

УДК 621.647.1:621.316.1

КОММУТАЦИОННЫЕ ДУГООБРАЗОВАНИЯ КАК ФАКТОР НАРУШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ АППАРАТУРЫ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ УЧАСТКА ШАХТЫ

Маренич К.Н., канд. техн. наук, доц., Руссиян С.А, аспирант
Донецкий национальный технический университет

Исследовано влияние процессов в электросети участка шахты при отключении кабельного ответвления, сопровождаемом дугой, на параметры устойчивости аппаратов защитного отключения.

Processes which take place in the local mining electrical system if cable branch at switch off to this system, accompanied with an arch, also their influence on stability of functioning of the device for protection against currents of outflow is investigated.

Проблема и её актуальность. Обязательным условием функционирования электротехнического комплекса технологического участка шахты является применение аппаратуры защиты от утечек тока на землю [1]. В современных аппаратах защитного отключения (АЗО) реализуется принцип контроля величины оперативного тока, подаваемого в сеть, и сопоставления её с величиной предельно допустимого тока, циркулирующего по внутреннему контуру АЗО. Факторами, приводящими к увеличению оперативного тока АЗО, обычно являются: ухудшение изоляции в ответвлении электросети участка шахты либо появление однофазной утечки тока на землю, например, вследствие касания человеком токоведущего элемента, находящегося под напряжением.

Однако имеются и другие факторы, проявление которых способно вызвать срабатывание АЗО. К ним относятся коммутационные перенапряжения, вызванные контакторным включением и отключением асинхронных двигателей потребителей участка. Проведенными ранее исследованиями [2; 3] были установлены зависимости изменения параметров переходных процессов от соотношений активно-емкостных проводимостей изоляции участковой электросети. При этом учитывались проводимости изоляции ранее включенной и коммутируемой её части. Примененные методы математического и компьютерного моделирования были подтверждены экспериментально.

Однако принятые в ходе исследования допущения не учитывали влияния электрических дуг, возникающих при коммутации силовой цепи электродвигателя, на параметры указанных переходных процессов. Учитывая реальность подобных коммутационных дугообразований, задача исследования их влияния на стабильность параметров аппаратуры защитного отключения является актуальной.

Анализ исследований и публикаций. Процесс горения электрической дуги между контакторами контактора во время коммутации силовой цепи асинхронного двигателя определяются совокупным действием ряда факторов. К ним, в частности, относятся:

- активно-реактивные параметры коммутируемой нагрузки, включая параметры кабелей;
- площадь и конфигурация поверхностей контактов контактора;
- скорость разъединения контактов контактора.

Особенности протекания процессов, обусловленных горением электрической дуги, исследованы и описаны математически [4]. Однако, в рассматриваемом случае объектом исследования является электротехнический комплекс, содержащий, в частности, оперативные цепи АЗО, активно-емкостные составляющие проводимости кабелей и динамическую модель коммутационного аппарата, в которой учтены стохастические процессы дугообразования. В силу сложности моделирования и ограниченных возможностей вычислительной техники, комплексное исследование процессов в рассматриваемом объекте ранее не проводилось. В исследованиях [2] учёт горения дуги в процессе контакторной коммутации нагрузки основан на допущении о конкретной продолжительности существования дуги (проводимости) между отдельными контактами контактора в конкретных фазах. Такое допущение может быть рассмотрено не более чем частный случай, а исследование объекта с учетом указанного допущения позволяет выявить только тенденции развития процесса.

Существующие возможности компьютерного моделирования позволяют учесть реальные факторы, уточнить параметры процессов в оперативных цепях АЗО, обусловленные коммутационным дугообразованием в их совокупности.

Постановка задачи. Задачей исследований является установление характера процессов, протекающих в оперативных цепях аппарата защитного отключения электросети участка шахты, которые обусловлены коммутационным дугообразованием при контакторном отключении асинхронного двигателя потребителя.

Изложение материала и результаты. Исследование коммутационных процессов в электросети участка шахты с учётом существования электрической дуги приемлемо выполнить средствами компьютерного моделирования.

На рис. 1 приведена расчётная модель объекта исследования. В её состав входят активно-реактивные сопротивления рабочих жил и изоляции кабельной сети, параметры асинхронного двигателя потребителя, параметры цепи оперативного тока аппарата защитного отключения серии АЗУР-4.

Приняты следующие допущения:

- в сети действует линейное трёхфазное номинальное напряжение 660 В частоты 50 Гц;
- суммарная ёмкость изоляции ранее включенной части сети (от подстанции до ввода контактора KM_1) – от 0,4 (мкФ/фазу);
- отключаемая часть сети (после KM_1) представлена кабелем КГЭШЗх95 с удельной ёмкостью изоляции – 1,15 мкФ/фазу/км длиной 50 м;
- величина активного сопротивления изоляции отключаемого кабеля $R_{из} = 70$ кОм/фазу;
- продолжительность горения дуги – величина случайная и находится в диапазоне от 0,5 периода до 10 периодов напряжения сети (определяется спецификой расхождения контактов каждой конкретной контактной группы).

Вероятностный характер продолжительности существования дуги между контактными группами отдельных фаз контактора в процессе его отключения учитываются расчётной схемой моделирования, представленной на рис. 2. Возможные кратковременные угасания электрической дуги в процессе её горения случайны и имитируются последовательными контактами $K1$, возможные восстановления «металлических» замыканий между силовыми контактами контактора в процессе их расхождения – случайны и имитируются параллельными контактами $K2$. Собственные сопротивления электрической дуги в фазах контактора имитируются резисторами R .

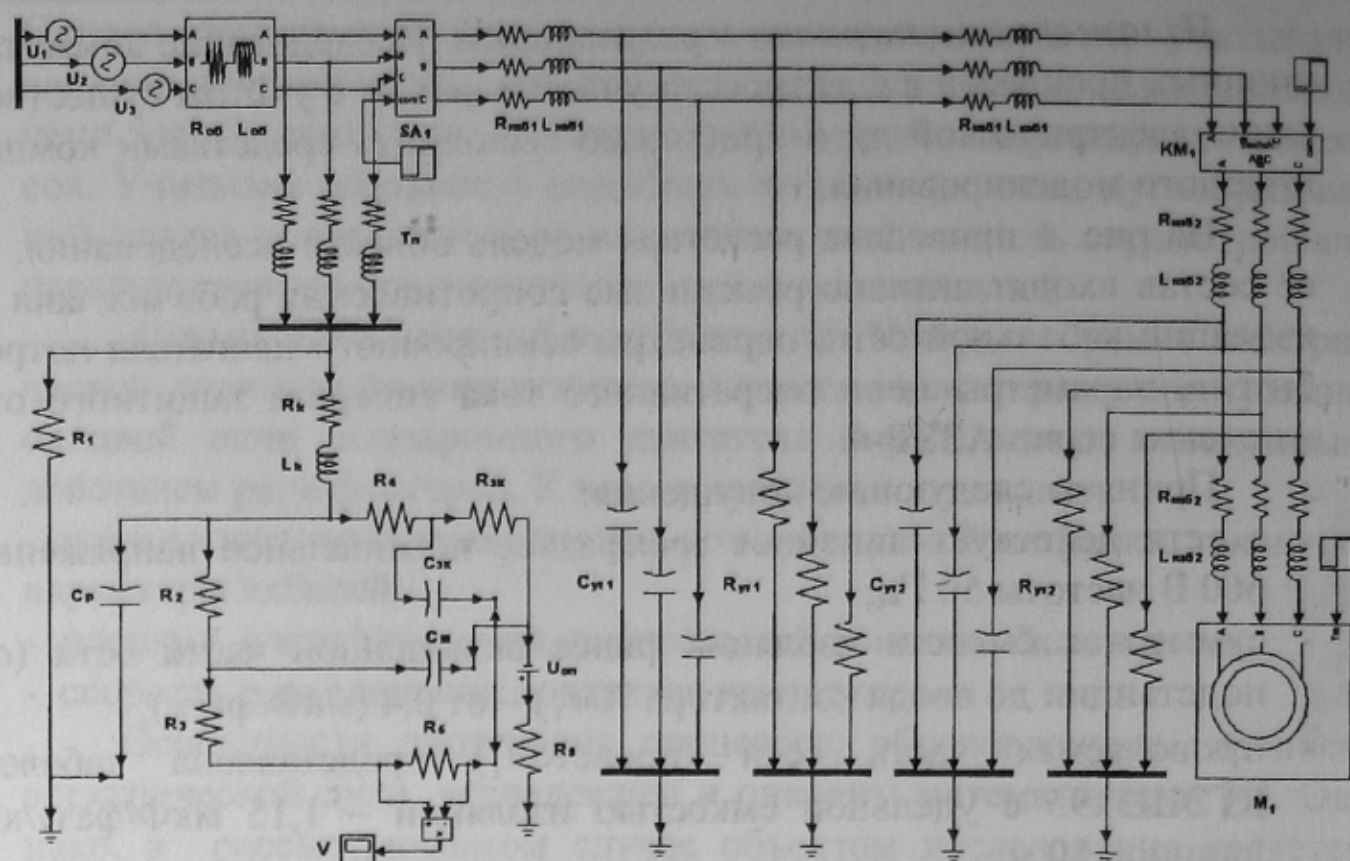


Рисунок 1 – Расчетная модель схемы электросети участка шахты с элементами цепи оперативного тока аппарата АЗУР-4: R_{OB} , L_{OB} – вторичная обмотка трансформатора подстанции; SA_1 – автоматический выключатель; KM_1 – контактор пускателя; M_1 – двигатель; V – вольтметр

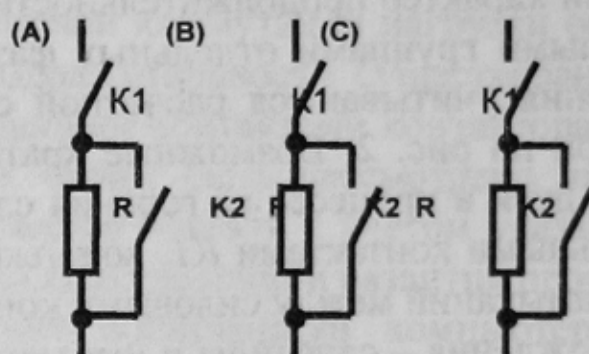


Рисунок 2 – Расчётная схема моделирования дугообразования при отключении контактора

С учётом указанных допущений и структуры цепи АЗО корректируется схема замещения электротехнического комплекса участка шахты (рис. 3).

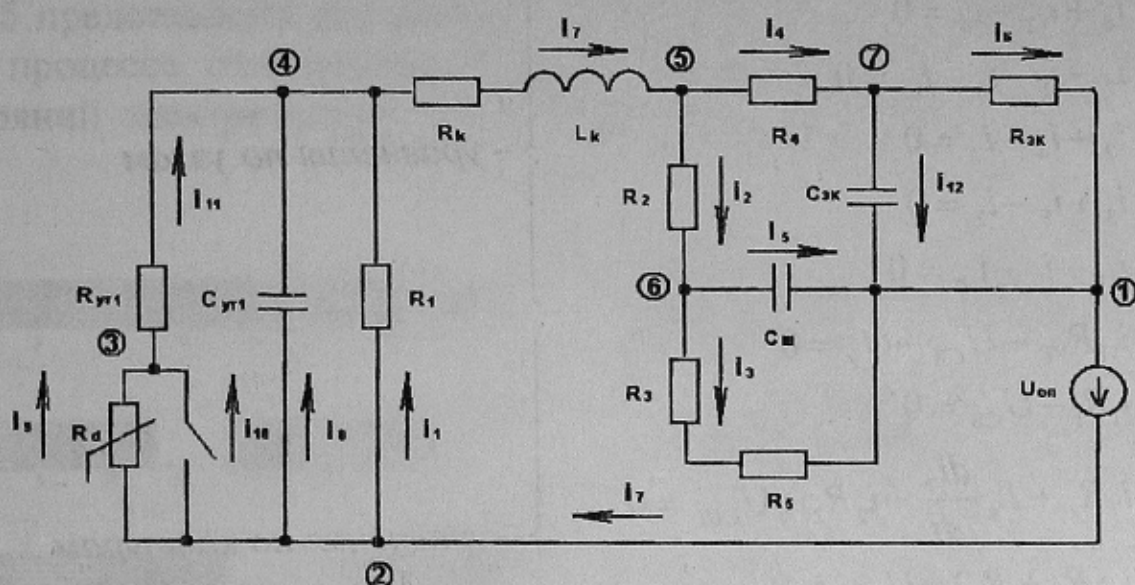


Рисунок 3 – Схема замещения электротехнического комплекса участка шахты с элементами цепи оперативного тока аппарата АЗУР-4. R_{yt} , C_{yt} – параметры кабеля, R_d – стохастически изменяемое сопротивление дуги

Параметром, вызывающим срабатывание АЗО (и отключение всей электросети участка) является рост напряжения на резисторе R_5 , создаваемое оперативным током.

С учётом положений 1-го закона Кирхгофа, применительно к схеме замещения (рис. 3), разработан граф для составления линейно независимой системы уравнений (рис. 4).

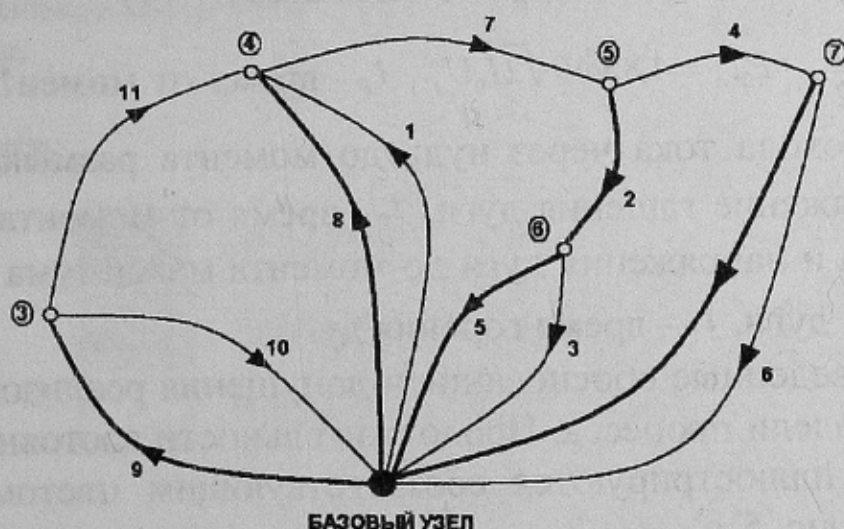


Рисунок 4 – Граф, для составления линейно независимой системы уравнений

Это позволяет определить параметры процесса и составить уравнения по узлам и контурам.

$$\left. \begin{aligned}
 i_6 + i_{12} - i_4 &= 0 \\
 i_7 - i_1 - i_8 - i_{11} &= 0 \\
 i_2 + i_4 - i_7 &= 0 \\
 i_3 + i_5 - i_2 &= 0 \\
 i_{11} + i_9 - i_{10} &= 0 \\
 i_{11} R_{YT} - U_{C8} + U_9 &= 0 \\
 i_1 R_1 - U_{C8} &= 0 \\
 i_7 R_k + L_k \frac{di_7}{dt} + i_2 R_2 + U_{CIII} &= 0 \\
 i_3 (R_3 + R_5) + U_{CIII} &= 0 \\
 i_4 R_4 + U_{C12} - U_{CIII} - i_2 R_2 &= 0 \\
 i_6 R_{ЭК} - U_{C12} &= 0
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{— уравнения по узлам} \\ \text{— уравнения по контурам} \end{array} \quad (1)$$

$$U_{C8}(0_+) = 0; U_{CIII}(0_+) = 0; U_{C12}(0_+) = 0; i_7(0_+) = 0,$$

$$\text{где } i_8 = C_{ym1} \frac{du_{c8}}{dt}; U_5 = i_3 R_5; i_5 = C_{ш} \frac{du_{cш}}{dt}; i_{12} = C_{ЭК} \frac{du_{c12}}{dt}.$$

Вольт-амперная характеристика дуги представлена следующим уравнением [4]:

$$U_9(t) = \frac{P_0 l_0 (1 + 4\omega^2 \theta^2) \sin \omega(t_p + t)}{I_m (2\omega^2 \theta^2 + \sin^2 \omega(t_p + t) - \omega \theta \sin 2\omega(t_p + t))}, \quad (2)$$

где $\theta = \frac{t_0}{\sqrt{2}}$; $P_0 l_0 = 4,85 \omega \theta \sqrt{2} I_0 U_r$, t_p - время от момента предшествующего перехода тока через нуль до момента размыкания контактов, U_r - напряжение гашения дуги, t_0 - время от момента перехода через нуль тока и напряжения дуги до момента максимума (минимума) напряжения дуги, t_r - время горения дуги.

Приведенные обоснования и допущения реализованы в компьютерной модели процесса. Продолжительности состояний объекта случайны и иллюстрируются соответствующим цветом диаграмм состояний (рис. 5).

Результаты моделирования позволили получить диаграммы изменения напряжения на резисторе R5 оперативной цепи АЗО (контролируемый параметр), обусловленные коммутационным переходным процессом, сопровождаемым горением дуги. В частности на

рис. 5 представлены два разных варианта (а; б) протекания переходного процесса, отличающихся друг от друга разными комбинациями состояний электрических дуг в фазах контактора при его отключении.

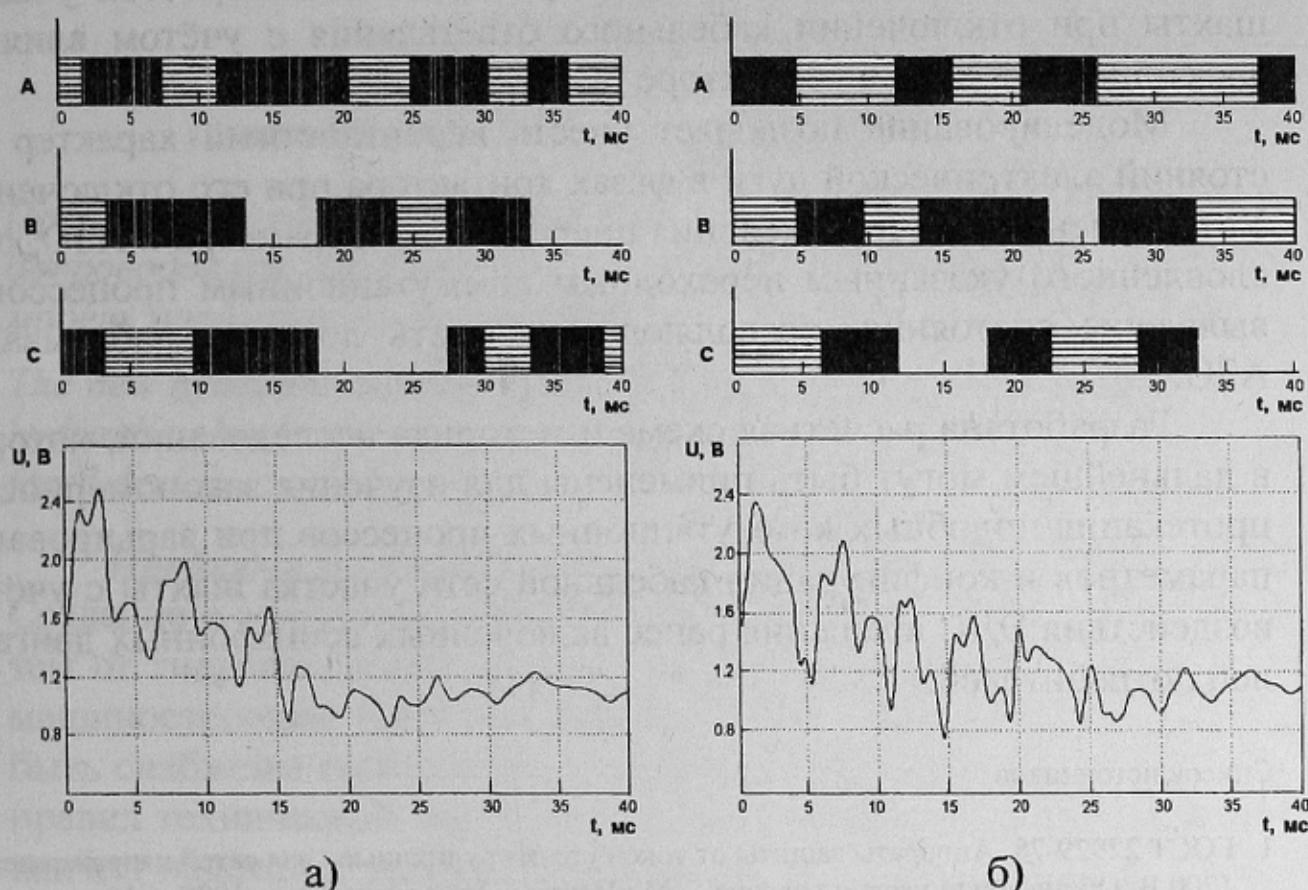
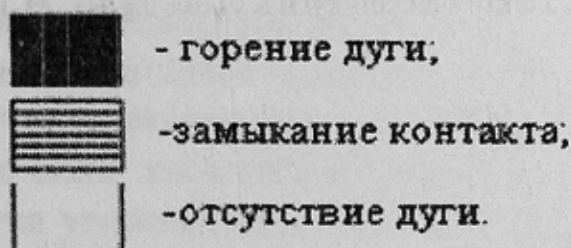


Рисунок 2 – Процесс изменения амплитуды напряжения на резисторе R5 обусловленный разными состояниями электрических дуг в фазах контактора при его отключении.

Состояние дуги:



Таким образом, получены характеристики изменения контролируемого параметра, обусловленные существованием электрической дуги на интервале переходного коммутационного процесса. Установлены кратковременные превышения контролируемым параметром (напряжением на резисторе R5) предельно допустимого значения (2,4

В) для АЗО типа АЗУР-4 (2,4 В), что способно привести к ложному срабатыванию защиты.

Выводы и направление дальнейших исследований. Обоснованный способ исследования позволяет установить характер протекания коммутационных переходных процессов в электросети участка шахты при отключении кабельного ответвления с учётом влияния электрической дуги в контакторе пускателя.

Моделирование позволяет учесть вероятностный характер состояний электрической дуги в фазах контактора при его отключении. Установлен характер изменения оперативного параметра в АЗО, обусловленного указанным переходным коммутационным процессом и выявлены состояния, позволяющие вызвать ложное срабатывание АЗО.

Разработана расчетная схема и методика исследований, которые в дальнейшем могут быть применены для изучения закономерностей протекания подобных коммутационных процессов при варьировании параметров и конфигурации кабельной сети участка шахты с учётом воздействия ЭДС вращения ранее включенных асинхронных двигателей потребителей.

Список источников.

1. ГОСТ 22929-78. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 16 с.
2. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. – М.: Недра. 1982. с. 87-106.
3. Маренич К.Н., Руссиян С.А. О влиянии параметров участковой электросети шахты на устойчивость работы аппарата АЗУР-4 при включении кабельного ответвления. Взрывозащищённое электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ/ Под ред. В.С. Дзюбана. – Донецк: ООО "Юго-Восток, Лтд.", 2005, - с.84-88.
4. Бабаков Н.А. Движение электрической дуги в узких щелях. М.-Л., Госэнергоиздат, 1948 . – 80 с