

Шановні панове,

Наше підприємство має багаторічний досвід роботи та запатентовані розробки в області енергоефективності.

У зв'язку з тенденцією масового використання 100% нелінійних навантажень і ростом кількості коротких замикань різної потужності і тривалості, ростом несиметрії напруг та струмів, можливістю обриву проводу лінійної або нульової фази, наявністю у мережі 0.4кВ високовольтних імпульсів напруг до 10кВ грозового та комутаційного характеру, з'явилась необхідність збільшити надійність і живучість системи електропостачання і електроспоживання за допомогою спеціального обладнання - стабілізатора фаз.

Застосування стабілізатора фаз дозволяє отримати наступні результати:

- Зменшити втрати як активної до 20%, так і реактивної енергії до 20% у живильному трансформаторі,
- Збільшити строк служби електричних двигунів всіх типів, а саме приводів ескалаторів, ліфта, насосів всіх типів, компресорно-конденсаторних блоків системи вентиляції та кондиціонування повітря,
- Виключення відмов персональних комп'ютерів, касових апаратів та серверів з причини електропостачання,
- Зменшити нагрів силових кабелів та трансформатора,
- Генерувати фазу або нуль в разі обриву,
- Збільшити строк служби силового трансформатора.
- Вирівняти величини фазних напруг у всіх фазах мережі,
- Зменшити високовольтні імпульси напруги та струму,
- Видалити з мережі вищі гармоніки, кратні і не кратні трьом,
- Зменшити перехідні напруги і осідання напруги,
- Збільшити пропускну потужність мережі і трансформатора,
- Захистити обладнання від однофазних коротких замикань,
- Зменшити акустичний шум трансформатора і електроприводів,
- Зменшити потенціал між нульовою фазою і землею відносно потенціалу землі(Вимога ПУЕ)

Наше обладнання використовується на таких підприємствах як компанія «WOG», Ільчівський морський торговий порт, ВАТ МЗМК, Славутський солодовий завод, Карлівський машинобудівний завод, Керченський морський порт, завод «Зоря» (м.Рівне), банк «Аркада», м.Київ, «Держкомтелерадіо України», ДП НПО ПХЗ (м.Павлоград), ТОВ «Сандора», ВАТ «Київпастранс», Держзناзначейство України, ВАТ ХК «Бліц-прінт», клініка «Ісіда», АТ «Київхліб» молокозавод «Люсдорф», Крафт-фудс Україна, ВАТ «Мостобуд» м.Київ, Кабінет Міністрів України, ВАТ «Оболонь», ЗАТ «Миргородський завод мінеральних вод», «Квазар-мікро», «Тетра-Пак Україна», ДАХК «Артем», ССГПО (г.Рудный, Республіка Казахстан), Морський бізнес-центр м.Одеса, бізнес-центр «Злата плаза» м.Рівне, бізнес-центр «Чайка» м.Рівне, Епіцентр-К м.Київ(Харківський масив) і т.д.

Технічні дані стабілізатора фаз наведені в Додатку 1.

**Заступник директора по
науці** Доктор технічних наук
О.Д. Музиченко

Контакт:+380675190308,+380992520013,+380936818855 Рыкун Юрий Олегович.

Технічні дані стабілізатора фаз:

- Кількість фаз: - 4 (3-лінійних, 1-нульова).
- Номінальна фазна / лінійне напруга, В: - 220/380 (можливі номінали до 220кВ)
- Частота, Гц: - 50
- Номінальна потужність, кВА:10 - 250
- Кратність подавлення напруг вищих гармонік, кратних трьом: - від 4 до 25.
- Кратність подавлення струмів вищих гармонік, кратних трьом: - від 4 до 25.
- Кратність подавлення імпульсів напруг: - від 4 до 25.
- Збільшення пропускної потужності мережі,%: - не менше 6
- Зменшення втрат активної енергії у силовому трансформаторі,% -до 23
- Зменшення втрат реактивної енергії у силовому трансформаторі,% -до 25
- Точність стабілізації,В:-220±2%.
- Діапазон вхідних напруг, В:-140-260



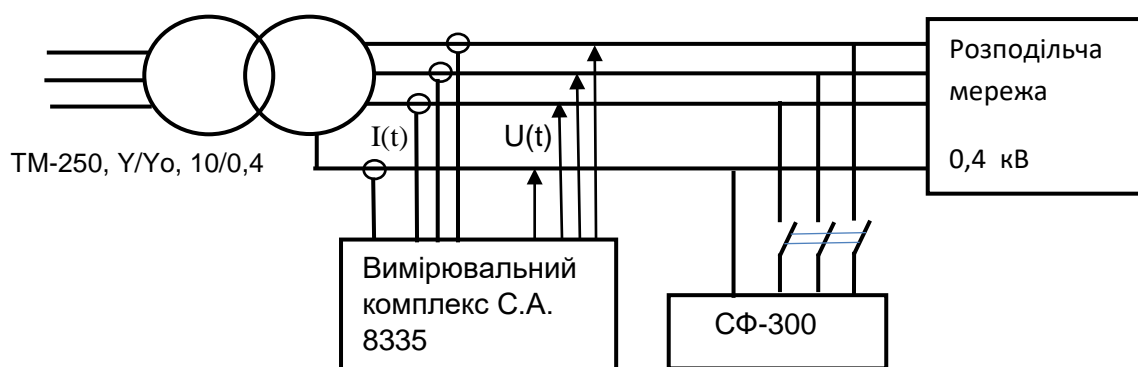


Додаток 2

Акт випробувань

впливу приєднання стабілізатора фаз СФТСЗ-300 до діючих розподільчих мереж 0,4 кВ, які живляться від масляних трансформаторів 0,38кВ ЗТП10Тр1(400кВА), ЗТП11Тр1(400кВА), ЗТП11Тр2(400кВА), ЗТП24Тр1(400кВА), ЗТП24Тр2(630кВА), ЗТП183Т1(400кВА) та ЗТП177Т1(400кВА) і ЗТП237Тр1(400кВА) м.Рівне.

1. Мета випробування: визначення доцільності застосування стабілізаторів фаз (СФТСЗ) та трансформаторів розподільчих мереж, виготовлених на основі СФ, для покращення електропостачання та зменшенню втрат електричної енергії.
2. Схема випробування.



Фіг.1

3. Метод випробування передбачає вимірювання параметрів струмів та напруг трансформаторів у двох режимах.

3.1. Робота трансформатора та розподільчої мережі на протязі 10 хвилин при відімкненому стабілізаторі СФТСЗ-300.

3.2. Робота трансформатора та розподільчої мережі на протязі 10 хвилин при включеному стабілізаторі СФТСЗ-300.

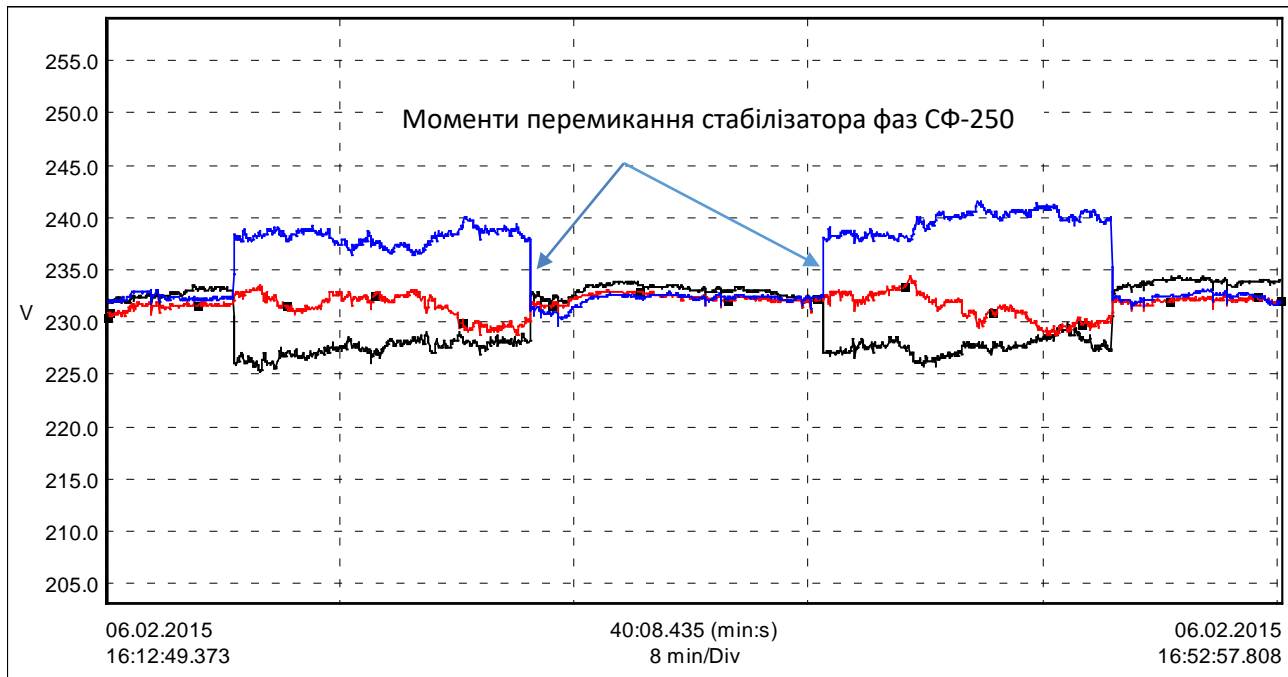
4. Засоби вимірювання: Вимірювальний комплекс С.А.8335 (Chauvin Arnoux, Франція). Комплекс С.А.8335 забезпечує швидкісні вимірювання по чотирьох каналах напруг та чотирьох каналах струмів.

5. Час і місце вимірювання: 31.03.2015-3.04.2015 м. Рівне

6. Форма одержаних результатів: осцилограми за часом напруг та струмів виходу 0.4кВ трансформаторів.

7. Результати випробування: вплив стабілізатора фаз на режим роботи трансформаторів та розподільчу мережу 0,4 кВ.

7.1. Стабілізатор фаз параметрично (без впливу автоматики, силових органів та участі персоналу) стабілізує (симетрує) фазні напруги розподільчої мережі. Кратність стабілізації напруг 6-10 (фіг.2). У моменти приєднання СФТСЗ-300 він змінює величини фазних напруг шляхом перекачки енергії між фазами мережі, що вперше з наукової точки зору застосовується цілеспрямовано.



Фіг.2. Осцилограма фазних напруг

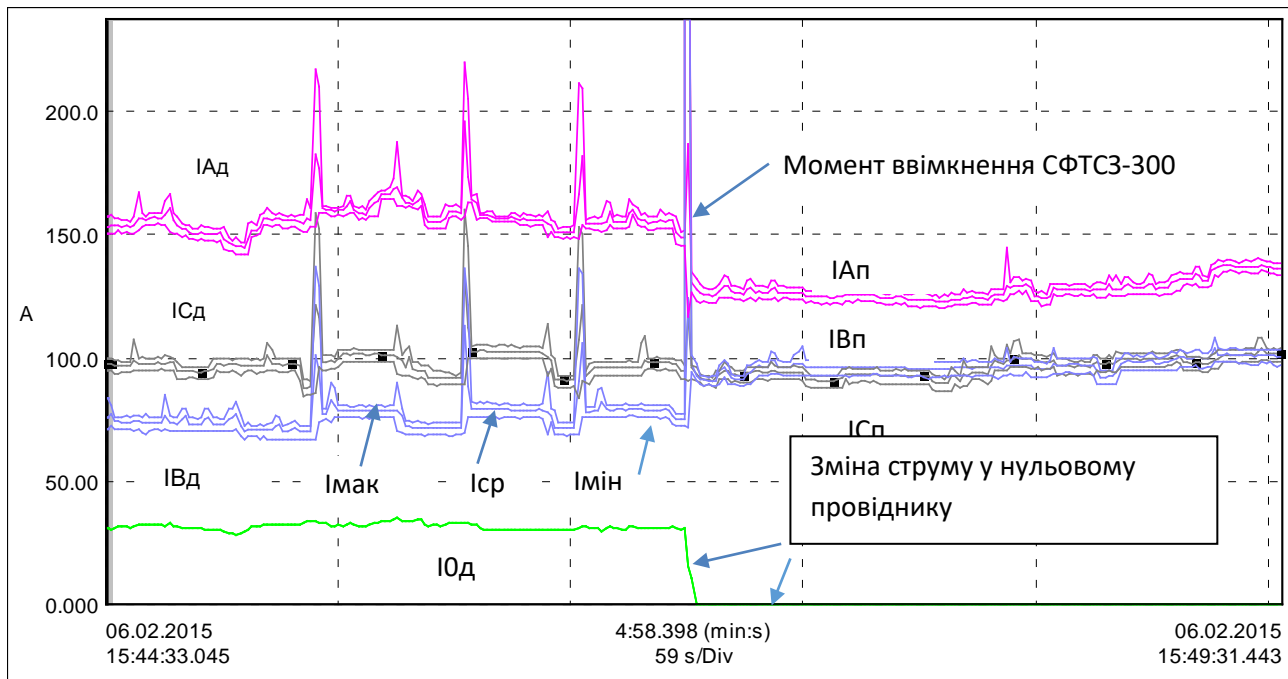
Висновок 1: Симетрування напруг мережі є важливою властивістю, яка підвищує надійність електропостачання, підвищує якість електричної енергії і зменшує пошкоджувальність електроприймачів та зменшує втрати енергії в трансформаторі. Економічний ефект забезпечує, але його треба розрахувати виходячи з завантаженості трансформатора (відчутний економічний ефект спостерігається при 40% і більше завантаженні).

7.2. Стабілізатор фаз параметрично стабілізує (симетрує) лінійні струми I_{Ad} , I_{Bd} , I_{Cd} розподільчої мережі, які надходять у трансформатор. Порівняння їх зі струмами I_{Ap} , I_{Bp} та I_{Cp} після ввімкнення СФТСЗ-300 переконує у перетоках струмів та енергії між фазами мережі. Кратність стабілізації струмів 16-60% (фіг.3). У моменти приєднання СФТСЗ-300 змінює не тільки величини лінійних струмів I_{Ad} , I_{Bd} , I_{Cd} , а і струму нульової фази I_{0d} . Зазначимо, що після приєднання СФТСЗ-300 струм у проводі нульової фази зникає (стає майже рівним нулеві). Із аналізу лінійних струмів трансформатора та струму нульової фази можна зробити такі висновки:

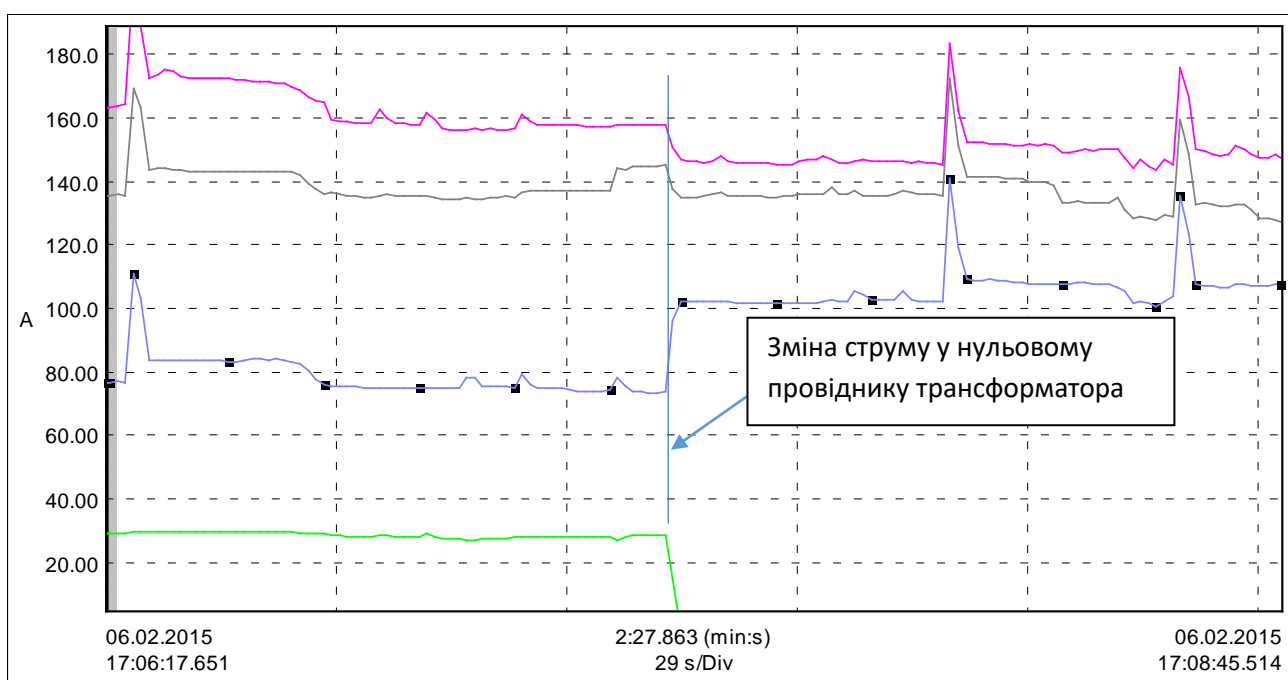
Висновок 2: Стабілізатор фаз СФТСЗ-300 параметрично зменшує величини найбільших за величиною лінійних струмів до 16% (відносна різниця струмів $(I_{Ad}-I_{Ap})/I_{Ad}$) (фіг.3), що зменшує додаткові втрати енергії у трансформаторі та проводах до 30%, а також захищає

трансформатор від перегріву, що подовжує термін служби трансформатора і є також позитивним ефектом.

Висновок 3: Стабілізатор фаз СФТС3-300 параметрично зменшує струм першої гармоніки І_{0д} у нульовій фазі трансформатора майже до нульового значення (фіг.3), що зменшує втрати енергії у трансформаторі і подовжує строк служби трансформатора. Відомо, що активний опір нульової послідовності Z_0 у нульовій фазі трансформатора у 10 разів більший опору прямої послідовності Z_1 у лінійних фаз трансформатора, що свідчить про те, що струми нульової фази викликають значне нагрівання. Тому використання другої властивості стабілізатора фаз (7.2), описаної у даному розділі ставить стабілізатор фаз у ряд перспективних пристроїв розподільчих мереж.

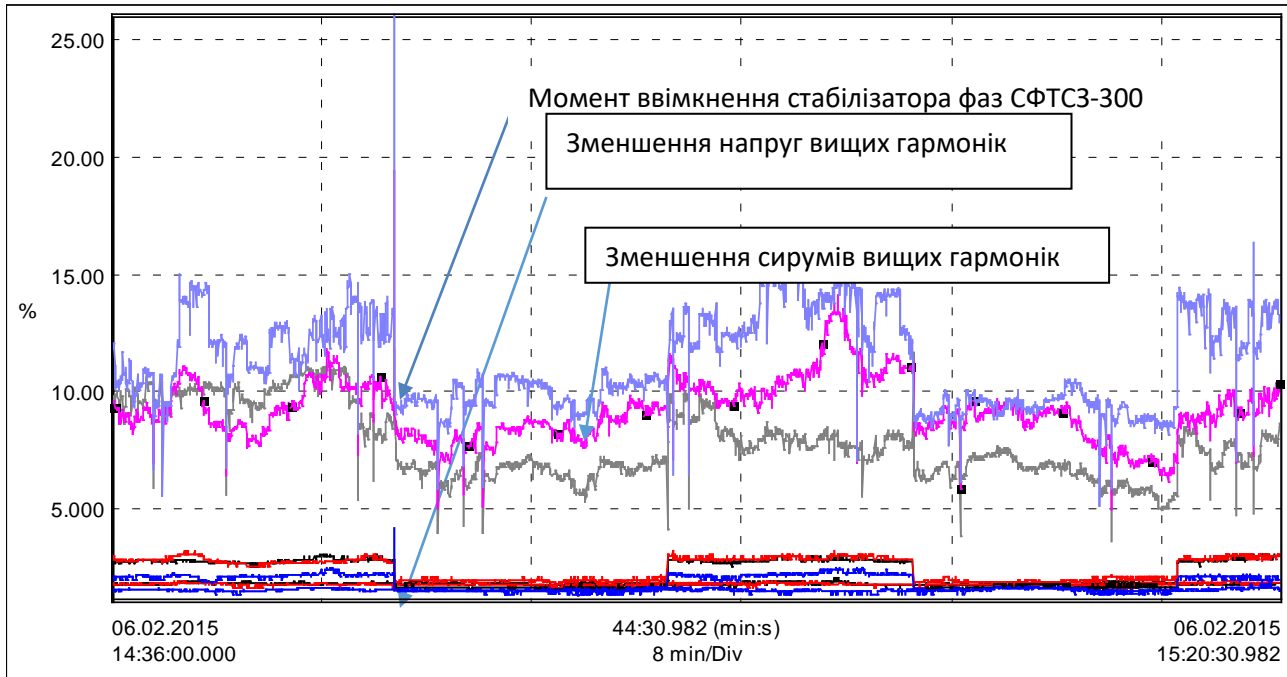


Фіг.3. Осцилограма струмів лінійних та нульової фаз до та після ввімкнення СФТС3-300 (фрагмент 1)..



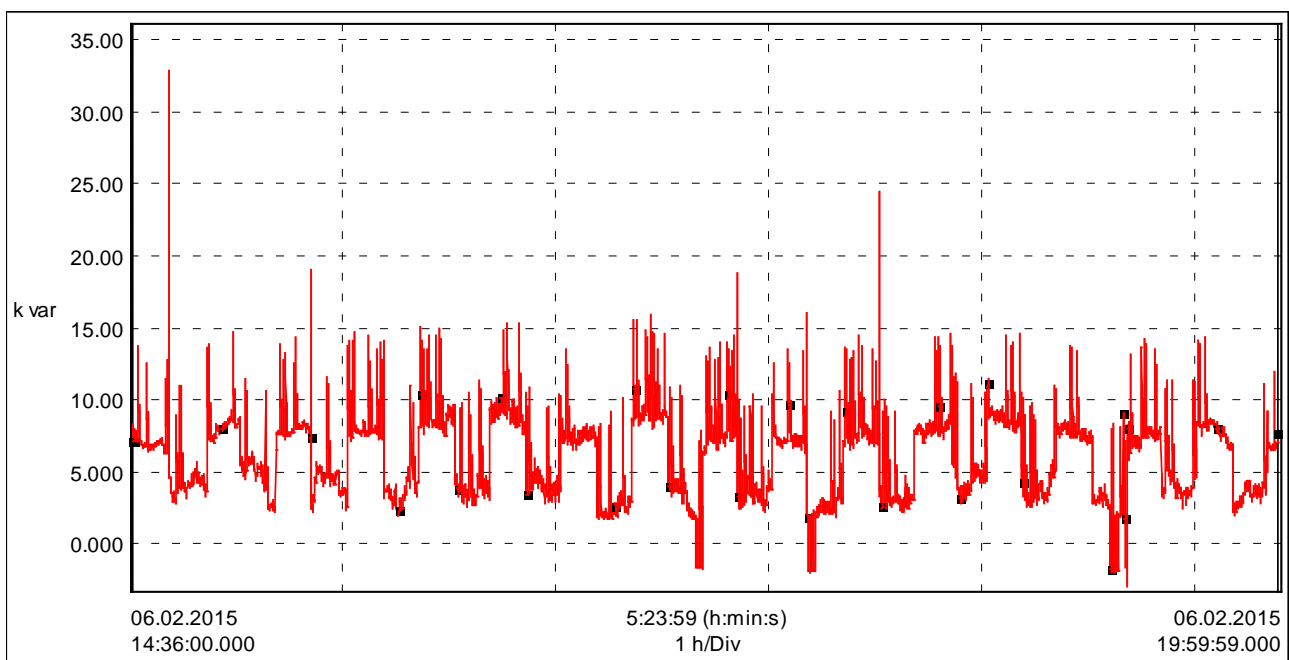
Фіг.4. Осцилограма струмів лінійних та нульової фаз до та після ввімкнення СФТС3-300 (фрагмент 2).

7.3. Стабілізатор фаз СФТС3-300 параметрично подавляє струми вищих гармонік нульової послідовності у трансформаторі розподільчої мережі, зокрема треті, дев'яті, п'ятнадцяті і т.п. ІАд,ІВд, ІСд, які надходять у трансформатор від електроприймачів. Порівняння ІАд,ІВд, ІСд зі струмами ІАп, ІВп та ІСп показує, що після ввімкнення СФТС3-300, струми вищих гармонік зменшуються на 30-50%.(фіг5). Вищі гармоніки напруг та струмів викликають втрати енергії у магнітопроводі та баку трансформатора розподільчої мережі, через що температура баків трансформатора підвищується впритул до самозагорання масла та ізоляції обмоток.



Фіг.5

7.4. Стабілізатор фаз СФТС3-300 параметрично подавляє частину реактивної потужності трансформатора, особливо у нульовій фазі трансформатора.



фіг.6

7.5. Стабілізатор фаз СФТСЗ-300 параметрично подавляє (обмежує) вихідні напруги трансформатора. (фіг.2). Але особлива його цінність проявляється при обмеженні перенапруг при фазних коротких замиканнях, при яких фазні напруги перевищують номінальні значення на 40-70%, що приводить до виходу з ладу великої кількості електроприймачів.

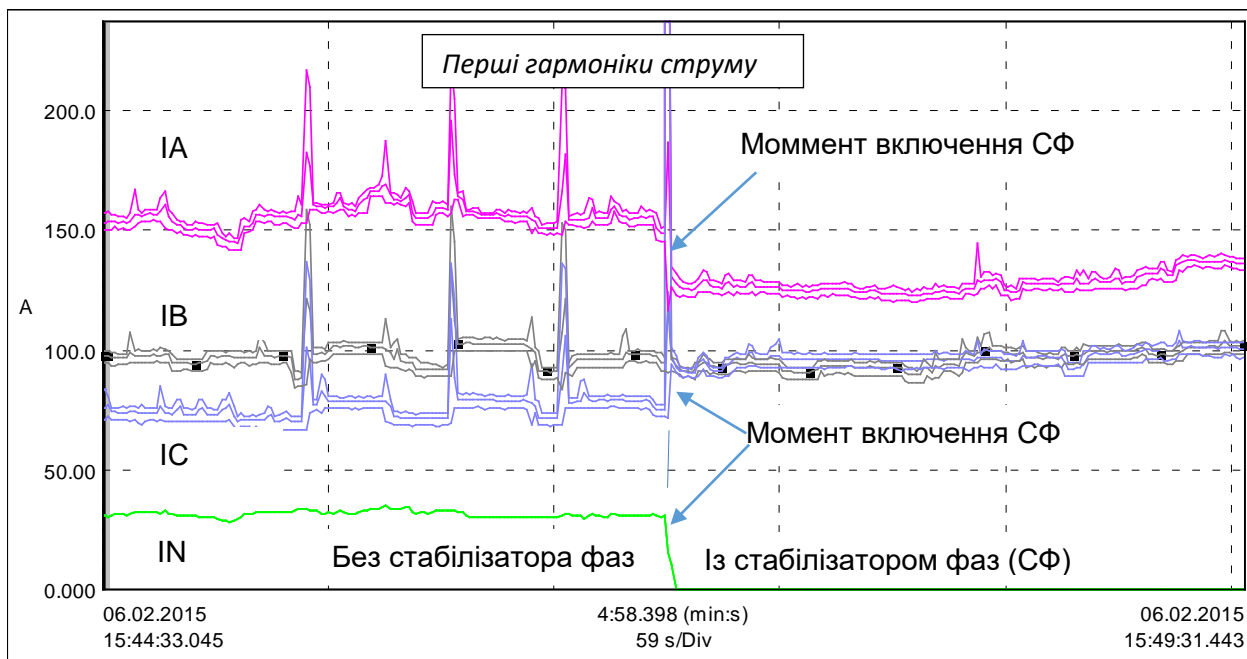
7.6. Стабілізатор фаз СФТСЗ-300 параметрично стабілізує потенціал нульової фази на рівні потенціалу землі трансформатора. (фіг.2). Ця властивість стабілізатора фаз проявляється також при фазних коротких замиканнях. Злиття точок потенціалів фазних напруг у вузький пучок (фіг.2) свідчить про симетрування трифазних напруг, при яких потенціал нейтралі знаходиться у центрі трикутника лінійних напруг. Крім того, при короткому фазному замиканні стабілізатор фаз СФТСЗ-300 знижує струми у нейтралі, що також приводить до стабілізації потенціалу проводу нульової фази (нейтралі).

7.7. У Додатку 1 наведено короткий розрахунок економії активної електричної енергії при несиметрії струмів трифазної мережі за першою гармонікою.

7.8. У Додатку 2 наведено короткий розрахунок економії реактивної електричної енергії при несиметрії струмів трифазної мережі за першою гармонікою.

7.8. Теж саме, при вищих гармоніках, наприклад, третіх.

Додаток 1, 2



Фіг.1

Розрахунок економічного ефекту при ввімкненні Стабілізатора фаз СФТСЗ-300 до трансформатора ТМ-250кВА Y/Y0 10/0.4 кВ.

1. Паспортні дані трансформатора ТМ-250 :

$R_1=R_2=0.0094 \text{ Ом}$; $R_0=0,0965 \text{ Ом}$; $X_1=X_2=0.0272 \text{ Ом}$; $X_0=0,235 \text{ Ом}$;

Де : R_1, R_2, R_0 – симетричні складові активних опорів трансформатора ;

X1, X2, X0 – симетричні складові реактивних опорів трансформатора.

2. *Розрахунок потужності втрат трансформатора ТМ-250 при струмах, вказаних на осцилограмі Фіг. 1.*

Активний опір петлі фаза-нуль:

$$R(N-ф) = (R_1+R_2+R_0)/3=(0.0094*2+0.0965)/3=0.03843 \text{ Ом}$$

Реактивний опір петлі фаза-нуль:

$$X(N-ф) = (X_1+X_2+X_0)/3=(0.0272*2+0.235)/3=0.0965 \text{ Ом}$$

Струми трансформатора безпосередньо перед моментом приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300:

$$I_A=150\text{A} ; I_B=100\text{A} ; I_C=75\text{A} ; I_N=30\text{A} ;$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0=I_N/3=30/3=10 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2 = 3(|I_1|^2+|I_2|^2+|I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2+|I_2|^2) = (|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2)/3 - |I_0|^2 = (|150|^2+|100|^2+|75|^2)/3 - |10|^2 = 12608$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.1 :

$$P_{\text{перед}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*R_1+|I_0|^2*R_0)=3(12608*0.0094+10^2*0.0965)= 3(118,52+ 9,65)=384,5 \text{ Вт}$$

3. *Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними фіг. 1) :*

$$I_A=125\text{A} ; I_B=95\text{A} ; I_C=90\text{A} ; I_N=0\text{A} ;$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0=I_N/3=0/3=0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2 = 3(|I_1|^2+|I_2|^2+|I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2+|I_2|^2) = (|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2)/3 - |I_0|^2 = (|125|^2+|95|^2+|90|^2)/3 - |0|^2 = 10916,$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

$$P_{\text{після}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*R_1+|I_0|^2*R_0)=3(10916*0.0094+0^2*0.0965)= 3(102,52+0)=307,85\text{Вт}$$

4.Ефект зменшення активної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta P_1 = P_{\text{перед}} - P_{\text{після}} = 384,5 - 307,8 = \mathbf{76,7 \text{ Вт}} ;$$

У відсотках : **19,94 %**

5. *Розрахунок ефекту зменшення реактивної потужності споживання*

Втрати реактивної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.1 :

$$Q_{\text{перед}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*X_1+|I_0|^2*X_0)=3(12608*0.0272+10^2*0.235)= 3(342,94+23,5)=1099\text{ВА}$$

6. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (За даними осцилограми Фіг.1) :

$$I_A=125\text{A} ; I_B=95\text{A} ; I_C=90\text{A} ; I_N=0\text{A} ;$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0=I_N/3=0/3=0\text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2 = 3(|I_1|^2+|I_2|^2+|I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2+|I_2|^2) = (|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2)/3 - |I_0|^2 = (|125|^2+|95|^2+|90|^2)/3 - |0|^2 = 10916,$$

Реактивна потужність в трансформаторі ТМ-250 після моменту приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

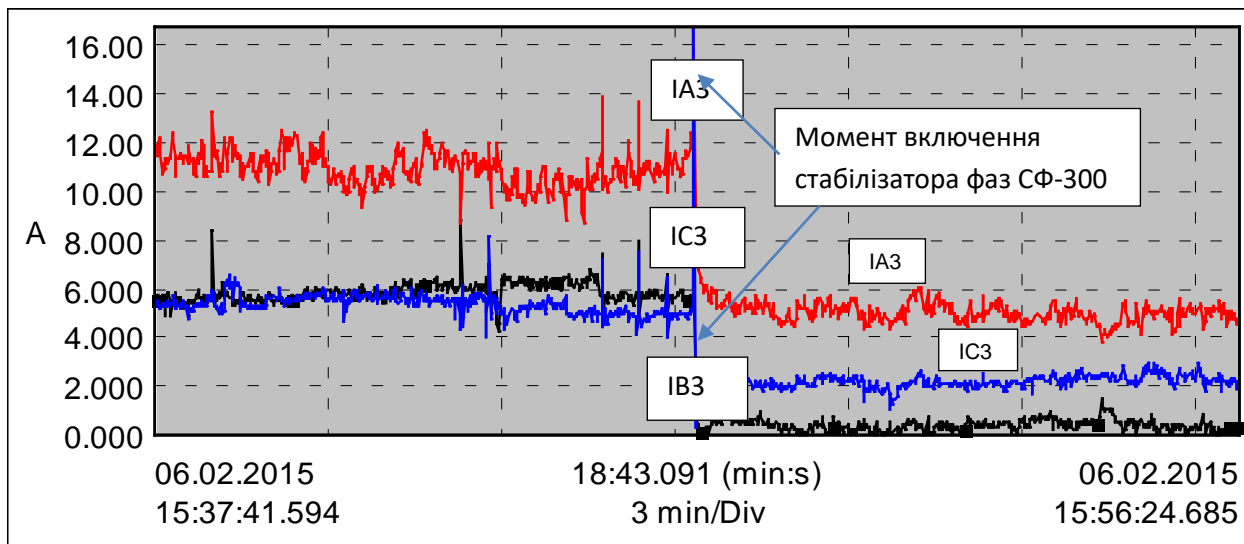
$$Q_{\text{після}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*X_1+|I_0|^2*X_0)=3(10916*0.0272+0^2*0.235)= 890,7\text{ ВА}$$

7. Ефект зменшення реактивної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta Q_1 = Q_{\text{перед}} - Q_{\text{після}} = 1099 - 890,7 = 208,3\text{ ВА} ;$$

У відсотках : **18,95%**

Осцилограма третіх гармонік струмів на виході трансформатора ТМ-250 перед і після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300



8. Дані опорів трансформатора ТМ-250 на третій гармоніці :

$$R_{13}=R_{23}=0.0094*3= 0,0282\text{ Ом} ; R_{03}=0,0965*3= 0,2895\text{ Ом};$$

Де : R₁₃, R₂₃, R₀₃ – симетричні складові активних опорів трансформатора на частоті третьої гармоніки ;

9. Розрахунок потужності втрат трансформатора ТМ-250 при струмах, вказаних на осцилограмі Фіг.2.

Активний опір петлі фаза-нуль:

$$R_3(N-ф) = (R_{13}+R_{23}+R_{03})/3=(0.0282*2+0.2895)/3= 0,1153 \text{ Ом}$$

Струми третіх гармонік трансформатора безпосередньо перед моментом приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 за даними осцилограми Фіг.2:

$$I_{A3д}=12,5\text{A} ; I_{B3д}=5,0\text{A} ; I_{C3д}=5,5\text{A} ; I_{N3д}=23\text{A} ;$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{03}=I_{N3д}/3=23/3=7.7 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_{A3д}|^2+|I_{B3д}|^2+|I_{C3д}|^2 = 3(|I_{13д}|^2+|I_{23д}|^2+|I_{03д}|^2)$ визначимо :

$$(|I_{13д}|^2+|I_{23д}|^2) = (|I_{A3д}|^2+|I_{B3д}|^2+|I_{C3д}|^2)/3 -|I_{03д}|^2 = (|12,5|^2+|5,0|^2+|5,5|^2)/3 - |7,7|^2 = 11,21$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.2 :

$$P_{3\text{перед}}=3((|I_{13д}|^2+|I_{23д}|^2)*R_{13}+|I_{03д}|^2*R_{03})=3(11,21*0,0282+7,7^2*0,2895)=52,44\text{Вт}$$

10. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними осцилограми фіг.2) :

$$I_{A3п}=5,2\text{A} ; I_{B3п}=2,0\text{A} ; I_{C3п}=0,5\text{A} ; I_{N3п}=0\text{A} ;$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{03п}=I_{N3п}/3=0/3=0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_{A3п}|^2+|I_{B3п}|^2+|I_{C3п}|^2 = 3(|I_{13п}|^2+|I_{23п}|^2+|I_{03п}|^2)$ визначимо :

$$(|I_{13п}|^2+|I_{23п}|^2) = (|I_{A3п}|^2+|I_{B3п}|^2+|I_{C3п}|^2)/3 -|I_{03п}|^2 = (|5,2|^2+|2,0|^2+|0,5|^2)/3 - |0|^2 = 17,43,$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.2) :

$$P_{3\text{після}}=3((|I_{13п}|^2+|I_{23п}|^2)*R_{13}+|I_{03п}|^2*R_{03})=3(17,43*0.0282+0^2*0.2895)= 3(0,49+0)=1,47 \text{ Вт}$$

11. Ефект зменшення активної потужності споживання на третіх гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta P_3 = P_{3\text{перед}} - P_{3\text{після}} = 52,44 - 1,47 = 50,97\text{Вт} ;$$

У відсотках : **97%**

12. Сумарний ефект зменшення активної потужності після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 за рахунок зменшення несиметрії струмів основних гармонік і компенсації струмів третіх гармонік нульової послідовності.

$$\Delta P_1+\Delta P_3= 76,7 +50,97=127,67\text{Вт}.$$

II. Розрахунок втрат в трансформаторі при критичних навантаженнях. Частина А – однофазне навантаження при номінальному струмі

Розрахунок економічного ефекту при ввімкненні стабілізатора фаз СФТС3-300 до трансформатора ТМ-250 кВА зірка –зірка з нулем 10/0.4 кВ.

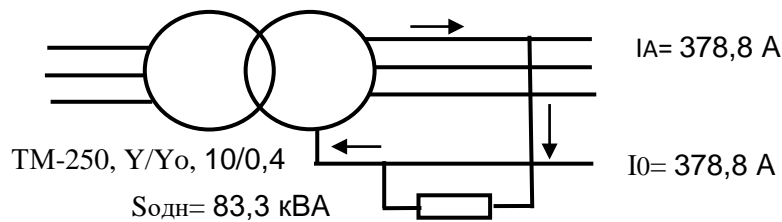
1. Паспортні дані трансформатора ТМ-250 :

$$R_1=R_2=0.0094 \text{ Ом} ; R_0=0,0965 \text{ Ом} ; X_1=X_2=0.0272 \text{ Ом} ; X_0=0,235 \text{ Ом} ;$$

Де : R_1, R_2, R_0 – симетричні складові активних опорів трансформатора ;

X_1, X_2, X_0 – симетричні складові реактивних опорів трансформатора.

2. Розрахунок потужності втрат трансформатора ТМ-250 при струмах однофазного навантаження $250/3 = 83 \text{ кВА}$. (Фіг.3).



Фіг.3

Активний опір петлі фаза-нуль:

$$R(N-ф) = (R_1+R_2+R_0)/3=(0.0094*2+0.0965)/3=0,03843 \text{ Ом}$$

Реактивний опір петлі фаза-нуль:

$$X(N-ф) = (X_1+X_2+X_0)/3=(0.0272*2+0.235)/3=0.0965 \text{ Ом}$$

Струми трансформатора безпосередньо перед моментом приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300:

$$I_A=250/(3*220) = 378,8 \text{ А} ; I_B = 0 \text{ А} ; I_C = 0 \text{ А} ; I_N = 378,8 \text{ А}.$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0=I_N/3=378,8 /3=126,26 \text{ А}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2 = 3(|I_1|^2+|I_2|^2+|I_0|^2)$ визначимо :

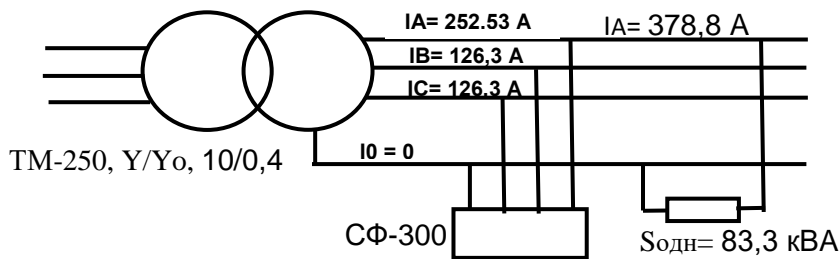
$$(|I_1|^2+|I_2|^2) = (|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2)/3 - |I_0|^2 = (|378,8|^2+|0|^2+|0|^2)/3 - |126,26|^2 = 31888,2 \text{ А}^2$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.1 :

$$P_{\text{перед}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*R_1+|I_0|^2*R_0)=3(31888,2*0.0094+126,26^2*0.0965)= \mathbf{5514,3 \text{ Вт}}$$

Паспортні допустимі втрати в обмотках трансформатора ТМ-250 = $P_{\text{кз}} =$

3. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними фіг.4) :



Фіг.4

$$I_{Aп} = 2 \cdot 378,8 / 3 = 252,53 \text{ A} ; I_{Bп} = 126,3 \text{ A} ; I_{Cп} = 126,3 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{0п} = I_{Nп} / 3 = 0 / 3 = 0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_{Aп}|^2 + |I_{Bп}|^2 + |I_{Cп}|^2 = 3 (|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2 + |I_{0п}|^2)$ визначимо :

$$(|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2) = (|I_{Aп}|^2 + |I_{Bп}|^2 + |I_{Cп}|^2) / 3 - |I_{0п}|^2 = (|252,53|^2 + |126,3|^2 + |126,3|^2) / 3 - |0|^2 = 31886;$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

$$P_{\text{після}} = 3 ((|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2) \cdot R_1 + |I_{0п}|^2 \cdot R_0) = 3 (31886 \cdot 0,0094 + 0^2 \cdot 0,0965) = \mathbf{899,2 \text{ Вт}}$$

4.Ефект зменшення активної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta P_1 = P_{\text{перед}} - P_{\text{після}} = 5514,3 \text{ Вт} - 899,2 \text{ Вт} = \mathbf{4614,8 \text{ Вт}} ;$$

У відсотках : **83,7% ≈ 5/6.**

Допустиме значення втрат в обмотках трансформатора ТМ-250 10/0,4 кВ = $P_k = \mathbf{3,7 \text{ кВт}}$.

Кратність перевантаження – 4,6148 кВт / 3,7 = 1,247 трансформатор ТМ-250 витримає на протязі, тривалість якого не перевищує 2,5 год, після якого настає пожежа та активне розтріскування та загальне старіння ізоляції.

5.Розрахунок ефекту зменшення реактивної потужності споживання

Втрати реактивної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.3 :

$$Q_{\text{перед}} = 3 ((|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) \cdot X_1 + |I_{0д}|^2 \cdot X_0) = 3 (31886 \cdot 0,0272 + (378,8/3)^2 \cdot 0,235) = \mathbf{13842 \text{ ВА}}$$

6.Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300(за даними осцилограми Фіг.1) :

$$I_{Aп} = 2 \cdot 378,8 / 3 = 252,53 \text{ A} ; I_{Bп} = 126,3 \text{ A} ; I_{Cп} = 126,3 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{0п} = I_{Nп} / 3 = 0 / 3 = 0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2 = 3 (|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2 + |I_2|^2) = (|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2) / 3 - |I_0|^2 = (|252,53|^2 + |126,3|^2 + |126,3|^2) / 3 - |0|^2 = 31891,6;$$

Реактивна потужність в трансформаторі ТМ-250 після моменту приєднання СФТСЗ-300 (по даних Фіг.1) :

$$Q_{\text{після}} = 3((|I_1|^2 + |I_2|^2) * X_1 + |I_0|^2 * X_0) = 3(31891,6 * 0,0272 + 0^2 * 0,235) = \mathbf{2602,3 \text{ ВА}}$$

7.Ефект зменшення реактивної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТСЗ-300

$$\Delta Q_1 = Q_{\text{перед}} - Q_{\text{після}} = 13842 - 2602,3 = \mathbf{11239,6 \text{ ВА}} ;$$

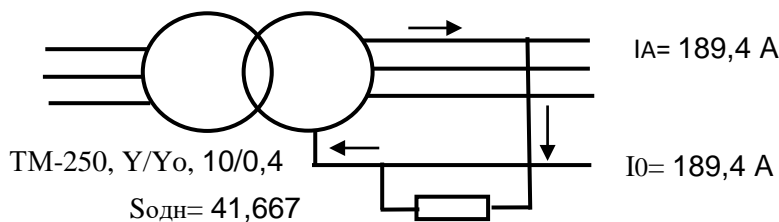
У відсотках : **81,2%**.

Продовження 1. $S_{\text{одн}} = (1/2) * 83,3 \text{ кВА}$

1. *Розрахунок потужності втрат трансформатора ТМ-250 при струмах однофазного навантаження $250/6 = 41,667 \text{ кВА}$. (Фіг.5).*

2. *Струми по фазах (фіг.5);*

$$I_A = I_0 = 41,667 \text{ кВА} / 220\text{В} = 189,4 \text{ А}$$



Фіг.5

Активний опір петлі фаза-нуль:

$$R(N-ф) = (R_1 + R_2 + R_0) / 3 = (0,0094 * 2 + 0,0965) / 3 = 0,03843 \text{ Ом}$$

Реактивний опір петлі фаза-нуль:

$$X(N-ф) = (X_1 + X_2 + X_0) / 3 = (0,0272 * 2 + 0,235) / 3 = 0,0965 \text{ Ом}$$

Струми трансформатора безпосередньо перед моментом приєднання стабілізатора фаз СФТСЗ-300:

$$I_A = 250 / (6 * 220) = 189,4 \text{ А} ; \quad I_B = 0 \text{ А} ; \quad I_C = 0 \text{ А} ; \quad I_N = 189,4 \text{ А}.$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0 = I_N / 3 = 189,4 / 3 = 63,1 \text{ А}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

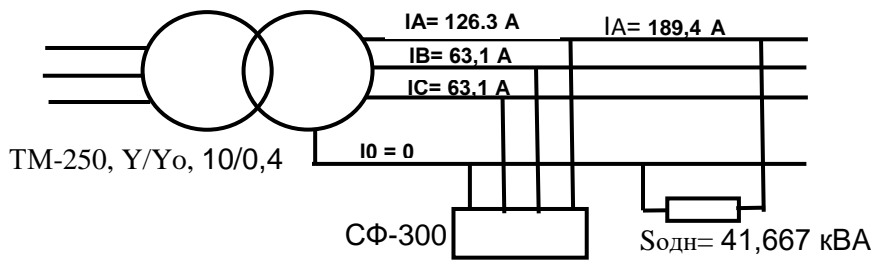
Із тотожності $|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2 = 3(|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) = (|I_{Aд}|^2 + |I_{Bд}|^2 + |I_{Cд}|^2) / 3 - |I_{0д}|^2 = (|189,4|^2 + |0|^2 + |0|^2) / 3 - |63,1|^2 = 7971,1 \text{ А}^2$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТСЗ-300 по даних Фіг.1 :

$$P_{\text{перед}} = 3((|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) * R_1 + |I_{0д}|^2 * R_0) = 3(7971,1 * 0,0094 + 63,1^2 * 0,0965) = \mathbf{1377,5 \text{ Вт}}$$

3. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними фіг.6) :



Фіг.6

$$I_{Aп} = 2 \cdot 378,8 / 6 = 126,3 \text{ A} ; I_{Bп} = 63,1 \text{ A} ; I_{Cп} = 63,1 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{0п} = I_{Nп} / 3 = 0 / 3 = 0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_{Aп}|^2 + |I_{Bп}|^2 + |I_{Cп}|^2 = 3(|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2 + |I_{0п}|^2)$ визначимо :

$$(|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2) = (|I_{Aп}|^2 + |I_{Bп}|^2 + |I_{Cп}|^2) / 3 - |I_{0п}|^2 = (|126,3|^2 + |63,1|^2 + |63,1|^2) / 3 - |0|^2 = 7969;$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

$$P_{\text{після}} = 3(|I_{1п}|^2 + |I_{2п}|^2) \cdot R_1 + |I_{0п}|^2 \cdot R_0 = 3(7969 \cdot 0,0094 + 0^2 \cdot 0,0965) = \mathbf{224,7 \text{ Вт}}$$

4. Ефект зменшення активної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta P_1 = P_{\text{перед}} - P_{\text{після}} = 1377,5 \text{ Вт} - 224,7 \text{ Вт} = \mathbf{1152,8 \text{ Вт}} ;$$

У відсотках : **83,7%** (без змін) = **5/6**

Допустиме значення втрат в обмотках трансформатора ТМ-250 10/0,4 кВ = $P_k = 3,7 \text{ кВт}$.

Кратність недовантаження – $4,6148 \text{ кВт} / 3,7 = 1,247$ трансформатор ТМ-250 витримає на протязі терміну, тривалість якого не перевищує 2,5 год, після якого наступає пожежа та активне розтріскування та загальне старіння ізоляції.

5. Розрахунок ефекту зменшення реактивної потужності споживання.

Втрати реактивної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.5 :

$$I_{0д} = 189,4 / 3 = 63,1 \text{ A}$$

$$(|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) = (|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2) / 3 - |I_{0д}|^2 = (|189,4|^2 + |0|^2 + |0|^2) / 3 - |63,1|^2 = 7976 ;$$

$$Q_{\text{перед}} = 3(|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) \cdot X_1 + |I_{0д}|^2 \cdot X_0 = 3(7976 \cdot 0,0272 + (63,1)^2 \cdot 0,235) = \mathbf{2807 \text{ ВА}}$$

6. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними осцилограми Фіг.5) :

$$I_{Aп} = 2 \cdot 378,8 / 3 = 126,3 \text{ A} ; I_{Bп} = 63,1 \text{ A} ; I_{Cп} = 63,1 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0 = I_{Nп} / 3 = 0 / 3 = 0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2 = 3(|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2 + |I_2|^2) = (|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2) / 3 - |I_0|^2 = (|126,3|^2 + |63,1|^2 + |63,1|^2) / 3 - |0|^2 = 7972;$$

Реактивна потужність в трансформаторі ТМ-250 після моменту приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

$$Q_{\text{після}} = 3(|I_1|^2 + |I_2|^2) \cdot X_1 + |I_0|^2 \cdot X_0 = 3(7972 \cdot 0,0272 + 0^2 \cdot 0,235) = \mathbf{650 \text{ ВА}}$$

7.Ефект зменшення реактивної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta Q_1 = Q_{\text{перед}} - Q_{\text{після}} = 2807 - 650 = \mathbf{2157 \text{ ВА}} ;$$

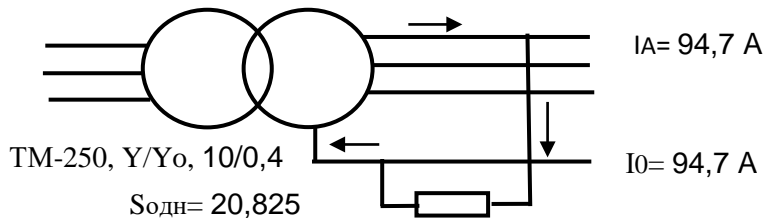
У відсотках : **76,8%**.

Продовження 2. $S_{\text{одн}} = (1/4) \cdot 83,3 \text{ кВА}$

3. Розрахунок потужності втрат трансформатора ТМ-250 при струмах однофазного навантаження $250/6 = 20,825 \text{ кВА}$. (Фіг.7).

4. Струми по фазах (фіг.5);

$$I_A = I_0 = 20,825 \text{ кВА} / 220 \text{ В} = 94,7 \text{ A}$$



Фіг.7

Струми трансформатора безпосередньо перед моментом приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300:

$$I_A = 250 / (12 \cdot 220) = 94,7 \text{ A} ; I_B = 0 \text{ A} ; I_C = 0 \text{ A} ; I_N = 94,7 \text{ A}.$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0 = I_N / 3 = 94,7 / 3 = 31,55 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

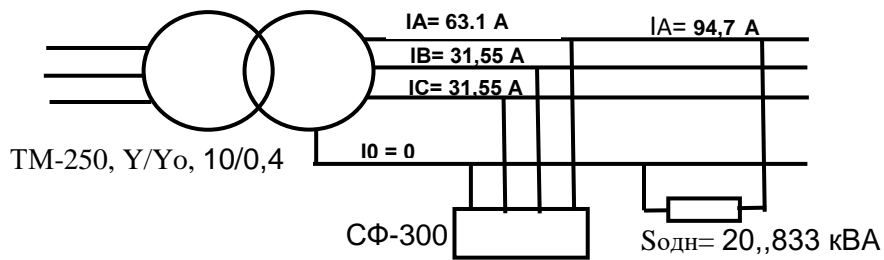
Із тотожності $|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2 = 3(|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_{1д}|^2 + |I_{2д}|^2) = (|I_{Aд}|^2 + |I_{Bд}|^2 + |I_{Cд}|^2) / 3 - |I_{0д}|^2 = (|94,7|^2 + |0|^2 + |0|^2) / 3 - |31,55|^2 = 1994 \text{ A}^2$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.7 :

$$P_{\text{перед}}=3((|I_{1д}|^2+|I_{2д}|^2)*R_1+|I_{0д}|^2*R_0)=3(1994*0.0094+31,55^2*0.0965)= 344,4 \text{ Вт}$$

3. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300 (за даними фіг.6):



Фіг.6

$$I_{Aп}=2*378,8/12 = 63,1 \text{ A} ; I_{Bп} = 31,55 \text{ A} ; I_{Cп} = 31,55 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_{0п}=I_N/3=0/3=0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_{Aп}|^2+|I_{Bп}|^2+|I_{Cп}|^2 = 3(|I_{1п}|^2+|I_{2п}|^2+|I_{0п}|^2)$ визначимо :

$$(|I_{1п}|^2+|I_{2п}|^2) = (|I_{Aп}|^2+|I_{Bп}|^2+|I_{Cп}|^2)/3 - |I_{0п}|^2 = (|63,1|^2+|31,55|^2+|31,55|^2)/3 - |0|^2 = 1991;$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 (по даних Фіг.1) :

$$P_{\text{після}}=3((|I_1|^2+|I_2|^2)*R_1+|I_0|^2*R_0)=3(1991*0.0094+0^2*0.0965)= 56,1 \text{ Вт}$$

4.Ефект зменшення активної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300

$$\Delta P_1 = P_{\text{перед}} - P_{\text{після}} = 344,4 \text{ Вт} - 56,1 \text{ Вт} = 288,3 \text{ Вт} ;$$

У відсотках : **83,7% (без змін)**

5. Розрахунок ефекту зменшення реактивної потужності споживання

Втрати реактивної потужності в трансформаторі ТМ-250 перед моментом приєднання СФТС3-300 по даних Фіг.5 :

$$I_{0д} = 94,7/3 = 31,55 \text{ A}$$

$$(|I_1|^2+|I_2|^2) = (|I_A|^2+|I_B|^2+|I_C|^2)/3 - |I_0|^2 = (|94,7|^2+|0|^2+|0|^2)/3 - |31,55|^2 = 1994 ;$$

$$Q_{\text{перед}}=3((|I_{1д}|^2+|I_{2д}|^2)*X_1+|I_{0д}|^2*X_0)=3(1994*0.0272+(31,55)^2*0.235)= 864,5 \text{ ВА}$$

6. Струми трансформатора безпосередньо після моменту приєднання стабілізатора фаз СФТС3-300(за даними осцилограми Фіг.7) :

$$I_{Aп}=2*378,8/12 = 63,1 \text{ A} ; I_{Bп} = 31,55 \text{ A} ; I_{Cп} = 31,55 \text{ A} ; I_{Nп} = 0 \text{ A}$$

Визначаємо симетричні складові струмів нульової послідовності

$$I_0=I_N/3=0/3=0 \text{ A}$$

Визначимо суму квадратів струмів прямої та зворотної послідовності

Із тотожності $|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2 = 3(|I_1|^2 + |I_2|^2 + |I_0|^2)$ визначимо :

$$(|I_1|^2 + |I_2|^2) = (|I_A|^2 + |I_B|^2 + |I_C|^2) / 3 - |I_0|^2 = (|63,1|^2 + |31,55|^2 + |31,55|^2) / 3 - |0|^2 = 1990;$$

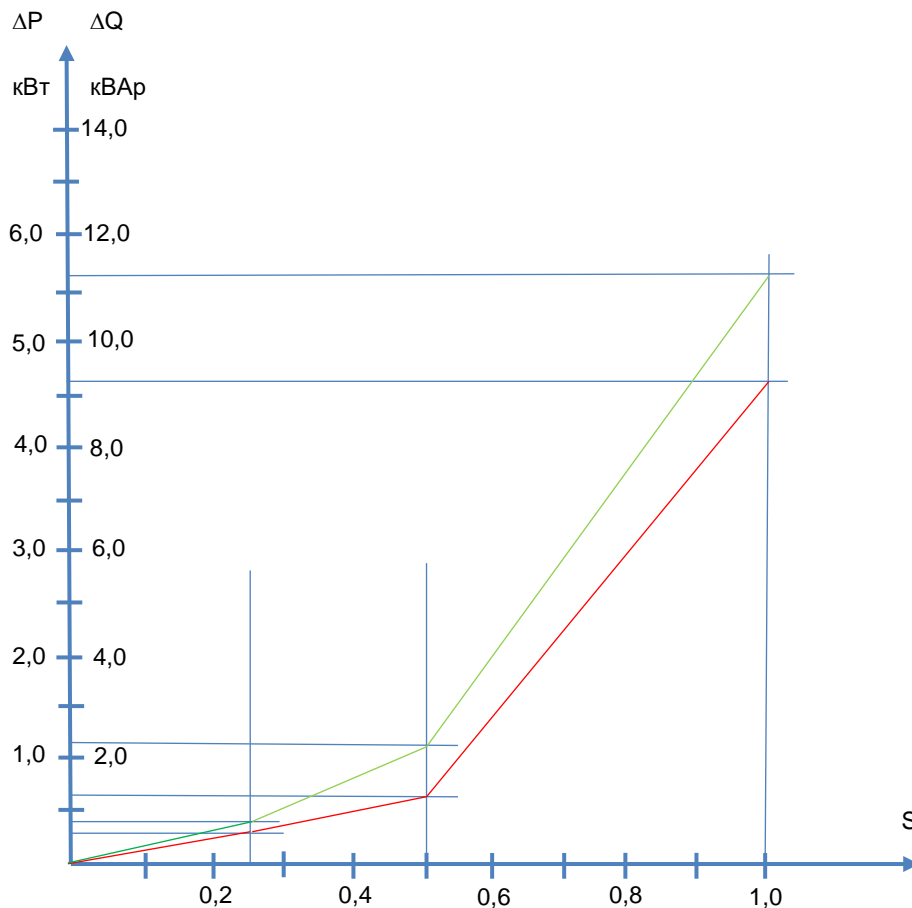
Реактивна потужність в трансформаторі ТМ-250 після моменту приєднання СФТСЗ-300 (по даних Фіг.1) :

$$Q_{\text{після}} = 3((|I_1|^2 + |I_2|^2) \cdot X_1 + |I_0|^2 \cdot X_0) = 3(1990 \cdot 0,0272 + 0^2 \cdot 0,235) = \mathbf{162,45 \text{ ВА}}$$

7.Ефект зменшення реактивної потужності споживання на перших гармоніках струмів після приєднання стабілізатора фаз СФТСЗ-300

$$\Delta Q_1 = Q_{\text{перед}} - Q_{\text{після}} = \mathbf{864,5 - 162,45 = 702,0 \text{ ВА}} ;$$

У відсотках : **81,2%**.



Залежність економії активної ΔP та реактивної ΔQ потужності трансформатора ТМ-250 розподільчої мережі, одержаних за допомогою стабілізатора фаз СФ-300

Червона - активна потужність

Зелена – реактивна потужність