

## ПОСТРОЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГОВЫХ ЗАЩИТ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Нагай В.И., Сарры С.В.

Южно-Российский государственный технический университет

(Новочеркасский политехнический институт)

nagay@novoch.ru

*Researched possibility of building an optometrist-electrical arc complete distributing device protection by the voltage 6-10 kV with provision for electromagnetic hindrances on substations. Considered questions of determination of sensitivity an optometrist-electrical arc protection. Synthesized algorithms of operation an optometrist-electrical arc protection, checking light flow in protectable compartments.*

Одним из массовых элементов электрооборудования распределительных сетей энергосистем и промышленных предприятий напряжением 6-10 кВ являются комплектные распределительные устройства (КРУ), локализационная способность которых не превышает 1 с, в то время как время отключения внутренних коротких замыканий (КЗ), выбираемое по условиям согласования релейных защит, зачастую превосходит данное время. Исследования показывают, что повреждения ячейки минимальны, если время отключения повреждения не превышает 0,1 сек. Для защиты ячеек КРУ от КЗ, сопровождающихся электрической дугой, в настоящее время используются логическая защита шин (ЛЗШ), защита клапанного типа, реагирующая на повышение давления внутри отсека при КЗ, а также оптико-электрическая дуговая защита (ОЭДЗ) на основе фототиристоров. ЛЗШ имеет "мертвую зону" и может использоваться только для защиты шинных отсеков. Защита клапанного типа срабатывает при токах КЗ не менее 3-5 кА и может ложно срабатывать при механических воздействиях на ячейку. ОЭДЗ на фототиристорах не имеет ни функционального, ни тестового контроля, что усложняет ее эксплуатацию. Об актуальности выполнения быстродействующих защит КРУ от дуговых КЗ свидетельствует приказ РАО "ЕЭС России" №120 от 1.07.98 г. "О мерах по повышению взрывопожаробезопасности энергетических объектов" (п.1.12.5).

Авторами для выбора принципа построения быстродействующих защит ячеек КРУ проведен анализ способов обнаружения дуговых КЗ. Способы условно разделены на две группы. К первой группе отнесены способы, основанные на контроле параметров электрической цепи с дугой: величины и формы тока или напряжения, сдвигов фаз между токами и напряжениями, уровня несимметрии токов или напряжений различных фаз в трехфазной сети переменного тока. Недостатком данных способов построения защиты является то, что затруднено распознавание внутренних и внешних КЗ, и как следствие построение селективной защиты. Ко второй группе отнесены способы, основанные на контроле параметров электрической дуги и сопутствующих ей явлений: изменений температуры, давления, степени ионизации газов и излучения. Замкнутый объем пространства ячейки КРУ, локализуя место дугового замыкания, концентрирует указанные параметры и позволяет зарегистрировать их изменения. На работу устройств этой группы эксплуатационные режимы работы сети и внешние КЗ оказывают меньшее влияние. Проведенный анализ различных способов построения защит показал, что наиболее предпочтительным является способ, основанный на контроле мощности теплового (светового) излучения дуги.

Контроль светового излучения осуществляется с помощью фотодатчиков, размещаемых в различных отсеках ячейки КРУ, и связанных с измерительными органами ОЭДЗ линиями связи (ЛС). При размещении устройств ОЭДЗ в отсеках ячеек КРУ следует считаться с электромагнитными помехами, наводимыми цепях фотодатчиков. Электромагнитная обстановка в местах расположения устройств ОЭДЗ характеризуется большим разнообразием помех. Проведенные исследования на действующих подстанциях позволили установить уровни и формы сигналов помех, воздействующих на ЛС фотодатчиков. На линии связи фотодатчиков влияние оказывают помехи, возникающие за счет коммутаций в цепях оперативного тока: при работе подзарядных агрегатов; при коммутациях цепей, содержащих индуктивность; при замыканиях в цепях оперативного тока, при протекании по шинам токов КЗ.

Коммутации электромагнитов выключателей вызывают падение напряжения на сопротивлении связи, обусловленное индуктивностью цепи и зависящее от скорости изменения тока. На рис. 1 приведены результаты расчета падения напряжения на единицу длины шинок оперативного тока для диапазона токов  $\Delta I = 50-300$  А при изменении тока за время  $\Delta t = 0,001 - 0,01$  с. тока. Емкостная связь между источниками помех и проводниками в ячейках КРУ мала вследствие экранирующего действия металлического корпуса ячейки. Наибольшее влияние на проводники, соединяющие фотодатчики и устройства ОЭДЗ оказывает индуктивная связь.

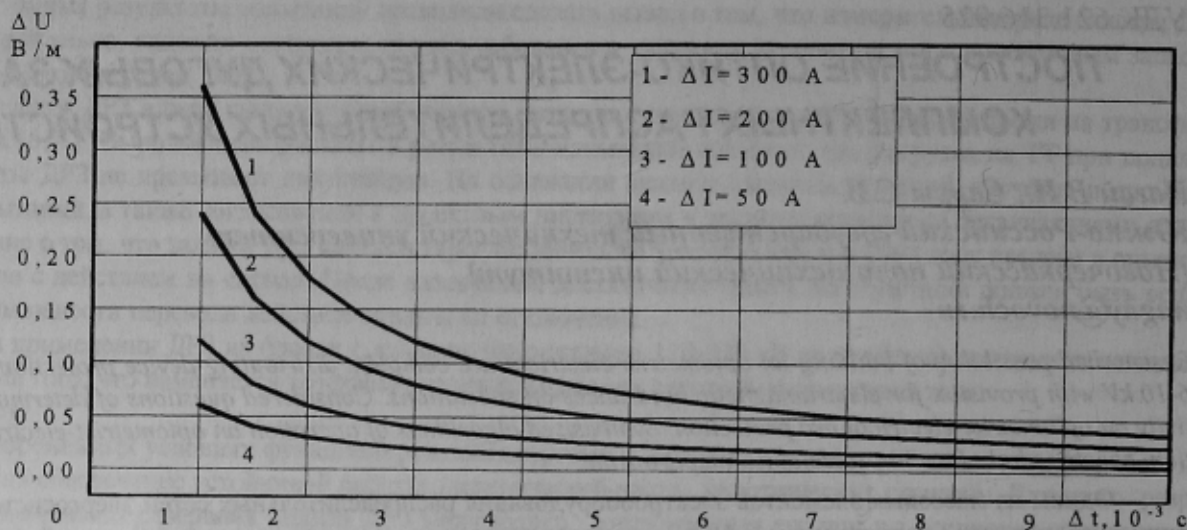


Рисунок 1 - Зависимость падения напряжения на единицу длины шин оперативного тока при коммутации соленоидов коммутационных аппаратов

Для ячеек типа КЭ-10 и К-ХП определены максимальные значения составляющих напряженности магнитного поля и значения наведенного напряжения при КЗ. На рис. 2 приведена зависимость максимального значения наведенного напряжения от вертикальной составляющей магнитного поля на единицу длины проводников, располагаемых вдоль нижней плоскости ячейки КЭ-10 для трехфазного и двухфазных КЗ. Показано, что наибольшее значение наведенной ЭДС можно наблюдать при расположении соединительных проводов на оси, соединяющей центр соединительных проводов и центр симметрии шин.

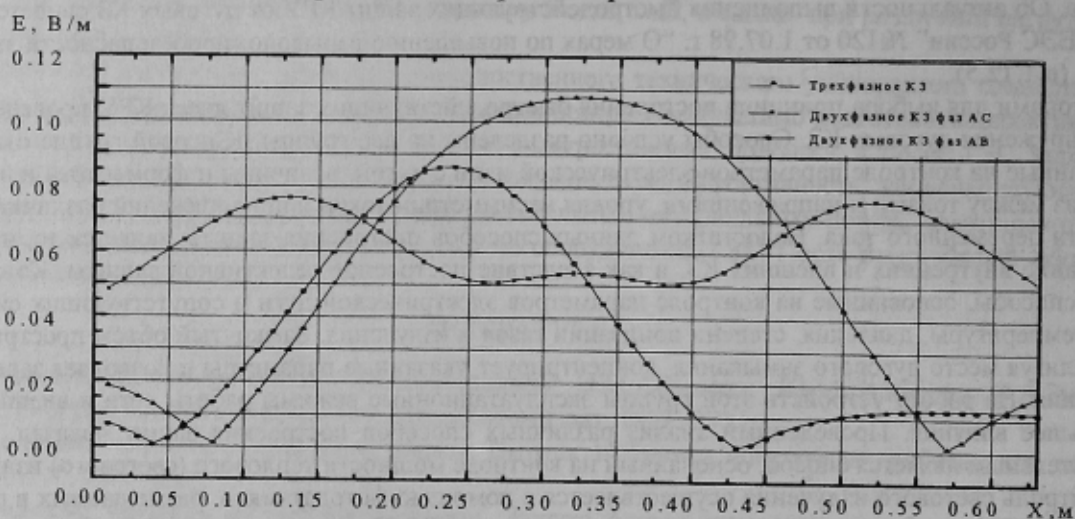


Рисунок 2 - Максимальное значение наведенного напряжения от вертикальной составляющей магнитного поля на единицу длины проводников, расположенных вдоль нижней плоскости шинного моста ячейки КЭ-10

Анализ результатов расчетов показывает, что уровень помех, наводимых в соединительных проводниках, имеющих длину равную длине шинного моста может достигать значения десяти вольт при длительности импульса до 1 мс.

Проведенные расчеты подтверждены проведенными экспериментами в условиях реальной эксплуатации на подстанциях сетевых предприятий ОАО "Ростовэнерго". Исследования проведены с записью уровня помех при помощи регистрационного комплекса, разработанного в ЮРГТУ на основе IBM-совместимого компьютера.

С целью определения требований к чувствительности ОЭДЗ и оптимальному расположению фотодатчиков определен пространственный уровень освещенности в отсеках ячейки при различных положениях дугового столба в ячейке [1]. Известно, что мощность излучения единичного объема столба дуги  $P_i$  зависит от величины тока КЗ  $I_{КЗ}$ , на который, в свою очередь, влияет длина дуги  $l_d$  [2]. Длина дуги в ячейках КРУ составляет 0,4-1,0 м при расстояниях между токоведущими частями 0,1-0,35 м. В начальный период КЗ длину дуги можно принять равной расстоянию между токоведущими частями. Ток КЗ с учетом падения на дуге можно определить как  $I_{КЗ} = f(S_{Тр}, E_d, l_d, U_{*к}, U)$ , где  $S_{Тр}$  - мощность силового трансформатора,  $E_d$  - напряженность в створе



дуги,  $U$  – номинальное напряжения трансформатора,  $U_{*к}$  – напряжение КЗ (о.е.). Представляя столб дуги равноярким цилиндром состоящим из  $n$  струй радиусом  $r_f$  мм, энергетическую силу света  $I_e$  по нормали к излучающей поверхности [3] можно определить как  $I_e = 12 \cdot 10^{-3} r_f I_{ж} l_d \varepsilon \sigma T_d^4 / \pi$ , где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения,  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $T_d \approx 5000K$  – температура на поверхности токопроводящего слоя дуги. Световой поток, падающий на фотоприемник с элементарного столба дуги определяется  $\Phi_{фд} = dI_e dA \cos \beta / l^2$ , где  $\beta$  – угол, образованный линией  $l$ , соединяющей центр площадок столба дуги и фотоприемника  $dA$  [4]. Выполнив переход от энергетических величин к световым, определяется величина светового потока, падающего на фотоприемник, с учетом монохроматической чувствительности последнего. При известной световой помехе, равной естественному освещению в отсеках ячеек, коэффициент чувствительности для оптико-электрических дуговых защит определяется отношением освещенности в расчетной точке от дугового столба к освещенности от максимальной световой помехи.

Экспериментальные исследования освещенности проводились на модели отсека ячейки К-ХП. На рис. 3,а показана картина нормальной составляющей освещенности боковой плоскости ячейки при размещении дуги горизонтально в центре отсека.

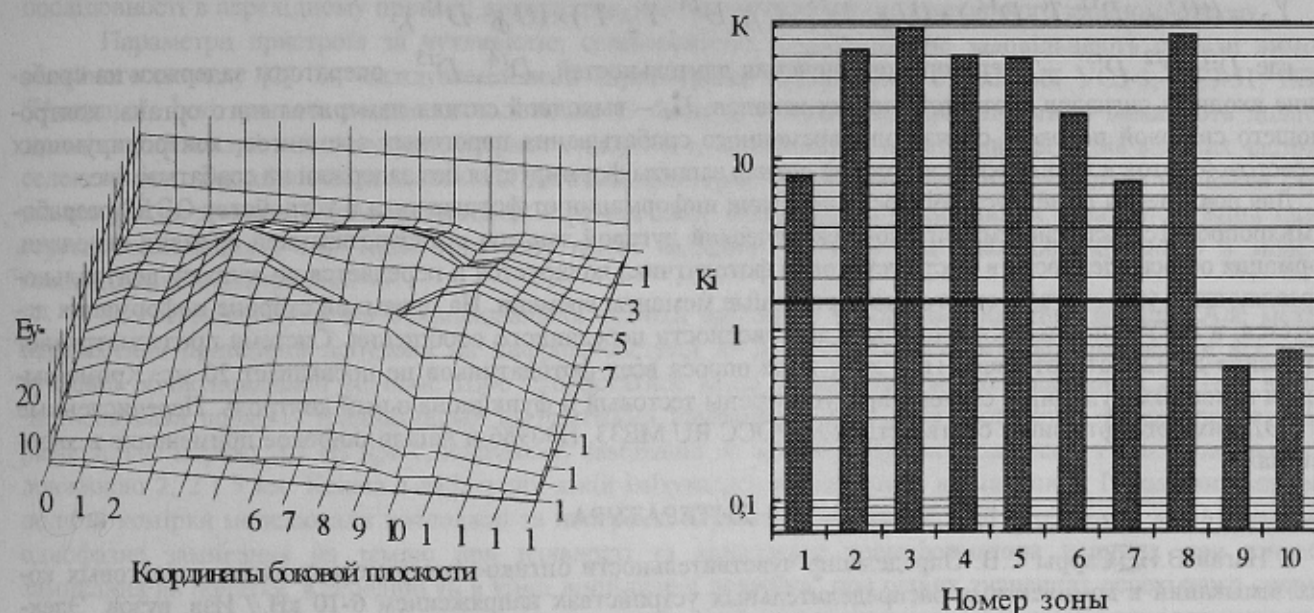


Рисунок 3 - Картина светового поля на боковой плоскости ячейки (а) и коэффициенты чувствительности ОЭДЗ при КЗ в отсеке выключателя для различных зон отсека (б)

Для отсека выключателя, относящегося к отсекам сильно заполненным оборудованием, освещенность исследовалась в местах возможного расположения фотодатчиков. Ограничения по их расположению связаны с возможными перемещениями выкатной тележки выключателя в процессе эксплуатации. Была проведена серия опытов, в результате которой зафиксированы значения освещенности в различных зонах на задней и боковых стенках отсека кабельной разделки при моделировании дуги в различных зонах отсека, где возможно появление дуги. Были также зафиксированы значения освещенности от внешних световых помех для каждой зоны расположения фотодатчиков и определены отношения полезный сигнал–помеха, на основе которого рассчитаны коэффициенты чувствительности ОЭДЗ  $k_i$ , позволяющие определить для заданной ячейки места расположения фотодатчиков, обеспечивающих максимальную чувствительность ОЭДЗ при возникновении дуги в различных зонах отсека. На рис.3,б приведены коэффициенты чувствительности, определенные для тока  $I_{КЗ} = 1000$  А, для фотодатчика, расположенного в центре боковой плоскости отсека кабельной разделки ячейки типа К-ХП. Подобные диаграммы построены для различных зон расположения фотодатчиков.

Проведенные исследования полезных сигналов и сигналов помех позволили сформулировать основные требования к устройствам ОЭДЗ и синтезировать различные алгоритмы функционирования быстродействующих устройств ОЭДЗ [5,6]. Алгоритм функционирования устройства интегрального типа описывается выражением

$$Y = F_1 \cdot D^t \cdot T,$$

$$\text{где } F_1 = \begin{cases} 1, & [U_p(p) \cdot W_1(p) - U_{\square}(p) \cdot W_2(p)] - U_{\text{пор}}(p) > 0 \\ 0, & [U_p(p) \cdot W_1(p) - U_{\square}(p) \cdot W_2(p)] - U_{\text{пор}}(p) \leq 0 \end{cases};$$

$U_p(p)$ ,  $U_T(p)$  – электрические сигналы, пропорциональные освещенности рабочего и тормозного фотодатчиков;  $W_1(p)$ ,  $W_2(p)$  – передаточные функции частотно-зависимых звеньев, предназначенных для отстройки от возможных электромагнитных помех;  $U_{пор}(p)$  – напряжение срабатывания порогового элемента;  $D^t$  – задержка на срабатывание;  $T$  – логический сигнал срабатывания токового органа.

Для отстройки от влияния электромагнитных помех предложено включить фотодатчик с соединительными проводами в цепь частотно-зависимого элемента с переменным коэффициентом пропускания сигнала, зависящим от состояния фотодатчика, так чтобы, что при неосвещенном фотодатчике коэффициент передачи был минимален, а при освещенном – максимален. В этом случае  $D^t \rightarrow 0$ , а функция  $F_1$  принимает вид

$$F_1 = \begin{cases} 1, & [U_p(p) \cdot W_1(p) \cdot k(p, E) - U_{\square}(p) \cdot W_2(p)] - U_{пор}(p) > 0 \\ 0, & [U_p(p) \cdot W_1(p) \cdot k(p, E) - U_{\square}(p) \cdot W_2(p)] - U_{пор}(p) \leq 0 \end{cases}$$

Для увеличения быстродействия устройств ОЭДЗ и одновременной отстройки от электромагнитных помех предложен алгоритм, основанный на контроле одновременности действия пороговых элементов, контролирующих световой поток и ток

$$Y_2 = (((U_{\Phi} \cdot D^{t1} \cdot T \cdot D^{t2}) + (U_{\Phi} \cdot D^{t3} \cdot T)) \cdot D^{t4} \cdot Y_2 \cdot T) \times (U_{\Phi} \cdot D^{t5}),$$

где  $D^{t1}$ ,  $D^{t2}$ ,  $D^{t3}$  – операторы ограничения длительностей,  $D^{t4}$ ,  $D^{t5}$  – операторы задержки на срабатывание входных сигналов соответствующих каналов;  $U_{\Phi}$  – выходной сигнал измерительного органа, контролирующего световой поток. В случае одновременного срабатывания пороговых элементов, контролирующих ток и световой поток в ячейке КРУ, выходной сигнал защиты формируется без задержки на срабатывание.

Для повышения помехоустойчивости передачи информации от фотодатчика к устройству ОЭДЗ разработана микропроцессорная система опико-электрической дуговой защиты с дискретизацией времени передачи. Информация об освещенности в месте установки фотодатчика кодируется и передается по запросу центрального управляющего устройства в строго фиксированные моменты времени. На приемной стороне информация декодируется, и ЦУУ принимается решение о достоверности переданного сообщения. Система предусматривает подключение до 32 фотодатчиков. При этом цикл опроса всех фотодатчиков не превышает 20 мс. Кроме выполнения основных функций в системе предусмотрены тестовый и функциональный контроль. Перечисленные выше ОЭДЗ имеют сертификат соответствия № РОСС RU.МЕ33. Н00986 и нашли широкое применение в энергосистемах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нагай В.И., Сарры С.В. Определение чувствительности опико-электрических защит от дуговых коротких замыканий в комплектных распределительных устройствах напряжением 6-10 кВ.// Изв. вузов. Электромеханика. 1999. № 1. – С. 48-51.
2. Долинский Ю.М., Бойко В.П., Середа Н.Н. Мощность дугового КЗ в закрытых распредустройствах.// Изв. Вузов. Электромеханика. 1990. №2. – С. 102-108.
3. Брон О.Б., Сушков Л.К. Потоки плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. – Л.: Энергия, 1975. – 212 с.
4. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки – М.: Энергия, 1972. – 360 с.
5. Патент 2024148 РФ. М.кл. Н02Н 7/22, Н02Н 3/08. Устройство дуговой защиты комплектного распределительного устройства./ Нагай В.И., Сарры С.В.// Оpubл. 30.11.94, Бюл. № 22.
6. Положительное решение по заявке №98116709/09 (018550) на выдачу патента на изобретение РФ. Устройство быстродействующей защиты комплектных распределительных устройств от дуговых коротких замыканий./ Нагай В.И., Сарры С.В.