

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССА ПОДАВЛЕНИЯ ОБРАТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ МЕТОДОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Дубинка Е. С., аспирант; Маренич К. Н., зав. каф., д.т.н., проф.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Существующая тенденция к повышению мощности электропотребителей технологических участков шахт обуславливает необходимость подавления обратных энергетических потоков асинхронных двигателей, наличие которых создает прецедент поддержания опасного состояния электротехнического комплекса в том случае, если причиной защитного отключения стало короткое замыкание в силовом присоединении или утечка тока на землю.

Исследованиями [1] обосновано применение тиристорных короткозамыкателей на вводах асинхронных двигателей потребителей участка. Однако функция выявления аварийного процесса в электросети возложена на групповой автоматический выключатель распределителя. Это предполагает передачу управляющей команды (на срабатывание короткозамыкателей) по сигнальным жилам силовых кабелей, что в случае повреждения кабеля делает функцию защитного подавления обратного энергетического потока двигателя нереализуемой. Использование силовых коммутационных аппаратов ведет к существенному увеличению габаритов электроприводов, а применение управляемых полупроводниковых короткозамыкателей создает вероятность несанкционированного короткого замыкания в силовой цепи шахтного участка электротехнического комплекса.

Таким образом, научную и практическую актуальность приобретает задача создания компактных высокоэффективных безопасных средств подавления обратного энергетического потока АД в режиме выбега.

Анализ процессов в АД может быть выполнен на основе исследования многообмоточного трансформатора, обмотки которого имитируют цепи ротора, статора и включают в себя дополнительную обмотку воздействия на электромагнитные процессы, путем закорачивания которой, возможно подавление энергетического потока электрической машины. Этому состоянию соответствуют известные теоретические положения, относящиеся к описанию переходного процесса к.з. В частности, ток короткого замыкания i_k может быть представлен в виде суммы двух токов — установившегося тока к.з. $i_{уст}$ и свободного тока $i_{св}$ [2]:

$$i_k = i_{уст} + i_{св}$$

Установившийся ток к. з.:

$$i_{уст} = U_{1m} Z_k \sin(\omega t + \alpha_0 - \varphi_k) = \sqrt{2} I_{кз} \sin(\omega t + \alpha_0 - \varphi_k),$$

где $\varphi_k = \arctg(X_k/R_k)$.

Значение свободной составляющей тока $i_{св}$ определим исходя из:

$$\frac{L_k di_{св}}{dt} + R_k i_{св} = 0.$$

Откуда:

$$i_{св.} = C e^{-\left(\frac{R_k}{L_k}\right)t}.$$

Постоянная интегрирования C определяется в соответствии с правилом коммутации.

Если в момент времени $t=0$ ток был равен нулю или пренебрежимо мал по сравнению с током установившегося короткого замыкания, определим [2]:

$$\omega t = 0; \quad i_{к.св.} = Ce^0 = C;$$

$$i_{к}(t=0) = i_{куст.} + i_{к.св.} = \sqrt{2}I_{к.уст.} \sin(\alpha_{к} - \varphi_{к}) + C = 0;$$

$$C = -\sqrt{2}I_{к.уст.} \sin(\alpha_0 - \varphi_{к}).$$

Установившийся ток к. з. при питании трансформатора от источника электрической энергии бесконечно большой мощности с напряжением $U_{ном}$ можно выразить через номинальный ток трансформатора:

$$i_{куст.} = \left(\frac{U_{1ном}}{Z_k} \right) \left(\frac{I_{ном}}{I_{ном}} \right) = \frac{I_{ном} U_{1ном}}{U_k} = 100 I_{ном} / u_k.$$

Таким образом, ток к. з. может быть определен:

$$i_k = 100\sqrt{2}I_{ном} / u_k \left[\sin(\alpha_0 - \varphi_k) - \sin(\alpha_0 - \varphi_k) e^{-\left(\frac{R_k}{L_k}\right)t} \right].$$

В данном случае короткое замыкание в трансформаторе является аварийной ситуацией, однако за счет создания к.з. в специальной дополнительной обмотке возможно ограничение параметров обратного энергетического потока.

С целью решения этой задачи создана и исследована компьютерная модель (рис. 1). Точки контроля тока: А1 – на вводе генерирующей (роторной) обмотки; А2 – участок короткого замыкания; А3 – дополнительная обмотка закорачивания; А4 – величина тока утечки на землю; А5 – q – количество электричества.

Результаты исследования представлены на диаграммах и систематизированы (рис. 2 – рис. 4).

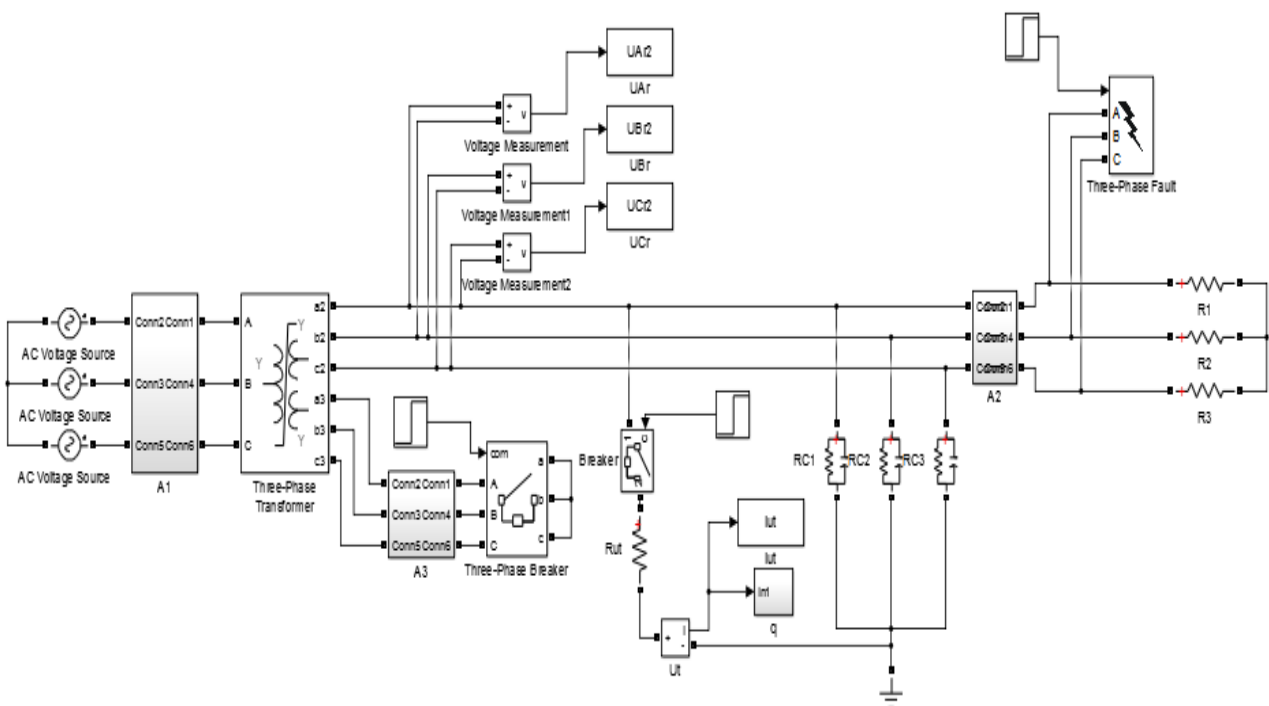


Рисунок 1 – Структура компьютерной модели трехфазной трансформаторной системы

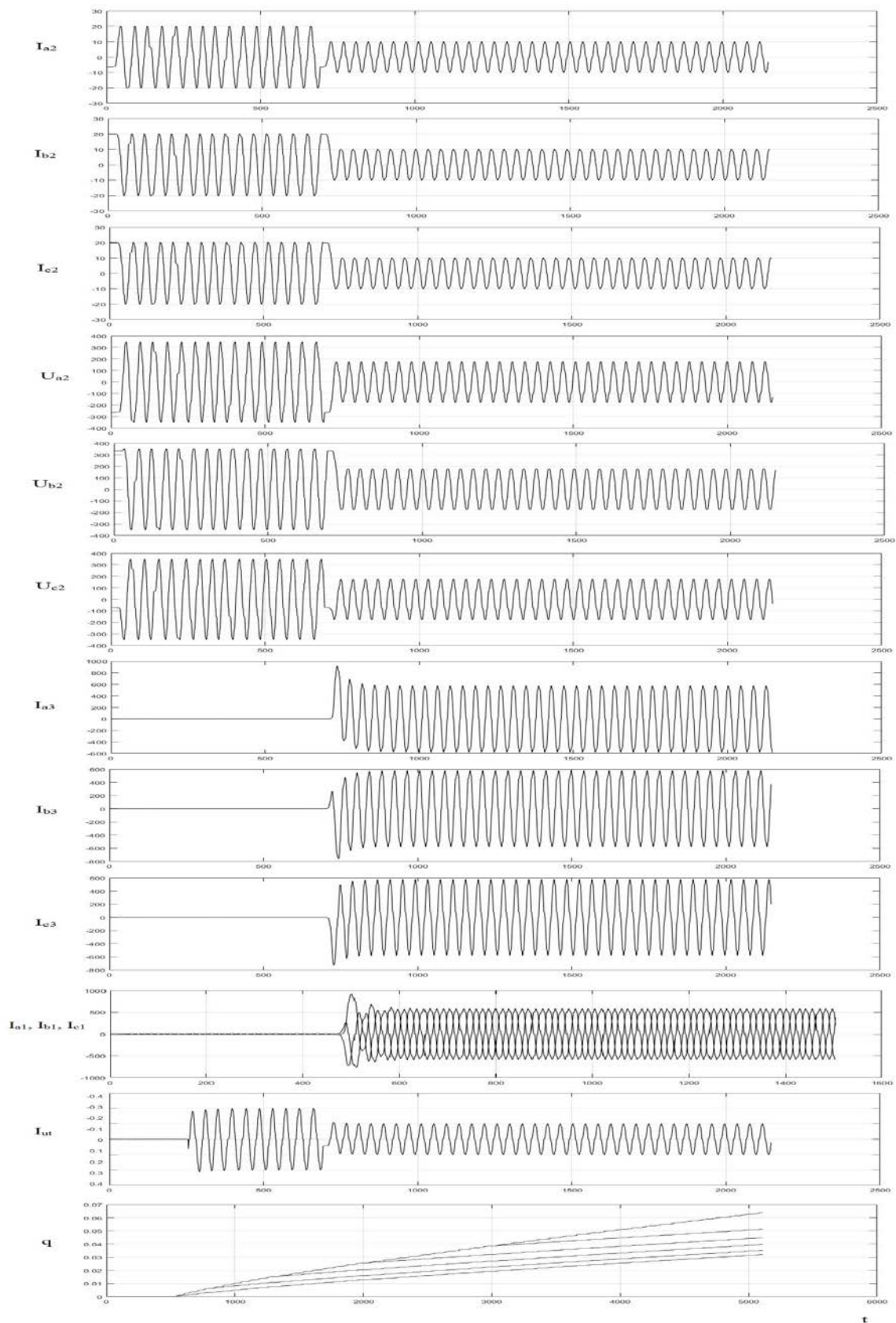


Рисунок 2 – Диаграммы изменения токов и напряжений в трансформаторных обмотках: I_{a2} , I_{b2} , I_{c2} , U_{a2} , U_{b2} , U_{c2} – токи напряжение фазы А, В, С рабочей обмотки трансформатора (W1); I_{a3} , I_{b3} , I_{c3} – ток фазы А, В, С дополнительной обмотки закорачивания (W3); I_{a1} , I_{b1} , I_{c1} – ток фазы А, В, С генерирующей (роторной) обмотки W2; $I_{ут}$ – ток утечки на землю, мА; q – количество электричества, мА·с

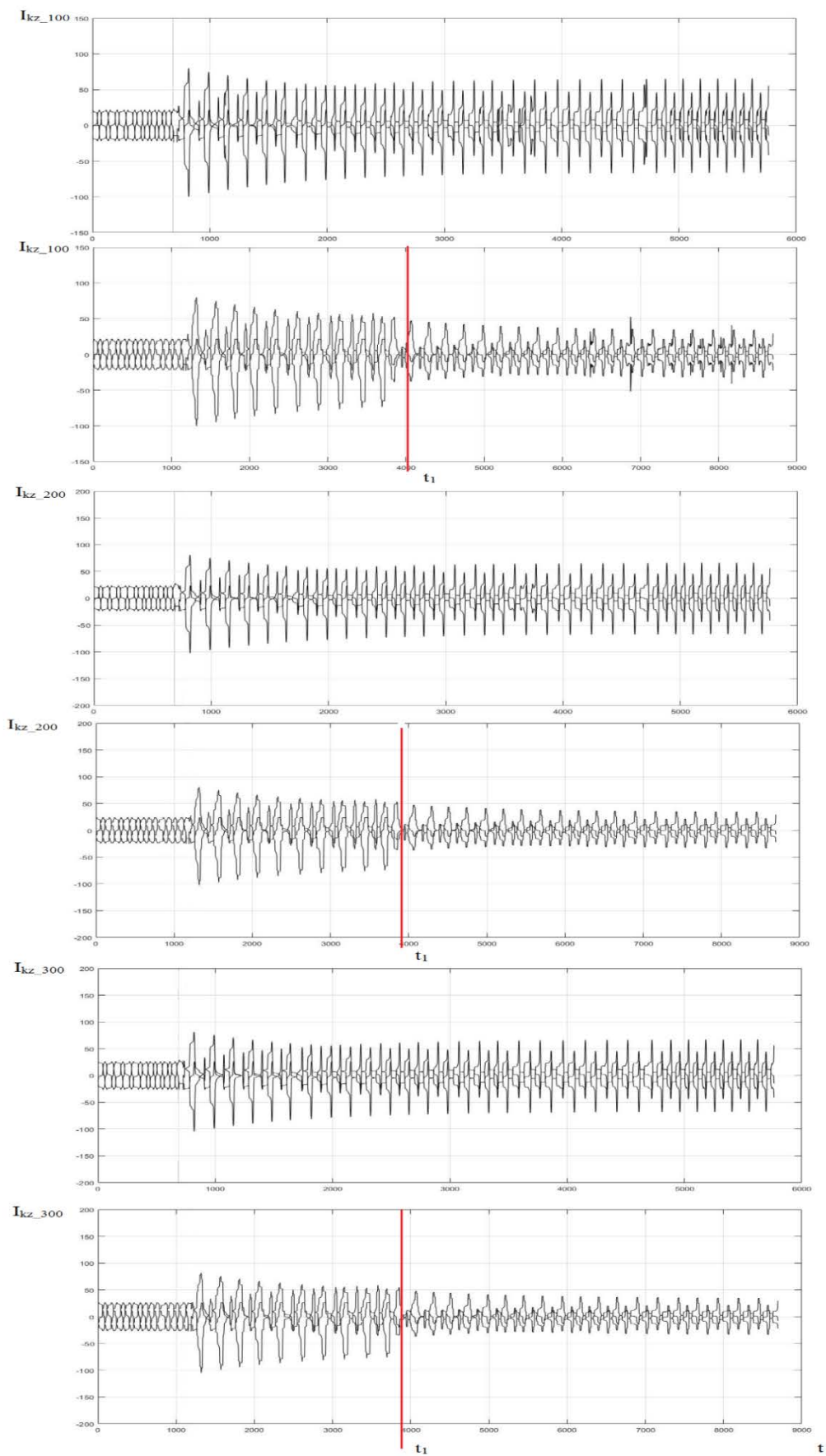


Рисунок 3 – Диаграммы тока с учетом возникновения междуфазного короткого замыкания и управляющего воздействия со стороны дополнительной обмотки статора в момент времени t_1

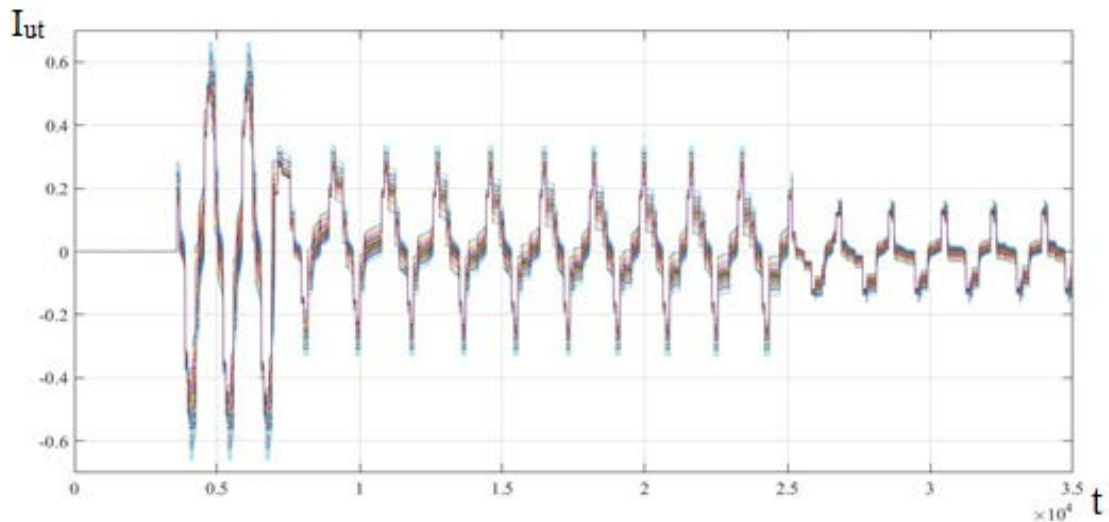


Рисунок 4 – Диаграмма тока утечки на землю

Разработанная модель позволяет получить результаты с учетом конкретных введенных параметров двигателя. Согласно значениям, принятым функциональных элементов, получены диаграммы: изменения токов и напряжений в трансформаторных обмотках, тока утечки на землю и количества электричества, которые свидетельствуют о существовании тенденции к ограничению тока короткого замыкания, снижению тока в цепи утечки, а также ограничению количества электричества q , однако для снижения q до безопасных значений необходимо увеличение времени существования режима короткого замыкания в дополнительной обмотке.

Для определения допустимого времени существования повышенных значений токов в сети воспользуемся формулой:

$$I_{don} = \frac{cs}{\sqrt{t}},$$

где c – коэффициент теплорассеивающей способности кабеля, $c=101$; s – сечение рабочей жилы кабеля, мм^2 ; t – время отключения, с.

Следовательно, допустимое время для кабеля сечением 70 мм^2 составляет $6,16$ с; 50 мм^2 – $5,0$ с; 35 мм^2 – $4,37$ с; 25 мм^2 – $3,69$ с. Учитывая, что длительность существования обратного энергетического потока 5 с, полученные значения свидетельствуют о достаточном снижении тока с целью ограничения обратного энергетического потока для кабелей сечением 50 , 35 и 25 мм^2 .

Таким образом, полученные результаты позволяют в дальнейшем рассчитать конкретные параметры на интервале выбега двигателя с целью ограничения параметров обратного энергетического потока.

Перечень ссылок

1. Маренич, К. Н. Синхронное двустороннее обесточивание поврежденного участка кабеля шахтной участковой электросети / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Уголь Украины : научный журнал. – Киев, 2011. – № 5. – С. 53–54.
2. Кацман, М. М. Электрические машины / М. М. Кацман. – Москва : Высш. шк. ; Издательский центр «Академия», 2001. – 463 с.
3. Маренич, К. М. Обґрунтування ефективності нейтралізації зворотної ЕРС двигунів як способу підвищення безпеки експлуатації електротехнічного комплексу дільниці шахти / К. М. Маренич, С. В. Василець // Технічна електродинаміка. – Киев, 2009. - № 2. – С. 42-47.
4. Маренич, К. Н. Теоретические основы и принципы применения защитного обесточивания рудничных электротехнических комплексов : монография / К. Н. Маренич. – Донецк : ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2015. – 234 с.