

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ЁМКОСТНЫХ ТОКОВ В СЕТЯХ 6-35 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Осипов Д.С.¹, Киселёв Б.Ю.¹, Планков А.А.¹, Янишевская А.Г.¹

¹ФГБОУ ВПО «Омский Государственный технический университет», Омск, e-mail: bob_93_kz@mail.ru

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме. В данной статье рассматривается проблема необходимости компенсации ёмкостных токов в сетях напряжением 6-35 кВ с изолированной нейтралью при нарушении её нормальной работы, в подавляющем большинстве эти нарушения связаны с однофазными замыканиями на землю. Далее рассмотрены задачи и причина необходимости регулирования индуктивности дугогасящих реакторов. Так же в статье затронута речь о ряде положительных факторов связанных с работой сети при компенсации ёмкостных токов. Разобраны основные принципы (методы) на которых основана работа автоматики дугогасящих реакторов. Выделяются и описываются характерные особенности этих методов. Значительное внимание уделяется анализу представленных на рынке устройств автоматики предназначенной для автоматического регулирования дугогасящих реакторов.

Ключевые слова: дугогасящий реактор, однофазное замыкание на землю, компенсация.

RECEIV OF MODERN MEANS AND METHODS OF CAPACITIVE CURRENT COMPENSATION IN NETWORKS OF 6-35 kV WITH ISOLATED NEUTRAL.

Osipov D.S.¹, Kisselyov B.Yu.¹, Plankov A.A.¹, Yanishevskaya A.G.¹

¹Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: bob_93_kz@mail.ru

The article is devoted to the topical today the problem. This article discusses the problem of having to compensate for capacitive currents in networks 6-35 kV isolated neutral in violation of its normal operation, the vast majority of these disorders are associated with a single-phase ground fault. Next, we consider problems and the reason the need to regulate the inductance of arc suppression coils. Also in the article, it touched on a number of positive factors associated with work at the network capacitive current compensation. Dismantled the basic principles (methods) which relies on automatic arc suppression coils. Stand and describing the characteristics of these methods. Considerable attention is paid to an analysis of the market automation devices designed for automatic control of arc suppression coils.

Keywords: arc suppression coil Reactor, single-phase ground fault, compensation.

Подавляющее большинство нарушений нормальной работы сетей с изолированной нейтралью связано с повреждением изоляции относительно земли, то есть с однофазным замыканием на землю. Установившееся значение тока в месте повреждения определяется емкостью фаз на землю. Для обеспечения максимально возможной надёжности работы сети необходимо, чтобы ток замыкания был настолько мал, чтобы в течение достаточно длительного времени (времени, необходимого для поиска и устранения повреждения) можно было бы обойтись без отключения потребителей [3].

Согласно п.5.11.8 ПТЭ [5], компенсация ёмкостного тока замыкания на землю должна применяться при следующих значениях тока:

- в сетях 6-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ – более 10 А;

- в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи: при напряжении 6 кВ – более 30 А; при напряжении 10 кВ – более 20А; при напряжении 15-20 кВ – более 15А;
- в схемах генераторного напряжения 6-20 кВ блоков генератор-трансформатор – более 5 А.

Суть компенсации ёмкостных токов в сетях 6-35 кВ заключается в снижении токов однофазного замыкания на землю. Это мероприятие сопровождается рядом положительных факторов, связанных с работой сети: происходит самопроизвольное погасание дуги, улучшаются условия электробезопасности, снижается кратность перенапряжений и др.

В силу изменения конфигурации электрической сети в процессе эксплуатации, в результате плановых или аварийных переключений, происходит изменение величины ёмкости сети. В результате чего нарушается резонансная настройка дугогасящего реактора. Поэтому для точной настройки дугогасящего реактора необходимо использовать плавнорегулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами. [3]

На основании анализа Миронова И. А., представленного в работе [4], все применяемые принципы настройки автоматических регуляторов для компенсации ёмкостного тока замыкания на землю можно сгруппировать по следующим категориям:

- использование фазовых характеристик контура нулевой последовательности;
- использование амплитудных характеристик контура нулевой последовательности сети;
- использование напряжения не промышленной частоты;
- использование частоты свободных колебаний на нейтрали сети.

Обратимся последовательно к каждой категории типа регулирования.

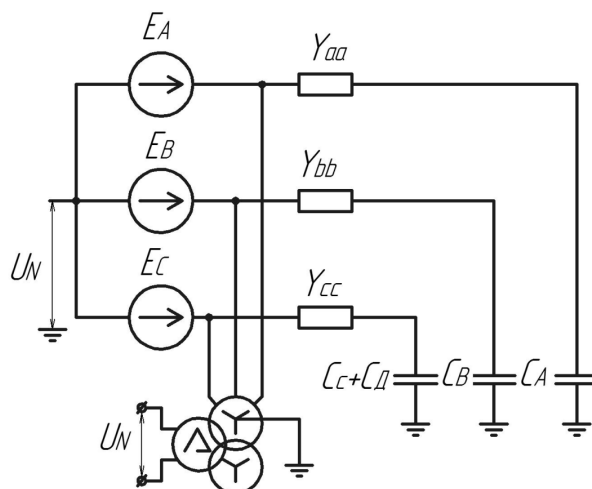


Рисунок 1. Ёмкостная схема замещения сети

В основе первых двух категорий лежит определение параметров контура нулевой последовательности данной сети.

В случае несимметрии сети ($Y_{aa} \neq Y_{bb} \neq Y_{cc}$) получаем ненулевое напряжение на нейтрали (смещение нейтрали) даже при уравновешенной системе Э.Д.С $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$

$$U_N = \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_{aa} + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_{bb} + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_{cc}}{\dot{Y}_{aa} + \dot{Y}_{bb} + \dot{Y}_{cc}}. \quad (1)$$

Это напряжение сети имеет случайные значения модуля и фазы.

Комплексные проводимости могут быть представлены через действительную и мнимую составляющие

$$U_N = \frac{\dot{E}_A \cdot (g_{aa} - jb_{aa}) + \dot{E}_B \cdot (g_{bb} - jb_{bb}) + \dot{E}_C \cdot (g_{cc} - jb_{cc})}{(g_{aa} - jb_{aa}) + (g_{bb} - jb_{bb}) + (g_{cc} - jb_{cc})}. \quad (2)$$

Пренебрегая активной составляющей проводимости и вводя в одну из фаз дополнительную ёмкость C_D , получаем напряжение на нейтрали

$$U_{N_D} = \frac{\dot{E}_A \cdot C_A + \dot{E}_B \cdot C_B + \dot{E}_C \cdot C_C + \dot{E}_C \cdot C_D}{C_A + C_B + C_C + C_D}. \quad (3)$$

Зная величину ёмкости C_D и измерив напряжение U_{N_D} трансформатором напряжения с обмоткой «разомкнутый треугольник», можно определить ёмкость сети [1]

$$U_{N_D} = -\dot{E}_C \cdot \frac{C_D}{3C + C_D}. \quad (4)$$

Дополнительное напряжение несимметрии не остаётся неизменным по модулю, так как в процессе эксплуатации сети суммарная ёмкость фаз может изменяться в довольно широких пределах. Фаза же этого напряжения постоянна, так как оно равно напряжению одной из фаз,

умноженному на вещественное число $\frac{C_D}{3C + C_D}$ [2].

Для устранения влияния случайного напряжения несимметрии с помощью фильтрации по частоте автором в работе [2] предлагается усовершенствованный метод автоматической настройки режима заземления нейтрали на основе наложения токов не промышленной частоты.

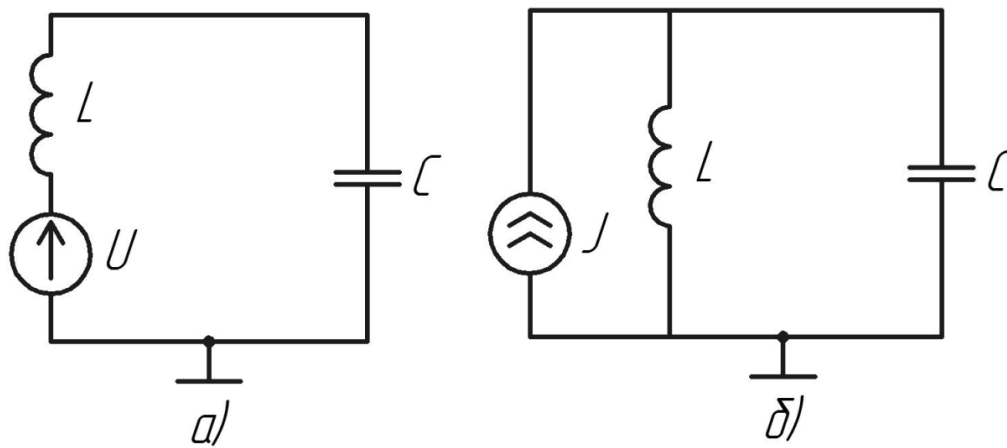


Рисунок 2. Варианты включения источника не промышленной частоты в контур нулевой последовательности

Источник не промышленной частоты (рисунок 2, а) по своим параметрам должен быть приближен к идеальному источнику ЭДС или к идеальному источнику тока (рисунок 2, б).

По отношению к токам и напряжениям, создаваемым этим вспомогательным источником, могут быть применены практически все известные методы фиксации или измерения расстройки компенсации.

При использовании фазового метода, при достижении условия, когда угол между током дугогасящего реактора и напряжением вспомогательного источника равен нулю, фактическая расстройка компенсации будет отличаться от нуля из-за отличия частот [2]. Оценку ошибки, которая при этом имеет место, можно сделать, выразив расстройку компенсации через собственную частоту контура нулевой последовательности при промышленной частоте и частоте вспомогательного источника [2]

$$v_{II} = 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega_{II}^2}, \quad (5)$$

$$v_{II} = 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega_{II}^2}. \quad (6)$$

На рынке представлен ряд устройств, предназначенных для автоматического управления дугогасящими реакторами.

Автоматика управления дугогасящими реакторами «Бреслер–0107.060».

Принцип работы устройства автоматики основан на определении параметров контура нулевой последовательности сети по его переходной характеристике, получаемой в результате кратковременного воздействия на контур тестового сигнала.

Для ввода в контур тестового сигнала используется сигнальная обмотка дугогасящего реактора. Снятие сигнала переходного процесса для определения параметров контура

осуществляется с обмотки $3U_0$ (разомкнутый треугольник) измерительного трансформатора напряжения либо с сигнальной обмотки реактора.

Система автоматической настройки компенсации САНК 4.2.

Принцип работы основан на измерении собственной резонансной частоты контура нулевой последовательности сети, образованного емкостью сети и индуктивностью предварительно подмагниченного реактора дугогасящего управляемого однофазного масляного (РУОМ), и вычислении величины ожидаемого емкостного тока по значению измеренной частоты и поддержании вычисленного тока в режиме однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Здесь имеется ввиду реактор, управляемый подмагничиванием.

Система автоматической настройки компенсации САНК 5.1.

Предназначена для управления всеми типами плунжерных дугогасящих реакторов (ДГР).

Система постоянно анализирует сеть и обеспечивает точную резонансную настройку дугогасящей катушки индуктивности и емкости сети. В этом режиме емкостная проводимость изоляции сети и индуктивная проводимость катушки индуктивности равны, что приводит к «резонансу токов» и существенному повышению (с 0,05–0,3 В до 1 В и более) напряжения несимметрии сети $3U_0$. Для достижения этого режима сети, одновременно с регулировкой зазора магнитопровода катушки индуктивности, измеряется напряжение сигнальной обмотки и определяется правильное направление регулировки. Затем находится максимум напряжения и остановка в этом положении. При изменении напряжения $3U_0$ регулировка начинается снова.

В симметричных сетях с низкой добротностью (в англоязычных источниках добротность — Ку-фактор), когда резонанс малозаметен, создается искусственное смещение нейтрали путем введения в контур нулевой последовательности дополнительного потенциала с помощью специального генератора, входящего в состав САНК-5.1.

Устройство автоматического регулирования токов компенсации УАРК.201 (УАРК.201М)

Применительно к кабельным сетям в нормальном режиме работы устройство УАРК.201 осуществляет резонансную настройку с помощью соответствующей ШИМ-управляемой индуктивности УРДТМ, что обеспечивает постоянную готовность КНПС противодействовать развитию ОЗЗ. Резонансная настройка в нормальном режиме осуществляется на фазовом принципе со стабилизацией напряжения смещения нейтрали на заданном уровне. Последнее достигается подключением в одну из фаз сети (с низкой стороны ДГР) ШИМ-управляемой индуктивности, предусмотренной для компенсации активной составляющей в режимах ОЗЗ. В воздушных и смешанных сетях в нормальном

режиме осуществляется периодическое измерение параметров изоляции (суммарных емкости и активной проводимости сети, амплитуды и фазы тока естественной несимметрии) и по результатам измерений прогнозируются необходимые уставки для успешной работы УАРК.201М в режимах замыканий. В режимах ОЗЗ обеспечивается одновременная КЕС и КАС токов ОЗЗ, что ведёт к быстрой минимизации напряжения на повреждённой фазе и гашению дуги. КЕС производится ДГР типа УРДТМ, КАС – введением соответствующего тока искусственной несимметрии сети, плавно регулируемого с помощью дополнительной ШИМ-управляемой индуктивности.

Микроконтроллерный регулятор МИРК-5

Микроконтроллерный регулятор МИРК-5 предназначен для управления дугогасящими реакторами РЗДПОМА (РЗДПОМ) всех модификаций и всех производителей: ОАО «ПК ХК ЭЛЕКТРОЗАВОД», ЦРМЗ ОАО «Мосэнерго», ОАО «ЭМЗ», БЭМЗ и БЭРН (Беларусь), «ЭЛИЗ» и «Электроремонт» (Украина); реакторов РДМР (НТБЭ и Свердловэлектроремонт); а также реакторов ASR и ZTC (EGE, Чехия); дугогасящих реакторов END и дугогасящих агрегатов ELD (TRENCH, Австрия).

МИРК-5 работает на основе четырех алгоритмов, отслеживая расстройки:

- по сдвигу фаз между опорным напряжением $U_{оп}$ и напряжением смещения нейтрали U_0 ;
- по изменению амплитуды напряжения смещения нейтрали U_0 ;
- одновременно по двум параметрам: сдвигу фаз между $U_{оп}$ и U_0 и по изменению амплитуды напряжения смещения нейтрали U_0 ;
- измерение степени расстройки компенсации по частоте свободных колебаний контура нулевой последовательности.

Заключение

1. Компенсация ёмкостных токов в сетях 6-35 кВ актуальна, так как способствует улучшению условий электробезопасности и снижению кратности перенапряжений.
2. Рассмотрены основные принципы управления и разработанные на их основе устройства автоматического управления дугогасящими реакторами для компенсации ёмкостного тока замыкания на землю.

Список литературы

1. Базылёв Б. И. Дугогасящие реакторы с автоматической компенсацией ёмкостного тока замыкания на землю. – СПб.: Изд. ПЭИПК, 1999. – 184 с.

2. Березницкий С. Л. Усовершенствование средств контроля и автоматической настройки режима заземления нейтрали в электрических сетях 6-10 кВ на основе наложения токов не промышленной частоты: Дис. канд.техн. наук / С. Л. Березницкий – Томский политехнический университет, Томск 2000. – 208 с.
3. Зацепин Е. П., Калинин, Е.В. Компенсация ёмкостных токов в распределительных электрических сетях // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – №3(21).- С.17-22.
4. Миронов И. А. Дугогасящие реакторы в сетях 6-35 кВ. Автоматическая компенсация ёмкостного тока // Новости Электротехники. – 2007. – №3(45).
5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003 (введены в действие с 30 июня 2003 г.)

Рецензент:

Харламов В.В., д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС), Омск;

Кузнецов А.А., д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС), г. Омск.