

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

Кваліфікаційна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:
«ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ»

Виконав: студент 1 курсу ОПППМ,
групи 1ЕС-14м спеціальності
8.05070101 – «Електричні станції»
Цибулько О.А.
Керівник: д.т.н., проф. каф. ЕСС
Лежнюк П.Д.

Вінниця 2015 рік

ПАРАМЕТРИ, ЯКІ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ЯКІСЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Усталене відхилення напруги – δU_v

Розмах зміни напруги – δU_t

Доза флікера – P_f

Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги – K_U

Коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги – $K_{U(n)}$

Коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності – K_{2U}

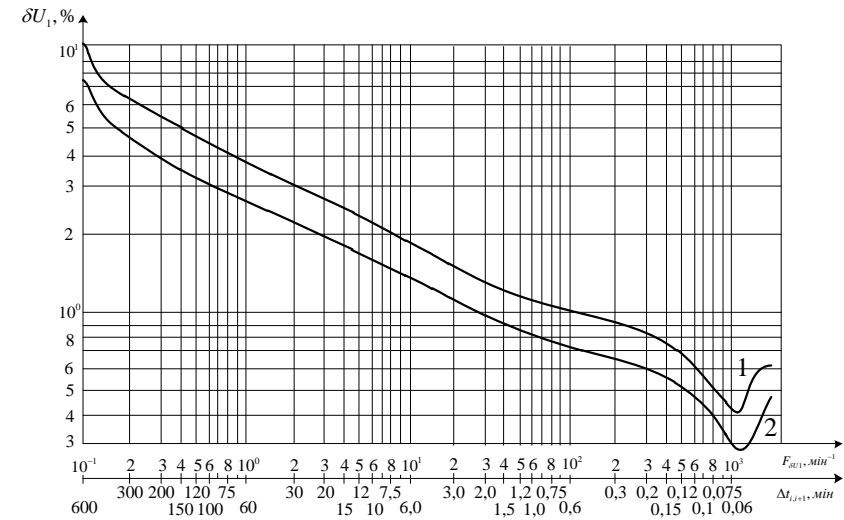
Коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності – K_{0U}

Відхилення частоти – Δf

Тривалість провалу напруги – $\Delta t_{п}$

Імпульсна напруга – $U_{\text{імп}}$

Коефіцієнт тимчасової перенапруги – $K_{\text{Упер}}$



Гранично допустимі розмахи зміни напруги в залежності від частоти повторення змін напруги за хвилину для коливань напруги

Гранично допустиме значення коефіцієнта n-ої гармонійної складової напруги обчислюють за формулою: $K_{U(n)\text{гран}} = 1,5 K_{U(n)\text{норм}}$

Узагальнений показник якості електроенергії в електричних мережах і системах

Найпростіший спосіб формування узагальнених показників:

$$K^y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_l x_l \quad \text{де } \alpha_i \text{ — коефіцієнт ваги окремих показників, } x_i \text{ — окремі відносні показники}$$

формула узагальненого показника якості електроенергії:

$$\left(K_C^y\right)' = \left\{ 0,25 \left(K_{2U} + \Delta \left(K_{2U}\right)\right)^2 + 0,224 \sum_{n=2}^{\infty} \left(K_{U(n)}^2 \left(1 + \delta_n\right)^2 / n \sqrt{n}\right) \right\}^{1/2}$$

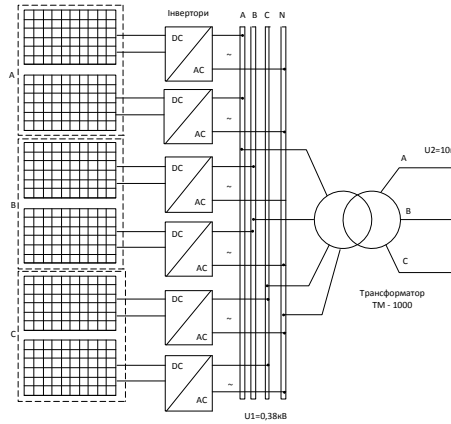
де: $\Delta(K_{2U})$ - абсолютна похибка вимірювання коефіцієнта асиметрії;

n — гармонійний складник;

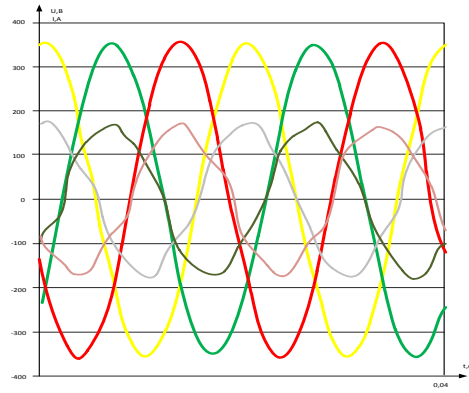
δ_n — відносна похибка вимірювання коефіцієнта n -го гармонійного складника.

ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

СЕС



Принципова схема підключення інверторів до шин низької напруги ТМ – 1000



Графік миттєвих значень напруг і струмів в трьох фазах на затискачах інвертора

Проаналізувавши графік зміни напруг в трьох фазах, можна прийти до висновку, що коливання напруги відбувається в межах норми. Вищих гармонік напруги практично немає. Напруга має чітко виражену синусоїдну форму, натомість в формі струму присутні гармонічні складові.

Висока частота перемикання інверторів може створювати додаткові гармоніки в системах та зменшувати ефективність системи у зв'язку з порушенням стійкості джерела та збоями в роботі інверторів. Також через коливання величини виробленої електроенергії сонячними електростанціями, яка постачається в енергосистему, що залежить від часу доби, пори року, інтенсивності сонячної енергії через хмарність, порушується стійкість роботи, а відповідно й надійність енергосистеми.

Для забезпечення безпечної роботи системи необхідно передбачити резерв потужності в системі (наприклад, на звичайних електростанціях) для покриття дефіциту потужності у разі раптового відімкнення потужної ВЕС або СЕС (нездатності генерувати потужність у зв'язку з кліматичними умовами).

ВЕС

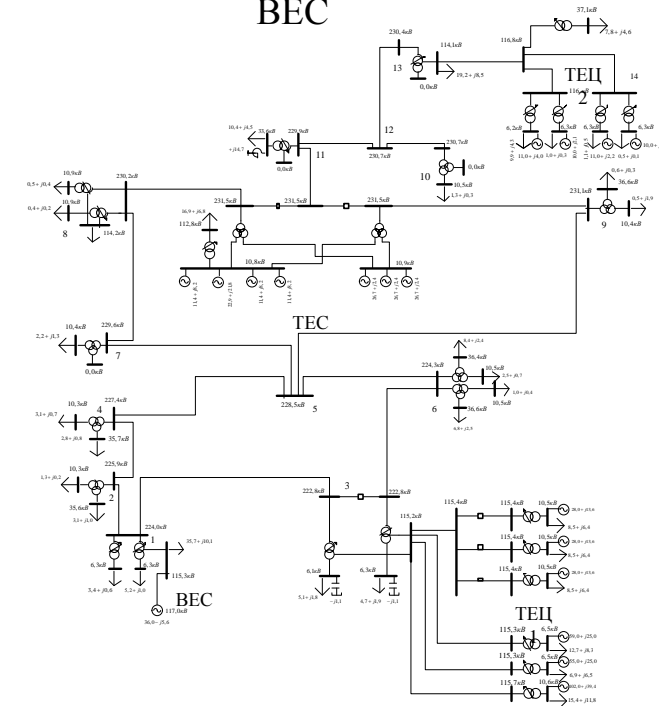
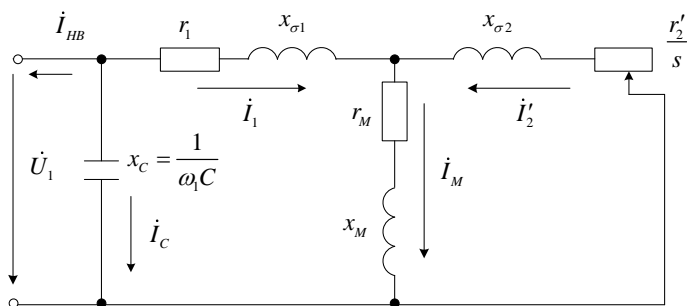


Схема досліджуваної мережі

Схема досліджуваної електричної мережі складається з 86 вузлів напругою 6 – 220кВ, 92 вітки, 36 навантажень, 16 генераторів (ТЕС, ТЕЦ 1 та ТЕЦ 2). Вітрова станція (ВЕС) складається з десяти генераторів по 3,6 МВт.

Робота ВЕС покращила рівні напруг у вузлах системи, зокрема в місці приєднання до системи. Але виробництво потужності на ВЕС пов'язано з кліматичними умовами тому потрібно враховувати, що швидкість вітру не є сталою, а змінюється. Як наслідок буде змінюватись величина виробленої потужності, що може бути причиною порушень в роботі системи.

Особливості використання асинхронних генераторів на малих ГЕС



Заступна схема асинхронного генератора з конденсаторним збудженням

Істотним недоліком асинхронних генераторів, порівняно із синхронними є те що машина, як і в режимі двигуна, споживатиме реактивну потужність з електричної мережі. Слід врахувати також той факт, що якщо для синхронного генератора потужність збудження не перевищує 1% від номінальної потужності генератора, то для АГ ця величина сягає 70 - 100%

Розглядаючи компенсацію споживання реактивної потужності асинхронними генераторами, слід окремо розглядати дві задачі: забезпечення умов самозбудження для АГ, що працюють автономно, та компенсацію реактивного споживання АГ, що працює паралельно з енергосистемою з метою підвищення ефективності його експлуатації за рахунок зменшення споживання реактивної потужності з мережі.

Для визначення потужності конденсаторної установки, яка забезпечить збудження АГ, що працює автономно, необхідно використовувати більшу з ємностей, визначених за формулами:

$$C = \frac{1}{\omega_1 (x_{\sigma 1} + x_M)}$$

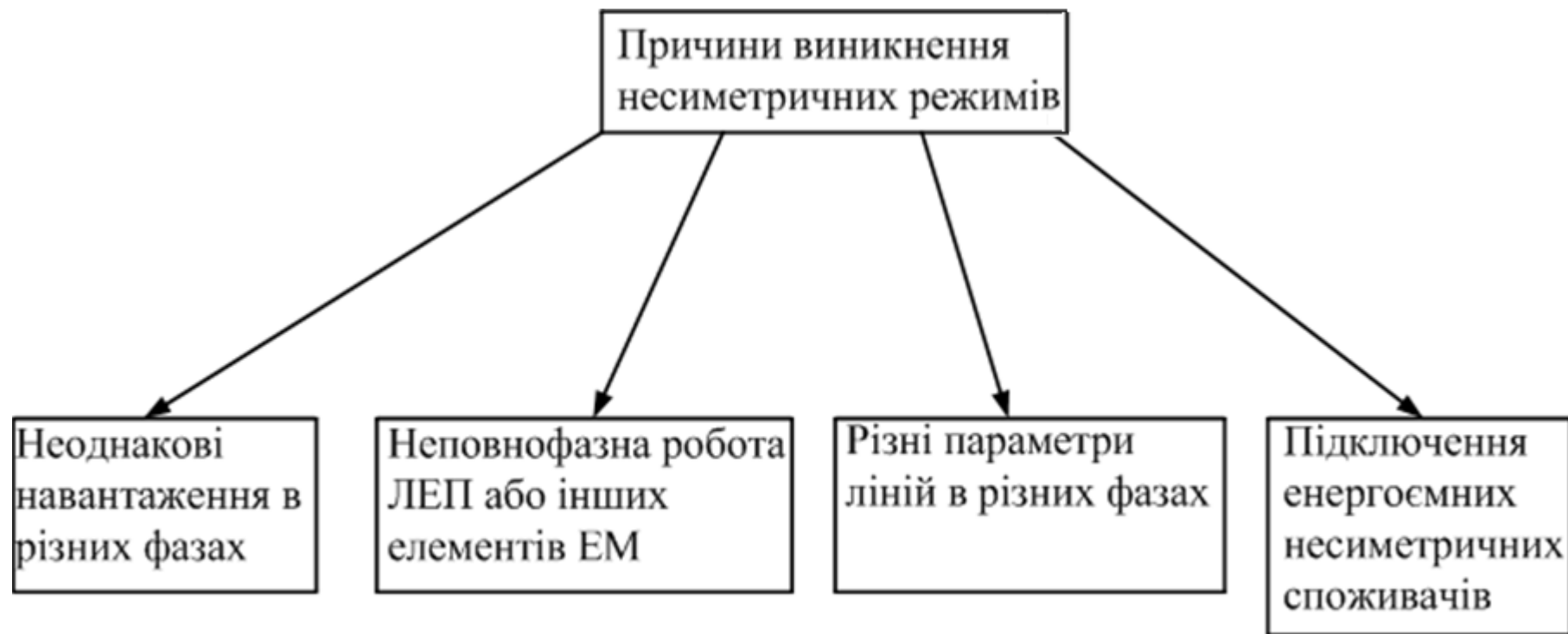
$$C = \frac{P_{ном} (tg \varphi_z + tg \varphi_H)}{\omega_1 U_{z.ном}^2}$$

Встановлена потужність БСК, для АГ який працює паралельно з системою, має підбиратися так, щоб компенсувати споживання АГ реактивної потужності Q_1

$$Q_1 = Q_M + q_1 + q_2 = P_r tg \varphi_r$$

Q_M - потужність витрачається на створення основного магнітного поля;
 q_1 - потужність на створення полів розсіяння первинного кола;
 q_2 - потужність на створення вторинних полів розсіяння.

Додатковим способом зниження споживання реактивної потужності є зміна з'єднання його статорної обмотки з «трикутника» в «зірку». Це призводить до зменшення фазної напруги U_1 у $\sqrt{3}$ раз, основного потоку Φ - $\sqrt{3}$, струму I_1 в 2÷2,5 рази. За рахунок цього зменшується реактивне споживання і зростає коефіцієнт потужності генератора



Вплив несиметрії напруг на елементи ЕМ

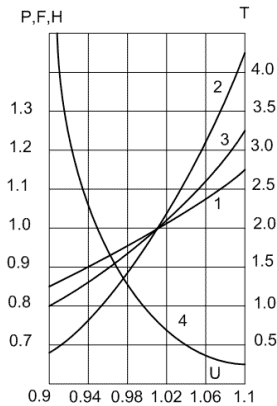
Лампи розжарювання

$$P_{o.в.} = \frac{P}{P_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^{1.53} - \text{споживана потужність}$$

$$F_{o.в.} = \frac{F}{F_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^{3.67} - \text{світловий потік}$$

$$T_{o.в.} = \frac{T}{T_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^{-14.8} - \text{світлова віддача}$$

$$\eta_{o.в.} = \frac{\eta}{\eta_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^{2.14} - \text{середній номінальний термін служби}$$



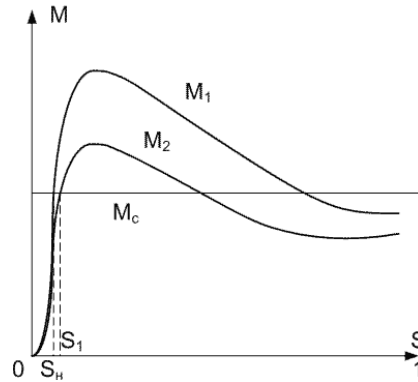
Залежності характеристик ламп розжарювання від напруги: 1 – споживана потужність, 2 – світловий потік, 3 – світлова віддача, 4 – термін служби.

Люмінесцентні лампи менш чутливі до відхилень напруги. При підвищенні напруги споживана потужність і світловий потік збільшуються, а при зниженні – зменшуються, але не в такому ступені як у ламп розжарювання. При зниженій напрузі умови запалення люмінесцентних ламп погіршуються. При відхиленнях напруги на 10% термін служби люмінесцентних ламп в середньому знижується на 20 – 25%.

Синхронні генератори. При проходженні струмів зворотньої і нульової послідовностей, що виникають в результаті несиметрії, обмотки статора і особливо ротора синхронних генераторів значною мірою нагріваються до загрозливих значень.

Трансформатори в мережах 0,4 кВ. Наслідком нерівномірності навантаження фаз в мережах з трансформаторами Y/Un є різке спотворення системи фазної напруги (на практиці це називають зсувом нульової точки). Як результат – збільшення втрат і в лініях 0,4 кВ. Крім того, струми нульової послідовності при несиметрії навантаження в магнітній системі трансформатора Y/Un створюють потоки нульової послідовності, які, замикаючись через його бак, дно, кришку, розігрівають їх, погіршуючи охолодження активної частини. Це підвищує температуру ізоляції обмоток понад норму, і трансформатор, при сумарному навантаженні нижче номінальною, виявляється переобтяженим.

Асинхронні електродвигуни



Механічна характеристика двигуна при номінальній (M1) і зниженій (M2) напрузі.

$$n = n_c \left(1 - k_3 \frac{U_{ном}^2}{U^2} S_{ном} \right) \quad \text{- Залежність частоти обертання ротора двигуна від напруги}$$

При малих завантаженнях двигуна частота обертання ротора буде більше номінальної частоти обертання. У таких випадках пониження напруги не приводить до зменшення продуктивності технологічного устаткування, оскільки зниження частоти обертання двигунів нижче номінальною не відбувається.

При значному зниженні напруги на виводах двигунів, що працюють з повним навантаженням, момент опору механізму може перевищити момент, що обертає, що приводить до “перекидання” двигуна, тобто до його зупинки.

Вплив неповнофазних режимів на роботу електродвигунів

У мережі з ізолюваною нейтраллю відключення одного з проводів ЛЕП приводить до того, що мережа з трифазного режиму переходить в однофазний. Струми в двох фазах, що залишилися, стають рівними за величиною і протилежними за напрямком. Вони містять складові прямої і зворотної послідовностей. У цьому випадку підсумковий обертальний момент електродвигунів складається з моментів прямої M_1 і зворотної M_2 послідовностей.

$$M_{рез} = M_1 - M_2$$

При загальмованих двигунах, коли ковзання дорівнює одиниці $M_1 - M_2 = 0$ у зв'язку з цим запуск електродвигунів стає неможливим.

Основні і найбільш поширені засоби симетрування напруги в ЕМ

Симетрувальні пристрої трансформаторного

Симетрувальні пристрої трансформаторного типу являються індивідуальними і нерегульованими, а їх симетрувальні властивості залежать від характеру навантаження.

За допомогою декількох трансформаторів або спеціального трансформатора ввімкненого певним чином між мережею та несиметричним навантаженням, отримують необхідну напругу на навантаженні і деяке вирівнювання лінійних струмів

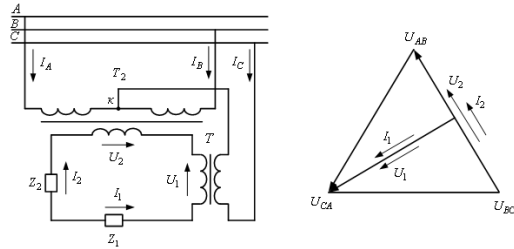


Схема і векторна діаграма струмів і напруг при живленні двофазного навантаження від трансформатора Скотта

Индуктивно-ємнісні СП підключаються до мережі паралельно з несиметричним навантаженням, це комбінація індуктивних і ємнісних елементів. Симетрувальний пристрій Штейнметца забезпечує симетрування і активно-індуктивного навантаження.

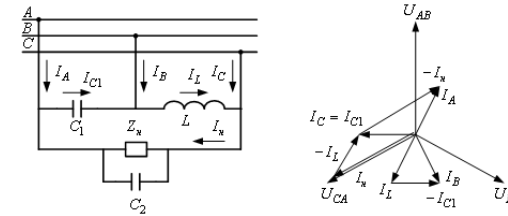
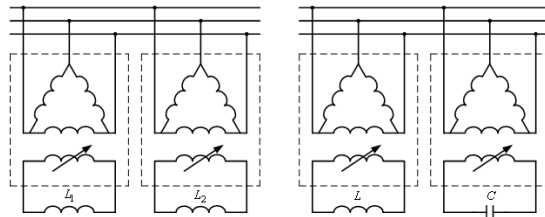


Схема Штейнметца і векторна діаграма для цієї схеми

СП на основі трансформаторів з обертовим магнітним полем



Схеми симетрувальних пристроїв типу L – L і L – C з обертовим магнітним полем

Пристрій являє собою несиметричне навантаження, фаза струму зворотної послідовності якої може змінюватись в діапазоні 0 - 2π при повороті ротора. Комбінація з двох таких СП дозволяє регулювати модуль і фазу струму зворотної послідовності шляхом повороту на певні кути їх роторів.

$$\alpha_L = 0,5\{\pi + \varphi_{2H} - \arcsin[\sqrt{3} \cdot U_{Л} I_{2H} (Q_L + Q_C)^{-1}]\};$$

$$\alpha_C = 0,5\{\pi + \varphi_{2H} + \arcsin[\sqrt{3} \cdot U_{Л} I_{2H} (Q_L + Q_C)^{-1}]\}.$$

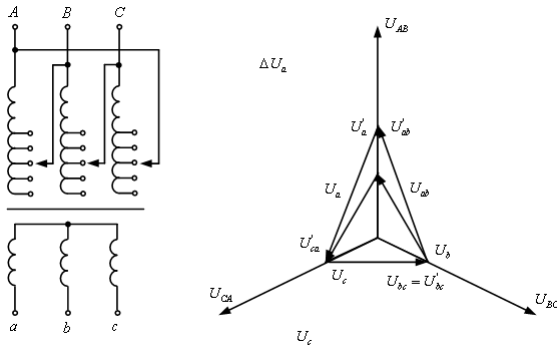
$\alpha_L \alpha_C$ – кути поворота роторів

$Q_L Q_C$ – потужності реактивних елементів

φ_{2H} – аргумент лінійного струму зворотної послідовності несиметричного навантаження

Введення системи додаткових ЕРС

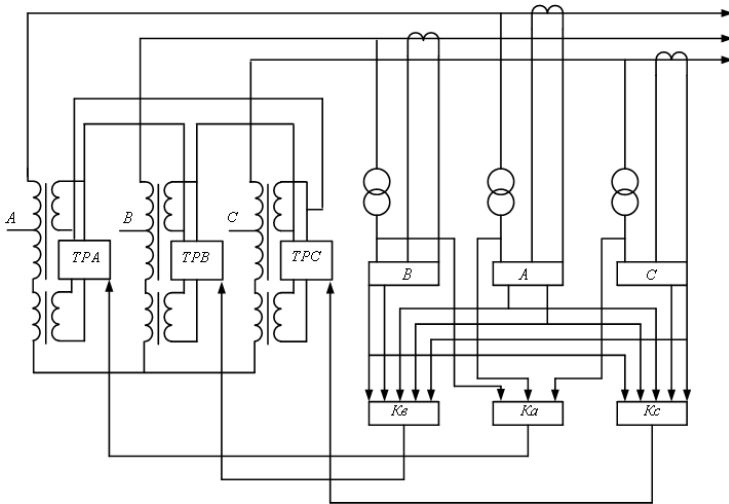
Суть цього способу полягає в тому, що між джерелом і приймачем в розрив лінійних проводів підключаються додаткові джерела ЕРС, які утворюють систему зворотної послідовності. В результаті додавання ЕРС основного і додаткового джерел їх симетричні складові зворотної послідовності взаємно компенсуються, напруга на приймачі стає симетричною. На практиці в якості джерела додаткової ЕРС можуть бути застосовані синхронний генератор, трансформатори послідовного регулювання, трансформатор з пофазним регулюванням коефіцієнта трансформації.



При рівних коефіцієнтах трансформації система вторинних напруг симетрична. Якщо зменшити коефіцієнт трансформації в фазі, то напруга U_a зросте до значення U_a' , що приведе до спотворення системи лінійних напруг тобто до появи складової зворотної послідовності. За допомогою даного СП можна симетрувати режими роботи в мережах з несиметричними електроприймачами.

Трансформатор з пофазним регулюванням

Тиристорний регулятор напруги на базі АТ - ВДТ



Тиристорний регулятор виконаний на базі трьох однофазних автотрансформаторів, в нейтраль яких включений трифазний вольтодобавочний трансформатор, живлення якого здійснюється від замкнутої в трикутник третинної обмотки АТ через тиристорні регулятори фаз А, В і С (ТРА, ТРВ, ТРС). За рахунок незалежної зміни кутів управління K_A, K_B, K_C , досягається регулювання вихідної напруги у відповідній фазі автотрансформатора під навантаженням в межах $\pm 10\%$ від номінальної напруги.

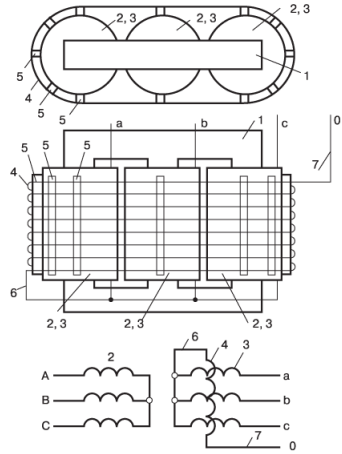
$$\Delta E = e^{j120} (\Delta E_B e^{j120} + \Delta E_C); \text{ - небаланс ЕРС}$$

$$I_0 = E_1 (K_B \cdot K_C); \text{ - струм нульової послідовності}$$

$$I_2 = E_2 (K_B \cdot K_C); \text{ - струм зворотної послідовності}$$

Автоматичний симетрувальний пристрій

Трансформатор з вмонтованим СП

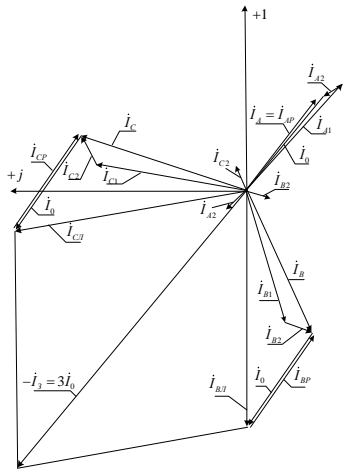


Обмотка симетрувального пристрою включена в переріз нульового провода трансформатора Y/Y_n з розрахунку на те, що при несиметричному навантаженні і появі струму в нульовому проводі створювані в магнітопроводі потоки нульової послідовності в робочих обмотках трансформатора Y/Y_n повністю компенсуються протилежно направленими потоками нульової послідовності від симетруючого пристрою. Тим самим запобігає перекосу фазної напруги.

- 1 - Тристрижневий магнітопровід трифазного трансформатора.
- 2 - Обмотки високої напруги.
- 3 - Обмотки низької напруги.
- 4 - Обмотка з компенсаційних витків.
- 5 - Дистанційні клини.
- 6 - Кінець компенсаційної обмотки, що підключається до нейтралі обмоток низької напруги.
- 7 - Кінець компенсаційної обмотки, який виводиться назовні.

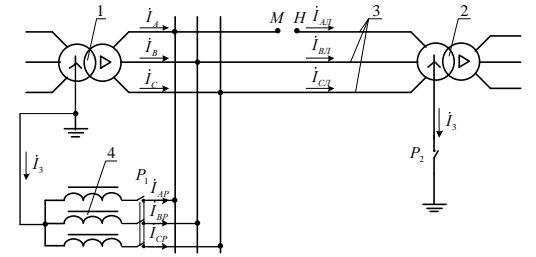
Схеми включення основних і додаткової обмоток трансформатора

ССЕМ З РЕАКТОРОМ У ТРАКТІ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ

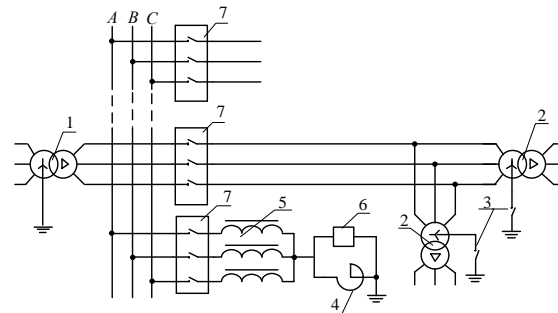


Векторна діаграма симетричних складових і повних струмів в ССЕМ з реактором у тракті нульової послідовності

З діаграми видно, що на шини споживачів отримано трифазну систему напруг і струмів, однак струми у фазах В і С перевищують номінальні значення струмів у симетричному режимі на 46 % і 43 %, відповідно, що може бути пов'язано з необхідністю відключення частини споживачів, як це прийнято в мережах із глухозаземленою нейтраллю. При цьому ступінь несиметрії напруг складає всього 5,12 %, що у більшості випадків не позначається на нормальній роботі основної маси споживачів РЕМ.



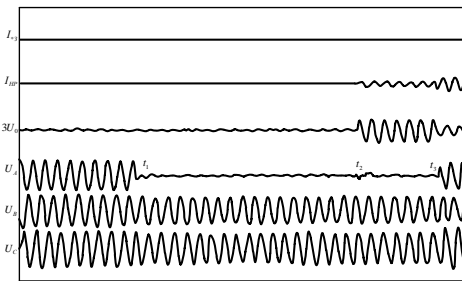
ССЕМ з реактором у тракті нульової послідовності



ССЕМ з реактором у тракті нульової послідовності в мережі з компенсованою нейтраллю

1 – живильна підстанція; 2 – прийомні підстанції; 3 – роз'єднувачі заземлення нейтралі; 4 – ДГК; 5 – тристержневий реактор; 6 – шунтувальний вимикач; 7 – лінійні вимикачі.

Для здійснення електропостачання за ССЕМ необхідно включити шунтувальний вимикач 6 і роз'єднувачі 3. При замиканні на землю (у режимі роботи ССЕМ однієї з ліній) від кола захисту відключається шунтувальний вимикач 6. Після цього мережа переходить в нормальний режим роботи з компенсацією ємнісних струмів.



Осцилограма, що ілюструє процес симетрування напруг на навантаженні

До моменту t_1 напруги на навантаженні U_A, U_B, U_C практично симетричні. У момент t_1 у мережі виникає неповнофазний режим зникнення напруги в одній з фаз. У момент t_2 заземлюється нейтраль трансформатора прийомної підстанції. Це включення приводить до появи напруги нульової послідовності $-3U_0$. У момент t_3 включається симетрувальний реактор. Струм у нейтралі реактора $I_{НР}$ в цей момент часу збільшується до величини I_3 , зумовленої навантаженням.

Дякую за увагу