

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ШАХТЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЯ

Маренич К.Н., Ковалева И.В.

Донецкий национальный технический университет  
 gea@dgту.donetsk.ua ; Visara85@mail.ru

Междуфазное короткое замыкание (к.з.) – одно из наиболее опасных аварийных состояний низковольтной электросети технологического участка шахты. Будучи ограниченным незначительными активными и индуктивными сопротивлениями обмоток питающего трансформатора и участка кабельной сети (до точки к.з.), такой ток достигает, как правило, нескольких тысяч Ампер, а в ряде случаев, - превышает 10000 А. Существующая тенденция повышения мощности потребителей участка шахты обуславливает применение трансформаторных подстанций более высоких мощностей, магистральных и гибких кабелей повышенных сечений, перевод электросети на более высокое линейное напряжение (1140В). Всё это способствует ещё большему увеличению тока к.з. в схеме участка шахты. Средства максимальной токовой защиты совместно с автоматическими выключателями (АВ) позволяют выявить такое аварийное состояние и с высоким быстродействием отключить повреждённую электросеть от питающего трансформатора [1]. Однако защитная функция, в этом случае будет выполнена не в полной мере. Причина заключается в подпитке точки к.з. со стороны статоров асинхронных двигателей (АД) потребителей, которые после защитного отключения переходят в режим свободного выбега. Наступает реверс энергетических потоков, обуславливаемый действием ЭДС вращения двигателей. С увеличением мощности АД потребителей растёт постоянная времени экспоненты снижения ЭДС вращения АД и, следовательно, продолжительность подпитки аварийной точки участковой сети после защитного отключения.

Таким образом, исследование особенностей воздействия обратных энергетических потоков на точку к.з. с целью обоснования эффективного технического решения в области ограничения параметров аварийного процесса после защитного отключения электросети является актуальным.

Общий подход к математическому описанию переходных процессов при возникновении к.з. изложен в исследовании [1]. Основное внимание уделено учёту ударного тока к.з. как совместному проявлению его аperiодической и периодической составляющих; упомянуто об эффекте поддержания тока к.з. после защитного отключения сети вследствие воздействия ЭДС вращения ранее включенного (в аварийном присоединении) АД потребителя. В исследовании [2] рассмотрены особенности формирования тока к.з., в результате воздействия изменяющихся по направлению энергетических потоков. Однако не учитывается специфика их формирования, свойственная системе электроснабжения технологического участка шахты после её защитного отключения, частности, АД как источник ЭДС; влияние АД группы смежных потребителей и др.

Задачей исследования является обоснование структуры математической модели процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе (ЭТК) участка шахты с учётом формирования энергетических потоков со стороны асинхронных двигателей потребителей.

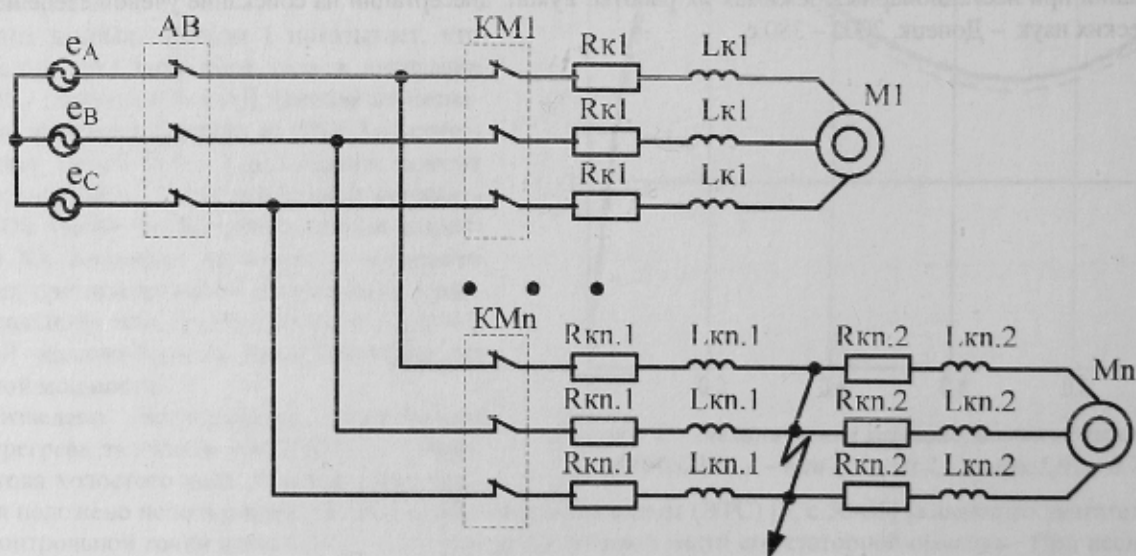


Рисунок 1 – Схема замещения ЭТК участка шахты в состоянии трехфазного к.з. в присоединении

На рис. 1 приведена схема замещения ЭТК участка шахты в состоянии трехфазного короткого замыкания в гибком кабеле присоединения. На схеме:  $e_A, e_B, e_C$  - мгновенные значения фазного напряжения на выходе трансформаторной подстанции;  $KM1 - KMn$  - контакторы магнитных пускателей потребителей;  $M1 - Mn$  - асинхронные двигатели потребителей участка;  $R_{к1}, L_{к1}$  - соответственно активные и индуктивные сопротивления гибких кабелей;  $R_{кп.1}, L_{кп.1}$  - соответственно активные и индуктивные сопротивления первого условного участка гибкого кабеля;  $R_{кп.2}, L_{кп.2}$  - тоже самое для второго условного участка гибкого кабеля.

Процесс короткого замыкания представляется совокупностью сменяющих друг друга состояний [3]:

- возникновение к.з., протекание тока к точке замыкания от трансформатора и статора аварийного присоединения (процесс продолжается до момента защитного отключения электропитания со стороны трансформатора);
- появление уравнительных токов, обусловленных ЭДС вращения асинхронных двигателей потребителей участка шахты после защитного отключения сети;
- подпитка точки к.з. от АД аварийного присоединения (после отключения контакторов пускателей смежных присоединений).

Введем следующие допущения:

- в исходном состоянии в электросети действует трёхфазная система номинальных напряжений ( $e_A, e_B, e_C$ ) промышленной частоты;
- все АД потребителей находятся во включенном состоянии;
- короткое замыкание происходит в гибком кабеле между магнитным пускателем и АД соответствующего присоединения;
- защитное отключение сети от источника питания производится АВ одновременно с контактором магнитного пускателя потребителя аварийного присоединения.

Исследование процесса может быть осуществлено на основе использования расчетных схем соответствующих состояний ЭТК участка шахты. Рассмотрим схему замещения ЭТК в состоянии трехфазного к.з. между источником электропитания и АД потребителя (рис.2):

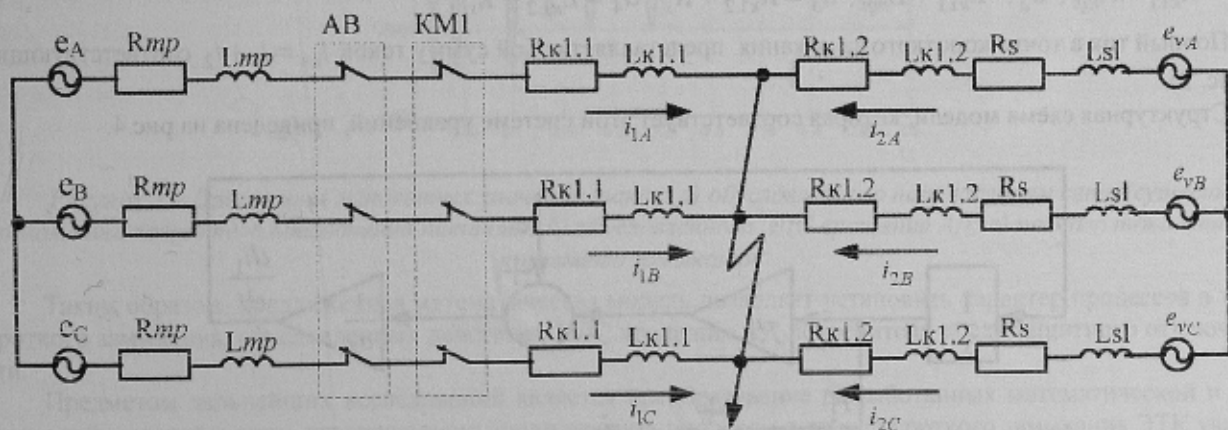


Рисунок 2 – Схема замещения ЭТК в состоянии трехфазного к.з. между источником питания и АД потребителя

На схеме:  $e_{vA}, e_{vB}, e_{vC}$  - мгновенные значения ЭДС вращения АД;  $i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}$  - мгновенные значения токов, обусловленных напряжением сети;  $i_{2A}, i_{2B}, i_{2C}$  - мгновенные значения токов, обусловленных ЭДС вращения АД;  $R_s, L_{sl}$  - сопротивления АД, представленные соответственно активным и индуктивным сопротивлениями статора;  $R_{mp}, L_{mp}$  - соответственно активное и индуктивное сопротивления питающего трансформатора. В силу незначительной длины магистрального кабеля можно пренебречь его сопротивлениями.

Рассмотрим ситуацию, когда к.з. произошло в ЭТК состоящем из следующих элементов: трансформаторной подстанции ТСВП-630, гибкого кабеля марки КГЭШ 3×70 длиной 200 м, асинхронного двигателя типа 2ЭКВ4УС2 (номинальная мощность 220 кВт). Короткое замыкание произошло в середине гибкого кабеля.

Теория моделирования формирования ЭДС вращения АД описана в исследовании [4]. Применительно к двигателю типа 2ЭКВ4УС2 полученная диаграмма формирования ЭДС вращения представлена на рис.3:

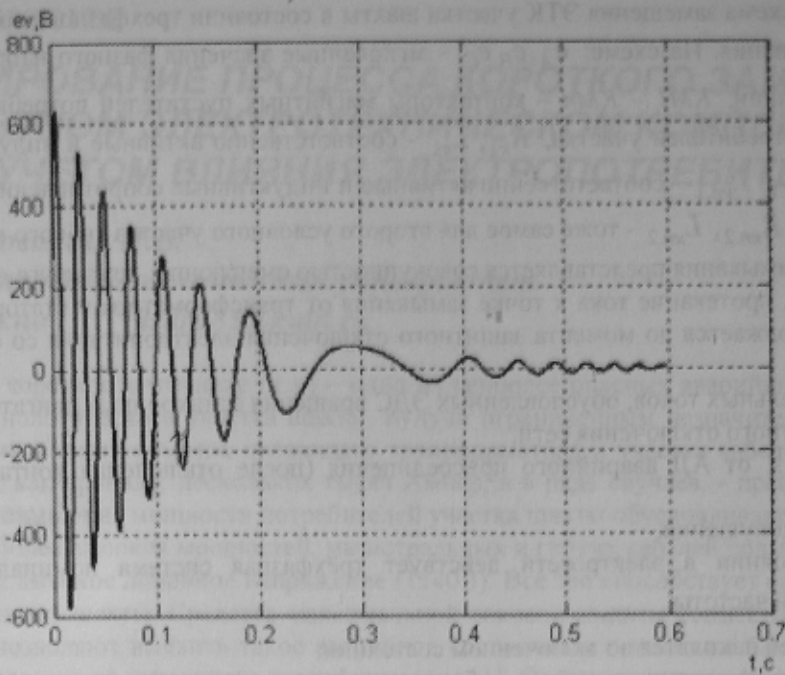


Рисунок 3 – процесс формирования ЭДС вращения для АД типа 2ЭКВ4УС2

Учитывая симметрию системы, запишем уравнения универсального вида для каждой фазы:

$$\begin{cases} a_1 \cdot i_1 + a_2 \cdot \frac{di_1}{dt} = e \\ a_3 \cdot i_2 + a_4 \cdot \frac{di_2}{dt} = e_v \end{cases} \quad (1)$$

где  $a_1 = R_{\kappa 1.1} + R_{mp}$ ;  $a_2 = L_{\kappa 1.1} + L_{mp}$ ;  $a_3 = R_{\kappa 1.2} + R_s$ ;  $a_4 = L_{\kappa 1.2} + L_{sl}$ .

Полный ток в точке короткого замыкания представляет собой сумму токов  $i_{кз} = i_1 + i_2$  соответствующих фаз (рис. 2).

Структурная схема модели, которая соответствует этой системе уравнений, приведена на рис. 4.

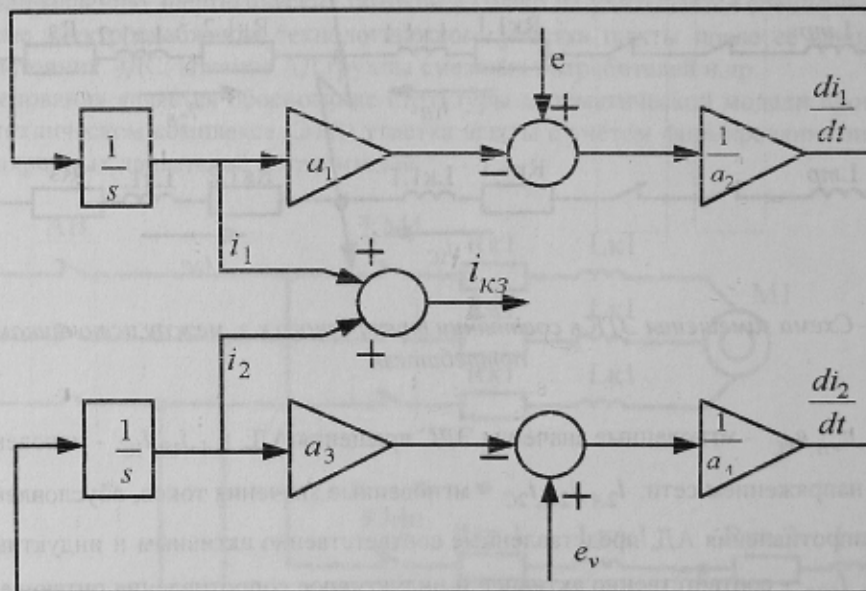


Рисунок 4 – Структурная схема модели для определения тока короткого замыкания в гибком кабеле присоединения после защитного отключения: а) развернутый вид; б) единым блоком

Разработанная математическая модель для конкретных параметров элементов системы исследована средствами компьютерного моделирования. Процесс рассмотрен в два этапа. Первый имеет продолжительность до момента защитного отключения источника питания коммутационным аппаратом. Далее к точке короткого замыкания протекает ток, обусловленный только ЭДС вращения АД.

Диаграммы мгновенных значений токов, обусловленных напряжением сети и ЭДС вращения АД, а также тока в точке короткого замыкания представлены на рис. 5.

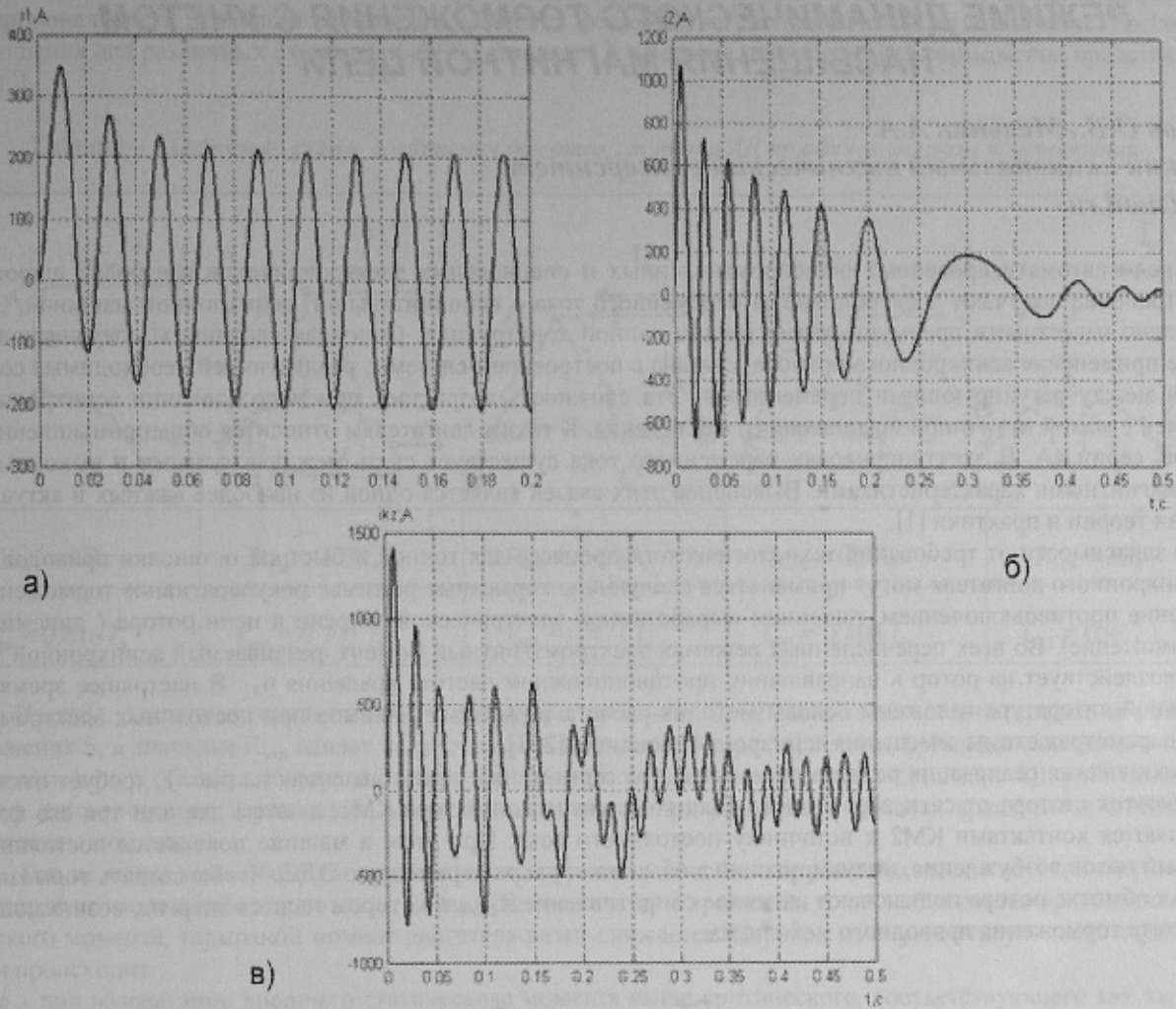


Рисунок 5 – Диаграммы мгновенных значений токов: а) обусловленного напряжением сети (существует до момента защитного отключения питания); б) обусловленного ЭДС вращения АД; в) полного тока в точке короткого замыкания

Таким образом, предложенная математическая модель позволяет установить характер процессов в точке короткого замыкания, обусловленных действием ЭДС вращения АД потребителя после защитного отключения сети.

Предметом дальнейших исследований является преобразование разработанных математической и компьютерной моделей к виду, позволяющему анализировать процессы в точке короткого замыкания ЭТК участка шахты, обусловленные совместным действием ЭДС вращения ранее включенных АД всех потребителей технологического участка с учетом состояний силовых контакторных групп соответствующих коммутационных аппаратов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рязан Я.С. Защита подземных электрических установок угольных шахт. – М.: Недра, 1977, 206 с
2. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид.2-е, доправ. та доп. / Г.Г Півняк, В.М.Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен / За ред. Академіка НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002, 579 с.
3. Маренич К.Н., Ковалева И.В. Обоснование структуры модели процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе участка шахты/Накові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 12(113), серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк: ДонНТУ, 2006. - с. 179-185.
4. Маренич К.М., Василець С.В. Математична модель електротехнічного комплексу дільниці шахти після захисного відключення напруги/Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Гірничо-електромеханічна". Випуск 104. — Донецьк: ДонНТУ, 2006. — С. 121-128.