**7 ПАРАМЕТРИ Й СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

**7.1 Двообмоткові трансформатори**

Двообмоткові трансформатори (рис. 7.1, а) з достатнім ступенем точності представляють Г-подібними схемами заміщення (рис. 7.1, б), де провідність для понижувальних трансформаторів підключається з боку обмотки ВН.



Рисунок 7.1 – Позначення і схеми заміщення двообмоткових трансформаторів

*Примітка*. У вказаній схемі заміщення відсутній ідеальний трансформатор, який слід враховувати при розрахунках мереж, пов'язаних трансформаторами, параметри яких не приведені до однієї базисної напруги.

Подовжня частина схеми заміщення трансформатора містить *R*т і *Х*т - активний і індуктивний опори трансформатора. Ці опори дорівнюють сумі відповідно активних і реактивних опорів обмотки вищої напруги (*R*в, *Х*в) і приведених до неї опорів обмотки нижчої напруги (*R*'н, *Х*'н ):





 (7.1)

Поперечна гілка схеми заміщення (гілка намагнічування) складається і акційної і реактивної провідності *G*т і *В*т :

 (7.2)

Активна провідність *G*т обумовлена втратами активної потужності в сталі трансформатора від струму намагнічування *I*μ (на перемагнічування і вихрові струми).

Реактивна провідність *В*т, визначається магнітним потоком взаємоіндукції в обмотках трансформатора.

Двообмоткові трансформатори при напрузі вищої сторони до 110 (150) кВ подаються спрощеною схемою заміщення (рис. 7.1, в). У цій схемі гілка намагнічування враховується у вигляді додаткового навантаження у вигляді втрат потужності в сталі трансформатора (втрати холостого ходу)

 (7.3)

Для двообмоткових трансформаторів при напрузі вищої сторони до 10 кВ впливом провідності нехтують і використовують просту схему заміщення, що складається тільки з послідовно сполучених активного і індуктивного опорів (рис. 7.1, г).

Опори і провідність двообмоткових трансформаторів визначають за їх паспортними (каталожним) даними:

*S*н.т. – номінальна потужність трансформатора, МВА;

*U*н.в. *Uн.н* – номінальна напруга обмоток вищої і нижчої напруги, кВ;

*ΔР*к – втрати короткого замикання (втрати в міді), кВт;

*ΔР*х – втрати холостого ходу (втрати в сталі), кВт;

 *u*к – напруга короткого замикання, %;

*I*х – струм холостого ходу, %.

Активний опір трансформатора визначається за формулою, Ом:

 (7.4)

Індуктивний опір трансформатора визначається за формулою, Ом:

 (7.5)

де u''к - падіння напруги в індуктивному опорі від струму, що протікає в режимі короткого замикання, %.

З трикутника короткого замикання випливає:

 (7.6)

де u'к – падіння напруги в активному опорі від струму, що протікає в режимі короткого замикання, %.

  (7.7)

У потужних трансформаторах при u'к << u''к можна прийняти:

 (7.8)

Тоді індуктивний опір трансформатора буде дорівнювати:

 (7.9)

Провідності трансформатора визначаються за формулами, См:



  (7.10)

Якщо на ПС працюють паралельно *n*т однакових трансформаторів, то їх еквівалентні опори в *n*, разів менше і дорівнюють *R*т / *n*т, *X*т / *n*т, а провідності в *n* разів більше і дорівнюють  аналогічно втрати потужності в сталі трансформаторів будуть.

**7.2 Трансформатори з розщепленими обмотками**

Трансформатори з розщепленими обмотками (рис. 7.2, а) мають схему заміщення у вигляді трипроменевої зірки (рис. 7.2, б, в), де Rн1, Rн2, Хн1, Xн2 активні та індуктивні опори розщеплених обмоток нижчої напруги, приведені до напруги обмотки вищої напруги.



Рисунок 7.2 – Позначення і схеми заміщення трансформаторів з розщепленими обмотками

При паралельному з’єднанні обмоток нижчої напруги трансформатор з розщепленими обмотками працюватиме як звичайний двообмотковий. При цьому опори трансформатора між виводами обмотки вищої напруги і загальним виводом обмоток нижчої напруги 1 і 2 будуть дорівнювати опорам Rт, і Хт:



  (7.11)

Потужність кожної обмотки нижчої напруги дорівнює половині по-тужності обмотки вищої напруги, тобто половині номінальної потужності трансформатора. Відповідно опори будуть:

 (7.12)

З урахуванням виразу (7.11):

 (7.13)

Індуктивний опір обмотки вищої напруги *Х*в = 0, тобто можна вважати *Х*т цілком зосередженим в обмотках нижчої напруги, що включені паралельно. Враховуючи, що , з співвідношення (7.11):

 (7.14)

Основний сенс застосування трансформаторів з розщепленими обмотками полягає в здатності можливості набуття підвищених значень індуктивних опорів на стороні НН. За рахунок цього потужність короткого замикання на шинах НН знижується майже удвічі, що дозволяє у багатьох випадках обійтися без струмообмежувальних реакторів.

Провідність трансформаторів з розщепленими обмотками визначається також за формулами (7.10).

**7.3 Триобмоткові трансформатори**

Схема заміщення триобмоткового трансформатора (рис. 7.3, а) має вигляд трипроменевої зірки (рис. 7.3, б), де *R*c, *Х*с, *R*н, *Х*н - відповідно активні та індуктивні опори обмоток середньої і нижчої напруги, приведені до сторони вищої напруги, a *G*т і *В*т - активна і реактивна провідності.



Рисунок 7.3 – Позначення і схеми заміщення три обмоткових трансформаторів

Схема заміщення триобмоткового трансформатора при напрузі вищої сторони до 110(150) кВ наведена на рис. 7.3, в. Як і для двообмоткового трансформатора, в наведених схемах заміщення відсутній ідеальний трансформатор, але опори обмоток середньої і нижчої напруги приведені до напруги вищої сторони.

Опори і провідність триобмоткових трансформаторів визначають за їх паспортними (каталожним) даними:

*S*н.т. – номінальна потужність трансформатора, MBA;

*U*н.в. , *U*н.с., *U*н.н. – номінальна напруга обмоток вищої, середньої і нижчої напруги, кВ;

*ΔР*к – втрати короткого замикання (втрати в міді), для обмоток вищої і середньої напруги, тобто *ΔР*к= *ΔР*к.в.с. , кВт;

*ΔР*х – втрати холостого ходу ( втрати в сталі), кВт;

 – напруга короткого замикання, %;

*І*х – струм холостого ходу, %.

Для схеми заміщення триобмоткового трансформатора, на відміну від двообмоткового, потрібно визначати опори кожної обмотки окремо. Активні і реактивні опори обмоток триобмоткових трансформаторів знаходять за даними досліджень короткого замикання, кожен з яких проводять при замиканні однієї з обмоток і відсутності навантаження на іншій.

Усі сучасні триобмоткові трансформатори випускаються із співвідношенням потужностей обмоток 100/100/100 %, тобто *S*в = *S*с = *S*н =*S*н.т., тому активні опори схеми заміщення, приведені до напруги обмотки вищої напруги, приблизно однакові:

 (7.15)

Тоді для розрахунків активних опорів променів схеми заміщення достатньо знати втрати короткого замикання тільки для однієї пари обмоток, причому в паспортних даних даються максимальні втрати .

Активні опори променів схеми заміщення триобмоткових трансформаторів дорівнюють, Ом:

 (7.16)

*Примітка*. При потужностях обмоток, відмінних від співвідношення 100/100/100 %, активні опори променів схеми заміщення зворотно пропорційні потужностям відповідних обмоток. Так, опір обмотки потужністю 66,7% номінальною буде в 1,5 рази більше опору обмотки потужністю 100 %,тобто:

 (7.17)

Для триобмоткових трансформаторів напруги КЗ в каталожних даних наводяться для кожної пари обмоток у відсотках від номінального.

Згідно з еквівалентною схемою заміщення променів триобмоткового трансформатора при одній з обмоток, що залишається не включеною, можна записати:

 (7.18)

Розв’язавши спільно рівняння (7.18), можна знайти напругу КЗ для кожного променя:





 (7.19)

За знайденими значеннями визначаються індуктивні опори обмоток трансформатора:





 (7.20)

Оскільки триобмоткові трансформатори мають значну номінальну потужність , можна прийняти .

Індуктивний опір одного з променів схеми заміщення триобмоткового трансформатора (зазвичай Хс), відповідної обмотки, що розташована між двома іншими обмотками, через взаємний вплив цих обмоток є близьким до нуля, і в практичних розрахунках ним нехтують.

Провідність триобмоткових трансформаторів визначається за формулами (7.10).