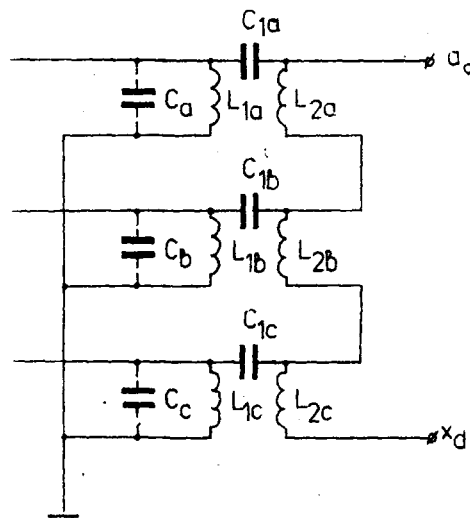


### РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКЕ В ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ НАПЯЖЕНИЯ

В эксплуатации отмечаются случаи ложного срабатывания схем контроля изоляции при режиме “холостые шины”. Наши исследования показали, что при включении трансформаторов напряжения (ТН) на “холостые шины” возникает резонанс на частоте 150 Гц. Резонанс сопровождается **перенапряжениями на шинах 6-10 кВ, равными  $3,5 U_{\phi}$ , а в обмотке “разомкнутый треугольник” ТН возникает напряжение 170-200 В.** При этом срабатывает схема контроля изоляции и происходит сигнализация “ложной земли”. Примечательно то, что, если в таком режиме произойдет однофазное замыкание - резонанс исчезнет, а включение в нейтраль ТН сопротивления или даже обрыв нейтрали не влияет на резонансный процесс.

Для объяснения физической сущности этого явления составим упрощенную схему замещения ТН (рис.1), рассматривая при этом помимо первичной обмотки одну из вторичных обмоток, соединенную в “открытый треугольник”. Другой вторичной обмоткой, соединенной по схеме “звезда”, можно пренебречь, т.к. в ней не могут присутствовать гармоники с частотами, кратными трем.



**Рис.1.** Упрощенная схема замещения трехфазного ТН, работающего в схеме контроля изоляции.

В этой схеме емкости  $C_{1a}$ ,  $C_{1b}$ ,  $C_{1c}$  обозначают емкости между обмотками, а индуктивности  $L_{1a}$ ,  $L_{1b}$ ,  $L_{1c}$  и  $L_{2a}$ ,  $L_{2b}$ ,  $L_{2c}$  учитывают индуктивности первичной и вторичной обмоток ТН соответственно.

Следует отметить, что в нормальном режиме к ТН подключены сравнительно большие фазные ( $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$ ) емкости сети. Как показано в работах [1, 2], фазные емкости и индуктивность первичной обмотки при определенных условиях обуславливают развитие феррорезонанса и автопараметрического резонанса, предотвращение которых возможно путем заземления нейтрали высоковольтной обмотки ТН через резистор 3000 Ом мощностью рассеяния 100 Вт. Другие параметры ТН практически не оказывают влияние на эти процессы.

Однако, при включении ТН на “холостые шины”, возрастает роль **междуобмоточных емкостей  $C_1$  и индуктивностей вторичных обмоток.** Другими параметрами, вследствие их относительно малого влияния, можно пренебречь. При включении ТН на “холостые шины”, свободная составляющая

переходного процесса оказывается практически приложенной ко вторичной обмотке, отсюда индуктивность этой обмотки сводится к индуктивности рассеяния, а первичная обмотка для этих колебаний является короткозамкнутой [3,4].

При синусоидальных токах в первичной обмотке трансформатора магнитные потоки в ферромагнитных сердечниках имеют несинусоидальную форму с ярко выраженной третьей гармоникой. В этом случае, во вторичной обмотке, соединенной в разомкнутый треугольник, наводятся несинусоидальные Э.Д.С., где сумма Э.Д.С. симметричных составляющих основной частоты равна нулю, а сумма Э.Д.С. третьих гармоник дает утроение частоты, т.к. эти гармоники представляют собой систему нулевой последовательности, т.е. при работе ТН (независимо от режима нейтрали) за счет естественной несимметрии всегда возникает напряжение нулевой последовательности **третьей гармоники. Как показано выше, при нагруженных шинах (емкости  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $C_C$  подключены) роль междуобмоточных емкостей незначительна**, амплитуды третьих гармоник во вторичной цепи близки к нулю.

Включение ТН на “холостые шины” приводит к возникновению контура, в котором возбуждается резонанс на третьей гармонике вследствие **насыщения индуктивности  $L_2$  и уменьшения ее до значения  $L_{s2}$** .

Рассмотрим возможные пути срыва феррорезонансных колебаний на третьей гармонике. Решение этого вопроса возможно лишь путем изменения параметров обмотки “разомкнутого треугольника”. Например, приближение к параметрам замкнутого контура, где невозможно возникновение третьих гармоник. Известны рекомендации по установке в эту обмотку активного сопротивления величиной 25 Ом для срыва феррорезонанса токов в цепи емкость сети - индуктивность первичной обмотки ТН [5]. Эффективность прямого назначения таких рекомендаций, как показала практика, недостаточно высока, а простые расчеты показывают, что мощность рассеяния резистора должна быть 400 Вт. Исходя из того, что нагрузка не влияет на формирование частоты, а лишь незначительно уменьшает амплитуду третьих гармоник, на наш взгляд, более целесообразным является включение в обмотку “разомкнутого треугольника” сопротивления приблизительно равного 150 Ом мощностью не менее 70 Вт (типа ПЭВ-100 или С5-35). Многочисленные осциллограммы подтверждают, что этой величины вполне достаточно для снижения амплитуды третьих гармоник. Кроме того, ТН не подвергается перегрузке при однофазных замыканиях на землю, вызванной тем, что он дополнительно нагружается на 400 Вт (при сопротивлении 25 Ом). А в комплексе с мероприятиями, рекомендуемыми в [2], обеспечивается надежная защита ТН, эффективность которой подтверждена опытом эксплуатации в системе “Крымэнерго”.

#### ВЫВОДЫ

1. Включение трансформаторов напряжения на “холостые шины” без специальной защиты от резонанса на третьей гармонике недопустимо.
2. В качестве мер по защите трансформаторов напряжения от резонанса на третьей гармонике может применяться включение в обмотку “разомкнутого треугольника” резистора величиной 150 Ом.

#### Перечень ссылок

1. *Нугер Б.К., Дударев Л.Е., Карпунин В.Б.* Электробезопасность при обслуживании высоковольтных установок // Машиностроитель. -1982. - № 1. - С.28-29.
2. *Нугер Б.К., Дударев Л.Е.* Повышение надежности трансформаторов напряжения, работающих в схемах контроля изоляции // Энергетик. - 1983. - № 1. - 23 с.
3. *Сиротинский Л.И.* Техника высоких напряжений. Ч.3. Вып.1. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. - 368 с.
4. *Болотин И.Б., Эйдель Л.З.* Измерение в переходных режимах короткого замыкания. - Л.: Энергия, 1981. - 192 с.
5. *Лихачев Ф.А.* Защита от внутренних перенапряжений установок 3-220 кВ. - М.: Энергия, 1968. - 103 с.