

**О влиянии качества контакта релейной щетки с валом генератора  
на работу защит цепей возбуждения от замыканий на землю**

Алексеев В.Г, канд. техн. наук, Левиуш А.И., докт. техн. наук, Белозор А.Н. (ООО «НПП Резонанс»), Ахмадов И. (ООО «БЕНДЕР РУССЛАНД»)

Одноместное повреждение изоляции на землю полюсов системы возбуждения генераторов представляет опасность с точки зрения возможности возникновения второго места повреждения, при котором генератор должен быть немедленно отключен. Замыкание на землю в двух точках цепи возбуждения сопровождается несимметрией магнитного потока ротора, возникновением одностороннее притяжение ротора к статору и разрушающими вибрациями агрегата. Дуга в месте замыкания может привести к значительному повреждению обмотки и стали ротора. В связи с этим к надежности защиты или сигнализации о замыкании в одной точке (защиты от замыкания на землю цепи ротора) предъявляются высокие требования. В качестве защиты от замыканий на землю в энергосистемах в настоящее время используется достаточно большое количество старых устройств защиты типа КЗР-3 и БЭ1104, хотя в последнее время начинают внедряться и микропроцессорные терминалы защиты. К последним можно отнести BENDER IRDH375-435, МК-РЗР, АРГУС-1200-02/380-220. Практически все перечисленные защиты используют метод наложения на цепь возбуждения токов низкой и инфранизкой частоты, от 25 до долей герца. Типовая схема подключения защит ротора от замыкания в одной точке приведена на рис. 1.

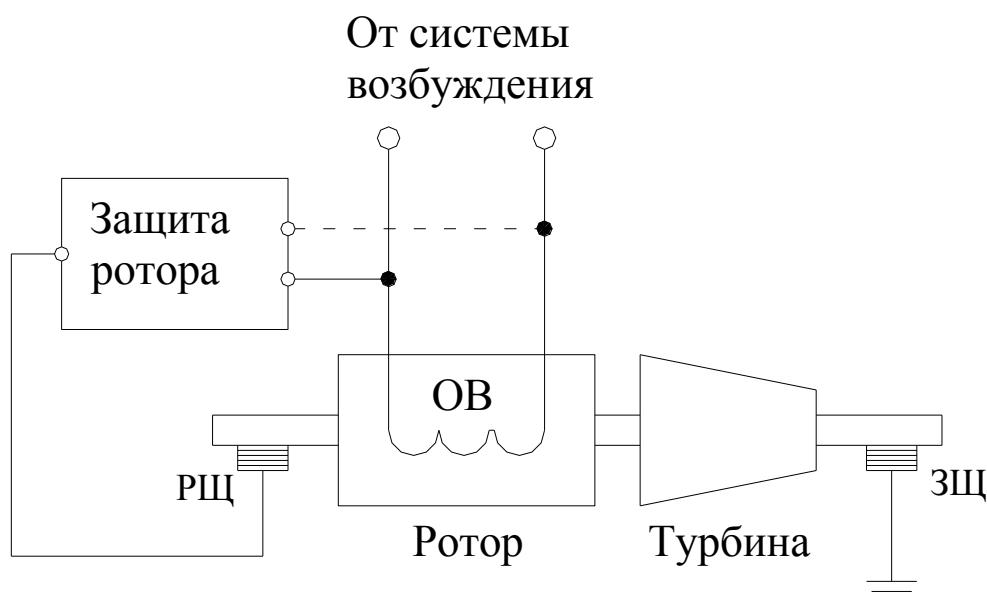


Рис. 1.

Защиты КЗР-3 и БЭ1104 подключаются к одному полюсу системы возбуждения, микропроцессорные защиты, и в частности микропроцессорные терминалы защиты BENDER IRDH375-435, могут подключаться к двум полюсам системы возбуждения через согласующие адаптеры.

Одним из самых ненадежных узлов в системе защиты от замыкания на землю в цепи ротора являются заземляющая и релейная щетки (ЗЩ и РЩ соответственно). Потеря контакта между этими щетками и валом турбоагрегата (ТА) грозит или сужением области действия защиты или ее полным отказом. Так потеря контакта с валом ЗЩ приводит к невозможности контроля изоляции всей системы возбуждения кроме самой обмотки ротора, а РЩ – к полному отказу защиты. Одним из важных назначений ЗЩ является снятие статического заряда с вала турбины возникающего вследствие трения о лопатки турбины сухого пара. ЗЩ обычно располагают в непосредственной близости от турбины в области высокой температуры и возможного замасливания, поэтому эта щетка часто теряет контакт с валом, что зачастую никак не контролируется. На некоторых типах генераторов ЗЩ может вообще отсутствовать. РЩ располагается с противоположной стороны генератора и работает в существенно более легких условиях, кроме того может быть предусмотрен контроль потери ее контакта с валом (отскок щетки), например со стороны защиты БЭ1104. Микропроцессорные защиты обычно не предусматривают специальных сигнализирующих органов, контролирующих отскок щетки.

Повышение надежности заземления вала ТА может быть достигнуто путем его дополнительного заземления через РЩ. Однако непосредственное соединение РЩ с контуром заземления недопустимо, вследствие образования замкнутого контура: продольная ЭДС ротора – РЩ - ЗЩ. Для соединения РЩ с землей может быть использован заземляющий блок [1], оказывающий большое сопротивление для переменного тока частоты 50 Гц и малое для токов всех других частот. При наличии заземляющего блока, «непотенциальный» вывод защиты от замыканий на землю может подключаться не к релейной щетке, а непосредственно к контуру заземления или к специальному выводу на заземляющем блоке [2]. При этом контроль всех цепей возбуждения, за исключением обмотки возбуждения, не будет зависеть от качества контакта РЩ – вал.

Как показывают проведенные исследования, в условиях эксплуатации, нарушение контакта между щеткой и валом ТА может быть неполным. С одной стороны возможно возрастание переходного сопротивления контакта щетка-вал, с другой стороны возможна прерывистая (перемежающаяся) потеря контакта при относительно малом переходном сопротивлении. Прерывистая потеря контакта обычно происходит с частотой вращения вала, т.е. на некоторых участках окружности вала обеспечивается прилегание щетки, а на других участках происходит ее полный отрыв.

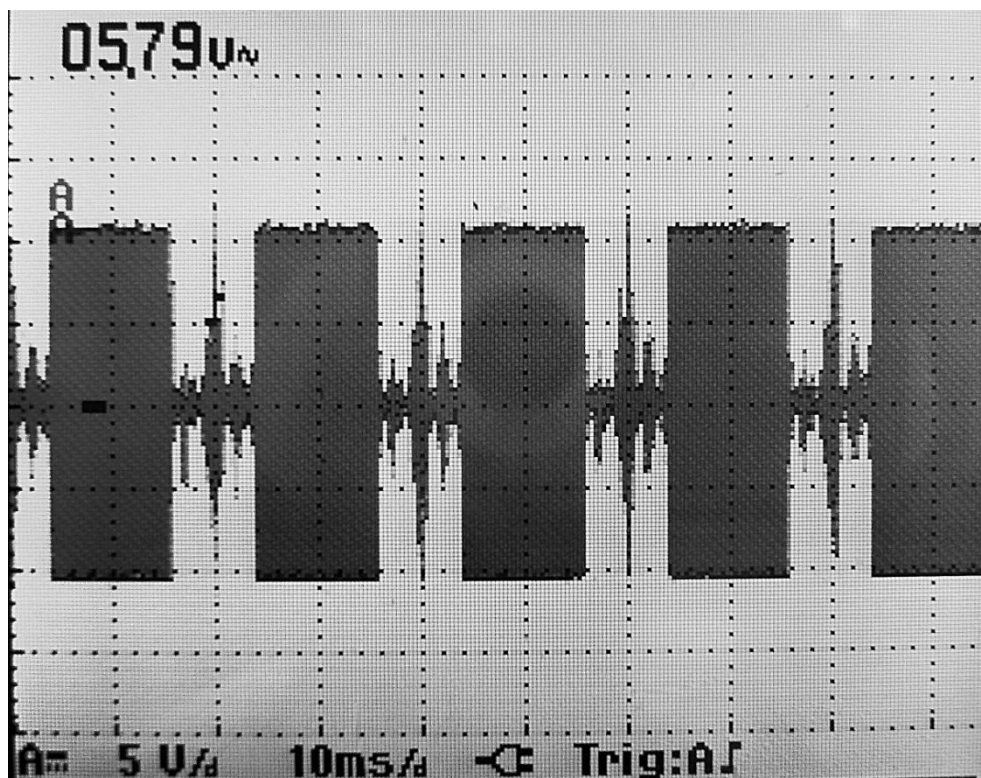


Рис. 2.

На рис. 2 приведена характерная осциллограмма прерывистой потери контакта РЩ, полученная при проведении наладочных работ на одной из станций. На осциллограмме изображено напряжение на РЩ при приложении к ней относительно земли, через ограничивающий ток резистор, синусоидального напряжения частотой 30 кГц и амплитудой 10 вольт. Затемненные участки на осциллограмме соответствуют потере контакта РЩ с валом, а там где напряжение снижается, контакт временно восстанавливается. Такого рода прерывистая потеря контакта щетки обычно свидетельствует о плохом состоянии контактной поверхности вала, наличии биений на валу, некачественной регулировке или дефекте щеточного механизма, возникающих в процессе эксплуатации щетки, если за ней не проводится систематический контроль.

Для выявления влияния прерывистой потери контакта РЩ на работу защит ротора от замыканий на землю в одной точке ООО «НПП Резонанс» совместно с ООО «БЕНДЕР РУССЛАНД» были проведены испытания микропроцессорного терминала защиты BENDER IRDH375-435, физические основы работы которого изложены в [3, 4], а также устройств производства ООО «НПП Резонанс» - заземляющего блока ЗБ-1Б.У, устройства контроля контакта релейной щетки КЗВ-1 (модификация 1.6) и устройства контроля изоляции подшипников КПИМ-1.2 (модификация 1.4).

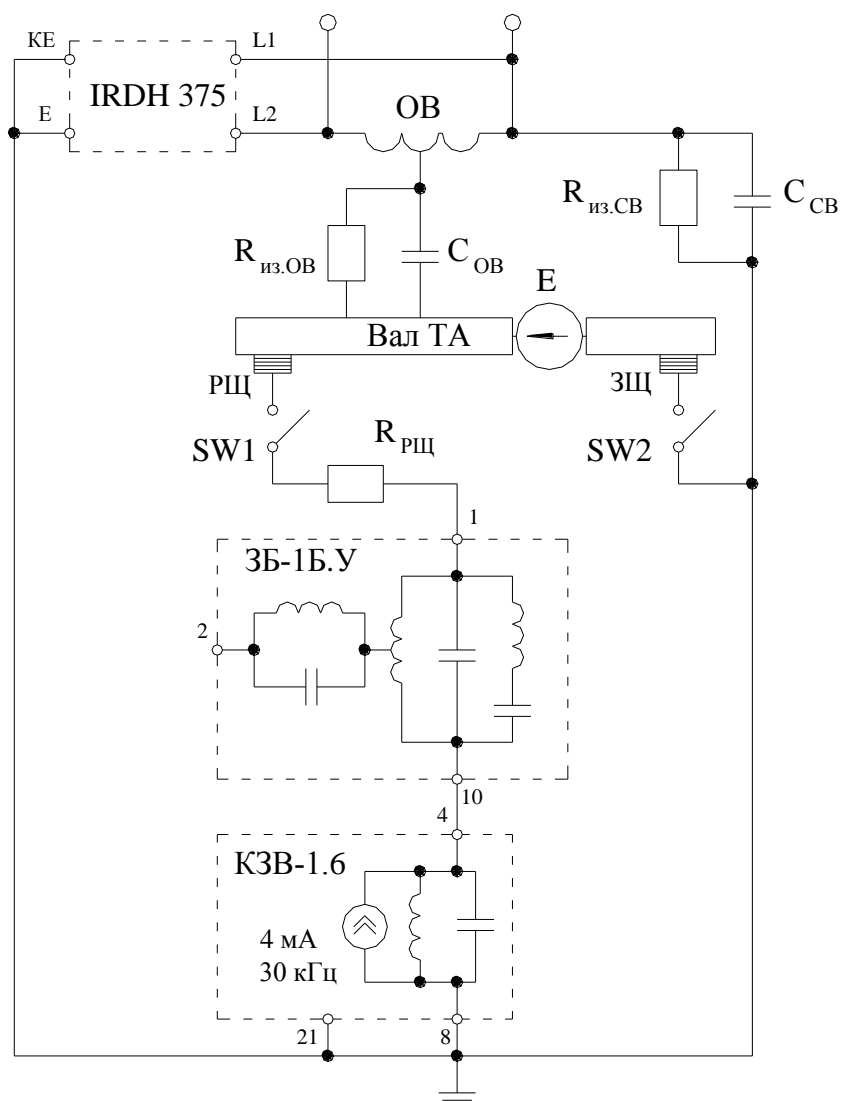


Рис. 3.

Схема испытаний приведена на рис. 3. Испытания проводились в лабораторных условиях с имитацией генератора в виде модели. Обмотка возбуждения имитировалась проводником, напряжение возбуждения не подавалось. Продольная ЭДС на валу генератора принималась равной 4 В с частотой 50 Гц. Емкость обмотки возбуждения генератора  $C_{ОВ}$ , емкость внешней части системы возбуждения  $C_{СВ}$ , и соответствующие сопротивления изоляции  $R_{из.ОВ}$ ,  $R_{из.СВ}$  – варьировались в широких пределах. Ключи SW1 и SW2 имитировали нарушение контакта между валом и щетками, в том числе прерывистое с разрывом на половину периода частоты 50 Гц. Сопротивление  $R_{РЩ}$  имитировало переходное сопротивление контакта РЩ - вал. Уставка срабатывания первой ступени IRDH 375-475 (предупреждение) была принята 15 кОм, а второй (тревога) – 6 кОм.

Испытания показали, что при наличии хорошего контакта ЗЩ с валом ухудшение контакта между РЩ и валом, выраженное в увеличении переходного сопротивле-

ния от 0 до 1 кОм практически не сказывается на правильности измерения сопротивления изоляции микропроцессорным терминалом защиты BENDER IRDH375-435.

Важно, что при отсутствии ЗЩ и снижении сопротивления изоляции обмотки возбуждения, возможна ошибка в измерении в сторону завышения на величину переходного сопротивления РЩ.

Неконтролируемое ухудшение контакта между РЩ и валом, выраженное в прерывистой потере контакта (при отсутствии или потере контакта ЗЩ), может приводить к возникновению больших погрешностей в измерении сопротивления изоляции до нескольких крат в сторону завышения и как следствие к отказу в срабатывании на заданной уставке. Сигнализация о прерывистом нарушении контакта устройством не подается.

По аналогичной методике были проведены испытания блока защиты ротора БЭ1104, но при включении «непотенциального» вывода защиты непосредственно к релейной щетке и отсутствии заземляющего блока и устройства КЗВ-1, что соответствует традиционной схеме включения. Уставка чувствительной ступени принята 11 кОм, грубой ступени – 5,3 кОм. Испытания показали, что при увеличении переходного сопротивления РЩ от 0 до 1 кОм сопротивление срабатывания смещается от заданной уставки приблизительно на величину переходного сопротивления. При прерывистом нарушении контакта обе ступени защиты, чувствительная и грубая, отказывают в срабатывании, причем действие сигнализации об отскоке щетки сильно зависит от емкости системы возбуждения на землю и в большинстве случаев сигнализация не действует. Ситуация практически не меняется и при наличии заземляющего блока и подключении блока защиты БЭ1104 к его выводу 2.

В соответствии с техническими описаниями устройств контроля изоляции МК-РЗР и АРГУС-1200-02/380-220, в упомянутых устройствах контроль неисправности внешних цепей в виде сигнализации отскока щетки не предусмотрен.

Из вышесказанного следует, что прерывистое нарушение контакта РЩ – вал устройствами защиты никак не сигнализируется, но может приводить либо к их резкому загроблению, либо к полному отказу в срабатывании при ухудшении изоляции цепей возбуждения. В этих условиях, существенную помощь в выявлении нарушения контакта РЩ – вал, как в виде увеличения переходного сопротивления, так и в виде прерывистого нарушения контакта, может оказать устройство КЗВ-1 (модификация 1.6 и выше). Оно чувствительно к обоим нарушениям контакта. В обоих случаях устройство КЗВ-1 с выдержкой времени 2,5 секунды подает сигнал о нарушении в цепи РЩ, путем срабатывания выходного реле. Помимо этого, светодиодная сигнализация позволяет отличить прерывистое нарушение контакта от увеличения переходного сопротивления. Текущее значение переходного сопротивления в пределах от 0 до 1 кОм отображается измерительным прибором, выведенным на переднюю панель и соответствующим аналоговым сигналом 0 - 10 В, предназначенным для систем мониторинга.

## Выводы.

1. Проведённые исследования показали, что микропроцессорный терминал защиты BENDER IRDH375-435 правильно сигнализирует о снижении сопротивления изоляции обмотки возбуждения турбоагрегата при нормальном контакте релейной щетки с валом турбоагрегата. При отсутствии заземляющей щетки и прерывистом нарушении контакта релейной щетки с валом, измеренные значения сопротивления изоляции по сравнению с реальными сильно завышаются. При полном нарушении контакта релейной щетки, контроль изоляции обмотки возбуждения становится невозможным. Устройство БЭ1104 при аналогичных уставках и прерывистом нарушении контакта релейная щетка – вал, отказывает в срабатывании при снижении сопротивления изоляции вплоть до нуля.

Оба устройства не сигнализируют о прерывистом нарушении контакта релейная щетка – вал.

Указанные нарушения в работе не связаны с какими-либо недостатками в принципах и идеологии выполнения защит, но для обеспечения правильности их действия, необходимо обеспечить надёжный контакт релейной щетки с валом и своевременную сигнализацию при его ухудшении.

2. Для контроля надёжности контакта релейная щетка – вал эффективно применение устройства КЗВ-1, выпускаемое ООО «НПП Резонанс».

3. На генераторах, оснащенных заземляющим блоком ЗБ-1Б.У, подключение «непотенциального» вывода устройств контроля изоляции цепей возбуждения (защиты) целесообразно производить не к релейной щетке, а непосредственно к контуру заземления. Для старых устройств защиты БЭ1104 и КЗР-3 «непотенциальный» вывод допускается подключать к зажиму 2 устройства ЗБ-1Б.У.

## Список литературы.

### 1. Повышение надёжности заземления валов турбоагрегатов

Белотелов А.К., Евдокимов С.А., Левиуш А.И. и др.

Электрические станции, 2000, № 6.

### 2. Новые устройства заземления и контроля для повышения надёжности работы турбоагрегата

Алексеев В.Г., Евдокимов С.А., Левиуш А.И., Энергетик № 10, 2009, с.11-13.

### 3. Schutztechnik mit Isolationsüberwachung Dipl.-Ing. Wolfgang Hofheinz

Berlin VDE Verlag / 3. Auflage 2011

### 4. Protective Measures with Insulation Monitoring Dipl.-Ing. Wolfgang Hofheinz

Berlin VDE Verlag / 3. Edition