

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРУЕМОЙ КОММУТАЦИИ ОТВЕТВЛЕНИЯ ШАХТНОЙ УЧАСТКОВОЙ СЕТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ АППАРАТА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

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

*Исследованы переходные процессы в электросети участка шахты при регулируемой коммутации кабельного ответвления и их влияние на устойчивость работы аппаратуры защитного отключения.*

*The transients in the electric system of a site of mine are investigated at adjustable switching cable branch and their influence on stability of work of the equipment of protective switching-off.*

**Постановка задачи и её актуальность.** Многолетняя практика эксплуатации участковых аппаратов защитного отключения (АЗ) от утечек тока на землю в шахтных участковых электросетях свидетельствует о критичности их схемы к параметрам электромагнитных переходных процессов, возникающих при контакторной коммутации асинхронных двигателей (АД) потребителей [1]. Сущность технического противоречия состоит в том, что в процессе контакторного включения, либо отключения участка сети с АД коммутируемые реактивные составляющие элементов создают всплеск тока, следствием чего является пропорциональное увеличение напряжения на реагирующем органе АЗ.

Существующая тенденция к увеличению мощности технологических установок шахт создаёт предпосылки для применения более мощных и разветвлённых участковых кабельных сетей, перевода их на более высокий (1140 В) уровень номинального напряжения. В результате, создаются условия для превышения напряжением на реагирующем органе АЗ предельного значения на интервале существования коммутационного переходного процесса [2; 3].

Задача повышения устойчивости АЗ к коммутационным переходным процессам может быть решена путём управления последними [4]. Поэтому актуальным является установление приемлемых параметров регулируемой коммутации при включении и отключении асинхронных двигателей участка шахты.

**Анализ исследований и публикаций.** Принципиальная возможность применения симметричных силовых тиристорных коммутаторов (СТК) в составе низковольтного электротехнического комплекса участка шахты установлена в исследовании [5]. Однако в данном исследовании решена задача совместимости работы тиристорного коммутатора с работой АЗ и не определены параметры регулируемой коммутации АД, отвечающие критерию минимизации продолжительности процесса при ограничении на допустимом уровне напряжения на реагирующем органе АЗ.

**Постановка задачи.** Задачей исследований является установление приемлемых параметров регулируемой коммутации АД потребителей участка шахты, отвечающих требованию обеспечения устойчивости работы АЗ при минимизации продолжительности процесса.

**Основной материал и результаты исследования.** Влияние параметров электрической сети на устойчивость работы АЗ при регулируемой коммутации АД может быть исследовано на основе расчётной схемы (рис. 1). Силовой тиристорный коммутатор (СТК), функционируя в режиме фазового управления, изменяет свою проводимость в полном диапазоне при изменении угла  $\alpha$  отпирания тиристоров в диапазоне  $180 \leq \alpha \leq 0$  (эл. град.).

Применительно к схеме (рис. 1) следует задаться законом изменения угла  $\alpha$  отпирания тиристоров и продолжительностью изменения этого угла во всём диапазоне. Исходя из параметров известных серийных систем "soft - start" для асинхронных электроприводов средней мощности введём допущения: продолжительность  $\Delta t$  изменения угла  $\alpha$  отпирания тиристоров СТК (в полном диапазоне) не превышает 2 с; закон изменения  $\alpha$  - линейный:

при пуске АД:

$$\alpha(t)_{\text{лин.пуск}} = 180^\circ - Qt, \quad (2)$$

при отключении АД:

$$\alpha(t)_{\text{лин.отк}} = Qt, \quad (3)$$

где  $Q \in [0,09; 0,9]$  - интенсивность коммутации (град/мс).

В исходном исследовании [3] была установлена рациональность применения модели, где вследствие коммутации оперативный ток циркулирует по четырёхконтурной схеме. С целью учёта функционирования СТК в данной схеме предлагается имитация работы тиристоров двумя ключами К1.1; К1.2 в цепи активной и ёмкостной составляющих утечки  $R_{\text{ут1}}$ ;  $C_{\text{ут1}}$  (рис. 2). Ключи замыкаются с частотой сети и фазовой задержкой, соответствующей углу  $\alpha$ .



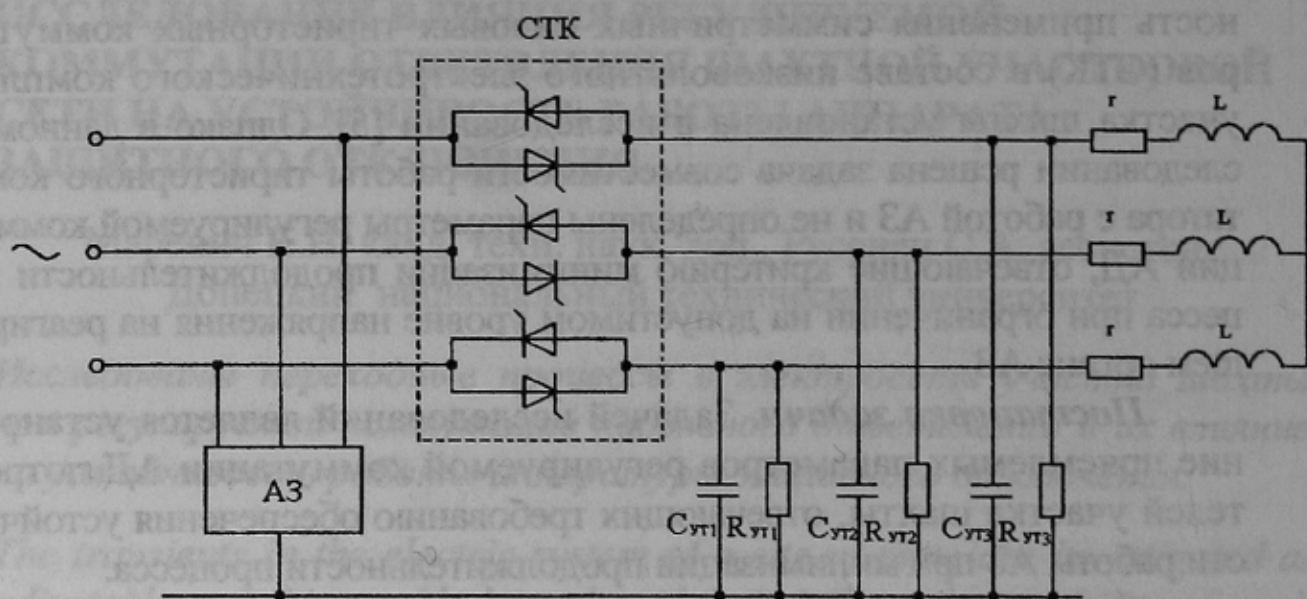


Рисунок 1 – Расчётная схема фрагмента электросети с тиристорным коммутатором

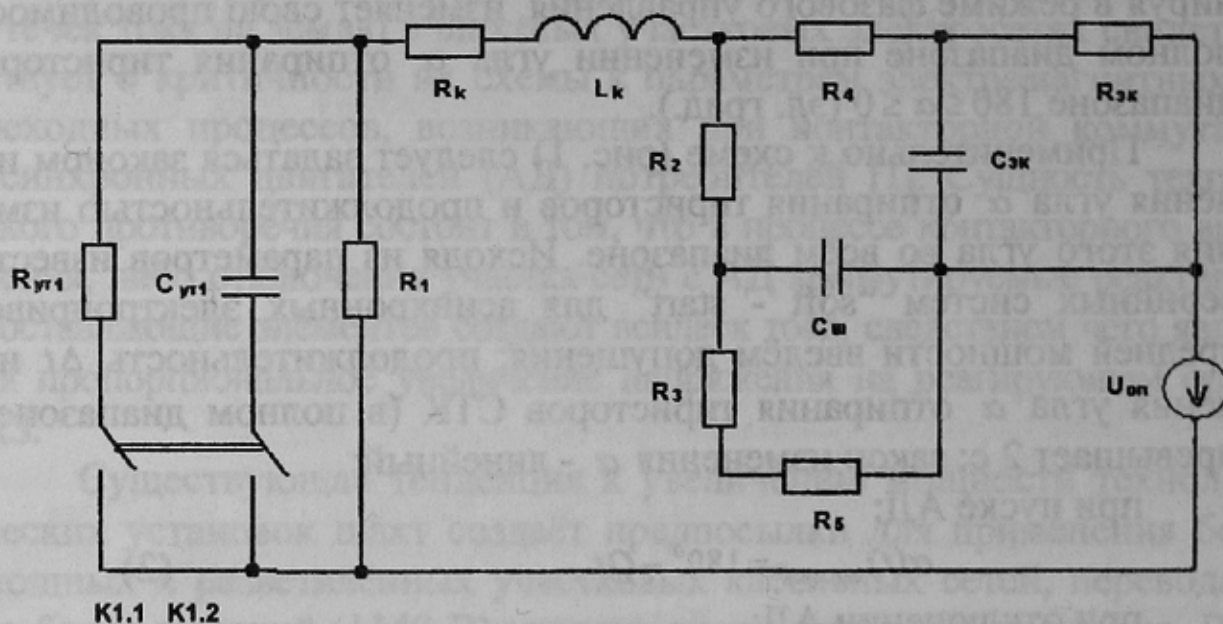


Рисунок 2 – Схема замещения фрагмента комбинированной электросети участка шахты с элементами цепи оперативного тока аппарата АЗУР-4

Предметом исследования является определение падения напряжения на реагирующем органе аппарата защиты от утечек тока на землю типа АЗУР-4, представленном сопротивлением  $R_5$ , в зависимости от совокупности факторов воздействия.

Учитывая, что задержка отпирания на угол  $\alpha$  каждого тиристора СТК синхронизирована с каждым фазным напряжением сети по

обеим полуволнам, следует дополнительно установить, насколько адекватно этот процесс может быть представлен однофазным коммутатором в расчётной схеме (рис 2).

С целью проверки предложена полнофазная компьютерная модель [2], включающая оперативные цепи АЗ и симметричный СТК (тиристорный регулятор напряжения – TRN, рис. 3).

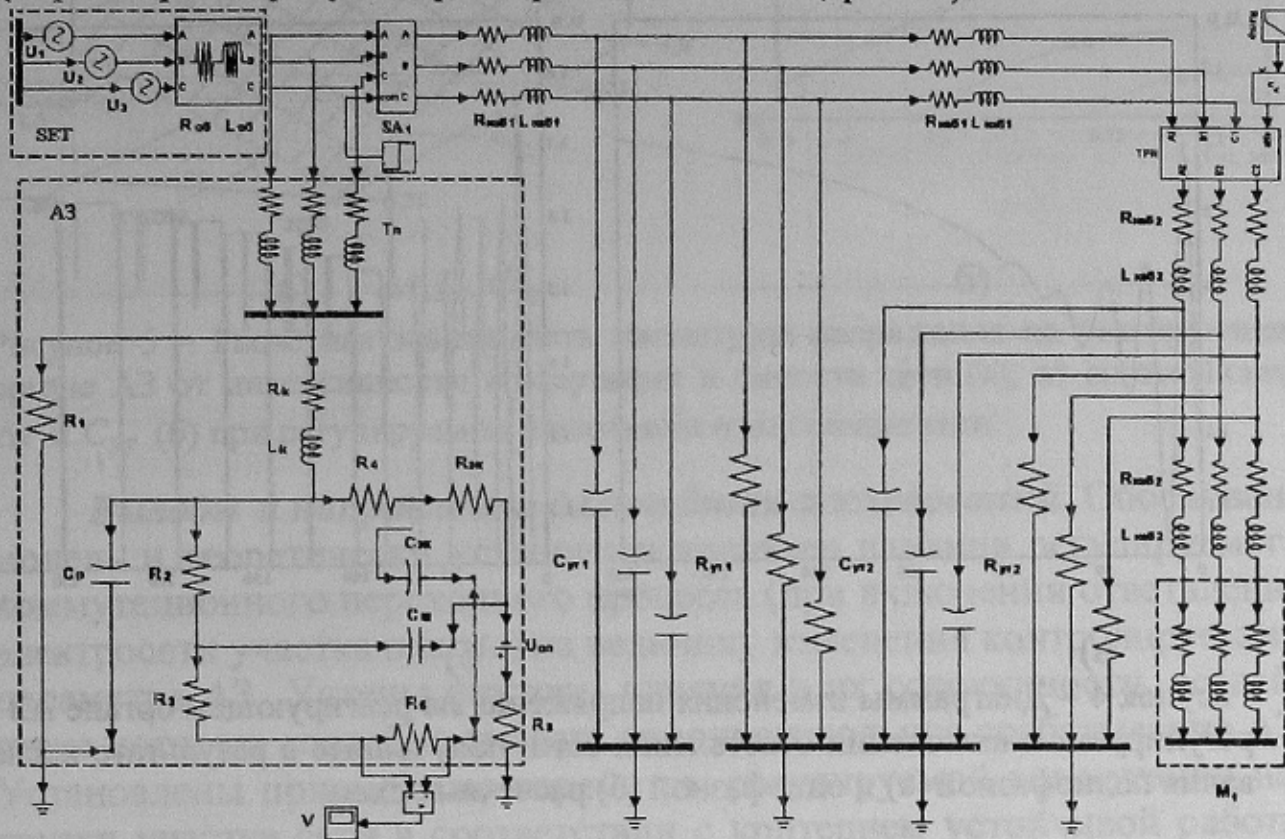


Рисунок 3 – Расчетная модель схемы электросети участка шахты

Управляющие импульсы подаются на TRN от системы импульсно-фазового управления (СИФУ), реализованной в среде Simulink. Синхронизация СИФУ осуществлена по фазным напряжениям питающей сети в обеих её полярностях.

Применительно к процессу управляемого включения ответвления сети приняты следующие допущения:

- действующее линейное номинальное напряжение трёхфазной сети – 1140 В частоты 50 Гц;
- параметры изоляции электросети участка ( $R_{ИЗ} = 50$  кОм/фазу,  $C_{УТ1} + C_{УТ2} \leq 1$  мкФ/фазу);
- максимальная продолжительность изменения напряжения на нагрузке (по линейному закону) при её включении  $\Delta t_{\max} = 2$  с.
- контролируемый (предельно допустимый) уровень падения напряжения на реагирующем элементе  $R_5 = 2,4$  В.



В результате исследования моделей (рис.2) и (рис.3) получена зависимость падения напряжения  $\Delta U$  на реагирующем органе АЗ ( $R_5$ ) при управляемом включении ответвления электросети. Применительно к интервалу  $\Delta t=2$  с, указанные диаграммы параметра  $\Delta U$  для полнофазной и однофазной расчетных схем приведены на рис. 4.

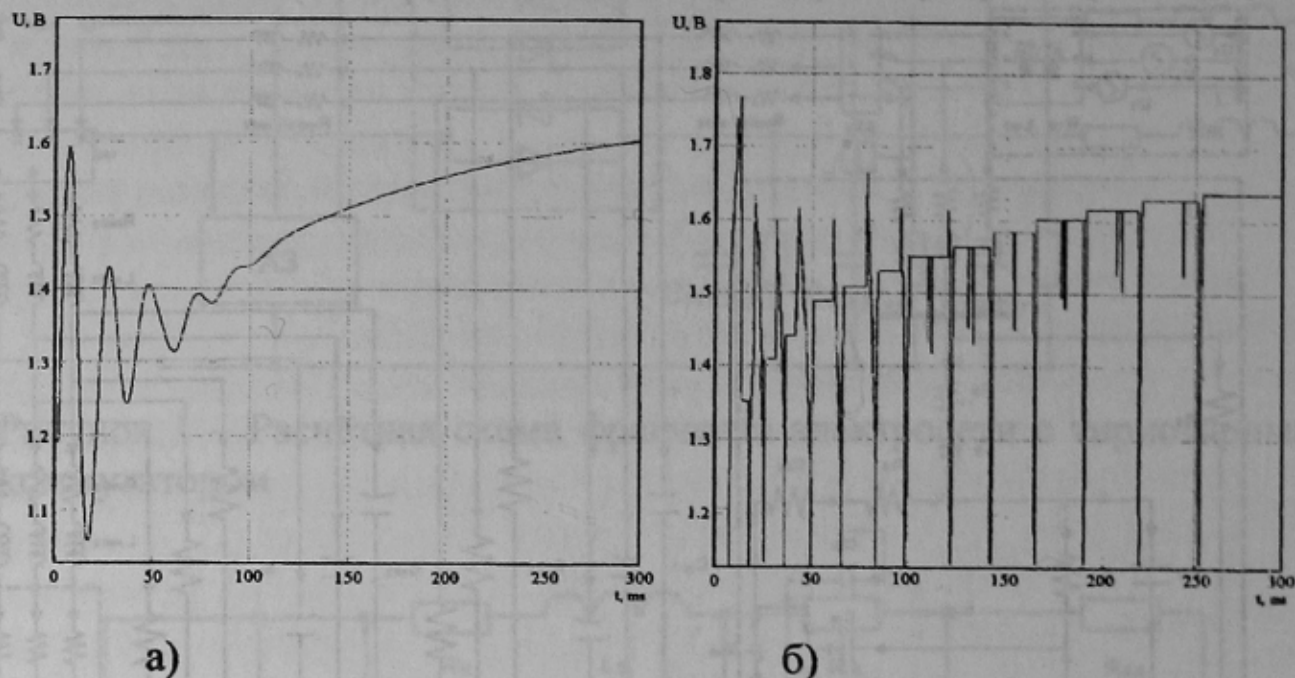
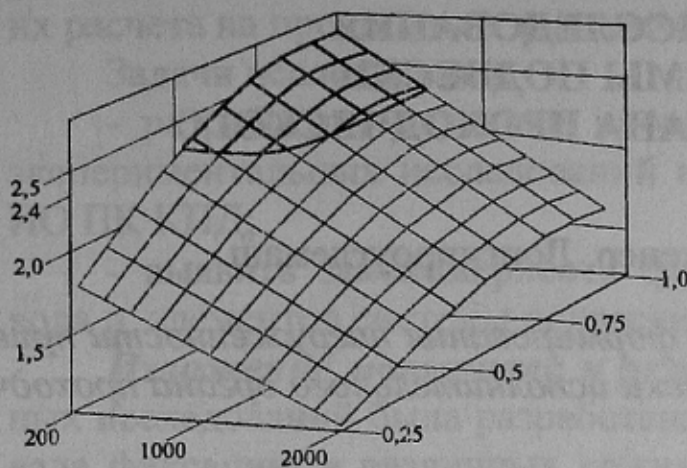


Рисунок 4 – Диаграммы изменения напряжения на реагирующем органе АЗ при регулируемом включении ответвления сети, полученные в результате исследования полнофазной (а) и однофазной (б) расчетных схем

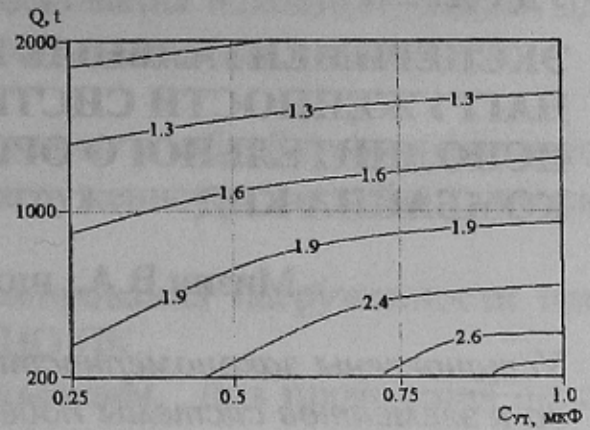
Выявленные существенные отличия результатов моделирования регулируемых коммутационных процессов позволяют сделать вывод о неприемлемости использования в этом направлении исследований упрощенной – однофазной расчетной схемы.

Применительно к полнофазной расчетной схеме влияние совокупности факторов (ёмкости изоляции сети  $C_{ИЗ}$  и продолжительности коммутации  $\Delta t$ ) на амплитуду параметра  $\Delta U$  показано на диаграмме (рис. 5а). Это позволяет установить приемлемые параметры регулируемой коммутации нагрузки в зависимости от ёмкости изоляции сети (рис. 5б).

Исследование процессов при управляемом отключении ответвления сети не выявило возникновения существенных перенапряжений на ёмкости неотключаемой части сети.



а)  $\Delta t, U, C_{ут}$



б)

Рисунок 5 – Расчётная зависимость амплитуды напряжения на реагирующем органе АЗ от интенсивности коммутации и ёмкости сети (а), от соотношений  $\Delta t$  и  $C_{ут}$  (б) при регулируемом включении ответвления сети

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Обоснована модель и теоретически установлен характер влияния регулируемого коммутационного переходного процесса (при включении ответвления электросети участка шахты) на величину изменения контролируемого параметра АЗ. Учтены факторы влияния в их совокупности, воздействие которых способно вызвать самопроизвольное срабатывание АЗ. Установлены приемлемые параметры регулируемой коммутации нагрузки участка сети в соответствии с критерием устойчивой работы АЗ при продолжительности коммутационного процесса не более 2 с.

Направлением дальнейших исследований является изучение особенностей влияния на устойчивость работы АЗ регулируемого коммутационного процесса при повторном включении потребителя, двигатель которого находится в состоянии свободного выбега.

Список источников.

1. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях. – М.: Недра, 1982. с. 87-106.
2. 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.
3. Маренич К.Н. Руссиян С.А. Коммутационные дугообразования как фактор нарушения стабильности работы аппаратуры защитного отключения потребителей участка шахты. Зб. наукових праць ДонНТУ. Серія: „Гірничо-електромеханічна”. Випуск 101. Донецьк ДонНТУ 2005.- С. 87 – 94.
4. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / Л.П. Петров, О.А. Андрищенко, В.М. Капинос и др. М. Энергоатомиздат. 1986.
5. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок. М.: Недра, 1980.- 334 с. 271-283.

Дата поступления статьи в редакцию: 26.10.06