



УДК 621.316

Гвоздь В. М.¹

УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕСКОНТАКТНОЙ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В статье рассмотрены вопросы управления повышения пожарной и техногенной безопасности промышленных электроустановок. Проведен всесторонний анализ существующих систем управления защиты электрических сетей и электроустановок. Повышение пожарной и техногенной безопасности эксплуатации электроустановок достигается путем разработки комплексных бесконтактных быстродействующих систем защиты, которые контролируют все возможные аварийные режимы, возникающие в процессе их работы.

Ключевые слова: управление, техногенная безопасность, электроустановка, технологический процесс, аппараты защиты, перегрузка по току, короткое замыкание.

ВСТУПЛЕНИЕ

Для обеспечения пожарной и техногенной безопасности промышленных объектов в настоящее время высокими темпами развиваются системы управления, контроля и защиты силовых энергетических установок с использованием силовых полупроводниковых ключей и микроконтроллеров.

Каждая силовая энергетическая установка может являться причиной технологической аварии, пожара, взрыва, а на химическом предприятии аварии в электроустановках могут привести к экологическим катастрофам.

Химические предприятия Украины, связанные с переработкой природного газа и синтезом аммиака, являются потенциально опасными объектами. Не все элементы технологического процесса синтеза аммиака обладают должной устойчивостью и надежностью в нормальных условиях работы, поэтому существует опасность возникновения чрезвычайных ситуаций и катастроф [1]. Даже небольшие аварии способны привести к

¹ Рецензент – Гаман П. І., д. н. д. у., доцент



людским потерям и тяжелым экологическим последствиям. В общем случае последствия аварии могут проявляться не только в рабочей зоне, но и за ее пределами. При возникновении аварии на технологическом оборудовании синтеза аммиака облако зараженного воздуха может распространяться на десятки километров, вызывая поражения населения. Аммиак является одним из наиболее распространенных и, следовательно, опасных для городского населения промышленных сильнодействующих ядовитых веществ. Острое отравление газообразным аммиаком характеризуется клинической картиной различной степени тяжести, варьируемой от простого раздражения слизистых оболочек до смерти.

Требования, предъявляемые к аппаратам защиты электрических сетей и электроустановок, изложены в [2, 3]. Для защиты электроустановок широко применяются предохранители с плавкими вставками, автоматические выключатели, магнитные пускатели с тепловым реле и реле напряжения. Методики выбора и расчета параметров аппаратов защиты рассмотрены в [2]. Они распространяются на трехфазные электроустановки напряжением до 1 кВ промышленной частоты, присоединенные к энергосистеме или к автономным источникам энергии, и определяют общую методику расчета токов симметричных и несимметричных коротких замыканий в начальный и произвольный моменты времени с учетом параметров синхронных и асинхронных машин, трансформаторов, реакторов, кабельных и воздушных линий, шинопроводов и узлов комплексной нагрузки.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повышение пожарной и техногенной безопасности эксплуатации электроустановок может быть достигнуто путем разработки комплексных бесконтактных быстродействующих систем защиты, которые могут контролировать все возможные аварийные режимы, возникающие в процессе работы. Для этого необходимо контролировать следующие возможные аварийные режимы:

- пропадание (обрыв) фазы в трехфазной электрической сети;
- перекос фаз в трехфазной электрической сети;
- перенапряжения в электрических сетях;
- снижение напряжения в силовых фазах ниже допустимого значения;
- токовая перегрузка;
- короткое замыкание.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время защита технологического оборудования осуществляется путем установки предохранителей, магнитных пускателей с тепловыми реле, а также автоматических выключателей. Общеизвестны недостатки этих устройств. Одним из основных недостатков этих аппаратов является наличие подвижных механических контактов. Контакты со временем окисляются, подвергаются механическому износу, в результате чего возрастает переходное сопротивление контактов. При повышении переходного сопротивления контактов увеличивается их температура, что может привести к пожару. Кроме того, возникает эффект сваривания контактов, который приводит к выходу из строя пускорегулирующей аппаратуры и полной потере защитных свойств. Очень опасны межвитковые



замыкания в катушке контактора магнитного пускателя. Во-первых, снижается величина магнитного потока в катушке, в результате чего уменьшается усилие сжатия силовых контактов, во-вторых, возрастает рабочая температура обмотки катушки, что приводит к росту активного сопротивления проводника, которым намотана катушка. Этот эффект снижает величину электрического тока в катушке, что вызывает увеличение воздушного зазора магнитопровода и дополнительный перегрев. В конечном итоге все это приводит к загоранию катушки магнитного пускателя.

Очень опасным является процесс размыкания контактов, особенно при больших значениях электрического тока, размыкание электрической цепи при наличии в ней тока сопровождается электрическим разрядом между контактами. Если в отключаемой цепи ток и напряжение между контактами больше, чем критические для данных условий, то между контактами возникает дуга, продолжительность горения которой зависит от параметров цепи и условий деионизации дугового промежутка. Образование дуги при размыкании медных контактов возможно уже при токе 0,4–0,5 А и напряжении 15 В.

Проводимость плазмы приближается к проводимости металлов. В створе дуги проходит большой ток и создается высокая температура. Плотность тока может достигать 10 000 А/см² и более, а температура – от 6000 К при атмосферном давлении до 18 000 К и более при повышенных давлениях. Чем больше ток в дуге, тем меньше ее сопротивление, а поэтому требуется меньшее напряжение для горения дуги, т. е. дугу с большим током погасить труднее. В коммутационных аппаратах необходимо не только разомкнуть контакты, но и погасить возникшую между ними дугу. Кроме вышесказанного контактные аппараты защиты реагируют только на перегрузку по току и короткое замыкание в электрической цепи [4, 5].

Предлагаемая комплексная бесконтактная система защиты электрических сетей решает все эти вопросы. Контроль за мгновенными значениями напряжений и токов в электрической сети осуществляется с помощью датчиков напряжения и тока. Размыкание силовых электрических цепей в аварийных режимах производят силовые полупроводниковые ключи, поэтому исключается возможность возникновения электрической дуги.

Структурная схема системы защиты, обеспечивающая контроль всех возможных аварийных режимов, представлена на рис. 1.

Структурная схема комплексной системы защиты включает в себя следующие подсистемы:

- система защиты от пропадания фазы и появления несимметрии (СЗПФ);
- система контроля величины напряжения (СКН) ;
- система защиты от аварийных токов короткого замыкания (СЗАТ);
- система защиты от токов перегрузки (СЗПТ)
- блок обработки информации (БОИ).

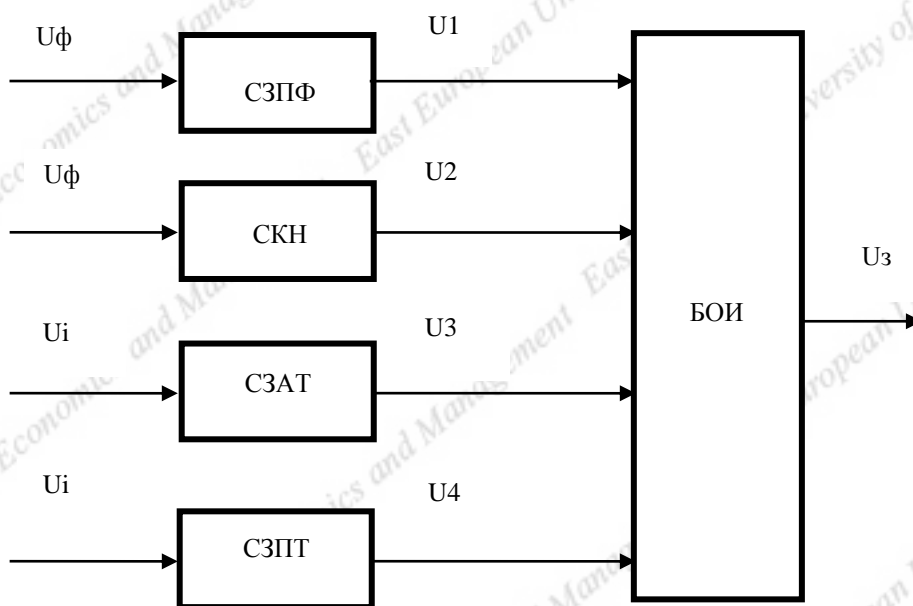


Рис. 1. Структурная схема системы защиты

Источник: собственная разработка

На вход системы защиты поступают сигналы, пропорциональные мгновенным значениям фазных напряжений U_{ϕ} , и сигналы с датчиков тока фаз, пропорциональные мгновенным значениям электрического тока в фазах нагрузки U_i .

Система защиты от пропадания (обрыва) фазы и появления несимметрии силового напряжения основана на постоянном анализе мгновенных значений напряжений питания электроустановки во всех трех фазах. Особенностью трехфазных цепей переменного тока является то, что в любой момент времени сумма мгновенных значений напряжений во всех трех фазах равна нулю:

$$U_a(t) + U_b(t) + U_c(t) = 0. \quad (1)$$

Структурная схема, реализующая этот алгоритм, представлена на рис.

2.

При обрыве (пропадании) какой-нибудь из фаз или нарушении симметрии силового напряжения нарушается выполнение равенства (1), на выходе сумматора (СУМ) появляется сигнал, отличный от нуля. Выпрямитель (В) предназначен для получения модуля этого сигнала $|U(t)|$. Сигналом $|U(t)|$ запускается триггер с гистерезисом (ТГ), который формирует сигнал $U_1(t)$, блокирующий выработку импульсов управления на силовые ключи, что приводит к защитному отключению электрооборудования от напряжения питания.

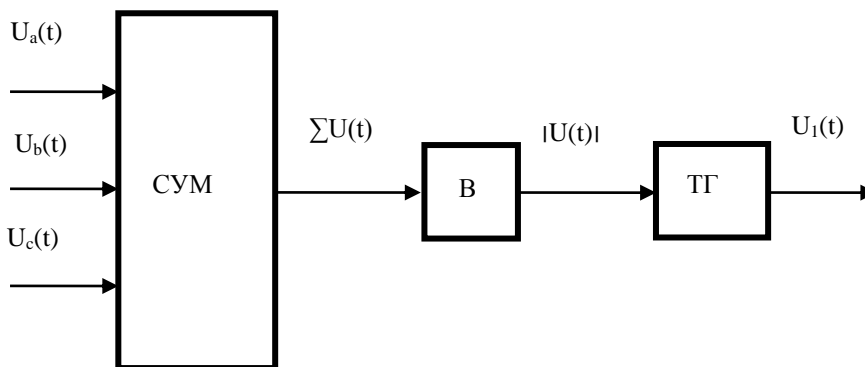


Рис. 2. Структурная схема системы защиты от пропадания фазы и появления несимметрии силового напряжения

Источник: собственная разработка

На практике используют два вида норм качества электроэнергии: нормально допустимые и предельно допустимые. Допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии равны соответственно $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$ от номинального напряжения сети.

Система контроля величины питающего напряжения имеет два порога отключения электроустановки от напряжения питания: U_{max} – максимальное пороговое напряжение; U_{min} – минимальное пороговое напряжение. Для номинального фазного напряжения U_n , условия срабатывания системы контроля величины питающего напряжения можно записать следующим образом:

$$1,41 \cdot 1,05U_n \leq U_{\text{max}} \leq 1,41 \cdot 1,1U_n, \quad (2)$$

$$1,41 \cdot 0,9U_n \leq U_{\text{min}} \leq 1,41 \cdot 0,95U_n. \quad (3)$$

Система защиты от аварийных токов короткого замыкания обеспечивает отключение электроустановки при возникновении аварийного режима короткого замыкания. Вероятность возникновения однофазных коротких замыканий наиболее высока и составляет более 60% от общего количества КЗ. Двухфазные КЗ, в том числе на землю, возникают реже, вероятность возникновения данной аварийной ситуации – 20%. Трехфазные КЗ встречаются достаточно редко, вероятность их возникновения составляет 10%. Порог срабатывания защиты устанавливается в зависимости от вида электрооборудования, подключенного к электрической сети, класса пожароопасной или взрывоопасной зоны сечения и вида электропроводки [2].

Структурная схема системы защиты от токов перегрузки представлена на рис. 3. Контроль за действующим значением величины электрического тока осуществляется в каждой силовой фазе посредством вычисления действующего значения тока в вычислительных устройствах (ВУА, ВУВ, ВУС) на каждом периоде изменения мгновенного значения электрического тока в соответствии с формулой:



$$I_{\bar{A}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m \sin^2 \omega t dt}, \quad (4)$$

где $I_{\bar{d}}$ – действующее значение электрического тока; T – период изменения тока; I_m – максимальное значение тока; ω – круговая частота.

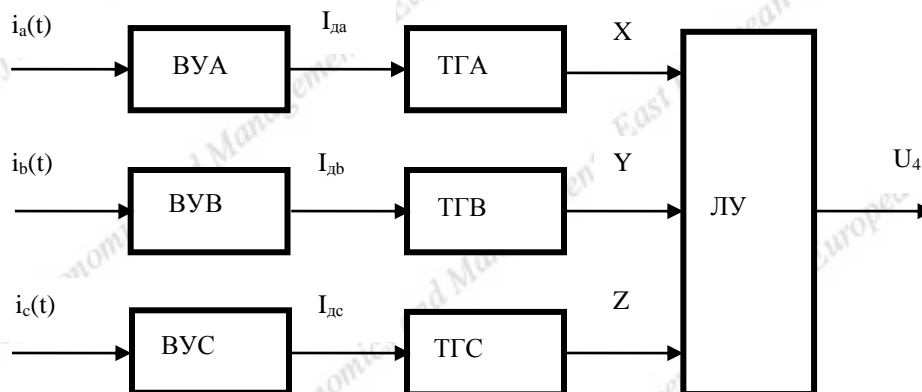


Рис.3. Структурная схема системы защиты от токов перегрузки
Источник: собственная разработка

Сигналы с выхода вычислительных устройств, пропорциональные величинам действующих значений токов в фазах, поступают на входы триггерных устройств (ТГА, ТГВ, ТГС), величина гистерезиса которых определяет порог срабатывания системы защиты. В логическом устройстве (ЛУ) осуществляется логическая операция ИЛИ в соответствии с уравнением

$$U_4 = X + Y + Z. \quad (5)$$

Применение вычислительных устройств в силовых фазах, питающее сети, позволяет значительно повысить быстродействие систем защиты по сравнению с традиционными системами защиты.

ВЫВОДЫ

В работе показана возможность реализации повышения пожарной и техногенной безопасности при эксплуатации электроустановок. Это достигается путем разработки комплексных бесконтактных быстродействующих систем защиты, которые контролируют все возможные аварийные режимы, возникающие в процессе работы.

Предложенная быстродействующая бесконтактная система защиты контролирует наличие всех фаз напряжения, их симметрию, отклонение величины напряжения от номинального значения, мгновенные значения электрических токов в фазах нагрузки, действующие значения токов в фазах с интервалом квантования 0,02 секунды и осуществляет отключение электроустановки от питающего напряжения при отклонении любого из контролируемых параметров на величину большую, чем допустимое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение техногенной безопасности технологического процесса синтеза аммиака / В. Д. Акиншин, В. М. Гвоздь, А. Г. Баракин, О. В. Квашнина,



- В. А. Марченко // Пожежна безпека: теорія і практика. —2013. —№ 13. — С. 12–17.
2. Правила улаштування електроустановок. – Четверте видання, перероблене й доповнене. – Харків : Форт, 2011. – 736 с. 3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К., 1998. – 380 с. 4. Weedy В. М. Electric Power Systems Second Edition. John Wiley and Sons, London, 1972. – Pp. 428–430.
5. Михайлов В. В. Микропроцессорные гибкие системы релейной защиты / В. В. Михайлов, Е. В. Киричевский, Е. М. Ульяницкий. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 185 с.

Дата надходження до редакції – 17.03.2014 р.