

# ВЫЯВЛЕНИЕ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Казанцев А.В., Ромкин А.А.

Томский политехнический университет, Институт кибернетики  
romkin\_a@mail.ru

## Введение

В связи с широким применением синхронных генераторов по всей стране, стало очень важно, чтобы работа агрегатов была безотказна. Так как при выходе одного агрегата из строя, нагрузка перебрасывается на остальные агрегаты, работающие на станции. В связи с большими габаритами и большой мощностью генераторов стоимость ремонта очень велика. Также велики потери от простоя агрегата. Поэтому остро стоит проблема выявления на ранних стадиях и предотвращения поломок этих электрических машин. Одной из распространенных неисправностей синхронного генератора (СГ) является витковое замыкание (ВЗ).

Принцип действия.

Статор 1 синхронной машины (рис. 1, а) выполнен так же, как и асинхронной: на нем расположена трехфазная (в общем случае многофазная) обмотка 3. Обмотку ротора 4, питаемую от источника постоянного тока, называют *обмоткой возбуждения*, так как она создает в машине магнитный поток возбуждения. Вращающуюся обмотку ротора соединяют с внешним источником постоянного тока посредством контактных колец и щеточного узла.

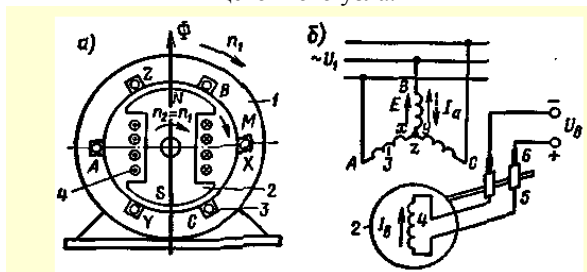


Рисунок 1 - Электромагнитная схема синхронной машины и схема ее включения контактных колец 5 и щеток 6 (рисунок 1, б).

В синхронной машине обмотку, в которой индуцируется ЭДС и проходит ток нагрузки, называют обмоткой якоря, а часть машины, на которой расположена обмотка возбуждения, — индуктором. Следовательно, в приведенной машине (рис. 1) статор является якорем, а ротор — индуктором. Для принципа действия и теории работы машины не имеет значения — вращается якорь или индуктор, поэтому в некоторых случаях применяют синхронные машины с обратной конструктивной схемой: обмотку якоря, к которой подключают нагрузку, располагают на роторе, а обмотку возбуждения, питаемую постоянным током, — на статоре. Такую машину называют

обращенной. Обращенные машины имеют сравнительно небольшую мощность, так как у них затруднен отбор мощности от обмотки ротора.

Синхронная машина может работать автономно в качестве генератора, питающего подключенную к ней нагрузку, или параллельно с сетью, к которой присоединены другие генераторы. При работе параллельно с сетью она может отдавать или потреблять электрическую энергию, т. е. работать генератором или двигателем. При подключении обмотки статора к сети с напряжением  $U$  и частотой  $f$  проходящий по обмотке ток создает, так же как в асинхронной машине, вращающееся магнитное поле. В результате взаимодействия этого поля с током  $I_b$ , проходящим по обмотке ротора, создается электромагнитный момент  $M$ , который при работе машины в двигательном режиме является вращающим, а при работе в генераторном режиме — тормозным. В рассматриваемой машине в отличие от асинхронной поток возбуждения (холостого хода) создается обмоткой постоянного тока, расположенной обычно на роторе. В установленном режиме ротор неподвижен относительно магнитного поля и вращается с частотой вращения  $n_1 = n_2$  независимо от механической нагрузки на валу ротора или электрической нагрузки.

Возникновение витковых замыканий

Под действием центробежной силы, возникающей при вращении ротора, проводники обмотки ротора приходят в движение, в следствие чего, изоляция проводников истирается и происходит замыкание двух соседних проводников. Также замыкание может произойти из-за старения изоляции. Если замыкание выявить на ранней стадии, то ремонт можно произвести без демонтажа габаритного ротора методом впайки отдельных витков либо части обмотки. Если замыкание не выявлено на ранней стадии, это может потребовать дорогостоящего ремонта со снятием ротора машины.

Синхронный генератор представляет собой сложную электромеханическую систему, а возникновение такого повреждения как витковое замыкание в обмотке ротора у крупных СГ приводит к большому экономическому ущербу. В то же время вывить такое замыкание крайне сложно. Защиты от ВЗ в роторе пока еще не разработаны, а диагностируется такое повреждение в подавляющем большинстве случаев только во время капитального ремонта на полностью разобранный машине. Это связано с

тем, что в месте ВЗ отсутствует ток короткого замыкания в классическом его понимании. Нет электрической дуги и значительного изменения падения напряжения. Вследствие синхронной скорости вращения ротора ток в замкнутом витке возникает в виде кратковременных импульсов во время качаний ротора либо в переходных режимах работы. Крайне важно на основе информации со штатных измерительных средств выбрать диагностические параметры, значения которых однозначно связаны с техническим состоянием межвитковой изоляции.

#### Выявление виткового замыкания.

Для выявления виткового замыкания мы предлагаем провести анализ потоков рассеивания ротора, для этого в торцевой зоне генератора нужно расположить индуктивный датчик, в котором потоком рассеивания будет наводиться ЭДС. Путем сложных преобразований этой ЭДС, можно добиться конкретного сигнала о наличии или отсутствии ВЗ. Наша статья не будет посвящена устройству преобразующего ЭДС катушки. Мы задались вопросом построения картины поля рассеивания в торцевой зоне СГ. С целью выявить зоны более сильной напряженности. По предположению, именно в этих зонах и нужно располагать индуктивный датчик, о котором мы упоминали выше.

#### Метод исследования

Для построения поля была взята статическая модель вылета одной обмотки ротора. Учтены магнитные проводимости частей, окружающих вылет обмотки. На основе этого в программе Comsol Multiphysics была построена картина поля, изображенная на рис.2.

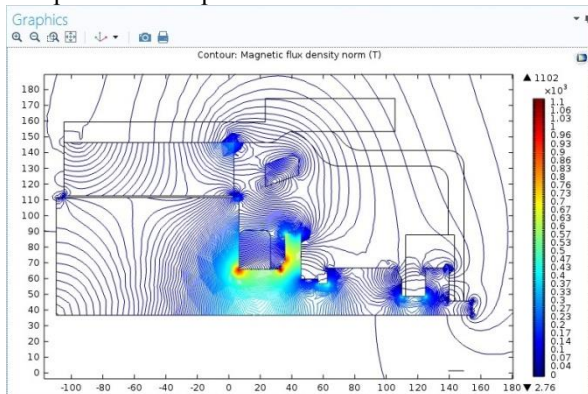


Рисунок 2 - Картина поля рассеивания синхронного генератора.

При ВЗ плотность тока в обмотке повышается, тем самым, усиливается поле рассеивания в торцевой зоне. Это повлияет на наводимое в катушке ЭДС.

Нами было смоделировано витковое замыкание ротора при помощи увеличения плотности тока в рассматриваемой обмотке.

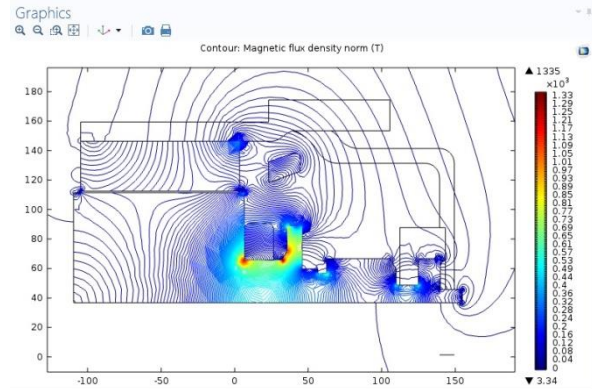


Рисунок 3 - Картина поля рассеивания СГ с витковым замыканием.

В результате сравнения двух картин поля видно, что картина поля изменяется и смещаются точки наибольшей напряженности.

#### Заключение

При помощи, созданной нами картины поля можно вычислить точки наиболее выгодного расположения катушки-датчика. В результате чего, витковое замыкание СГ можно выявить на его ранней стадии, тем самым избежать дорогостоящего ремонта, а также простоя всего турбоагрегата.

#### Список использованных источников

1. Полищук В.И. Построение защиты от виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора на основе индукционного датчика магнитного поля рассеяния // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4. – С. 57–61.
2. Под общей редакцией И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Справочник по электрическим машинам: В двух томах. Том 1. Москва, Издательство Энергоатомиздат, 1988
3. Красников Г.Е., Нагорнов О.В., Старостин Н.В. Учебное пособие - Москва: МИФИ, 2012.- 184 с.
4. Беляков Ю.С. Основы энергетики (конспект лекций): учебное пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. - 80 с.