

УДК 621.316.1.064.1: 622.012.2

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНОЙ УЧАСТКОВОЙ ШАХТНОЙ СЕТИ

Василец С.В., студент; Маренич К.Н., Ph. D., доцент, к.т.н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Кабели участковой сети являются наиболее уязвимым местом всей системы электроснабжения шахты.

Вся рудничная электроаппаратура размещена в специальных оболочках, которые надежно защищают ее от любых механических воздействий. Но кабели, которые эксплуатируются в шахтных электрических сетях, недостаточно защищены от повреждений при перемещении забойного оборудования, обрушения породы или пачек угля. Повреждение изоляции кабеля приводит к возникновению междуфазных утечек, которые перерастают в токи короткого замыкания (к. з.) [1].

Практика эксплуатации показывает, что короткие замыкания являются причиной более половины пожаров на шахтах [2]. Экзогенный пожар, представляющий опасность для людей и приносящий значительный материальный ущерб, может привести к воспламенению метано–воздушной смеси или угольной пыли [3].

Необходимость недопущения возникновения пожара или взрыва, а также защиты электрических установок от экстратокков привела к разработке аппаратуры для защиты участковых сетей от токов к.з.

Правила безопасности [4] требуют наличия в каждом распределительном устройстве подземной электрической сети средств защиты от токов к. з. В настоящее время защита шахтных участковых сетей от коротких замыканий осуществляется установкой максимальной токовой защиты в рудничных автоматических выключателях (АВ) и распределительных устройствах низшего напряжения (РУНН) трансформаторных подстанций (ТП), а также в рудничных магнитных пускателях (МП) (рисунок 1). Основным аппаратом для защиты подземных электрических сетей напряжением до 1140 В являются рудничные автоматические выключатели. Время срабатывания данных защитных устройств при к. з. находится в пределах 5÷20 мс.

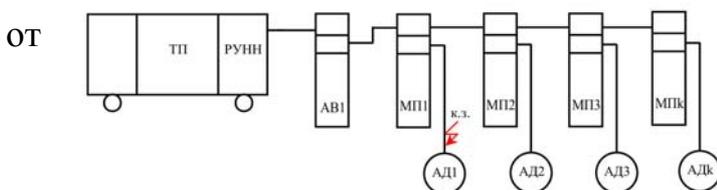


Рисунок 1 – Принципиальная схема участковой сети.

На практике в зависимости быстродействия срабатывания АВ и времени отпускания электромагнита контактора МП имеют место следующие случаи ключения токов к. з.:

– срабатывает АВ,

контактор МП остается во включенном состоянии;

– отключается МП, АВ остается включенным;

– короткое замыкание отключается и автоматическим выключателем и пускателем.

При возникновении режима к. з. существующей продолжительности аварийного тока, которая обусловлена быстродействием срабатывания защитного устройства, бывает достаточно, чтобы воспламенить и взорвать метано–воздушную смесь достаточного уровня концентрации.

При моделировании к. з. в шахтной участковой сети необходимо учитывать влияние на аварийные токи присоединенной нагрузки (как правило – асинхронных двигателей (АД)). В случае к. з. автоматический выключатель отключит поврежденный участок от трансформаторной подстанции, но ротор АД по инерции продолжает вращаться, в обмотках статора наводится ЭДС, машина переходит в генераторный режим и по поврежденному участку кабеля продолжает протекать ток. Данное явление весьма опасно с точки зрения пожаро– и взрывобезопасности.

На рисунке 2 приведена схема замещения простейшей участковой сети при двухфазном металлическом (переходное сопротивление в месте к. з. равно нулю) к. з. в сети с присоединенной нагрузкой [1].

При этом приняты следующие обозначения:

$\underline{E}_A, \underline{E}_B, \underline{E}_C$ – ЭДС фаз трансформатора;

$\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ – токи фаз трансформатора;

$Z_{mp} = R_{mp} + jX_{mp}$ – полное сопротивление фазы трансформатора;

$Z_K = R_K + jX_K$ – полное сопротивление фазы кабельной линии;

$Z_H = R_H + jX_H$ – полное сопротивление фазы нагрузки.

Протекание токов к. з. в низковольтной участковой шахтной сети – достаточно сложный и многофакторный процесс, поскольку определяется совместным действием ТП, совокупности АД, генерирующих ЭДС вращения, пускателей, которые находятся некоторое время во включенном состоянии.

Процессы, происходящие в участковой сети при коротком замыкании,

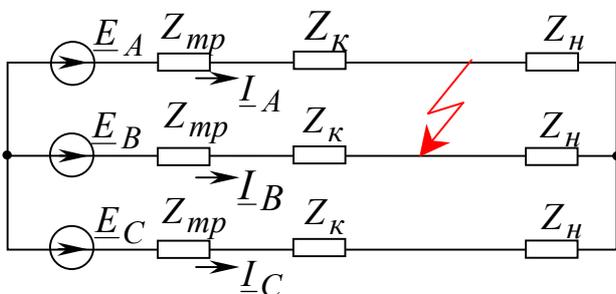


Рисунок 2 – Схема замещения простейшей участковой сети при двухфазном к. з.

могут быть исследованы средствами компьютерного моделирования. Воспользуемся расширением Simulink системы MATLAB. За основу для компьютерной модели взята схема замещения, изображенная на рисунке 2. На рисунке 3 представлена соответствующая Simulink–модель, состоящая из следующих частей:

– вторичная обмотка рудничной трансформаторной подстанции (ТП)

ТСВП–400/6 ($R_{mp} = 0,005 \text{ Ом}$, $X_{mp} = 0,020 \text{ Ом}$);

– кабельная линия длиной 300 м (кабель КГЭШ, сечение 95 мм², $R_K = 0,223 \text{ Ом/км}$, $L_K = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/км}$, $C_K = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ Ф/км}$);

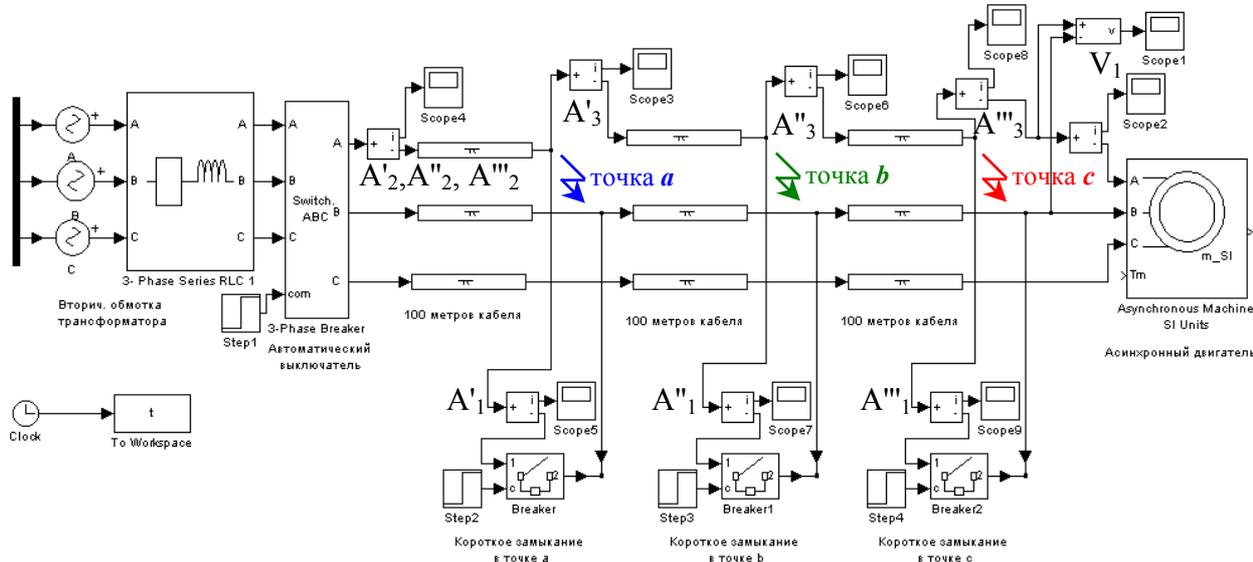


Рисунок 3 – Simulink–модель двухфазного металлического к. з. в участковой сети с присоединенной нагрузкой.

– асинхронный двигатель (4ЭДКО4-110, $U_H = 660 \text{ В}$, $s_H = 2,0\%$, $R_1 = 0,104 \text{ Ом}$, $X_1 = 0,400 \text{ Ом}$);

– автоматический выключатель ($t_{cp} = 10 \text{ мс}$).

Моделирование выполнялось при к. з. между фазами А и В в точках *a*, *b*, *c* линии (рисунок 3) в момент времени $t_1 = 0,06 \text{ с}$ от начала моделирования. Через 10 мс ($t_2 = 0,07 \text{ с}$) сработал автоматический выключатель, отключив поврежденную линию от ТП.

Были получены следующие кривые во временной области:

– ток в точке к. з. (рисунок 4), измерен амперметром A'_1 при повреждении кабеля в точке *a* (на рисунке 4 кривая 1), A''_1 – в точке *b* (кривая 2), A'''_1 – в точке *c* (кривая 3);

– ток фазы А на выходном зажиме автоматического выключателя (рисунок 5), измерен амперметрами A'_2, A''_2, A'''_2 при к. з. в точках *a, b, c* соответственно (кривые 1, 2, 3);

– ток фазы А на участке кабельной линии, который непосредственно примыкает к точке к. з. со стороны нагрузки (рисунок 6) – показания приборов A'_3, A''_3, A'''_3 (кривые 1, 2, 3), кривая 4 – нормальный режим;

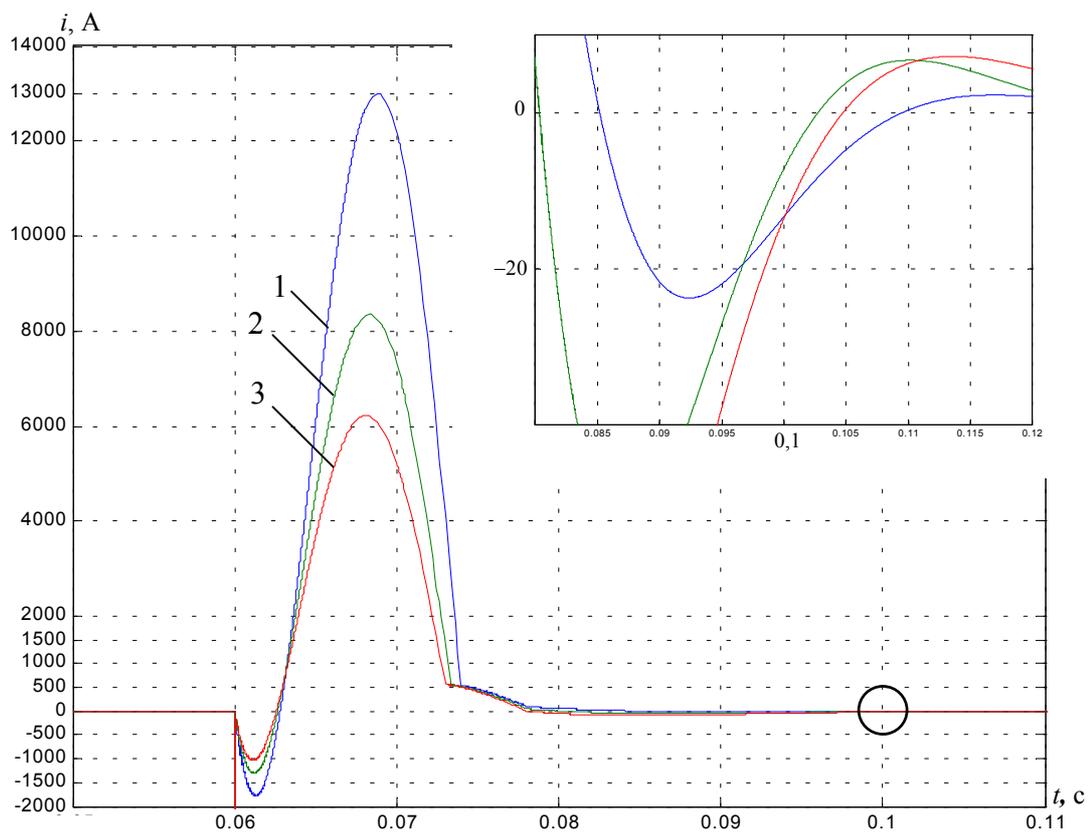


Рисунок 4 – Кривые изменения тока в точке к. з.

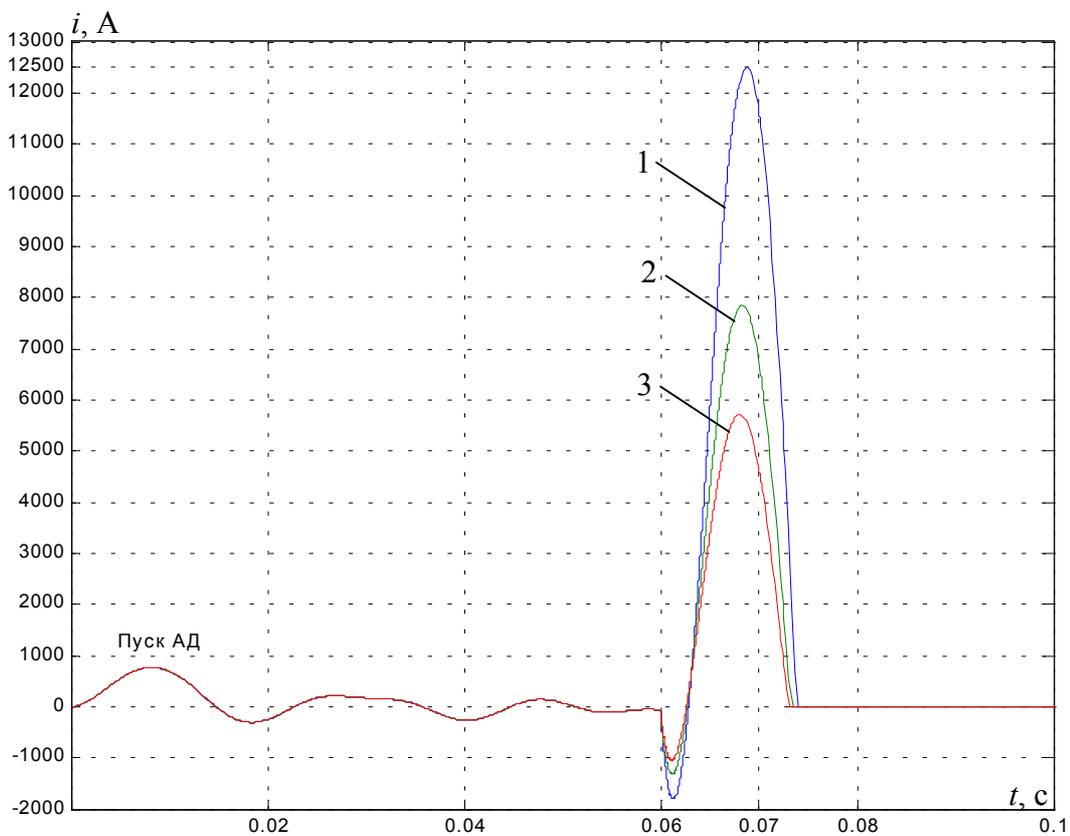


Рисунок 5 – Кривые изменения тока фазы А автоматического выключателя.

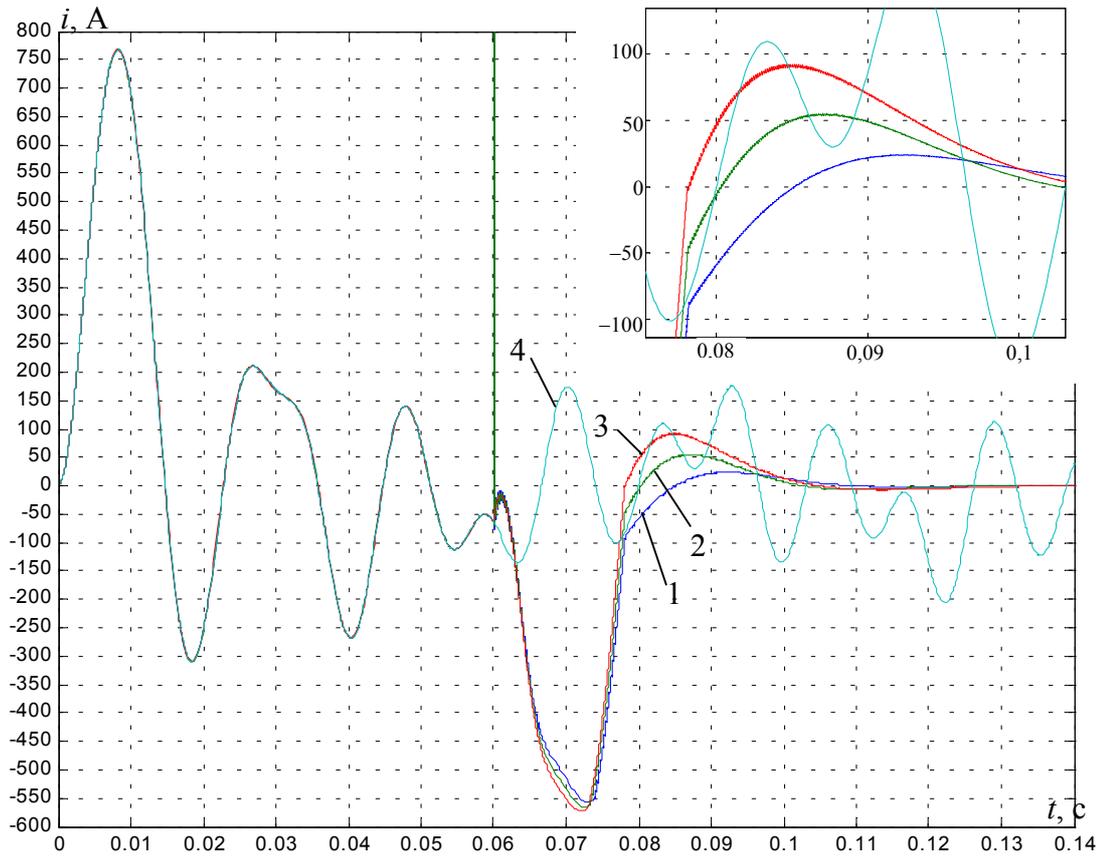


Рисунок 6 – Кривые изменения тока на участке кабельной линии, который непосредственно примыкает к точке короткого замыкания.

– ЭДС между фазами А и В статора асинхронного двигателя (рисунок 7), измерена вольтметром V_1 при к. з. в точках a, b, c линии (кривые 1, 2, 3 соответственно), кривая 4 – нормальный режим.

По полученным кривым было установлено следующее.

1. Амплитуда тока, протекающего в точке к. з. до срабатывания защиты, обратно пропорциональна удаленности места повреждения от ТП. Из рисунка 4 видно, что при коротком замыкании в точке a , удаленной от ТП на 100м, амплитудное значение аварийного тока составило 13кА, в точке b (200м) – 8,3 кА, в точке c (300м) – 6,2 кА.

2. Ток, протекающий в месте металлического двухфазного к. з., складывается из аварийного тока трансформатора и тока, обусловленного ЭДС вращения АД. Это следует из сопоставления кривых, представленных на рисунках 4, 5, 6. Например, в момент времени $t = 0,069$ с при замыкании в точке a ток в месте к. з. $i_{м.кз} = 13$ кА, линейный ток фазы А трансформаторной подстанции $i_{А.ТП} = 12,5$ кА, а ток, обусловленный ЭДС самоиндукции АД, $i_{АД} = 0,5$ кА (на рисунке 6 мгновенное значение этого тока отрицательно, поскольку ток через амперметр A'_3 протекает в обратном направлении – от нагрузки к точке к. з.). Соотношение $i_{м.кз} = i_{А.ТП} + i_{АД}$; $13 = 12,5 + 0,5$ кА выполняется.

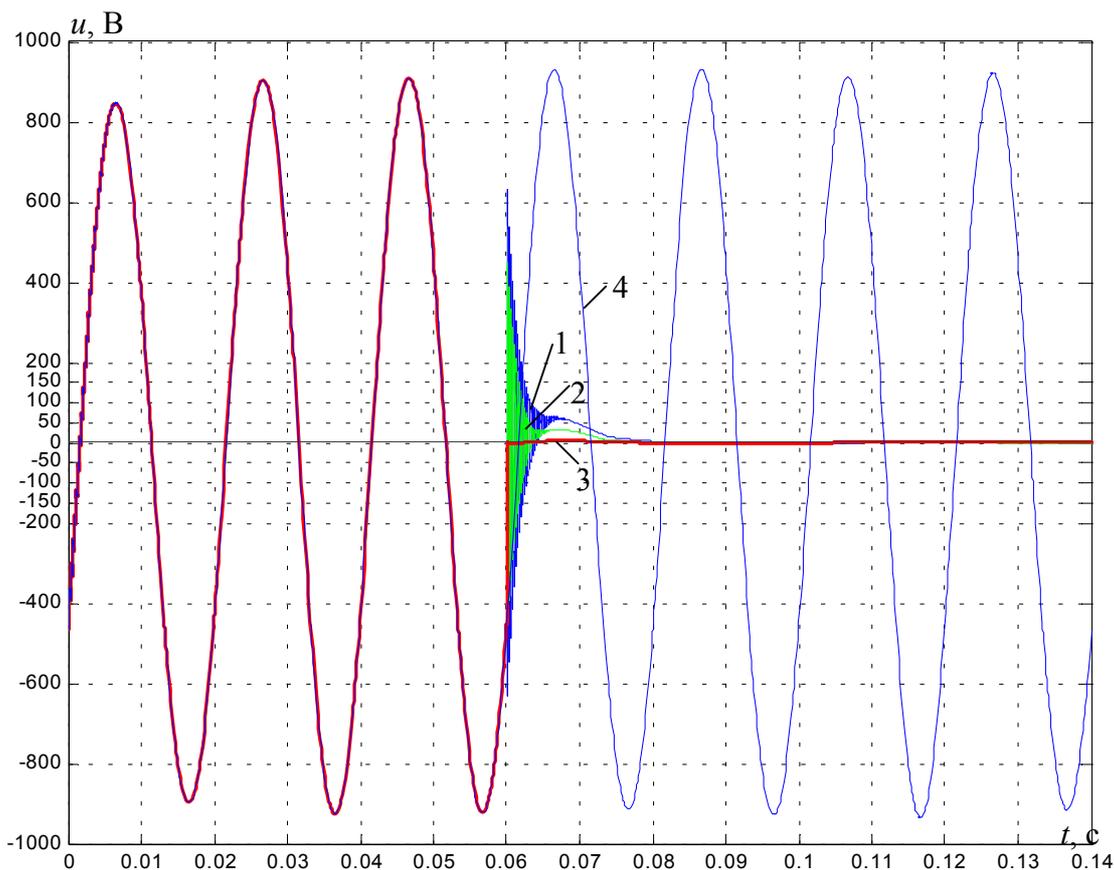


Рисунок 7 – Кривые изменения ЭДС статора присоединенного АД.

3. После отключения АВ ($t_2 = 0,07$ с) ток на выходных клеммах выключателя падает до нуля (рисунок 5), а кривая тока, обусловленного влиянием нагрузки (рисунок 6), имеет всплеск (до 90А при замыкании в точке с) и далее данный ток аperiodически убывает, становясь пренебрежимо малым лишь в момент времени $t_3 = 0,1$ с, т.е. через 30мс после срабатывания защиты.

Таким образом, средства защиты от коротких замыканий, применяемые в настоящее время на шахтах, не решают полностью задачу недопущения пожара или взрыва при к. з в участковой сети. Требуется углубленные исследования аварийных режимов в низковольтных подземных электрических сетях при междуфазных к. з.

Перечень ссылок.

1. Риман Я.С. Защита шахтных участковых сетей от токов короткого замыкания. 2–е изд., перераб и доп. – М., Недра, 1985, 88с.
2. Полесин Я.Л. Причины аварий и травматизма в горной промышленности. М., Недра, 1969, 174с.
3. Сычев Л.И., Реут Л.З. Шахтные гибкие кабели. М., Недра, 1972, 192с.
4. Правила безопасности в угольных шахтах. ДНАОП – 1.1.30–1.01–96. – Киев, 1996, 421с.