

УДК 621.317.61:622.012.2

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ УЧАСТКА ШАХТЫ

Маренич К.Н. канд. техн. наук, доцент, Ковалева И.В., магистрант
Донецкий национальный технический университет

Обоснована структура модели процесса короткого замыкания в электросети технологического участка шахты с учётом факторов комплексного воздействия.

The structure for a model of short-circuit process in electric power system of mining technological division with stock-taking the factors of complexes influence is based.

Актуальность задачи и ее связь с научными и прикладными исследованиями. Одним из наиболее опасных состояний низковольтной электросети участка шахты является процесс короткого замыкания (к.з.). Существующие устройства максимальной токовой защиты позволяют выявить к.з. и произвести защитное отключение электропитания. Однако действие их не распространяется на подавление последующего процесса, обусловленного реверсом энергетических потоков в сторону точки к.з. от статоров ранее включенных асинхронных двигателей (АД) потребителей. Существующая тенденция к повышению мощности технологических установок предопределяет рост мощности их электродвигателей, разветвление участковой электросети, применение более протяженных кабелей, увеличения их сечения, перевод электросети на повышенные уровни напряжения. В результате, снижаются токоограничивающие свойства электросети, повышаются мощности и продолжительность подпитки точки к.з. со стороны статоров АД. Этим обусловлена актуальность исследования особенности воздействия обратных энергетических потоков на точку к.з. с целью обоснования приемлемого технического решения в области ограничения параметров указанного аварийного процесса после защитного отключения электросети.

Анализ исследований и публикаций. Общий подход к математическому описанию переходных процессов при возникновении к.з. изложен в исследовании [1]. Он предполагает учет ударного тока к.з. как совместное проявление его апериодической и периодической составляющих. В исследовании [2] изучены особенности изменения

енергетических потоков при возникновении к.з. Однако не учитывается подпитка точки замыкания со стороны двигателей смежных потребителей и состояние самих этих двигателей (возможное торможение коротким замыканием).

В совокупности существенное влияние на процессы оказывают контакторы (КМ i) магнитных пускателей смежных потребителей, включенное состояние которых определяется уровнем обобщенной ЭДС в электросети в процессе возникновения и последующего протекания к.з. Указанные особенности процесса не исследованы в известных работах и нуждаются в дополнительном изучении.

Постановка задачи. Задачей исследования является обоснование структуры модели процесса к.з. в электротехническом комплексе (ЭТК) технологического участка шахты с учетом специфики формирования энергетических потоков со стороны асинхронных двигателей потребителей.

Основной материал и результаты исследований. Практический интерес представляет процесс возникновения и последующего протекания к.з. в гибком кабеле присоединения разветвленной шахтной участковой электросети, содержащей совокупность (n) асинхронных двигателей (М) потребителей (рис. 1).

Процесс к.з. представляется совокупностью сменяющих друг друга состояний:

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

Вводим следующие допущения:

- в исходном состоянии в трехфазной электросети действует номинальное напряжение U_n , все АД потребителей включены;
- к.з. возникает в гибком кабеле между магнитным пускателем и АД соответствующего присоединения и отключается только участковым автоматическим выключателем (АВ).

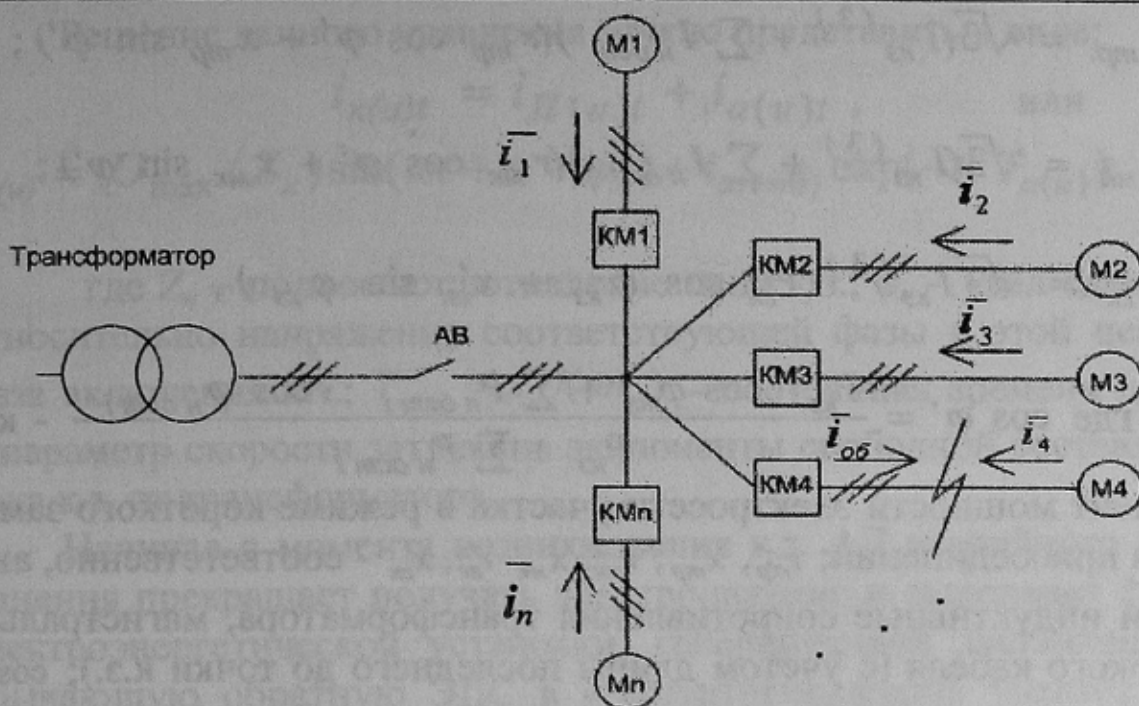


Рисунок 1 – Схема вероятных энергетических потоков к точке к.з. после защитного отключения участковой электросети

Быстродействие отключения электросети автоматическим выключателем является максимальным и не превышает 0,05 с [3]. Поэтому основанием последнего допущения служит вероятность того, что в случае к.з. АВ успевает отключить сеть до того, как на аварийный процесс в присоединении прореагирует защита пускателя в совокупности с релейными элементами дистанционного управления и самим контактором. В результате, пускатель присоединения может остаться включенным до момента достижения предельного уровня ($U_{дон} \geq 0,4 U_n$) снижающейся обратной ЭДС АД потребителей.

Исследование процесса может быть осуществлено на основе использования расчётных схем соответствующих состояний ЭТК участка шахты. В качестве базовой может быть принята схема замещения ЭТК в состоянии трёхфазного к.з. между источником электропитания и АД потребителя (рис. 2) [2].

До момента защитного отключения АВ потери напряжения в трансформаторе ($\Delta U_{тр}$), магистральном кабеле ($\Delta U_{мк}$) определяются совокупностью токов в соответствующих функциональных узлах, включая ток к.з. Потеря напряжения в гибком кабеле ($\Delta U_{гк}$) цепи электропитания точки к.з. определяются током к.з. ($I_{кз}^{(3)}$) аварийного присоединения:

$$\Delta U_{тр} = \sqrt{3}(I_{кз}^{(3)} + \sum I_{н\text{ост}i})(r_{тр} \cos \varphi' + x_{тр} \sin \varphi'); \quad (1)$$

$$\Delta U_{мк} = \sqrt{3}(I_{кз}^{(3)} + \sum I_{н\text{ост}i})(r_{мк} \cos \varphi' + x_{мк} \sin \varphi'); \quad (2)$$

$$\Delta U_{зк} = \sqrt{3}I_{кз}^{(3)}(r'_{зк} \cos \varphi_{кз} + x'_{зк} \sin \varphi_{кз}), \quad (3)$$

где $\cos \varphi' = \frac{P_{кз} \cdot \cos \varphi_{кз} + \sum P_{н\text{ост}i} \cdot \cos \varphi_{н\text{ост}i}}{P_{кз} + \sum P_{н\text{ост}i}}$ - коэф-

фициент мощности электросети участка в режиме короткого замыкания в присоединении; $r_{тр}$, $x_{тр}$; $r_{мк}$, $x_{мк}$ $r'_{зк}$, $x'_{зк}$ - соответственно, активные и индуктивные сопротивления трансформатора, магистрального и гибкого кабеля (с учетом длины последнего до точки к.з.); $\cos \varphi_{кз}$ - коэффициент мощности аварийного присоединения, $P_{кз}$ - мощность короткого замыкания в присоединении; $\sum P_{н\text{ост}i}$ - сумма номинальных мощностей смежных потребителей $\cos \varphi_{н\text{ост}i}$ - номинальные коэффициенты мощности соответствующих смежных (остальных) потребителей.

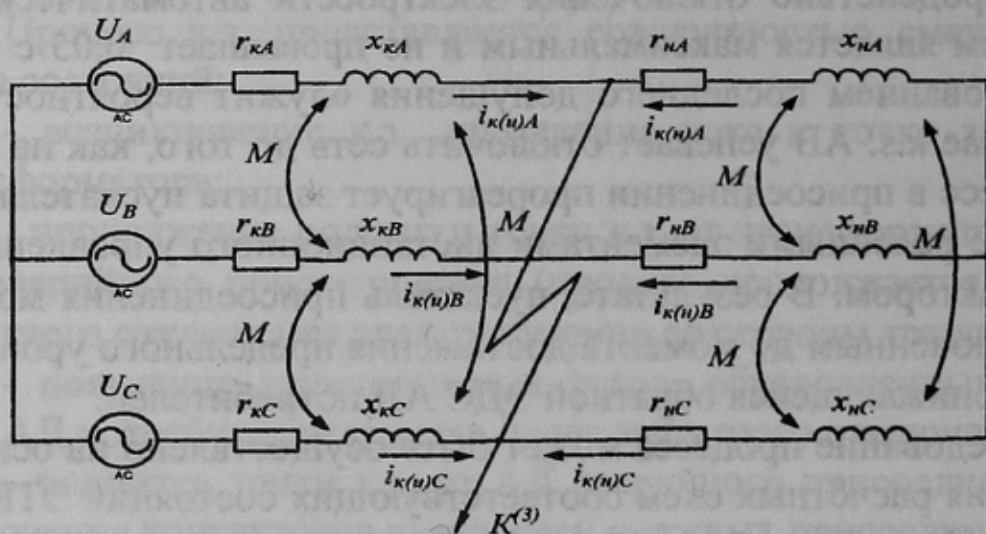


Рисунок 2 – Схема замещения ЭТК в состоянии трёхфазного к.з. между источником электропитания и АД потребителя

Уравнение напряжения фазы короткозамкнутого участка имеет вид:

$$u = i_{k(u)} r_k + L_k di_{k(u)} / dt \quad (4)$$

где $L_k = L_{к,\phi} - M$ - результирующая индуктивность фазы с учетом влияния двух других фаз [2];

Решение данного уравнения можно представить в виде:

$$i_{k(u)t} = i_{\Pi(u)t} + i_{a(u)t}, \quad \text{или}$$

$$i_{k(u)} = (U_{\max} / Z_k) \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{a(t=0)} \exp(-t / T_{a(u)}) \quad (5)$$

где Z_k – полное сопротивление цепи к.з.; φ_k – угол сдвига тока относительно напряжения соответствующей фазы в этой цепи; α – фаза включения к.з.; $T_{a(u)} = x_k / (\omega r_k)$ – постоянная времени цепи к.з. – параметр скорости затухания экспоненты свободной составляющей тока к.з. от трансформатора.

Начиная с момента возникновения к.з. АД аварийного присоединения прекращает получать электропитание и выполняет функции электроэнергетической установки, генерирующей экспоненциально убывающую обратную ЭДС в «зашунтированный» участок сети к точке к.з. В этом участке процессы описываются выражением:

$$i_{k(n)} r_n + L_n di_{k(n)} / dt = 0 \quad (6)$$

где $L_n = L_{n,\phi} - M$ – результирующая индуктивность фазы с учетом влияния двух других фаз;

Решение данного уравнения относительно тока:

$$i_{k(n)} = i_{a(t=0)} \exp(-t / T_{a(n)}) \quad (7)$$

Ток $i_{k(n)}$ является свободным и затухает с постоянной времени:

$$T_{a(n)} = x_n / (\omega r_n) \quad (8)$$

Таким образом, полный ток в точке к.з. на интервале от начала процесса до отключения сети автоматическим выключателем состоит из следующих составляющих:

$$i_{kt} = i_{k(u)} + i_{k(n)} \quad \text{или}$$

$$i_{kt} = I_{\Pi, \max} \sin(\omega t + \alpha + \varphi_k) + i_{a(u)(t=0)} \exp(-t / T_{a(u)}) + i_{a(n)(t=0)} \exp(-t / T_{a(n)}) \quad (9)$$

Электропитание АД смежных потребителей характеризуется потерями напряжения в трансформаторе, магистральном кабеле в соответствии с (1; 2), а так же в соответствующих гибких кабелях.

С момента защитного отключения сети автоматическим выключателем все АД переходят в режим выбега, чему соответствует схема замещения ЭТК с учетом влияния обратных ЭДС АД (рис.3).

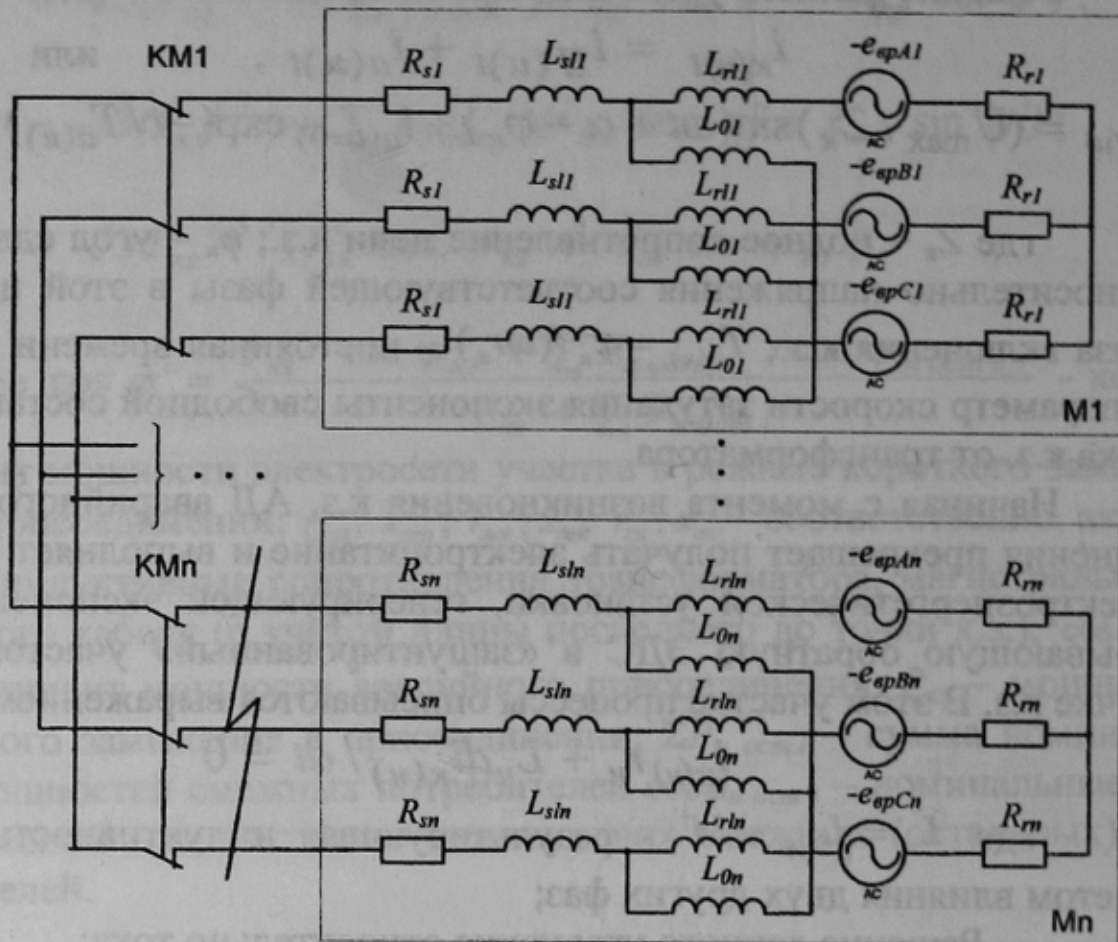


Рисунок 3 – Схема замещения ЭТК в режиме к.з. присоединения после защитного отключения АВ

Эта обратная ЭДС (ЭДС вращения) для фазы имеет вид [4]:

$$e_{врA} = \frac{1}{\sqrt{3}} p \omega_0 (L_0 (2i_{sB} + i_{sA}) + L_r (2i_{rB} + i_{rA})) \quad (10)$$

где p – число пар магнитных полюсов АД; i_s и i_r – токи статора и ротора; L_0 – индуктивность главного магнитного поля в расчете на фазу АД; A – индекс фазы «А».

Рассматривая АД потребителей в качестве генерирующих электроэнергетических установок, следует учитывать индивидуальный характер экспонент снижения обратных ЭДС, обусловленный соответствующими постоянными времени двигателей. Однако, на интервале включенного состояния контакторов KM_1 - KM_n пускателей (рис.1) все АД генерируют обратные ЭДС на общую короткозамкнутую сеть (рис.3). Этим вызвано существование в ней уравнивающих токов, которые обусловлены общей обратной ЭДС АД. Модель и аналитическое выражение последней получены в исследовании [6] и

должны быть адаптированы к параметрам нагрузки, представляющей собой активно-индуктивные сопротивления кабелей от АД до точки к.з.

На интервале после отключения контакторов пускателей электропитание точки к.з. осуществляется обратной ЭДС АД аварийного присоединения, что учитывается соответствующей составляющей выражения (9).

Выводы и направление дальнейших исследований. При обосновании структуры модели процесса короткого замыкания в силовом присоединении электротехнического комплекса технологического участка шахты учтены значимые факторы влияния. К их числу относятся совместно действующие обратные ЭДС асинхронных двигателей смежных потребителей, формирующие обратные энергетические потоки электропитания точки к.з.

Полученные составляющие модели применительно к обоснованной последовательности характерных состояний процесса позволяют получить диаграммы изменения тока в точке к.з. в течение всего интервала его существования, что и является предметом дальнейшего исследования. В перспективе модель процесса может быть скорректирована для исследования характера изменения тока двухфазного к.з. в силовом присоединении ЭТК участка шахты.

Список источников.

- 1 Рима́н Я.С. Защита подземных электрических установок угольных шахт. – М.: Недра, 1977.- 206 с.
- 2 Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів / 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 Справочник энергетика угольной шахты. Т. 2 / В.С. Дзюбан, И.Г. Ширнин, Б.Н. Ванеев, В.М. Гостищев. Под общ. ред. Б.Н. Ванеева.- Донецк: Юго-Восток Ltd., 2001.- С.580.
- 4 Маренич К.М. Питання стійкості систем «тиристорний комутаційний апарат - асинхронний мотор» під час фазового регулювання напруги / Теорія та моделі пристроїв вимірювальної і перетворювальної техніки. Збірник наукових праць. – К.: Інститут електродинаміки АН України, 1993. – С.35-39.
- 5 Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л.: Госэнергоиздат, 1963.- 744 с.
- 6 Маренич К.Н., Васи́лец С.В. Исследование процессов в участковой электросети при групповом выбеге асинхронных двигателей / Гірничя електротехніка і автоматика. Вип.. 74. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – С.30-36.

Дата поступления статьи в редакцию: 26.10.06