

УДК 621.311

ЗАЩИТА ОТ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЙ

ГАШИМОВ А.М.

Институт Физики НАН Азербайджана

В энергосистемах постоянно отмечаются феррорезонансные перенапряжения при сбросах нагрузки. Такие перенапряжения хорошо изучены и для их предотвращения предложено использовать реакторы по концам линии электропередачи, включаемые заблаговременно до коммутации линии электропередачи и отключаемые после коммутации. Практика эксплуатации показала, что такой алгоритм не всегда обеспечивает надежность защиты от феррорезонанса. Подключение реакторов не всегда осуществляется при возникновении феррорезонанса. Рассмотрение этого вопроса с помощью разработанного метода анализа волновых процессов и алгоритма в Институте Физики НАН Азербайджана [1], позволили адаптировать новые защитные мероприятия. На рис.1 изображена схема нового устройства [2].

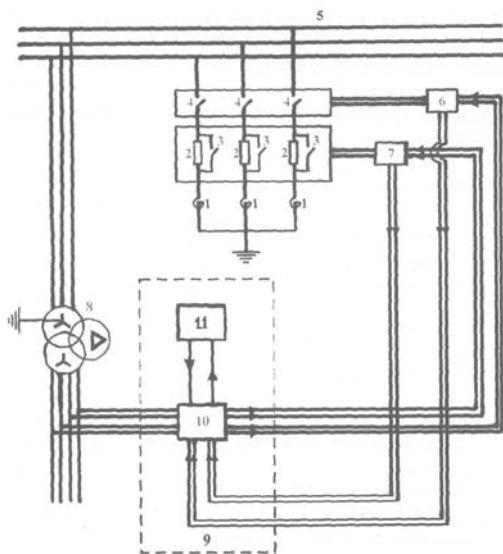


Рис.1 1- трехфазный реактор, 2- резисторы, 3 – коммутационные аппаратуры, 4- трехфазный выключатель, 5 – линия электропередачи, 6,7 – блоки управления, 8 – трансформатор напряжения, 9 – датчик феррорезонанса и уровня напряжения, 10 – аналоговый цифровой преобразователь, 11 – вычислительное устройство.

Устройство работает следующим образом. Состояние на линии электропередачи, распределительных устройствах (РУ) и положения контактов выключателя и коммутационного аппарата резисторов определяется характером напряжения и информации на входе датчика феррорезонанса и уровня напряжения, содержащего блок аналогового цифрового преобразователя (АЦП) и вычислительного устройства (ВУ). При рабочем напряжении линии и заданном положении контактов АЦП не вырабатывает сигнал, приводящий в действие блоки управления контактов. При феррорезонансе программа ВУ обрабатывает массивы информации о фазных напряжениях и состояниях контактов, сравнивает уровень фазного напряжения с заданной величиной, а также с уровнем любой гармоники напряжения и выдает решение, зависящее от положения контактов: 1 – дешунтировать резисторы и вновь их шунтировать после подавления феррорезонанса; при не подавлении феррорезонанса через заданное время ввести в действие защиты противоположных концов линии с помощью высокочастотных защит; 2 – при отключенном реакторе – включить его выключатель. Это приводит к подавлению феррорезонанса.

Выполнены комплексные исследования предотвращения феррорезонансных перенапряжений с учетом предложенного устройства с помощью разработанной модели и алгоритма [3]. На рис.2. представлены результаты анализа перенапряжений без и с учетом работы защитного устройства [4].

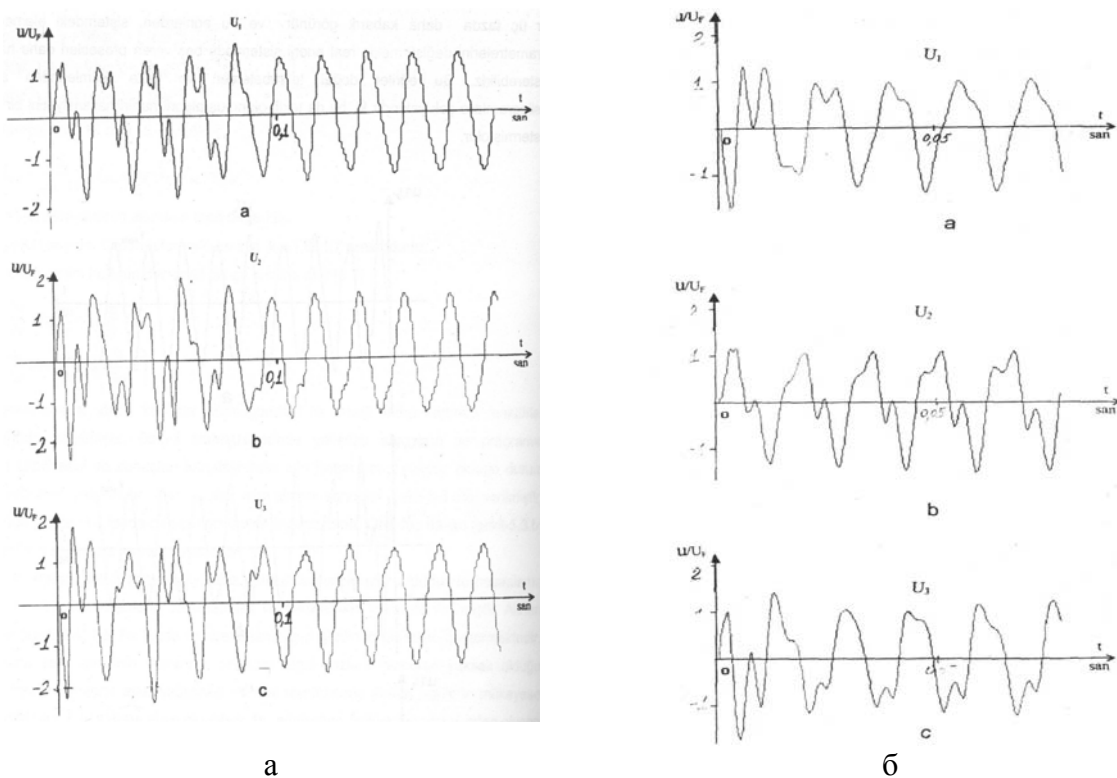


Рис.2. Расчетные осциллограммы без учета и с учетом работы защитного устройства

Анализ опыта эксплуатации электроустановок классов напряжений 110 кВ и выше показывает, что без применения специальных организационных и технических мероприятий, специальных устройств предотвращения или подавления феррорезонансных процессов с электромагнитным трансформатором напряжения (ТН), не представляется возможным в настоящее время и в обозримом будущем устранить основную причину повреждения ТН, т.к.:

- выпускаемые в настоящее время воздушные, маломасляные и элегазовые выключатели и их перспективные образцы укомплектовываются емкостными делителями напряжения с величинами емкостей, приводящими к феррорезонансным явлениям в цепях с электромагнитными ТН;
- создание не резонирующих ТН является проблематичным и дорогим мероприятием;
- применение элегазовых распределительных устройств не решает проблемы т.к. феррорезонанс возникает и в таких устройствах;
- применение емкостных ТН в распределительных устройствах ограничено по условию организации надежного и достоверного учета электроэнергии;
- схемы распределительных устройств являются относительно консервативными;
- импортные ТН электромагнитного и емкостного типа имеют, в основном, те же характеристики, что и их аналоги из СНГ;
- создание ТН на класс напряжения 750 кВ электромагнитного типа может привести к феррорезонансу и в этих сетях.

Наличие в распределительных устройствах электромагнитного ТН и измерительных трансформаторов тока требует обеспечение совместимости их установки с такими аппаратами, как нелинейный ограничитель перенапряжений, выключатели с емкостным делителем напряжения и разъединители.

Было разработано и реализовано новое устройство выявления и подавления феррорезонанса и кумулятивного процесса на базе современных средств микроэлектроники и силовой электроники, позволяющее ускорить и повысить надежность выявления и подавления феррорезонанса [5].

С учетом опыта эксплуатации разработанного устройства и обобщений нами разработано новое техническое решение по подавлению феррорезонанса подмагничиванием магнитной системы ТН импульсами высокой частоты с помощью специального устройства, питаемого от самого же ТН, и ввода в цепь ТН со стороны высшего напряжения резистивного сопротивления при его отключении разъединителем в порядке общего решения защиты распределительного устройства от высокочастотных перенапряжений при коммутации разъединителями [6].

Процесс повреждения электромагнитного ТН начинается с момента отключения от питающей сети шин распределительного устройства или узлового присоединения с ТН выключателями, оснащенными делителями напряжения. При возникновении феррорезонанса ток в обмотке ВН трансформатора напряжения возрастает до нескольких ампер, фазное напряжение повышается до 1,3 - 1,6 Уф. При протекании повышенного тока в обмотке ВН в течении 3 - 20 мин возникают витковые замыкания вследствие перегрева. Витковые замыкания изменяют индуктивность ТН, феррорезонансный контур расстраивается и снижается напряжение на ТН. Внешние признаки повреждения ТН при этом не наблюдаются. После подачи рабочего напряжения на ТН через несколько минут происходит его взрыв с возгоранием.

Исследованиями установлено, что подключение к вторичной обмотке ТН источника высокочастотных импульсов от датчика феррорезонанса для насыщения магнитной системы ТН может быть основным мероприятием по защите от феррорезонанса. Целесообразность такой защиты обуславливается тем, что это мероприятие будет использовано не только для защиты от феррорезонанса, но и для защиты от высокочастотных перенапряжений при включении и отключении трансформатора напряжения разъединителем. В качестве резервного устройства в настоящее время наиболее перспективным видится устройство подавления феррорезонанса импульсами высокой частоты, для которого не требуется источник постороннего питания. Источником питания для этого устройства может служить сам ТН.

Для обеспечения надежности работы распределительного устройства необходимо защитить трансформаторы тока и напряжения, шины распределительных устройств и присоединенные к ним элементы не только от феррорезонансных перенапряжений, но и от высокочастотных перенапряжений при включении шин под напряжение одним из выключателей устройства.

При включении под напряжение шин, вследствие их малой емкости, возникает кумулятивное нарастание перенапряжения при сходящихся контактах выключателя. Для исключения этих перенапряжений необходимо увеличить ток включения.

Для решения указанной задачи РУ высокого напряжения предложено новое устройство [7]. Применения этого устройства РУ с предотвращением возникновения и подавления феррорезонанса позволяет отказаться от дополнительных мероприятий по его защите от высокочастотных перенапряжений при коммутации - включении выключателя. На рис. 3. представлено описываемое устройство.

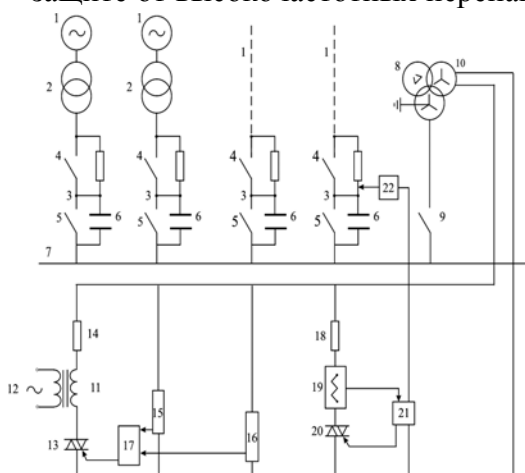


Рис. 3. Распределительное устройство 1-линия электропередачи; 2-силовые блоки; 3-выключатели; 4-шунтирующие резисторы; 5-отделитель; 6-делитель напряжения; 7-сборные шины; 8-трансформатор напряжения; 9-разъединитель; 10-выводы низшего напряжения; 11-трансформатор связи; 12-источник энергии собственных нужд; 13-электронный коммутатор (симистор); 14-балластная нагрузка; 15-датчик феррорезонанса; 16-датчик уровня напряжения; 17-блок управления симистором 13; 18-дополнительная балластная нагрузка; 19-блок трансформатора тока; 20-симистор; 21- блок управления симистором 20; 22- блок управления выключателем

Линии 1 электропередачи и силовые блоки 2, генератор-трансформатор (присоединение) через выключатели 3 с основными контактами, шунтированными резисторами 4, и отделителями 5, шунтированными емкостными делителями 6 напряжения, подключены к сборным шинам 7 через разъединитель 9. К выводам 10 низшего напряжения трансформатора 8 напряжения подключены трансформатор 11 связи с источником 12 энергии собственных нужд через электронный коммутатор (симистор), 13 балластную нагрузку 14, датчики феррорезонанса 15 и уровня напряжения 16. Выходы датчиков 15 и 16 подключены к блоку 17 управления симистором 13. Дополнительная балластная нагрузка 18 с блоком трансформатора тока 19 и симистором 20 включена параллельно ветви, содержащей балластную нагрузку 14, электронный коммутатор (симистор) 13 и трансформатор связи 11. Выход трансформатора тока 19 соединен с блоком 21 управления симистором 20. В цепь управления включением выключателя 3, осуществляющего автоматическое повторное включение шин, введен блок 21 управления симистором 20 путем последовательного соединения его с блоком 22 управления выключателем 3.

При подаче сигнала на включение выключателя 3, осуществляющего автоматическое повторное включение шин, сигнал проходит через блок 21 и включает балластную нагрузку 18 с помощью симистора 20 и подготавливает к включению выключатель 3. Тем самым достигается опережающее включение балластной нагрузки 22 и обмотка низшего напряжения трансформатора напряжения закорачивается через низкоомную нагрузку 18.

В результате через трансформатор напряжения 8 после включения выключателя 3 протекает ограниченный ток короткого замыкания в несколько ампер, а не емкостный ток шин. Это приводит к предотвращению кумулятивного нарастания перенапряжений при коммутации – включении ненагруженных шин выключателем. Ток короткого замыкания в трансформаторе тока 19 приводит к отключению дополнительной балластной нагрузки.

После этого система переходит в исходное состояние.

Результаты сравнительного анализа работы устройства опознания и подавления перенапряжений проводились в работах [8,9].

В энергосистемах для защиты от перенапряжений начато массовое внедрение ОПН и его влияния при организации мероприятий по предотвращению неполнофазного режима линии электропередачи становится существенным, естественно, возникает задача защиты линии и ОПН от длительного воздействия на линии феррорезонансными процессами при неполнофазном режиме линии [8].

Для решения указанной задачи в линии электропередачи, содержащей блок защиты, выполняющий функцию отключения линии электропередачи при коротком замыкании на линии головным выключателем в начале линии, включенный на токи нулевой последовательности, в цепь отключения линии головным выключателем в начале линии вводятся датчик феррорезонанса из, который содержит АЦП и ВУ, например, персональный компьютер, и реле времени. Аналоговый вход АЦП подключается в цепь фильтра токов нулевой последовательности, аналоговый выход подключается к реле времени, а цифровые выходы АЦП соединены с ВУ, которое обрабатывает информацию о режиме линии по току нулевой последовательности и вырабатывает или не вырабатывает команду о запуске реле времени. При запуске реле времени, которое включено между датчиком феррорезонанса и блоком отключения линии электропередачи выключателем, оно в соответствии с установленным временем его срабатывания, запускает блок отключения линии и, тем самым, линия отключается [9]. На рис.4 схематически изображено предложенное устройство.

Высоковольтная линия электропередачи 1, присоединенная к сборным шинам 2 подстанции через головные выключатели 3, содержит защиту, выполняющую функцию отключения линии и состоящую из трансформаторов тока 4, соединенных по схеме

фильтра токов нулевой последовательности, блока отключения 5 линии электропередачи 1 выключателями 3 и блока токовой защиты 6, включенного на токи нулевой последовательности, а также датчик феррорезонанса 7, состоящий из АЦП 8, ВУ 9 и реле времени 10. Аналоговый вход АЦП подключен к цепи фильтра токов нулевой последовательности – параллельно блоку токовой защиты 6, цифровой вывод АЦП соединен с ВУ 9, аналоговый выход АЦП соединен с реле времени 10, выход которого соединен с одним из входов блока отключения 5 линии электропередачи. Другой вход блока отключения 5 линии электропередачи 1 соединен с выходом блока токовой защиты 6, выполняющего функцию отключения линии выключателями при коротком замыкании.

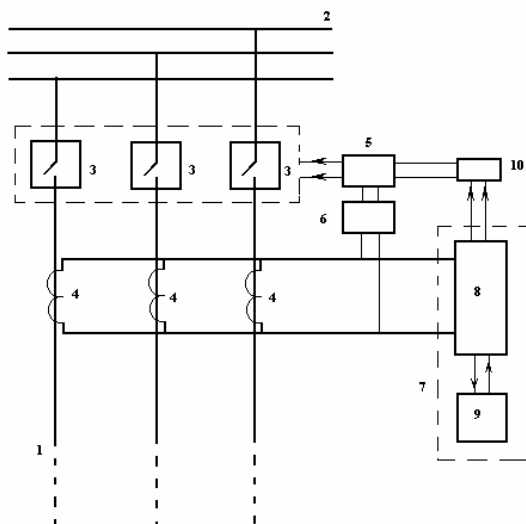


Рис.4. Устройство для отключения ЛЭП: 1 – высоковольтная ЛЭП; 2 – сборные шины; 3 – головные выключатели; 4-трансформатор тока; 5-блок отключения; 6-блок токовой защиты; 7-датчик феррорезонанса; 8- АЦП; 9-ВУ; 10- реле времени.

Высоковольтная линия электропередачи 1, присоединенная к сборным шинам 2 подстанции через головные выключатели 3, содержит защиту, выполняющую функцию отключения линии и состоящую из трансформаторов тока 4, соединенных по схеме фильтра токов нулевой последовательности, блока отключения 5 линии электропередачи 1 выключателями 3 и

блока токовой защиты 6, включенного на токи нулевой последовательности, а также датчик феррорезонанса 7, состоящий из АЦП 8, ВУ 9 и реле времени 10. Аналоговый вход АЦП подключен к цепи фильтра токов нулевой последовательности – параллельно блоку токовой защиты 6, цифровой вывод АЦП соединен с ВУ 9, аналоговый выход АЦП соединен с реле времени 10, выход которого соединен с одним из входов блока отключения 5 линии электропередачи. Другой вход блока отключения 5 линии электропередачи 1 соединен с выходом блока токовой защиты 6, выполняющего функцию отключения линии выключателями при коротком замыкании.

Устройство работает следующим образом.

При возникновении несимметричного режима в результате коротких замыканий, обрыва фаз или неполнофазного включения линии головными выключателями в цепи фильтра токов нулевой последовательности возникает ток. При величине тока больше заданной, срабатывает блок токовой защиты 6. Одновременно, датчик феррорезонанса 7, получив информацию о наличии тока в цепи фильтра токов нулевой последовательности, независимо от его величины, срабатывает и АЦП 8 посылает поток информации в ВУ 9. ВУ 9 обрабатывает полученную информацию, вычисляет уровни максимального напряжения и тока каждой фазы и процентные содержания в них составляющих любой гармоники. ВУ 9 реализует один из двух запрограммированных алгоритмов: запускать или не запускать реле времени 10. Первый алгоритм соответствует феррорезонансному режиму в цепи: источник – линия-трансформатор, а второй алгоритм соответствует отсутствию перенапряжений, превосходящих допустимый уровень. При выполнении первого алгоритма реле времени запускает блок отключения 5 линии электропередачи 1 выключателями 3 с задержкой времени 5-10 сек, линия электропередачи отключается от сборной системы шин 2. Задержка времени отключения линии по информации датчика феррорезонанса соответствует установленному времени срабатывания реле времени 10, и позволяет исключить срабатывание блока отключения 5 линии электропередачи при не симметриях, вызванных короткими замыканиями. Несиммет-

ричные короткие замыкания в линии электропередачи за указанное время ликвидируются с помощью блока токовой защиты 6 и блока отключения 5 линии электропередачи.

Результаты сравнительного анализа работы устройства проводиться в работах [10,12].

При выполнении второго алгоритма реле времени не запускается. Применение предложенного устройства исключает необходимость применения устройства для защиты понижающего трансформатора с изолированной нейтралью от перенапряжений на подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения, снижает стоимость подстанции, уменьшает площадь подстанции, а также сокращает объем строительномонтажных работ.

-
1. *Гашимов А.М., Дмитриев Е.В., Пивчик И.Р.* Численный анализ волновых процессов в электрических сетях. Новосибирск, Наука, 2003, 148 с.
 2. *Dmitriyev Y.V., Həşimov A.M., Ahmet Nayir.* Elektrik verilış xətti. Azərbaycan Respublikasının Patenti – i 2001 01 50
 3. *Həşimov A.M., Dmitriyev Y.V., Ahmet Nayir.* Sistemlerarasielektrik iletiminde kaza açılmalarından oluşan ferrozonans aşırı geriliminin sınırlandırılması. Elektrik – Elektronik – Bilgisayar mühendisliđi. Sempozyumu. Bursa, 2000, 197-198 s.
 4. *Dmitriyev Y.V., Arif Həşimov, Ahmet Nayir.* Elektrik iletim hatlarında kaza açılmalarından oluşan gerilimlerin modelləri. Bakı, Elm, 2002, 197 s.
 5. А.С. 1786972. Распределительное устройство / К.М. Антипов, А.М.Гашимов, Ч.М. Джуварлы и др.
 6. *Дмитриев Е.В., Гашимов А.М., Ахмедов Х.М.* Защита оборудования электрических подстанций от высокочастотных перенапряжений слабонелинейными резисторами // Энергетика (Изв.высш.учеб.заведений и энерг.объединений СНГ).- 1999 - №6.-с.32-39
 7. *Гасанова С.И., Гашимов А.М., Дмитриев Е.В.* Распределительное устройство / Бюллетень изобретения Азерб.Республики, №3, 2003, 10, (a2010207), с.72
 8. *Гасанова С.И., Гашимов А.М., Дмитриев Е.В., Пивчик И.Р.* Подавление феррозонанса в распределительных устройствах с трансформаторами напряжения и уменьшение коммутативных перенапряжений // Энергетика (Изв.высш.учебн. заведений и энерг. объединений СНГ), Минск, №4, 2003, с.9-18
 9. *Дмитриев Е.В., Гашимов А.М., Пивчик И.Р., Гасанова С.И.* Ограничение феррозонансных и кумулятивных перенапряжений слабонелинейными резисторами в распределительных устройствах с трансформатором напряжения. / Энергетика, (Изв.высш.учебн. заведений и энерг. объединений СНГ), Минск, 2005, № 5, с. 29-39
 10. *Дмитриев Е.В., Гашимов А.М., Пивчик И.Р., Бабаева А.Р.* Алгоритм реализации компьютерной модели феррозонансных перенапряжений и их подавления при несимметричных режимах линии электропередачи // Энергетика (Изв.высш.учеб. заведений и энерг. объединений СНГ) – 2004 - ;№4, с.16-27
 11. *Дмитриев Е.В., Гашимов А.М., Пивчик И.Р., Бабаева А.Р.* Устройство для отключения линии электропередачи / Бюллетень изобр.Азерб. Республики - №3, 01.10.2003 (a2002 01 03)
 12. *Ahmet Nayir, A.R. Babayeva, E.V.Dmitriyev, A.M. Hashimov, I.R. Pivchik.* Mathematical modeling of ferrozonans for investigation of ferrozonans currents / Istanbul University Journal of electrical and electronics engineering, 2005, v.5, №2, p.1373-1377

**YÜKSƏK VƏ ÇOX YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ ELEKTRİK
ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ FERROREZONANS VƏ YÜKSƏKTEZLİKLİ
İFRAT GƏRGİNLİKLƏRDƏN MÜHAFİZƏ**

HƏŞİMOV A.M.

Məqalədə elektrik veriliş xətlərinin və avadanlıqlarının ifrat gərginliklərdən mühafizəsinin yeni, müasir tələblərə cavab verən və patent almış qurğularının analizi veriləndir.

**PROTECTION FROM FERRORESONANCE AND HIGH FREQUENCY
OVERVOLTAGES IN THE HIGH VOLTAGE AND ULTRAHIGH VOLTAGE
ELECTRIC NETWORKS**

HASHIMOV A.M.

In article the analysis of new devices for protection of high-voltage transmission lines and equipment from overvoltages which fit with modern requirements and patented is carried out.