

направлении вплоть до установившегося состояния в точке  $t_3$  при  $\omega \leq 0$ ;  $M \leq 0$ . Возвращение рабочей точки в первый квадрант потребует установки исходных значений управляющих воздействий на входах блока  $x_{уп1} = 0$ ,  $x_{уп2} = 0$ . Согласно предлагаемому способу управления это приведет к обнулению напряжений во вторичных обмотках обоих трансформаторов, в связи с чем результирующее напряжение в статорных обмотках двигателя будет равно напряжению сетевого источника. Изменившееся под воздействием этого напряжения направление вращения электромагнитного поля вызовет переход рабочей точки из третьего в четвертый квадрант с координатами  $\omega \leq 0$ ;  $M \geq 0$ , означающий замену двигательного режима на режим торможения противовключением с последующим разгоном двигателя в прямом направлении.

Представленные на рис. 3 результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность предлагаемого электропривода. В отличие от известных решений его силовая схема выполнена с применением минимального количества полупроводниковых ключей, что тем не менее не повлекло к заметному ухудшению качества напряжений и токов как в цепях питания статорных обмоток двигателя, так и на сетевом входе электропривода.

### Источники

1. Сидоров С.Н., Старостина Я.К. Пуско-регулирующие устройства для асинхронного электропривода на диодно-транзисторных модулях // Известия вузов. Электромеханика. 2015. Вып. 4(540). С. 42–50.

2. Пуско-регулирующее устройство для асинхронного двигателя: пат. 2596218 Рос. Федерация № 2015117744/07; заявл. 12.05.15; опубл. 10.09.16, Бюл. № 25.

УДК 621.316.9

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРА С УЧЕТОМ БЛИЖНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Фарит Рамилевич Сиразутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

SirazutdinovFR@yandex.ru

При междуфазных коротких замыканиях на стороне низкого напряжения (НН) автотрансформатора установленная на сторонах высокого и среднего напряжения резервная защита в ряде случаев не обладает достаточной чувствительностью.

Для повышения надежности защиты автотрансформатора появилась необходимость организации защит ближнего резервирования (ЗБР) на стороне НН автотрансформаторов. Реализовать защиту возможно с помощью установки дополнительной защиты (ДЗ) в нейтральные выводы автотрансформатора, совершенствование логики работы защит и применений технологий цифровых подстанций.

**Ключевые слова:** повышение надежности релейной защиты; резервные защиты автотрансформатора; ближнее резервирование.

## IMPROVING THE RELIABILITY OF AUTOMATIC TRANSFORMER PROTECTION TAKING INTO CLOSE RESERVATION

Farit Ramilevich Sirazutdinov

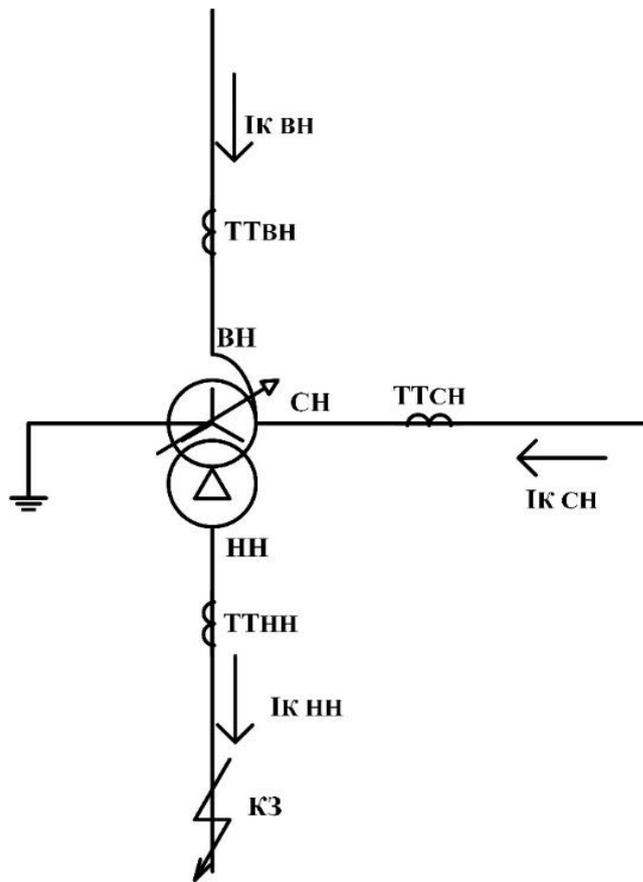
With interphase short circuits on the low voltage side (LV) autotransformer mounted on the sides of high and medium voltage backup protection in some cases does not have sufficient sensitivity. To increase the reliability of the protection of the autotransformer, a need arose organization of protection of near backup (ZBR) on the side of NN autotransformer. It is possible to implement protection by installing additional protection (DZ) to the neutral output of the autotransformer, improving the logic of the protection and digital substation technology applications.

**Key words:** increasing the reliability of relay protection; backup protection autotransformer; short-range reservation.

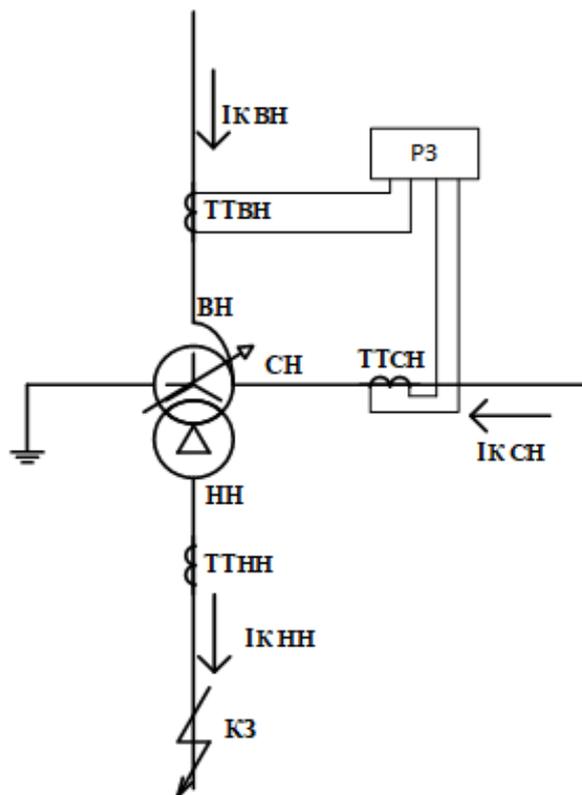
Отказ релейной защиты в отключении оборудования при коротких замыканиях является наиболее опасным нарушением, приводящим к обесточиванию потребителей, повреждению силового оборудования и устройств вторичной коммутации. Избежать или значительно уменьшить последствия подобных событий позволяют системы дальнего и ближнего резервирования релейной защиты.

Накопленный опыт эксплуатации, расчетов уставок и обслуживания микропроцессорных защит автотрансформаторов (МТЗ) дает понять, что система дальнего резервирования междуфазных (КЗ) на стороне НН автотрансформатора 220–500 кВ, действующей релейной защиты (РЗ) в голове питающих линий неэффективна, а также позволяет выделить проблему, которая возникает при выборе параметров настроек резервных защит автотрансформаторов и требует решения.

Эта проблема заключается в сложности обеспечения чувствительности защит ближнего резервирования автотрансформаторов при междуфазных КЗ на стороне низкого напряжения автотрансформатора.



*a*



*б*

Рис. 1. Автотрансформатор: *a* – КЗ на НН АТ; *б* – включение защит на сумму токов

Согласно рис. 1, а ликвидация междуфазных КЗ на стороне НН или на вводах НН автотрансформатора происходит только в каскаде (а в некоторых случаях вторая ступень ДЗ не чувствительна к междуфазным КЗ), что при неисправности или выводе из работы основной защиты может привести к серьезным повреждениям автотрансформатора.

Как известно, основным условием выбора уставок МТЗ и второй ступени ДЗ автотрансформатора является обеспечение чувствительности к междуфазным КЗ в автотрансформаторах и на шинах смежного напряжения.

Однако, при выборе уставок по условию чувствительности к междуфазным КЗ на стороне НН автотрансформатора уставки по току или сопротивлению срабатывания невозможно отстроить от нагрузочного режима в сети смежного напряжения.

Решить данную проблему можно подключив защиты на сумму токов как показано на рис.1 б.

Однако, реализация такого рода защиты в большинстве случаев невозможна. Это объясняется отсутствием свободных кернов, встроенных во ввода автотрансформаторов на действующих объектах, которые можно было бы подключить на сумму токов, а также тем, что большинство резервных защит автотрансформатора не имеют возможности подключения дополнительных токовых цепей.

В таком случае решением организации защит ближнего резервирования на стороне низкого напряжения автотрансформаторов может стать установка дополнительного комплекта защит. Это ненаправленная одноступенчатая или двухступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ на стороне НН автотрансформаторов АТ-220 кВ (500 кВ) с двумя выдержками времени: на отключение ввода НН и на отключение всего автотрансформатора. Данная защита включена на трансформаторы тока общих (нейтральных) выводов обмоток автотрансформатора (косвенно на сумму токов сторон высокого напряжения (ВН) и среднего напряжения (СН), рис. 2. Защита является резервной к МТЗ на стороне НН автотрансформатора и к дифференциальной защите автотрансформатора при КЗ на стороне НН (элемент ближнего резервирования).

Основными условиями выбора уставки по току должна быть надёжная отстройка защиты ближнего резервирования от тока нагрузки, а также обеспечение необходимой чувствительности в зоне резервирования к междуфазным КЗ на стороне НН автотрансформатора в минимальном режиме.

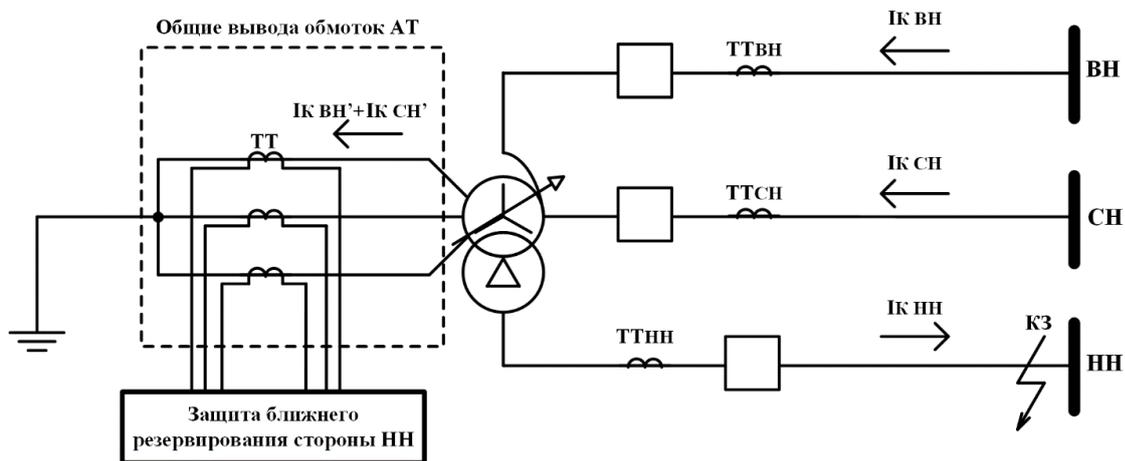


Рис. 2. Защита ближнего резервирования

Также методом для повышения эффективности защиты в условиях отказа или вывода из работы дифференциальной защиты автотрансформатора одним из решений может стать совершенствование работы микропроцессорной релейной защиты производства ООО НПП «ЭКРА», установленной на большинстве объектах операционной зоны РДУ Татарстана, путем разработки новых алгоритмов работы релейной защиты и изменения ее логики (рис. 3). В качестве резервной защиты для автотрансформатора с высшим напряжением 220 кВ служит шкаф ШЭ2607 072 (071). Данный шкаф устанавливается на сторонах высшего и среднего напряжения автотрансформатора.

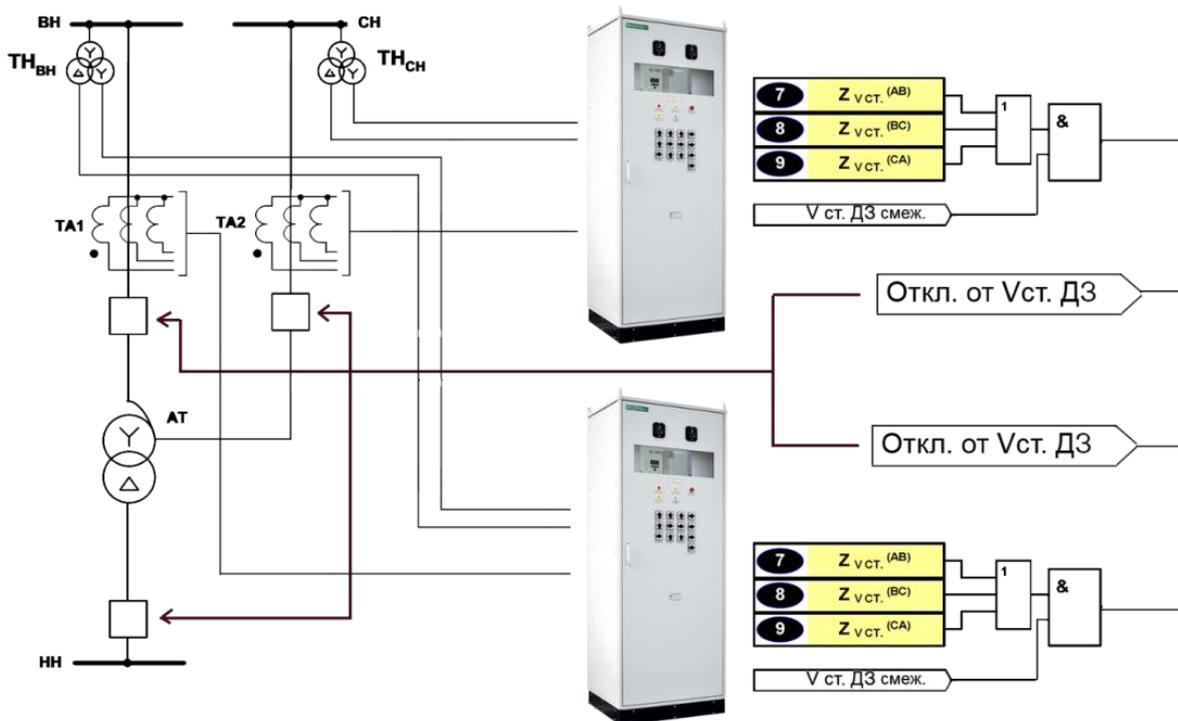


Рис. 3. Логика работы 5-й ступени ДЗ

Для обеспечения быстрого отключения КЗ на стороне НН предлагается использовать 5 ступеней ДЗ (либо выделить дополнительные 6 ступеней) с большими уставками по сопротивлению и выдержками времени, с включением на фазные токи и фазные напряжения с направлением их в АТ и действием на отключение АТ без выдержки времени или с  $t = 0,2$  с в случае КЗ на стороне НН или в автотрансформаторе. При срабатывании реле сопротивления (РС) данной ступени и одновременном срабатывании РС 5(6-й) ступени ДЗ резервной защиты автотрансформатора смежной стороны или отключенного состояния выключателя смежной стороны (таким образом определяется факт КЗ в автотрансформаторе или в сети НН автотрансформатора) защита действует на отключение. При пуске МТЗ НН, сигнал которой приходит на дискретные входы шкафов резервной защиты автотрансформатора стороны ВН и СН, защита ближнего резервирования действует с 1-й выдержкой времени на отключение выключателя НН автотрансформатора и далее со 2-й выдержкой времени на отключение всего автотрансформатора с запретом автоматического повторного выключения (АПВ), то есть резервирует действие МТЗ НН. При этом время срабатывания ЗБР согласовываются с временем срабатывания МТЗ НН. Если пуска МТЗ НН не было или защита отсутствует (автотрансформатор не ошинован по стороне НН), то защита ближнего резервирования действует на отключение всего автотрансформатора с запретом АПВ с минимальной выдержкой времени  $t = 0,2$  с – ЗБР с ускорением.

Также одним из решений данных проблем может стать применение элементов цифровых подстанций (рис. 4).

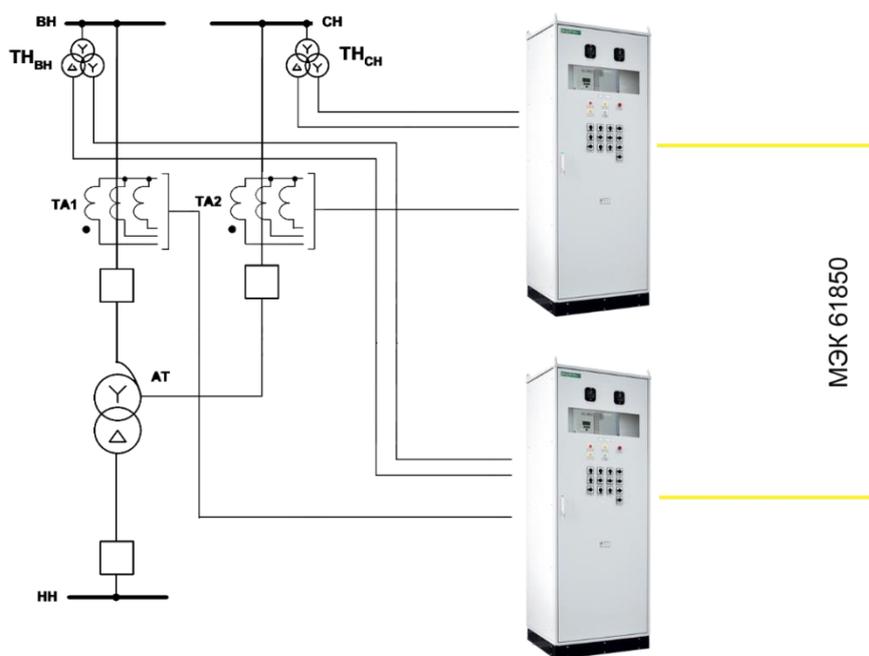


Рис. 4. Организация ЗБР по протоколу МЭК 61850-9.2 и МЭК 61850-8.1

В данном случае информация в виде значений токов и напряжений, дискретных сигналов будет передаваться от одного терминала по протоколу МЭК 61850-9.2 и МЭК 61850-8.1. В таком случае есть возможность реализовать два предложенных выше варианта совершенствования защит ближнего резервирования АТ.

Установка дополнительного комплекта ЗБР и изменение логики МТЗ позволяют обеспечить надежную защиту автотрансформатора резервными защитами, а также существенно уменьшить время ликвидации короткого замыкания на стороне низкого напряжения автотрансформатора в условиях отказа на срабатывание основных защит автотрансформатора и повысить чувствительность защит ближнего резервирования.

### **Источники**

1. Сиразутдинов Ф.Р. Повышение надежности защиты автотрансформатора с учетом ближнего и дальнего резервирования // Тинчуринские чтения: матер. докл. XII Междунар. молодеж. науч. конф: в 3 т. Казань, 2017. Т. 1. С. 335–336.

2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: схемы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.

УДК 621.316.728

## **СОЗДАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН**

Ирина Алексеевна Соколова

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

[irinasokolova242@gmail.com](mailto:irinasokolova242@gmail.com)

В работе представлена модель параметрического управления асинхронным двигателем за счет разделения обмоток статора на две независимые группы обмоток. Приведен расчет механических характеристик в предельных режимах работы. Сформулированы выводы относительно целесообразности использования подобных систем.

**Ключевые слова:** автоматизация, асинхронный двигатель, механические характеристики, статорные обмотки.