі схем виміру опору петлі фаза-нуль за допомогою вольтметра й амперметра. Для виміру

використовуються однофазний понижуючий трансформатор напругою 25 В, реостат, амперметр, вольтметр і провідники.

Один вивід вторинної обмотки понижуючого трансформатора приєднується до нульового проводу, другий вивід до фазного проводу. Фазний провід і нульовий провід випробуваних кабелів з'єднуються надійною перемичкою, що імітує К.З.

На рис.2. зображено мнемонічну схему досліджуваної установки.



1 – нульова жила кабелю АВРБ; 2 – броня кабелю АВРБ; 3 – сталевая труба; 4 – нульова жила проводу АППВ; 5 – сталевая смуга; 6 – алюмінієва оболонка кабелю ААБ.

Рис.2.Схема установки

Дослідженню підлягають наступні лінії: кабель АВРБ, чотирьох-жильний, перетином $3 \times 16 \times 1 \times 10$ у поліхлорвінілової оболонці, броні- рований сталевими стрічками, довжиною 30 м, довгостроково припустимим струмом

$I_{\text{дл.доп}} = 90 \text{ А}$. В якості нульового провідника випробуються:

- нульова жила кабелю;
- броня кабелю.

Провід АППВ перетином $2 \times 4 \text{ мм}^2$, прокладений у сталевій трубі.

В якості нульового провідника випробуються:

- нульовий провідник прокладений разом з фазним у трубі;
- сталевая труба.

Кабель ААБ-(3х35) трьохжильний з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці, броньований. Довжина кабелю 100 м з довгостроковим

припустимим струмом $I_{\text{дл.доп}} = 115 \text{ А}$.

В якості нульового провідника випробуються

- сталевая смуга, прокладена поза бронею кабелю;
- алюмінієва оболонка кабелю.

3.Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитися з описом і мнемонічною схемою стенда лабораторної роботи (рис.2.).

2. Зібрати схему установки і подати живлення на стенд.

3. Провести по черзі в досліджуваних лініях вимірювання величини струму $I_{\text{ісп}}$ і падіння напруги ΔU у ланцюзі петлі фаза-нуль.

4. По отриманим даним визначити опір петлі фаза-нуль і величину струму однофазного К.З. для кожної досліджуваної лінії.

5. За найменшим значенням струму К.З. вибрати захисні апарати (автомати і запобіжники) для захисту від однофазних К.З. для нормального і вибухонебезпечного середовища.

6. Визначити питомий опір петлі фаза-нуль.

7. Визначити зону дії обраного виду захисту від однофазних К.З

Короткі методичні вказівки до виконання роботи.

1. Струм однофазного К.З. визначається по формулі:

$$I_K^{(1)} = \frac{U\phi}{Z_T + Z_{\Pi}}, A$$

де:

$U\phi$ - фазна напруга з низької сторони трансформатора, В.

Z_T - повний опір трансформатора струмом замикання на корпус (визначається по формулі 2-3), Ом

2. Опір петлі фаза-нуль визначається:

$$Z_{\Pi} = \frac{\Delta U}{I_{icn}}, \text{ Ом}$$

де:

ΔU - падіння напруги в петлі фаза-нуль, В;

I_{icn} - струм іспиту, що протікає по петлі фаза-нуль, А.

3. Гранична довжина відгалуження при якій гарантується відключення обраним захисним апаратом струмів однофазного К.З. визначається:

$$L = \frac{U\phi - \Delta U_{\partial}}{\Delta U_{y\partial}}$$

де:

L - довжина відгалуження від місця установки захисного апарата до найбільш віддаленої точки однофазного К.З.

$\Delta U_{y\partial}$ – падіння напруги на дузі, ($\Delta U_{y\partial} \approx 40B$).

4. $\Delta U_{\partial} = Z_{n,y\partial} \cdot I_{K.min}^{(1)}$ - падіння напруги нульовий послідовності (на кожен метр довжини).

де:

$Z_{n,y\partial}$ - питомий опір петлі фаза-нуль на 1 м довжини;

$I_{K.min}^{(1)}$ - найменше припустиме значення однофазного К.З. відповідно

до умов ПУЕ.

Результати розрахунків зводяться до таблиці.

Таблиця 1

Результати розрахунків та показання приладів

Дослідні лінії	Довжина, м	Нульовий провідник	№ досліду	Виміряно			Розраховано	
				$\Delta U, В$	$I_{сн}, А$	$Z_n, Ом$	$Z_t, Ом$	$I_k^{(1)}, А$
Кабель АВРБ	30	Нульова жила	1					
	30		2					
Провід АППВ	30	Труба Нульовий провід	3					
	30		4					
Кабель ААБ	100	Стальна полоса Алюмін. полоса	5					
	100		6					

5. При визначення зони дії обраного виду захисту прийняти конкретні струмоприймачі, що живляться від досліджуваних ліній, (наприклад, асинхронні двигуни 30,40 квт). Скласти електричну схему.

Таблиця 2.

Результати розрахунку вибору захисних апаратів

Дослідна лінія	Довжина, м	Нульовий провідник	$Z_n, Ом$	$I_k^{(1)}, А$	Нормальне середовище		Вибухонебезпечне середовище	
					Запобіж-ник	автом. вим.	Запобіж-ник	автом. вим.

6. Номінальний струм розчіплювача будь-якого типу вибирається по розрахунковому струмі з умови: $I_n \geq I_M$; і за умовою перевантаження пусковими струмами: $I_n \geq \frac{I_{пуск}}{K}$.

Величина К визначається по захисних характеристиках. При невеликій частоті і тривалості пуску до 2 с, К=7.

б) Струм плавкої вставки, що захищає відгалуження до двигуна від струмів К.З. але не перегорає при пусковому струмі: $I_{в.ст} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}$.

4. Зміст звіту

Звіт повинний містити:

1. Схему установки;
2. Схему захисту обраних двигунів;
3. Дані досліджень і розрахунків (табл.1. і табл.2.)
4. Висновки по роботі в цілому.

5. Контрольні питання

1. Призначення пристроїв заземлення у мережах до 1000 В?
2. Призначення нульового провідника в 4-х провідній мережі 380/220 В?
3. Що впливає на величину струму однофазного К.З.?
4. З яких умов вибираються запобіжники й автомати для захисту від однофазних К.З.?
5. Який спосіб виконання нульового провідника забезпечує найбільше значення струму однофазного К.З.?

Лабораторна робота №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАПОБІЖНИКІВ І АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ.

1. Мета роботи

Ознайомитися з конструкціями запобіжників і автоматичних вимикачів. Визначити залежність часу спрацювання запобіжників і автоматів від величини струму перевантаження.

2. Теоретичні відомості:

Для захисту електромереж і електродвигунів від струмів перевантаження і струмів короткого замикання в мережах напруги до 1000 В установлюються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі. Ці апарати розривають ланцюг струму, коли величина струму стає небезпечною для подальшої нормальної роботи елементів мережі. Плавким запобіжником називають електричний апарат, що при струмі, більшому заданої величини, розмикає електричний ланцюг шляхом розплавлення плавкої вставки, безпосередньо нагрітої струмом до розплавлення.

Сучасні запобіжники звичайно виконуються з закритим патроном. Запобіжники з закритим патроном можуть бути з наповнювачем і без нього. У запобіжниках дуга гаситься в порошкоподібному чи зернистому наповнювачі, а запобіжниках без наповнення - унаслідок високого тиску газів у патроні. Матеріали для плавких уставок повинні мати малий питомий електричний опір, невелику температуру плавлення і, крім того, повинні бути стійкими до окислювання. У запобіжниках для плавких уставок звичайно застосовуються мідь і цинк, рідше свинець.

Повний час відключення ланцюга запобіжників складається з часу розплавлення плавкої вставки і часу гасіння дуги. Очевидно, що чим більше струм ланцюга, тим швидше плавка вставка нагрівається до плавлення і тем менше буде повний час відключення. Залежність повного часу відключення ланцюга плавким запобіжником від струму називають часо-струмовою характеристикою, чи захисною характеристикою.

Запобіжник буде захищати об'єкт лише в тому випадку якщо захисна характеристика розташовується нижче захисної характеристики об'єкта, що захищається, при будь-якій значенні струму в ланцюзі (рис.1.).

Варто розрізняти номінальні струми запобіжника і струми плавких уставок:

$I_{н.пр}$ - струм, при якому струмоведучі контактні частини запобіжника нагріваються до допустимої температури;

$I_{н.п.в}$ - струм, на який розрахована плавка вставка (при його протіканні вставка не повинна перегоріти).

Найбільш поширені в промислових установках запобіжники серії ПН-2 і

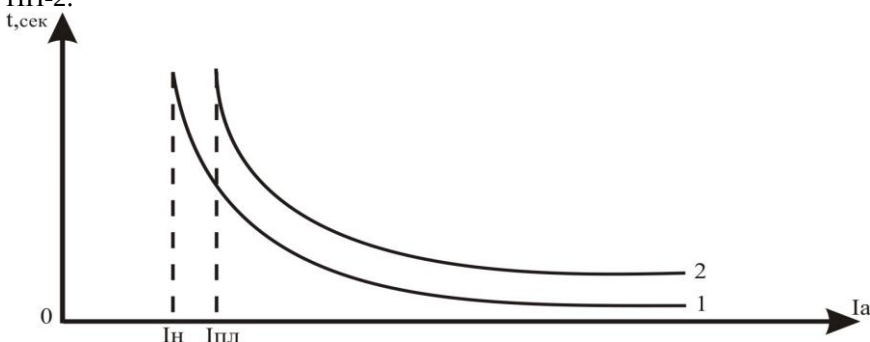


Рис.1. Узгодження захисних характеристик запобіжників та захищеного об'єкту: 1 – характеристика запобіжника; 2 – характеристика об'єкту.

Запобіжники серії ПН-2. Ці запобіжники мають закриті розбірні патрони без наповнювача. Номінальні струми патронів: 15, 60, 100, 200, 350, 600, 1000 А. Номінальні струми вставок: 6, 10, 15, 20, 60, 80, 100, 160, 200, 260, 300, 350, 600, 1000 А.

Запобіжники з наповнювачем ПН-2 Номинальні струми патронів: 40, 100, 250, 400, 600 А. Номінальні струми вставок: 6, 10, 15, 40, 50, 60, 80, 100, 200, 300, 400, 500, 600 А.

Істотним недоліком плавких запобіжників є те, що вони не завжди забезпечують виборчий захист мережі. При перегоранні запобіжників ускладнюється зворотне відновлення живлення, тому що потрібна заміна перегорілої вставки новою. Тому в сучасних установках для захисту ліній і електродвигунів від короткого замикання і перевантажень широко застосовуються автоматичні вимикачі, які мають теплові й електромагнітні розчіплювачі.

Принцип дії пристрою полягає в тому, що тепловий елемент, який складається з біметалічної пластинки з контактною системою, при нагріванні його струмом деформується і призводить до спрацювання автомата. В

автоматах це досягається тим, що розчіплювач звільняє утримуючий важіль і вимикач під дією пружини відключається. Володіючи великою інерцією, теплові елементи не реагують на пускові струми ел. двигунів і добре захищають їх від перевантаження.

Теплові розчіплювачі мають зворотньо залежну від часу характеристику, аналогічну запобіжнику, і при коротких замиканнях не встигають швидко відключати ланцюг, що приводить до розвитку аварії. Застосовуються також і комбіновані автомати, які мають теплові й електромагнітні розчіплювачі. Електромагнітні розчіплювачі відключають вимикачі миттєво при проходженні через їхні котушки струмів більш визначеної величини. Автомати АП50 застосовують в установках малої потужності. Автомати серії А-3100 мають велике поширення в промисловості. Вони забезпечуються нерегульованими розчіплювачами трьох типів: тепловими, електромагнітним і комбінованим елементами.

Номінальним струмом розчіплювача $I_{нр}$ - називається зазначене в паспорті значення струму, тривале протікання якого не викликає спрацьовування розчіплювача.

Током уставки розчіплювача $I_{уст.р}$ - називається найменший струм, при якому розчіплювач спрацьовує.

Перевірка теплових елементів вимикача А-3100.

Щоб переконатися в правильності дій теплових елементів автомата, необхідно зробити перевірку кожного з них окремо. **Перевірка теплових елементів проводиться випробувальним струмом рівним дворазовому номінальному струму розчіплювача.** Після перевірки кожного теплового елемента на спрацьовування необхідно, щоб їхня температура знизилася до температури навколишнього повітря (остигання 2-4 хвилини). Потім проводиться перевірка характеристик теплових елементів. Для цього полюси автомата з'єднуються послідовно, автомат включається, і всі його теплові елементи одночасно навантажуються випробувальним струмом.

Перевірка електромагнітних елементів комбінованих розчіплювачів вимикачів серії А-3100.

Перевіряються по черзі випробувальним струмом кожний полюс автомата. При струмі, нижче струму уставки на 30% для автоматів А-3100 і 15% для інших автоматів вимикач не повинний спрацьовувати. При випробувальному струмі більше струму уставки повинне відбуватися чітке відключення вимикача від електромагнітного елемента. Теплові розчіплювачі вимикачів АП-50 перевіряються аналогічно вимикачам серії А-300 триразовим струмом уставки теплового розчіплювача. Припустимий діапазон спрацьовування максимальних розчіплювачів повинний бути зі струмами відсічки $3,5I_{н} \pm 15\%$, $8I_{н} \pm 20\%$, $11 \cdot I_{н} + 15\% - 30\%$.

Опис установки.

Схема установки для виміру часу спрацьовування плавких запобіжників, автоматичних вимикачів приведена на рис.2.

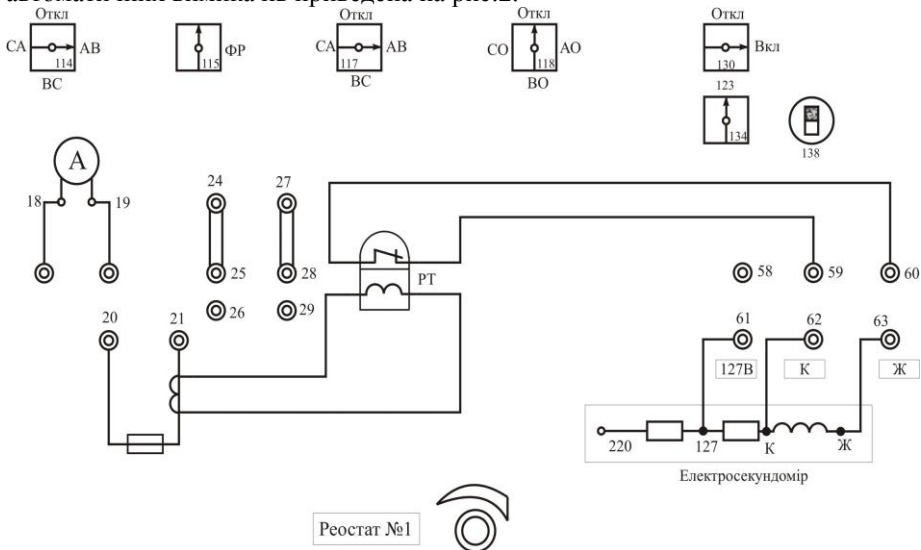


Рис.2. Електрична схема визначення часу спрацювання запобіжників та автоматів.

В даній лабораторній роботі використовується релейний стенд. Електричний секундомір приєднується до затисків 61,62,63.

Нормально замкнуті контакти реле струму приєднуються до затисків 59,60, і накладка між ними розмикається. Схема досліду складена в пропозиції, що в процесі досліду не використовуються струми понад 50А. У цьому випадку використовується тільки реостат №1. Якщо в процесі досліду, споживаються (затиски 24-25 і 27-26 з'єднані накладками) струми до 100 А, необхідно накладки переставити, з'єднати 25-26 і 28-29» у цьому випадку реостати №1 і №2 включається паралельно. Після включення головного вимикача ланцюга змінного струму 130 перемикач 114 встановлюється в одне з положень (наприклад АВ), перемикач 115 у положенні “мережа”, перемикач 118 у положення “відключено”, перемикач 117 у положення “АВ”.

Далі при включенні вимикача 138 спрацьовує контактор стенда і замикає своїм контактом ланцюг струму. Величина струму в ланцюзі регулюється за допомогою рукояток грубого і точного регулювання реостата №1. Попередньо до включення вимикача 138, обидві рукоятки повинні бути в положенні "мінімум". При паралельному включенні №1 і №2 регулювання струму здійснюється рукоятками обох реостатів.

3. Порядок виконання роботи.

Ознайомитися з описом і електричною схемою лабораторного стенда і конструкціями запобіжників.

По приведеним нижче формулах розрахувати:

1. Мінімальний плавлячий струм - по формулі Прісса:

$$I = a_2 \sqrt{d^3}, \text{ А}$$

де:

$a_2 = 80$ для міді;

d – діаметр дроту; у мм.

2. Розрахувати захисні характеристики плавких уставок двох діаметрів по наближеній формулі для відкритої плавкої вставки в повітрі:

$$t = (1.2 \div 1.3) \left(A' + \frac{A''}{3} \right) \frac{S^2}{I^2}, \text{ сек}$$

де: $(1.2 \div 1.3)$ – коефіцієнт враховуючий час гасіння дуги;

$A' = 80 \cdot 10^{-3}$ і $A'' = 11.6 \cdot 10^{-3}$ для мідних уставок;

S – перетин плавкої вставки, мм^2 ;

I – струм, що проходить через плавку вставку, А.

3. Зібрати схему установки згідно рис.2. приєднати випробуваний запобіжник до затисків 20-21 установити рукоятки регулювання реостата №1 у положення мінімум. Зняти часо-струмову характеристику плавких уставок двох діаметрів.

Результати досвідів і розрахунків

Таблиця 1.

Показання	Показання електросекундоміра (сек) при струмі I, А				
	10	20	30	40	50
Розрахункове					
Дослідне					

Побудувати дослідну і розрахункову залежності $t=f(I)$ (будувати на одному графіку).

4. Ознайомитися з пристроєм автоматичних вимикачів АЗІ63 і АП-50 і зробити кілька замикань і розмикань контактів. Зніміть кришку, ознайомтеся з тепловими й електромагнітними розчіплювачами.

5. Зберіть електричну схему згідно рис.2, до затисків 20-21 приєднаєте досліджуємий автоматичний вимикач. Перевірте час спрацювання теплових і електромагнітних розчіплювачів. Перевірка теплових елементів при пополюсному навантаженню і при одночасному навантаженні, усіх полюсів автоматів проводиться згідно інструктивних вказівок викладених у ІІ розділі. Величина струму регулюється реостатом №1.

6. Отримані результати занести в табл.2.

Підрахувати кратність навантаження: $K = \frac{I}{I_H}$

де: I – струм навантаження, А;
 I_H – номінальний струм автомата, А.

Результати дослідів і розрахунків.

Таблиця 2.

Найменування автомата	Номінальний струм автомата	Струм навантаження	Кратність перевантаження	Час спрацювання

7. Після підрахунку величини $\frac{I}{I_H}$ побудуйте графік залежності:

$$t = f\left(\frac{I}{I_H}\right).$$

4.Зміст звіту.

1. Мета роботи.
2. Схему установки, з переліком устаткування і приладів.
3. Дані відповідей і розрахунків.
4. Висновки по роботі в цілому.

Контрольні питання.

1. Що називають часо-струмовою характеристикою плавкої вставки.
2. Що називають номінальним струмом патрона і плавкої вставки.
3. Призначення і принцип роботи теплового, електромагнітного і комбінованого розчіплювачів.
4. Що називається номінальним струмом розчіплювача і струмом уставки розчіплювачів.
5. У чому полягає перевірка, теплових і електромагнітних розчіплювачів.

Лабораторна робота №4

АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ДВОХТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІ.

1. Мета роботи:

Вивчити метод розрахунку автоматичного регулювання економічно доцільного режиму роботи трансформаторів при зміні навантаження.

2. 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 включається шинний автомат, чим забезпечується нормальна робота всіх споживачів через один трансформатор.

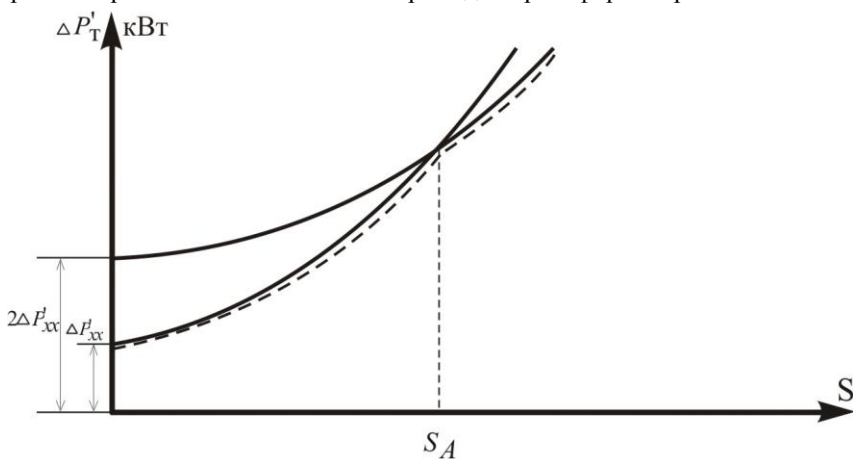


Рис.1. Залежність приведених втрат активної потужності $\Delta P_T'$ від навантаження.

I. 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:

$$S_{нт} = 400 \text{ кВА}; U_1 = 10 \text{ кВ}; U_2 = 0.23 \text{ кВ}; K_{mm} = 15/5; \Delta P_{xx} = 0,92 \div 1,08; \\ \Delta P_{кз} = 5,5 \div 5,9 \text{ кВт}; I_{xx} = 2,1\%; U_{кз} = 4,5\%; K_{пп} = 0,1 \text{ кВт/кВар}.$$

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:

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

де:

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

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

3. 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.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 короткочасних збросах навантаження. Для цього беруть витримку часу реле РВ-1 і РВ-2 на дві ступіні вище в порівнянні з основним захистом трансформатора.

Відповідно до схеми на рис.2, 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:

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

Якщо підставити S_A замість S , то одержимо:

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

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

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).

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

S - фактичне навантаження трансформатора, κBA ;

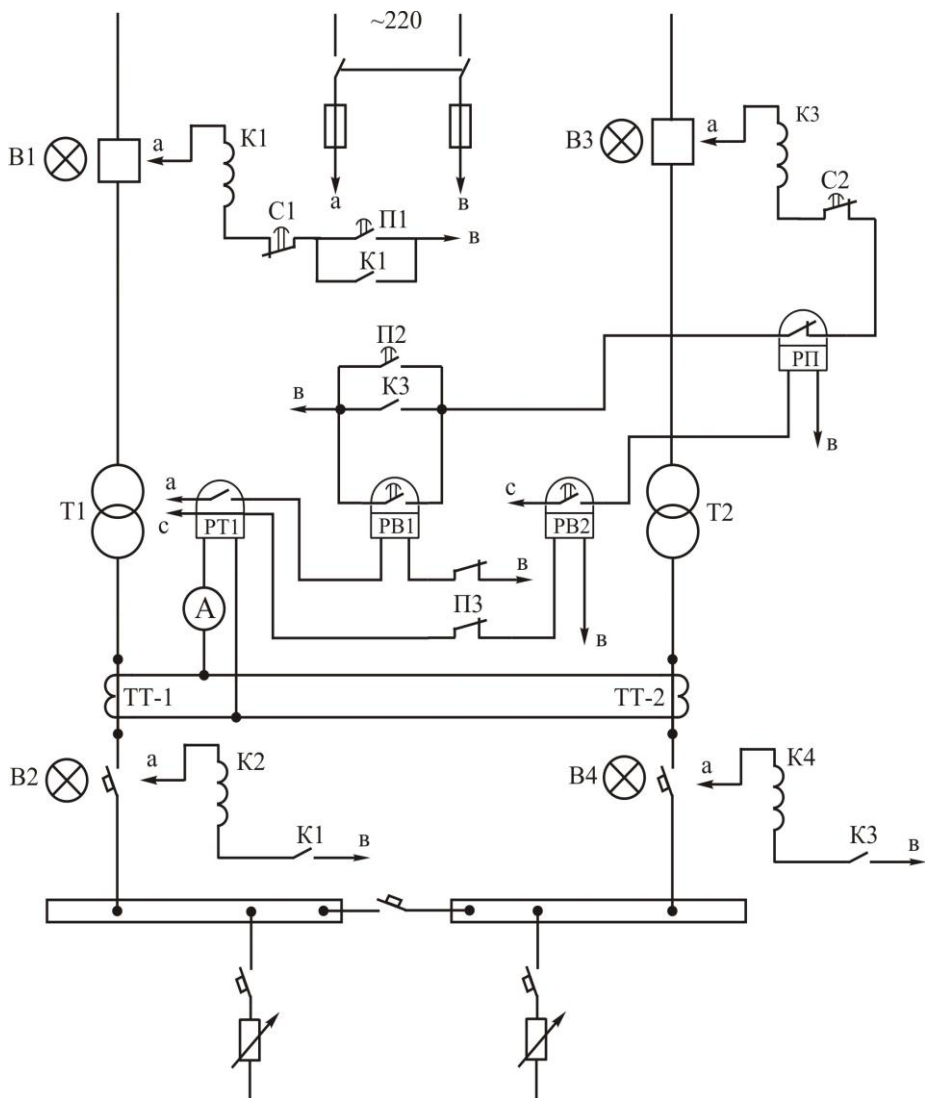


Рис.2. Принципова схема автоматичного регулювання економічно доцільного режиму роботи трансформаторів.

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

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

$$\Delta Q_{kз} = S \cdot \frac{U_{kз}, \%}{100} - \text{реактивні втрати короткого замикання,}$$

трансформатора.

Знаючи параметри встановлених трансформаторів, можна визначити їхній економічний режим роботи. Для цього необхідно побудувати криві залежності втрат активної потужності в трансформаторах від зміни навантаження (рис.1.)

З рис.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 № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ $\cos(\varphi)$ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

1. Мета роботи:

Дослідження залежності $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна від його навантаження, вивчення способів поліпшення $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна.

2. 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 промислового 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 $P_G = 0,8 \text{ кВт}$ 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 3x3 групи для підключення конденсаторних батарей необхідної потужності до двигуна; клемчатая колодка шести виводів статорної обмотки, асинхронного двигуна. Конденсаторні батареї з'єднані в трикутник і підключаються до

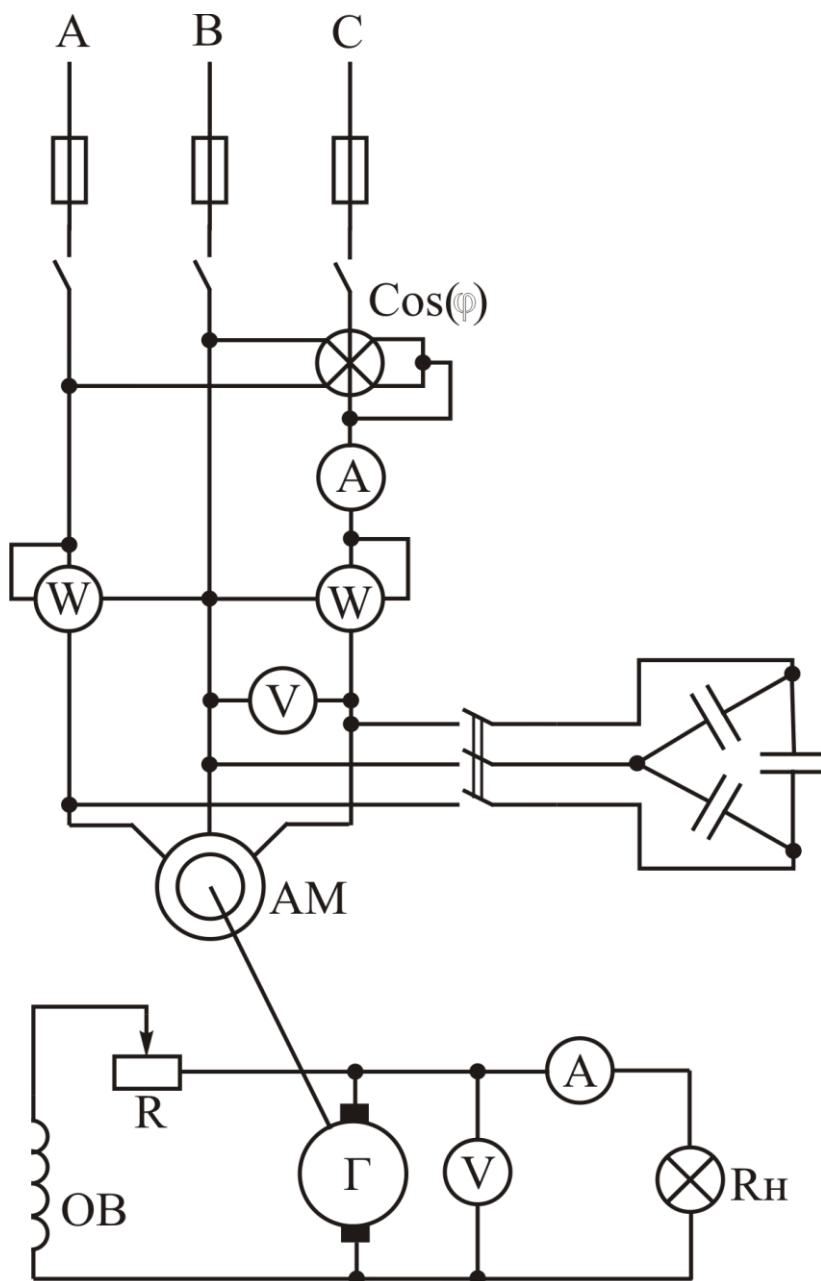


Рис.1. Схема дослідження $\cos(\varphi)$ асинхронного двигуна

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.

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 ваттметрів;

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

де: K_{mm} - межа ваттметра по струму;

$a_1 + a_2$ - алгебраїчна сума показань ваттметра.

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

η

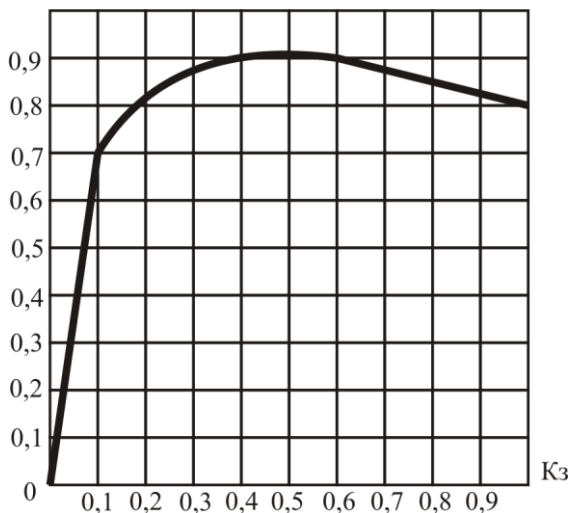


Рис.2. Залежність η генератора від його завантаження

Таблиця 1.

№№ п/п	Дослідні дані						Розрахункові дані				
	U_e, B	I_e, A	U_o, B	I_o, A	$P_o, \kappa Bm$	$\text{Cos}(\varphi)$	$K_{зг}$	η_e	$K_{зo}$	S_o	$\text{Cos}(\varphi)_{расч}$
1											
2											
...											

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

4. 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.

5. 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 №6
ВИЩІ ГАРМОНІКИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.

1. 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.

2. Короткі 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 обертанню 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 вентиляльних перетворювачів порядок гармонік визначається фазністю випрямляча.

Генерування вищих гармонік струму і напруги в трансформаторах вентиляльних 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.

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \\ A_1' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(x) dx; \quad A_1'' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(x) dx \\ A_k' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx) dx; \quad A_k'' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx) dx \quad (6.3)$$

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

де: $A_k = \sqrt{(A_k')^2 + (A_k'')^2}$ і $\operatorname{tg}(\varphi_k) = \frac{A_k''}{A_k'}$, то ряд Фур'є, може бути записаний

в іншій формі:

$$f(x) = A_0 + A_1 \sin(x + \varphi_1) + A_2 \sin(x + \varphi_2) + \dots = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(kx + \varphi_k) \quad (6.4)$$

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:

$$-f(x + \pi) = f(x) \quad (6.5.)$$

називаються симетричними щодо осі обцисс. У розкладанні таких кривих у ряд Фур'є відсутні постійна складова і парні гармоніки, тобто дорівнюють нулю коефіцієнти: $A_0 = A_2' = A_2'' = A_4' = A_4'' = 0$

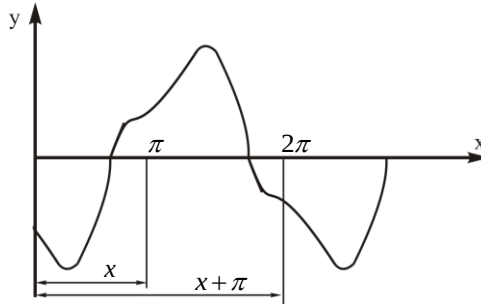


Рис.1.

Тому криві такого роду розкладаються в наступний ряд:

$$f(x) = A_1' \sin(x) + A_0'' \cos(x) + A_3' \sin(3x) + A_3'' \cos(3x) \dots \quad (6.6)$$

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:

$$K_{nc} = K_d = \sqrt{\frac{\sum_{v=m-1}^{v_n} U_v}{U_1}} \cdot 100\% \quad (6.7)$$

де: U_v - 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.

Припустиме 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 нейтрал'ю, 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.

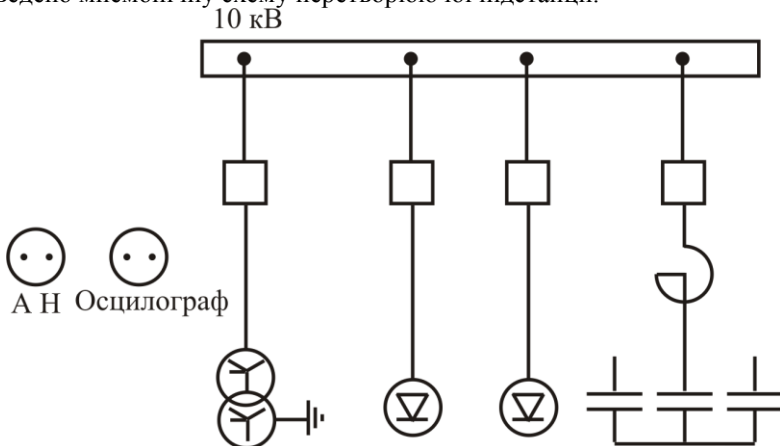


Рис.2. Мнемонічна схема перетворюючої підстанції.

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.

3. 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 "Налаштування" 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 "Напрямок 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_n 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 розраховуємі величини, позначення	Розрахункові формули	Гармоніки	Числове значення
1	2	3	4	5
ВИХІДНІ ДАНІ				
1	Потужність трифазного замикання на шинах підстанції S_k , МВА			

2	Робоча напруга U_H , кВ			
1	2	3	4	5
3	Номінальна напруга конденсаторів $U_{H,K}$, кВ			
4	Розрахункові величини струмів гармонік $I_{H,K}$, А		Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
ВИБІР БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРІВ ДЛЯ ФІЛЬТРІВ				
5	Орієнтована потужність батарей конденсаторів, обумовлена струмом гармоніки, квар	$Q = \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{III} \cdot I_V$	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.	$K_p = \frac{Q_n}{S_{K.3}}$	Ф5 Ф7 Ф11 Ф13	
9	Розрахунок коефіцієнта характеризуючого збільшення напруги основної частоти на конденсаторах у порівнянні з напругою на шинах підстанції, відн.один.	$a_p = \frac{v^2}{v^2 - 1}$	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.	$K_u = \frac{U_{III}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.б}}$		
11	Реактивна потужність, що видається батареями конденсаторів фільтрів, квар	$Q_{вид} = Q_n \cdot a_p \cdot K_u$	Ф5 Ф7 Ф11	

			Ф13	
1	2	3	4	5
ВИБІР РЕАКТОРІВ ФІЛЬТРІВ				
12	Визначення ємнісного опору фази батареї конденсаторів, Ом	$x_{cv} = \frac{3 \cdot U_{ном.б}^2}{Q_n}$	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”.

4. 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.

5. Контрольні питання.

1. Перелічіть 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 №7 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК

1. Мета роботи:

Вивчення схем автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок промпідприємств по напрузі на шинах підстанції і по струму навантаження, розрахунок установок регулюючої автоматики.

2. Теоретична частина.

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 промпідприємствах в якості компенсуючих пристроїв 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 і т.д.

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

Цей спосіб регулювання потужності КУ доцільний у тих випадках, коли для споживачів промпідприємств 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 ступінчато, отже регулювання напруги також буде здійснюватися ступінчато.

Регулювання напруги конденсаторами економічно і доцільно тільки в тому випадку, якщо воно зв'язано з підвищенням коефіцієнта потужності.

Регулювання напруги за допомогою КУ, зв'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 затисках 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 $U_{\text{верх}}$ і нижня $U_{\text{ниж}}$ межі допустимих напруг на шинах підстанції визначаються з виразів:

$$\begin{aligned} U_{\text{верх}} &= U_n + \Delta U'_C + \delta U'; \\ U_{\text{ниж}} &= U_n + \Delta U''_C - \delta U'' \end{aligned} \quad (7.1)$$

де: U_n - 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 ДЕСТ 13109-97 верхні $\delta U'$ і нижній $\delta U''$, межі відхилень напруги на затисках електроприймачів.

При розрахунку режимів регулювання КУ визначається $U_{\text{верх}}$, $U_{\text{ниж}}$ для режимів мінімального і максимального навантаження підстанції. Отримані значення $U_{\text{верх}}$ і $U_{\text{ниж}}$ 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 (7.1) можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} U_{\text{верх}} &= U_n + \delta U'; \\ U_{\text{ниж}} &= U_n + \Delta U''_C - \delta U'' \end{aligned} \quad (7.2)$$

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 $U_{\text{верх}}$ і $U_{\text{ниж}}$ для режимів мінімального і максимального навантажень і будується зона припустимих відхилень напруги на шинах підстанції, рис.1.

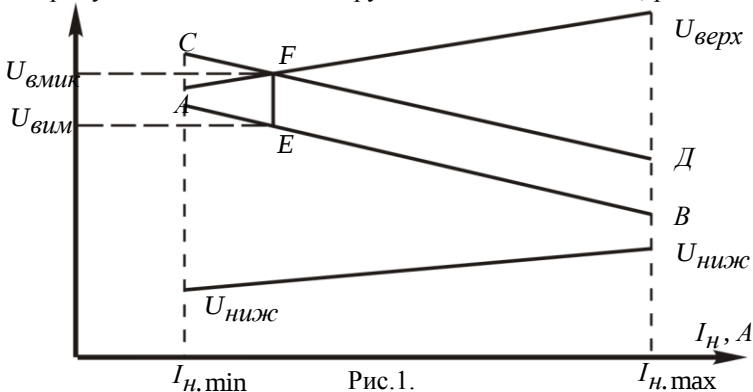


Рис.1.

Втрата напруги до найбільш віддаленого електроприймача визначається по формулі:

$$\Delta U_C'' = \sqrt{3} \cdot I_n (r_C \cos(\varphi) + x_C \sin(\varphi)) \quad (7.3)$$

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:

$$\delta U_{\text{НН}} = \delta U_{\text{ВН}} + \delta U_m - \Delta U_m, \% \quad (7.4)$$

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

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

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

$$\Delta U_m = \beta (U_a \cos(\varphi) + U_p \sin(\varphi)) + \frac{\beta^2}{200} (U_a \sin(\varphi) - U_p \cos(\varphi)) \quad (7.5)$$

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:

$$U_p = \sqrt{U_{k\%}^2 - U_{a\%}^2};$$
$$U_a = \frac{\Delta P_{KЗ}}{S_H} \cdot 100\% \quad (7.6), (7.7)$$

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

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

S_H - номінальна потужність трансформатора.

3. Визначається напруга на шини підстанції, у режимі мінімального і максимального навантаження за формулою (7.8.) і будується пряма АВ (рис.1).

$$U_m = U_H + \frac{\delta U_{HH}}{100} U_H \quad (7.8)$$

де: U_H - номінальна напруга на шинах НН підстанції.

4. Проводиться розрахунок напруг на шини підстанції в режимі мінімального і максимального навантаження при включеному КУ (формули 7.3-7.8) і будується пряма СД.

При цьому коефіцієнт завантаження трансформатора β визначається за формулою:

$$\beta = \frac{\sqrt{P_{нав}^2 + (Q_{нав} - Q_{ку})^2}}{S_H} \quad (7.9)$$

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.2. На стенді також приведена схема моделюємої 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

$$S_{нав} = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot n_V \cdot I_a \cdot n_a , \quad (\text{кВА})$$

де: U_V і I_a - показання відповідних приладів стенда.

Необхідні для розрахунку лабораторної роботи вихідні дані приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Трансформатор п/ст				Шини ВН п/ст	Потужність КУ	Вилучений ел. приймач			
				$\delta U_{ВН}, \%$	$Q_{КУ}, \text{квар}$	струм		мережа	
$S, \text{кВА}$	$U_K, \%$	$\Delta P_{КЗ}, \text{кВт}$	$\delta U_T, \%$			$I_{\min}, \text{А}$	$I_{\max}, \text{А}$	$r_c, \text{Ом}$	$x_c, \text{Ом}$
1000	10	12	0		450				

3.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.2.

Таблиця 2.

Дослід			Розрахунок			
Режим	$I_{нагр}, \text{А}$	$P_{нагр}, \text{кВт}$	$P_{нагр}, \text{кВт}$	$S_{нагр}, \text{кВА}$	$Q_{нагр}, \text{квар}$	$\cos(\varphi)_{нагр}$
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.

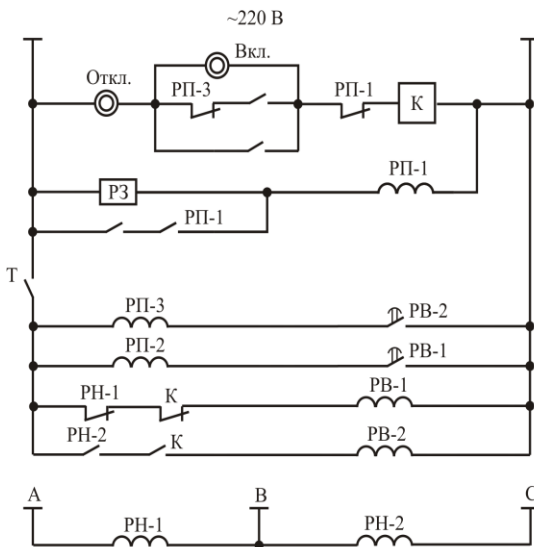


Рис.3.

Цепи оперативного тока
Включение КУ кнопкой вручную
Отключение КУ кнопкой вручную
Отключение КУ релейной защитой
Цепи отключения схемы регулирования
Цепи отключения КУ
Цепи включения КУ
Автоматич. включ. при снижении напряжения
Автоматич. отключ. при повышении напряжения
Цепи трансформатора напряжения

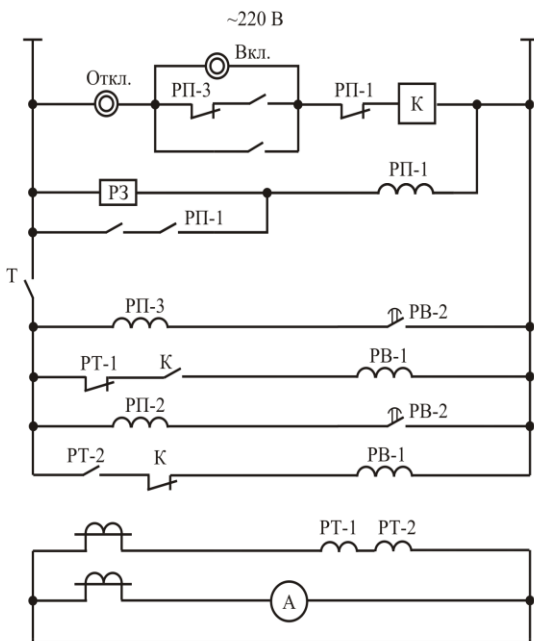


Рис.4.

Цепи оперативного тока
Включение КУ кнопкой вручную
Отключение КУ кнопкой вручную
Отключение КУ релейной защитой
Цепи отключения схемы регулирования
Цепи отключения КУ при снижении нагрузки
Цепи включения КУ при увеличении нагрузки
Цепи трансформатора тока

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, включивши 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 крапці F, рис.1. Уставка реле напруги на відключення КУ вибирається за умовою:

$$U_{\text{вим}} = U_F \quad (7.10)$$

де: U_F - напруга в крапці F.

Для того, щоб автоматика не спрацьовувала при короткочасних 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 пліні 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:

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

де: $I_{н. max}$ - максимальний струм, навантаження;
 $\eta_{тт}$ - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

б) На відключення КУ:

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

4. 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.

5. 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 ДСТ 13109-97 і ПУЕ до величин припустимих відхилень напруги на затисках різних електроприймачів.

Лабораторна робота №8

ОЦІНКА ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ДО 1000 В ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМИ КРИТЕРІЯМИ.

1. Ціль роботи:

Ознайомитися з інтегральними методами оцінки якості напруги. Обчислити "неоднаковість" напруги, дисперсію і середню величину відхилень напруги. Робота проводиться на моделі-аналізаторі постійного струму.

2. Теоретичні відомості.

Одним з основних показників якості напруги у електроприймача є величина найбільшого відхилення напруги від номінального значення.

Однак збиток, наносимий споживачем відхилень напруги залежить не тільки від величини відхилення, але і від частоти повторення цих відхилень і їхньої тривалості.

Тому, для оцінки впливу відхилень напруги на споживач за якийсь проміжок часу T варто виходити із середньої інтегральної величини відхилення напруги за розглянутий час:

$$\delta U_{cp} = \frac{100}{T} \int_0^T \delta U(t) \cdot dt$$

де $\delta U(t) = \frac{U(t) - U_H}{U_H}$ поточне значення відхилення напруги;

$U(t)$ - напруга в розглянутій крапці розподільної мережі в момент часу t
 U_H - номінальна напруга мережі.

Як інтегральний критерій кількісної оцінки якості напруги в деякій крапці розподільної мережі за період часу T прийнятий квадрат середньоквадратичного відхилення δU_{ck}^2 напруги, називана "неоднаковістю" напруги N_U

$$N_U = \delta U_{ck}^2 = \frac{10000}{T} \int_0^T [\delta U(t)]^2 \cdot dt$$

Неоднаковість напруги рівна 10 (%) , відповідає гарній якості напруги, а 100 (%)~ дуже поганому.

Дисперсія відхилень напруги, розглянутих як випадкові величини, дорівнює різниці між неоднаковістю напруги і квадратом середнього відхилення напруги від номінального значення

$$D = N_U - \delta U_{cp}^2$$

Знання величин дисперсії D , середнього значення відхилення напруги дозволяє передбачити засобу регулювання напруги, що забезпечили б мінімум загальної неоднаковості напруги для всієї розподільної мережі, а отже і зміна техніко-економічних показників роботи електроприймачів. При дискретних характеристиках змін графіка навантаження і напруги варто приймати статистичні оцінки досліджуваних величин:

середнє відхилення напруги

$$\delta U_{cp} = \sum_{i=1}^n \delta U_i / n$$

і дисперсія відхилень напруги

$$D = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\delta U_i)^2}{n} - (\delta U_{cp})^2 \right] \cdot \frac{n}{n-1}$$

де n - кількість відхилень напруги за розглянутий період часу.

Задачею даної лабораторної роботи є вивчення методики оцінки якості напруги за інтегральним критерієм і застосування такого критерію до вибору

графіка регулювання напруги на шинах ЦП при який досягається мінімум приведених витрат у сукупності споживачів.

Завдання на роботу

1. При заданій схемі мережі, її параметрах, значеннях навантажень і їхніх графіків, при кожному із заданих графіків напруги на шинах ЦП-визначити: неоднаковість, середнє відхилення і дисперсію відхилень напруги для сукупності споживачів, що харчуються від ТП 10/0,3 кв.

2. Проаналізувати вплив закону регулювань напруги на шинах ЦП на значення середніх відхилень і дисперсій відхилень напруги в сукупності споживачів.

3. Намітити засобу регулювання напруги, що забезпечують мінімум інтегральних показників якості напруги.

4. Порядок виконання роботи

1. Скласти схему заміщення досліджуваної мережі з указівкою номерів елементів і вузлів мережі.

2. Вибрати масштаб напруги, струму, опору приймаючи в увагу максимально припустимі струми і напруги моделі.

3. Визначити опір оригіналів і моделей лінії, трансформатора і навантажень (при всіх ступенях графіти навантажень).

Приведення опору при номінальній напрузі $U_n=10$ кв до базисної ступіні трансформації ($U_\delta=0.38\text{кВ}$) здійснюється по формулі:

$$Z' = Z \left(\frac{U_\delta}{U_n} \right)^2$$

Опір навантажень $Z_{нг}$ визначається виходячи з заданих потужностей навантажень $P_{нг}$

Опору ліній і трансформаторів моделюються модулем повного опору.

Опір навантажень можна моделювати навантажувальним чи лінійним елементами.

4. Зібрати схему на столі постійного струму і змінюючи навантаження і напругу у відповідності з заданими графіками, вимірити напруги в споживачів.

Зміст звіту.

1. Схема досліджуваної мережі і параметри.
2. Схема заміщення мережі, що збирається на моделі.
3. Графіки навантажень споживачів, графіки напруги на шинах ЦП.
4. Результати вимірів напруг, приведення їх до параметрів оригіналу.
5. Отримані значення інтегральних показників відхилень напруги.
6. Висновки за результатами роботи.

5. Контрольні питання.

1. Які існують критерії оцінки якості напруги в споживачів? Які їхні особливості?

2. У зв'язку з чим виникають необхідність оцінки якості напруги за інтегральними критеріями. Які фактори не враховуються при оцінці якості напруги тільки по граничних припустимих його відхиленнях від номінального?

3. Чи є математичне чекання квадрата відхилень напруги (неоднаковість) вичерпною ймовірносно-статичною характеристикою якості напруги?

4. Якими способами регулювання можна знизити математичне чекання і дисперсію відхилень напруги?

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010.

2. Правила устройства электроустановок. М., "Энергия", 1986.

3. Мукошеев Ю.Л. Электроснабжения промышленных предприятий. М. "Энергия", 1973.

4. ДОЛИН П.А. Основы техники безопасности в электрических установках М, "Энергия", 1970.

5. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий М., "Энергия" 1972.

6. Инструктивные материалы государственной инспекции по энергонадзору. М., "Энергия" 1974.

7. Грейсук М. В., Лазарев С.С. Расчеты по электроснабжению промышленных предприятий, "Энергия" М., 1977.

8. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий М, "Энергия", 1977.

9. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях М, "Энергия", 1977.