

**О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ
НА ЗЕМЛЮ ГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ
В КОМПЕНСИРОВАННОЙ СЕТИ НА НАЛОЖЕННОМ ТОКЕ
25 ГЕРЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗНЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

И. Д. КУТЯВИН, Р. А. ВАЙНШТЕЙН, Л. И. ВОРОНОВА

(Представлена научным семинаром кафедры электрических станций)

В настоящее время синхронные генераторы, включенные на сборные шины, в большинстве случаев питают сети со значительным емкостным током замыкания на землю, в которых установлены дугогасящие катушки. При этом существующая защита генераторов от однофазных замыканий на землю, выполненная при помощи трансформатора нулевой последовательности типа ТНПШ, может работать только в том случае, если абсолютная величина геометрической разности между остаточным током и емкостным током генератора превышает $5a$.

Возможная нечувствительность защиты считается допустимой, так как по установившейся в настоящее время точке зрения полагают, что ток, в месте замыкания меньший $5a$, не может поддерживать устойчивую дугу и поэтому не опасен для генератора. Однако условия для горения устойчивой дуги, по-видимому, определяются не только абсолютной величиной тока, но также характером повреждения изоляции и напряжением на дуговом промежутке, то есть зависят от количества замкнувшихся витков. Кроме того, наличие необнаруженного достаточно быстро однофазного замыкания может быть потенциальным источником более крупного повреждения генератора при появлении замыкания на другой фазе. Поэтому отказ от селективного контроля изоляции генераторов, работающих в компенсированной сети, в некоторых режимах представляется недостаточно обоснованным.

В то же время сейчас разработаны устройства для селективной защиты от замыканий на землю линий в компенсированных сетях, основанные на наложении на сеть контрольного тока с частотой, отличающейся от промышленной.

Очевидно, что при наличии в сети источника контрольного тока такая же защита может быть применена и для генераторов.

В данной статье нами рассматриваются некоторые вопросы, связанные с разработкой защиты генераторов от замыканий на землю с использованием контрольного тока с частотой 25 гц.

Источник контрольного тока и способ его включения, а также подобная защита для кабельных фидеров описаны в [1].

Устройство защиты генератора от замыканий на землю, реагирующее на контрольный ток постороннего источника, имеет ряд принципиальных преимуществ перед существующим устройством, реагирующим на естественный ток замыкания. Эти преимущества следующие:

1. Устройство защищает 100% обмотки.

2. Устройство одинаково действует, когда генератор находится под нагрузкой, а также, когда он остановлен или вращается, но не возбужден. Кроме того, благодаря отличию частот контрольного тока от промышленной и от частот высших гармоник появляется возможность частотной отстройки от токов небаланса фильтра нулевой последовательности.

Это обстоятельство позволяет поставить задачу о включении реагирующего органа защиты в нулевой провод группы из трех трансформаторов тока, питающих измерительные приборы, и благодаря этому отказаться от установки специального трансформатора нулевой последовательности типа ТНПШ, изготовление, монтаж и эксплуатация которого достаточно сложны. Трансформатор тока типа ТНПШ требует также значительной мощности (до 30 *ва*) от трансформаторов напряжения для целей подмагничивания.

Трехтрансформаторный фильтр нулевой последовательности в данном случае будет работать в условиях протекания по поврежденной фазе небольшого по величине контрольного тока с частотой 25 герц (до 1 ампера) при одновременном намагничивании сердечников всех 3-х фаз симметричным рабочим током, величина которого может меняться от 0 до номинального тока генератора.

С целью выяснения условий передачи мощности на частоте контрольного тока во вторичную цепь нами предприняты исследования трансформаторов тока при одновременном намагничивании токами двух частот — 50 и 25 герц.

Необходимость тщательного исследования этого вопроса диктуется тем, что ожидаемая мощность на частоте контрольного тока во вторичных цепях будет весьма малой из-за большого коэффициента трансформации генераторных трансформаторов тока. Поэтому для облегчения условий разработки реагирующего органа необходимо, в частности, знание его оптимального входного сопротивления при использовании различных трансформаторов тока.

Для решения поставленной задачи были сняты кривые одновременного намагничивания электротехнической стали:

$$B_{25} = f(H_{25}) \text{ при } H_{50} = \text{const},$$

где

B_{25} — составляющая индукции с частотой 25 *гц*;

H_{25} — составляющая напряженности поля с частотой 25 *гц*;

H_{50} — составляющая напряженности поля с частотой 50 *гц*.

Для снятия кривых намагничивания использовались сердечники трансформаторов ТПШФД 4000/5.

По двум первичным обмоткам, соединенным относительно друг друга встречно, пропускаются синусоидальные токи I_{50} и I_{25} с частотами соответственно 50 и 25 *гц* (рис. 1, *а*). Вторичные обмотки трансформаторов соединены так, чтобы э. д. с. с частотой 25 герц суммировались, а э. д. с. с частотой 50 герц — вычитались. Вследствие неизбежной неидентичности сердечников вторичная э. д. с., кроме частоты 25 *гц*, содержит частоту 50 герц и высшие гармоники. При $I_{50} > I_{25}$ помехи во много раз превышают подлежащую измерению составляющую э. д. с. с частотой 25 *гц*. Для возможности проведения измерений в таких условиях использовалась специальная электронная частотно-избирательная схема.

Результаты измерений представлены на рис. 1 *в*, из которого видно, что при любом I_{50} зависимость $B_{25} = f(H_{25})$ выражается прямой линией, то есть магнитная проницаемость на частоте 25 герц $\mu_{25} = \frac{B_{25}}{H_{25}}$ не зависит от H_{25} при любом постоянном по величине токе I_{50} . Сопротивле-

ние ветви намагничивания трансформатора на частоте ω_{25} также зависит только от I_{50} .

Задаваясь различными значениями I_{50} , получаем кривую $\mu_{25} = f(I_{50})$ (рис. 2), из которой видно, что минимальная магнитная проницаемость имеет место при $I_{50} = 0$.

Как было указано выше, для разработки реагирующего органа необходимо определить его оптимальное входное сопротивление. Оптимальным сопротивлением будем считать сопротивление, при котором обеспечивается максимальная передача мощности на частоте 25 гц.

Расчет токораспределения проводим по схеме замещения 3-х трансформаторного фильтра токов нулевой последовательности (рис. 3), где

X — индуктивное сопротивление ветви намагничивания одного трансформатора тока на частоте 25 гц;

$R_{н1}$ — максимальное активное сопротивление одной фазы;

$R_{нф}$ — активное сопротивление реагирующего органа, включенного в нулевой провод 3-х трансформаторного фильтра;

I_{25} — контрольный ток с частотой 25 гц;

I'_{25} — контрольный ток в цепи реагирующего органа, приведенный к числу витков первичной обмотки.

Для возможности последующего сравнения экспериментальных и расчетных данных параметры схемы замещения определены для имеющихся в наличии трансформаторов ТПШФД — 4000/5, хотя предполагается практически использовать трансформаторы тока класса 0,5 и 1.

Параметры используемых трансформаторов следующие:

q — сечение стали сердечника $20,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

ω_2 — число витков вторичной обмотки — 800;

$l_{ср}$ — средняя силовая линия — 1,09 м;

ω_1 — число витков первичной обмотки — 1.

Принимая сопротивление реагирующего органа чисто активным и меняя его в диапазоне от 5 до 1000 ом, получаем зависимость вторичного тока I'_{25} и вторичной мощности P'_{25} от величины нагрузки фильтра $R_{н.ф.}$ (рис. 3, в).

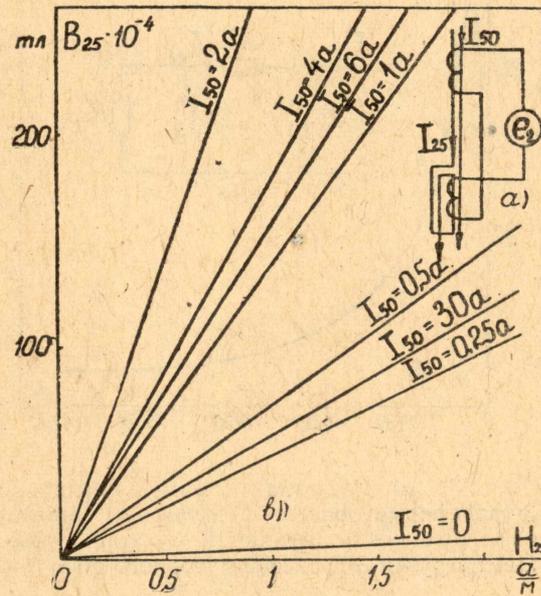


Рис. 1. а) Схема измерений, в) кривые одновременного намагничивания токами с частотой 50 и 25 гц

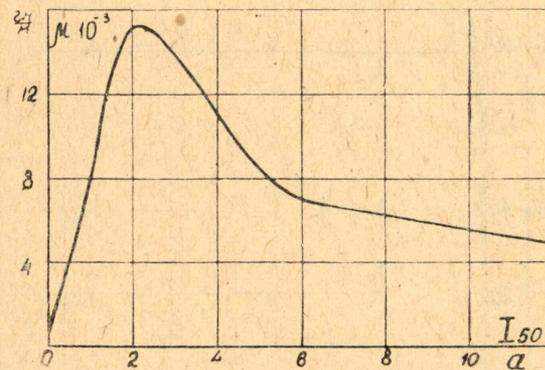


Рис. 2. Зависимость магнитной проницаемости на частоте 25 герц от тока подмагничивания с частотой 50 герц

В качестве расчетной кривой намагничивания принята кривая $B_{25} = f(H_{25})$ при $I_{50} = 0$, так как при этом μ_{25} наименьшее.

Как и следовало ожидать, полученная зависимость имеет очень резко выраженный максимум, поэтому выбор входного сопротивления, равного оптимальному, значительно облегчит выполнение реагирующего органа.

Изменение вторичной мощности в зависимости от тока нагрузки генератора в пределах от 0 до номинального при определенном выше оптимальном сопротивлении показано на рис. 4.

Анализ этой зависимости показывает, что при любом токе нагрузки вторичная мощность не падает ниже значения, соответствующего наихудшему режиму при $I_{50} = 0$. Кроме того, начиная с тока I_{50} , равного пяти процентам от номинального тока генератора, вторичная мощность достигает максимального значения и не изменяется вплоть до номинального тока генератора.

Таким образом, в качестве расчетного режима, в котором должна обеспечиваться необходимая чувствительность реагирующего органа, следует принимать режим холостого хода генератора. Во всех остальных режимах чувствительность тем более будет обеспечена.

Из кривой рис. 3в, видно, что оптимальное сопротивление составляет величину, близкую к пятидесяти омам. Включение такого сопротивления в нулевой провод группы 3-х трансформаторного фильтра при нормальном режиме и при междуфазных к. з. не будет влиять на работу трансформаторов тока. И только при двойных замыканиях на землю появляется

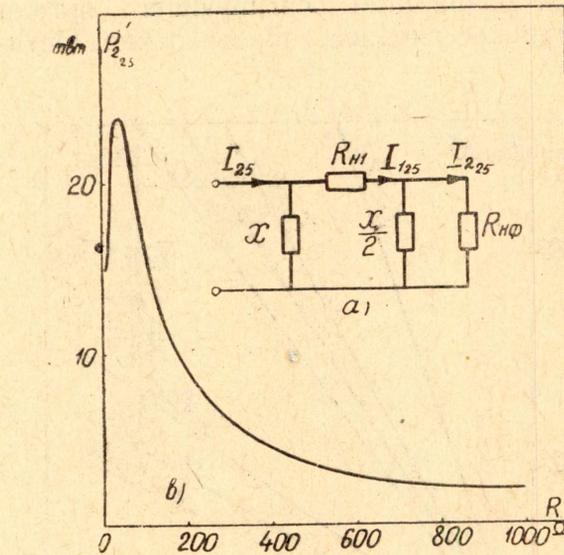


Рис. 3. а) Расчетная схема замещения 3-трансформаторного фильтра, б) зависимость вторичной мощности от сопротивления нагрузки 3-трансформаторного фильтра

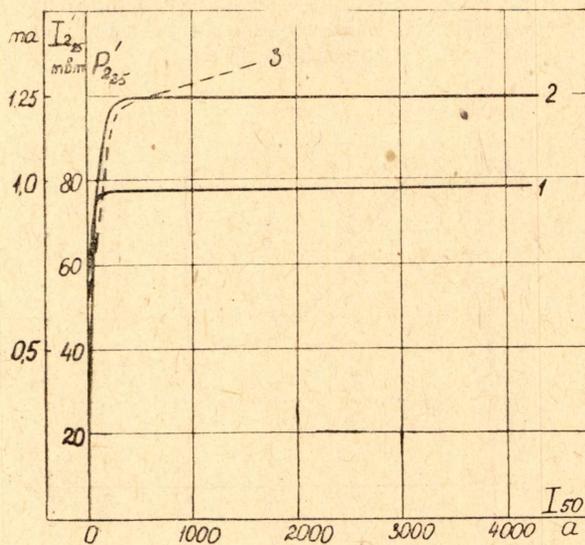


Рис. 4. Кривая 1 — зависимость вторичной мощности на частоте 25 герц фильтра нулевой последовательности от рабочего тока генератора; кривая 2 — то же для вторичного тока 25 герц; кривая 2 — расчет; кривая 3 — эксперимент

опасность возникновения значительных перенапряжений вследствие сильного насыщения одного из трансформаторов тока. Эти перенапряжения можно устранить путем включения параллельно входу реагирующего органа разрядника на соответствующее напряжение.

Выводы

1. Имеется принципиальная возможность усовершенствования защиты генераторов от замыканий на землю посредством использования наложенного контрольного тока с частотой, отличающейся от частоты сети.

2. Благодаря использованию частотной отстройки реагирующего органа от токов небаланса возможно выполнение защиты на трансформаторном фильтре нулевой последовательности вместо ТНПШ.

3. В качестве расчетного режима для проектирования реагирующего органа следует принимать режим холостого хода генератора. Во всех остальных режимах чувствительность реагирующего органа будет выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Вайнштейн, А. В. Шмойлов, Л. И. Воронова. Использование электромагнитного параметрического делителя частоты в качестве источника контрольного тока для защиты от замыканий на землю. Настоящий сборник.
