

УДК 621.311

УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ ТРАНСФОРМАТОРА

Острейко А.В., Бруцкий-Стемпковский Н.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Основным средством регулирования напряжения в центре питания (ЦП) распределительных электрических сетей (на линиях 6-10 кВ) являются трансформаторы с высшим напряжением 220-35 кВ с *регулированием напряжения под нагрузкой* (РПН). В качестве дополнительных средств могут использоваться компенсирующие устройства, установленные в распределительной сети или на шинах 6-20 кВ ЦП, а также некоторые другие средства. Диапазоны регулирования напряжения на трансформаторах с РПН, выпускаемых отечественной промышленностью, достаточно велики и, в зависимости от номинального напряжения и мощности трансформатора, составляют от 18 до 32%.

Такие большие диапазоны регулирования позволяют осуществлять регулирование напряжения в распределительных сетях *практически независимо от режима напряжений в системообразующей сети*, если в ней обеспечены нормативные эксплуатационные уровни напряжения. Вместе с тем это регулирование должно обеспечить требуемое качество напряжения у потребителей. В этих условиях режим напряжения в ЦП может выбираться исключительно по условию функционирования распределительной сети и подключенных к ней потребителей.

Типовой трансформатор на ПС 110 кВ имеет диапазон регулирования $\pm 9 \times 1,78\%$, что в итоге составляет по 16% в обе стороны. Стоит отметить, что переключении контакторов в область «положительных» ответвлений, находящихся на обмотке высокого напряжения, увеличивает общее число витков этой обмотки, увеличивает коэффициент трансформации, и, следовательно, уменьшает напряжение на низшей стороне, при неизменном напряжении на верхней.

Устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) для трансформаторов были разработаны еще в 1905-1920 годах. Принцип их работы был основан на *изменении* числа витков. Необходимость создания таких трансформаторов была обусловлена невозможностью простого отключения нагрузки, как в трансформаторах с переключением без возбуждения (ПБВ), из-за возникновения в месте отключения электрической дуги большой мощности, что может привести к выходу трансформатора из строя.

В трансформаторах и автотрансформаторах с РПН применена схема и система контактов, которая позволяет переключать число витков обмотки *без разрыва электрической цепи*. Регулирование производится на стороне высшего напряжения, так как величина силы тока там меньше, и соответственно, устройство РПН выполнить проще и дешевле. Переход с одного ответвления обмотки на другое без разрыва тока в питающей сети возможен благодаря применению *системы двух параллельных переключающих ответвлений*,

замкнутых на токоограничивающий элемент, средняя точка которого включена в обмотку трансформатора. В качестве токоограничивающего элемента выступают реакторы или резисторы.

Реактор представляет собой трехфазную индуктивную катушку со стальным сердечником, имеющим зазоры. Он устанавливается внутри бака трансформатора на верхних или нижних консолях ярма. Токоограничивающие реакторы применяются на трансформаторах с низкими напряжениями и большими токами. При протекании большого циркулирующего тока в короткозамкнутой части обмотки, контакторы быстро переключить невозможно, необходимо приложить механическое усилие к контакторам, вследствие чего токоограничивающий реактор воспринимает повышенные токи относительно длительное время. Во время же, когда переключение не происходит, по реактору протекает ток нагрузки. Токоограничивающие резисторы используются на трансформаторах с низкими токами в сочетании с быстродействующими контакторами. В режиме без регулирования резисторы шунтируются и токи по ним не проходят.

На рис. 1 показана принципиальная схема встроенного РПН для обмоток высшего напряжения 35 кВ для одной фазы трансформатора. Схема для обмоток 110 кВ отличается тем, что регулировочные катушки находятся не в середине обмотки, а в нейтрали, и звезда образуется соединением средних точек реакторов трех фаз.

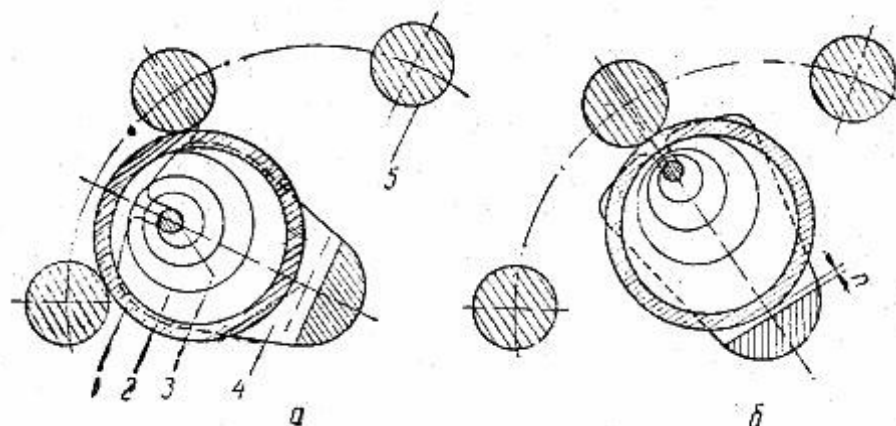


Рисунок 1. Кольцевой контакт: а - рабочее положение, б - промежуточное положение, 1 - контактное кольцо, 2 - спиральная ленточная пружина, 3 - ось пружины, 4 - коленчатый вал, 5 - контактный стержень.

Следует отметить, что встроенное регулирование напряжения под нагрузкой в автотрансформаторах осуществляется в средней части обмоток, а не со стороны нейтрали.

На рис. 2 показана последовательность переключения с одного ответвления на другое (с контакта А6 на контакт А7) без разрыва питающей сети. Вначале размыкается контактор К2, затем обесточенная ветвь переключателем П2 переводится на контакт А7. После этого вновь включается контактор К2, в результате чего переключающая секция, через контакты А6 и А7 теперь оказывается замкнутой на себя. Для ограничения тока в этой секции и служит реактор Р. Затем размыкается контактор К1 верхней параллельной ветви и обесточенный переключатель П1 тоже переводится на контакт А7.

После этого включается контактор К1 и процесс переключения одной ступени заканчивается.

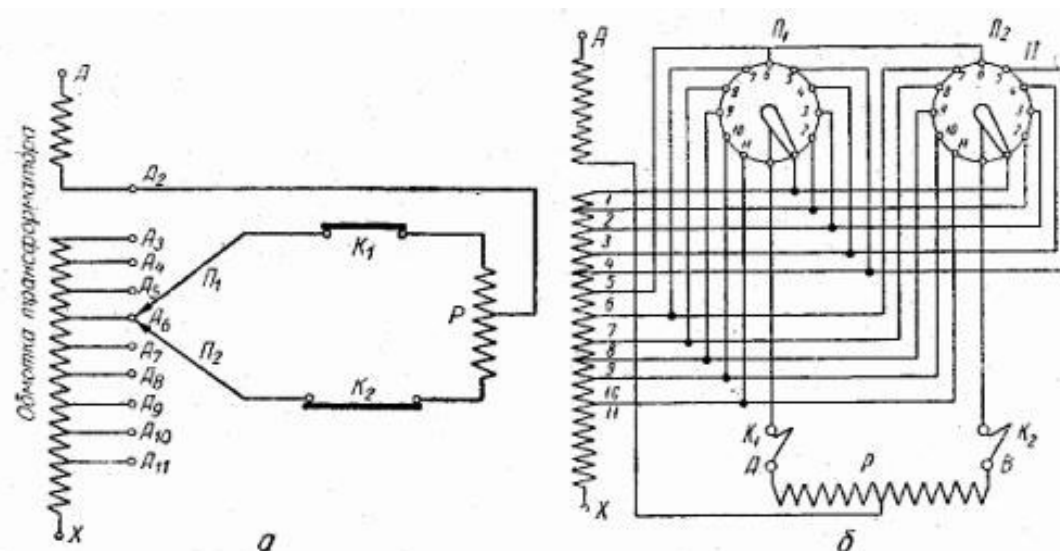


Рисунок 2. Схема и работа встроенного регулирования под нагрузкой (РПН): а - принципиальная схема, б — схема соединений, П1, П2 - переключатели, К1, К2 - контакторы, Р - реакторы, А3 - А11 - ответвления от регулировочных катушек.

Три сдвоенных переключателя П1 - П6 помещаются внутри бака трансформатора, так как они работают без тока. Контактторы К1 - К6 помещаются в отдельном баке с маслом, укрепленном на боковой стенке бака трансформатора. Каждая группа из трех переключателей и контакторов приводится в действие одновременно при помощи одного общего вала. Переключение производится одновременно на трех фазах. Необходимая последовательность работы контактора и переключателей достигается соответственной установкой кулачковой шайбы.

В реальных трансформаторах регулировочная обмотка, включенная в нейтраль основной обмотки, имеет своеобразное «нулевое» ответвление - ответвление, на котором трансформатор работает с номинальным коэффициентом трансформации. Обмотки, находящиеся выше и ниже нулевого ответвления, подключены встречно, что позволяет при единообразном продвижении контакторов вниз и вверх вдоль регулировочной обмотки увеличивать и уменьшать общее число витков.

Включение регулировочной обмотки в нейтраль имеет как положительные эффекты, так и негативные. К положительным можно отнести, например, молниезащиту устройства РПН индуктивным сопротивлением основной обмотки, облегченная изоляция регулировочной обмотки. Однако при размещении регулировочной обмотки в нейтрали автотрансформатора регулирование будет связанным. Это приводит к тому, что при переключении ответвлений одновременно меняется число витков в обмотках ВН и СН, что приводит к резким изменениям индукции в сердечнике и колебаниям напряжения на обмотке НН. В таком случае независимое регулирование можно выполнить с помощью регулировочной обмотки, размещенной на линейном выводе обмотки СН.

Также к устройствам РПН можно отнести вольтодобавочные трансформаторы с регулированием под нагрузкой. Они своей обмоткой ВН последовательно подключаются к обмотке НН трансформатора. Они используются для изменения или стабилизации напряжения в цепи нагрузки. Трансформаторы с продольным регулированием в совокупности работают как силовые трансформаторы с РПН, трансформаторы с поперечным регулированием выполняют более узкие функции (улучшение условий работы неоднородных замкнутых сетей вследствие перераспределения потоков активной мощности). Однако из-за высокой стоимости таких установок и небольшой пропускной способности они получили распространение в использовании для сетей промышленных предприятий.

Устройства РПН снабжают приводным механизмом, который приводится в действие электродвигателями постоянного или переменного тока.

Переключение ступеней РПН производится дистанционно со щита управления, а также может производиться автоматически под действием реле напряжения. Кроме того, предусматривается возможность ручного управления при помощи рычажной рукоятки в случае неисправности моторного привода или отсутствия электропитания. При работе переключающего устройства от моторного привода одно полное переключение на соседнюю ступень продолжается около 3 секунд.

Самой уязвимой частью РПН являются контакторы, на зажимах которых горит дуга. Поэтому их помещают в отдельный бак, чтобы не допускать разложения электрической дугой масла. Иногда устройства РПН выполняют вакуумными, потому что вакуум также является эффективной дугогасительной средой. В принципе все новые конструкции применяют старый принцип изменения числа витков, а все нововведения заключаются в применении более эффективных материалов, позволяющих выполнять переключения быстрее и качественнее с минимальными интервалами времени на ремонт и обслуживание.

В настоящее время электротехнической промышленностью также выпускаются *статические переключатели отпаек силовых трансформаторов*, позволяющие производить быстродействующее регулирование напряжения в сетях промышленных предприятий.

На рис. 3 представлена одна из осваиваемых электротехнической промышленностью систем переключения отпаек силового трансформатора — переключатель «через резистор». На рисунке показана регулировочная зона трансформатора, имеющая восемь отпаяк, соединенных с выходным его зажимом посредством биполярных групп VS1—VS8. Кроме этих групп, имеется биполярная тиристорная переключающая группа, соединенная последовательно с токоограничивающим резистором R.

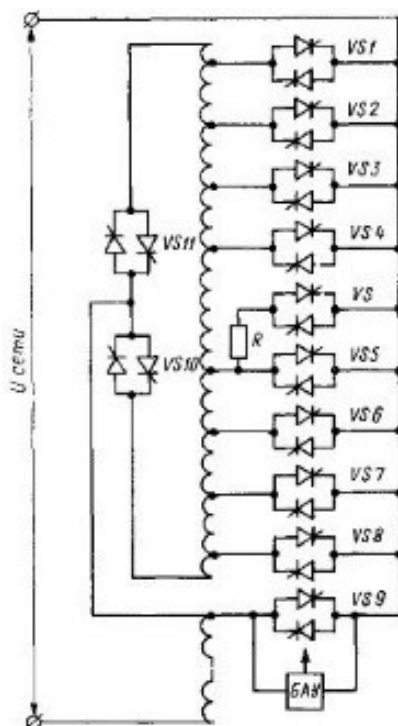


Рисунок 3. Статический переключатель отпайек с токоограничивающим резистором

Принцип работы переключателя состоит в следующем: при переходе с отпайки на отпайку во избежание короткого замыкания секции или разрыва цепи полностью гасится выходящая из работы биполярная группа путем перевода тока на отпайку с резистором, а затем ток переводится на необходимую отпайку. Например, при переходе с отпайки VS3 на VS4 происходит следующий цикл: включается VS.

Ток КЗ секции ограничивается токоограничивающим резистором R, гасятся тиристоры VS3, включается VS4, отключаются тиристоры VS. Аналогично выполняются другие коммутации. Биполярные тиристорные группы VS10 и VS11 производят реверсирование регулировочной зоны. Переключатель имеет усиленный блок тиристоров VS9, осуществляющий нулевую позицию регулятора.

Особенностью работы переключателя является наличие блока автоматического управления (БАУ), выдающего команды управления на VS9 в интервале включения трансформатора на холостой ход. БАУ работает в течение некоторого времени, необходимого для того, чтобы источники, питающие тиристорные группы VS1—VS11 и VS, вышли на режим, поскольку источником питания системы управления переключателя служит сам трансформатор.

Литература

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. – Ростов-на-Дону: Феникс, Красноярск: Издательские проекты, 2006.
2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети. – Мн: Технопринт, 2004.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1987.