

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДВУХМАШИННОГО АГРЕГАТА ПРИ ДВУХФАЗНОМ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

В. О. Лапин

Научный руководитель – доцент В. А. Трефилов

Пермский государственный технический университет

В работе рассматриваются переходные процессы ДА при двухфазном коротком замыкании в распределительной сети с изолированной нейтралью.

Переходные процессы в ДА описываются дифференциальными уравнениями, представленными в [1]¹.

Токи короткого замыкания при двухфазном коротком замыкании представим токами на ответвлении (рис. 1).

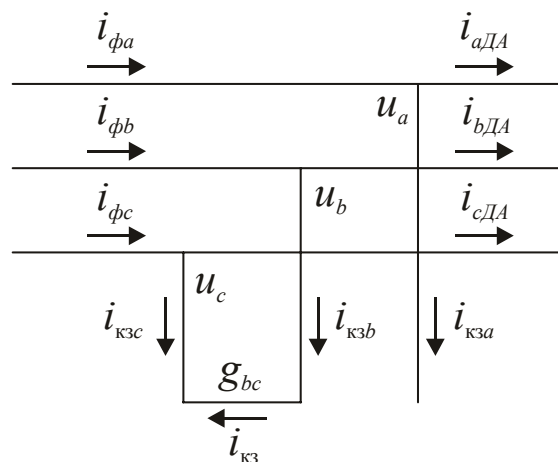


Рис. 1. Распределение токов в узле нагрузки

Из рисунка следует, что

$$i_{кза} = 0, i_{кзб} = i_{кз}, i_{кзс} = -i_{кз}.$$

¹ Мясников И. В., Трефилов В. А. Переходные процессы двухмашинного агрегата при продольной несимметрии (статья в данном сборнике).

Ток короткого замыкания определяется как

$$i_{кз} = u_{bc} \cdot g_{bc},$$

где g_{bc} – проводимость между линейными проводами.

Уравнения связи для узлов нагрузки записываем на основании 1-го закона Кирхгофа,

$$i_{фа} = i_{аДА}; \quad i_{фб} = i_{бДА} + i_{кзб}; \quad i_{фс} = i_{сДА} - i_{кзс}. \quad (1)$$

Напряжения, входящие в дифференциальные уравнения обмоток статоров двигателей ДА, определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} u_a &= e_a - i_{фа} r_{фа} - x_{фа} p i_{фа}, \\ u_b &= e_b - i_{фб} r_{фб} - x_{фб} p i_{фб}, \\ u_c &= e_c - i_{фс} r_{фс} - x_{фс} p i_{фс}, \end{aligned} \quad (2)$$

где напряжения источника

$$\begin{aligned} e_a &= E_m \sin \omega t; \\ e_b &= E_m \sin(\omega t - 2\pi/3); \\ e_c &= E_m \sin(\omega t + 2\pi/3). \end{aligned}$$

Математическая модель для исследования переходных процессов ДА при двухфазном коротком замыкании реализована в среде SIMULINK.

Двухфазное короткое замыкание моделируется блоком КЗ, в котором проводимость между линейными проводами B и C принята равной 1000 о.е.

В момент $t = 0,405$ с происходит короткое замыкание фаз B и C .

При коротком замыкании фаз B и C напряжения распределительной сети становятся несимметричными, причем напряжения закороченных фаз по величине уменьшаются в два раза и находятся в противофазе с напряжением неповрежденной фазы, то есть $u_b = u_c = -0,5 u_a$.

На рис. 2. показаны временные графики фазных токов статорных обмоток ДА. Короткое замыкание сопровождается значительным всплеском токов поврежденных фаз: амплитуды ударных токов фаз *C* и *B* соответственно равны 14,51 о.е. и 13,08 о.е., а неповрежденной фазы *A* – 2,507 о.е. Из рассмотрения кривых тока следует, что при двухфазном коротком замыкании токи двигателей ДА создают в пространстве неподвижный пульсирующий магнитный поток.

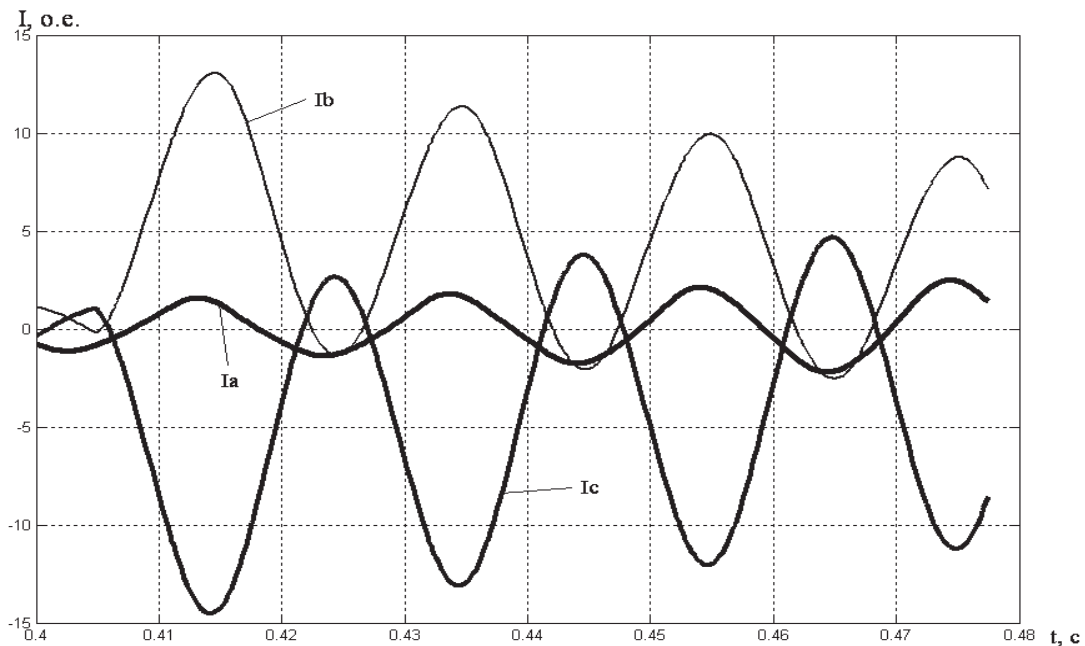


Рис. 2. Временные зависимости фазных токов ДА при двухфазном коротком замыкании фаз В и С питающей сети

На рис. 3. представлены графики электромагнитных моментов двигателей ДА. В кривых электромагнитных моментов при коротком замыкании появляется ярко выраженная составляющая двойной частоты. Амплитуды знакопеременной составляющей момента двойной частоты значительно превышают номинальные величины и составляют соответственно для СД – 9,4 о.е., для САД – 2 о.е., а для ДА – 11,5 о.е.

Результирующий синхронный момент двигателей и агрегата при этом уменьшается. Снижение результирующего синхронного момента приводит к появлению отрицательного

динамического момента, в результате чего частота вращения агрегата уменьшается.

Угол нагрузки агрегата увеличивается, и через некоторое время агрегат выпадает из синхронизма (рис. 4). В результате исследования процесса выбега установлено, что если короткое замыкание устраняется в течение времени, не превышающем $t=1,86$ с, то агрегат сохраняет динамическую устойчивость без применения ресинхронизации.

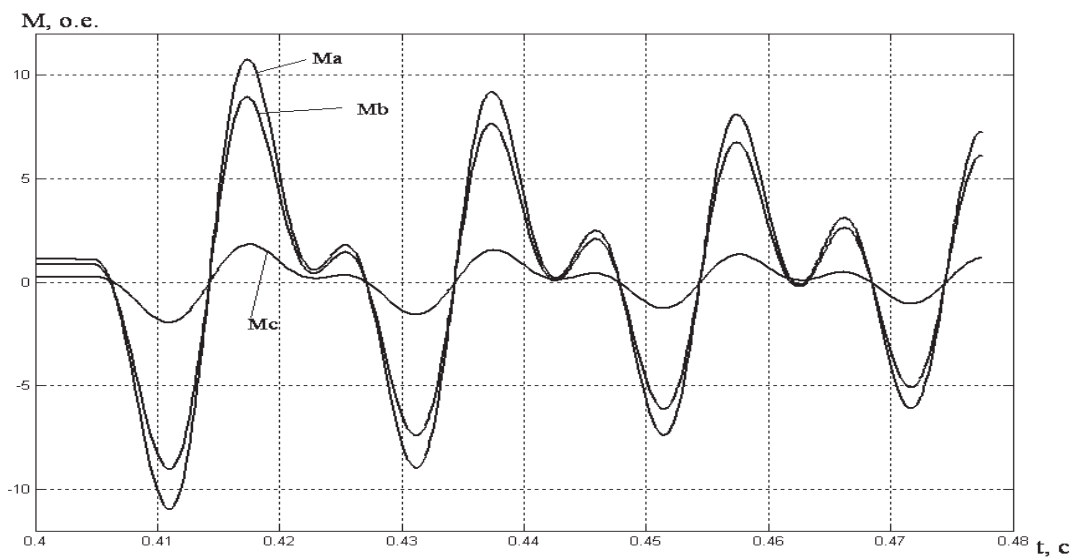


Рис. 3. Изменение моментов двигателей ДА и суммарного момента ДА при двухфазном коротком замыкании фаз В и С

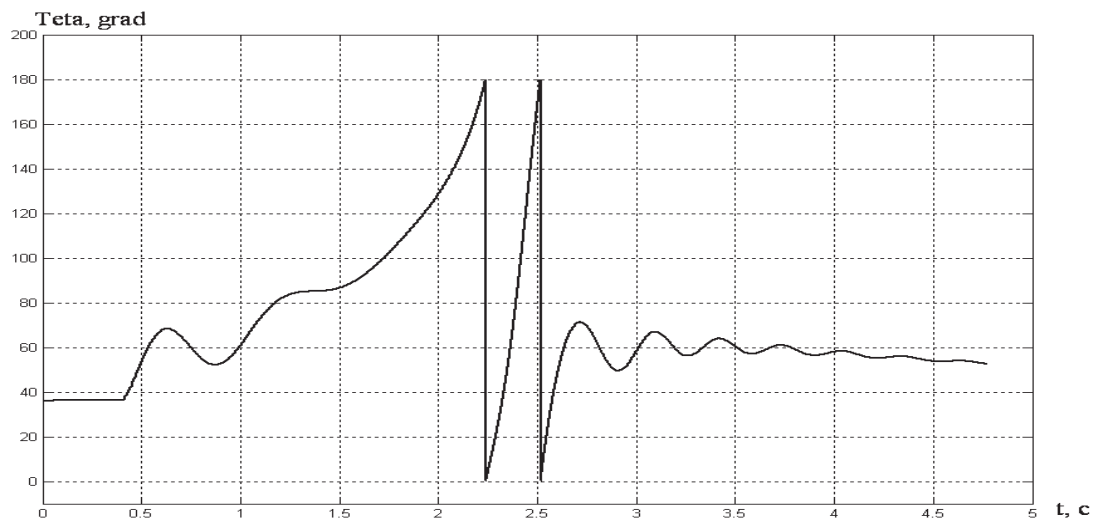


Рис. 4. Изменение угла нагрузки ДА при двухфазном коротком замыкании фаз В и С и его устранении в момент времени $t=1,865$ с

Исследованиями установлено, что амплитуды ударных моментов двойной частоты двигателей и агрегата при двухфазном коротком замыкании существенно зависят от момента времени, при котором оно происходит. Если момент времени начала короткого замыкания отсчитывать от нулевой фазы напряжения u_a , то эта зависимость представлена на рис. 5.

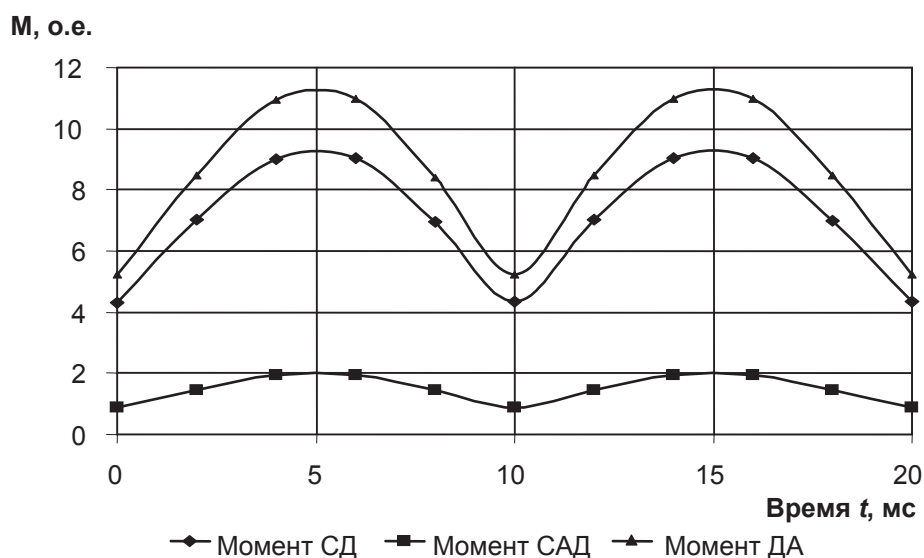


Рис. 5. Зависимость амплитуд ударных моментов двигателей ДА при двухфазном коротком замыкании фаз В и С в функции времени начала короткого замыкания

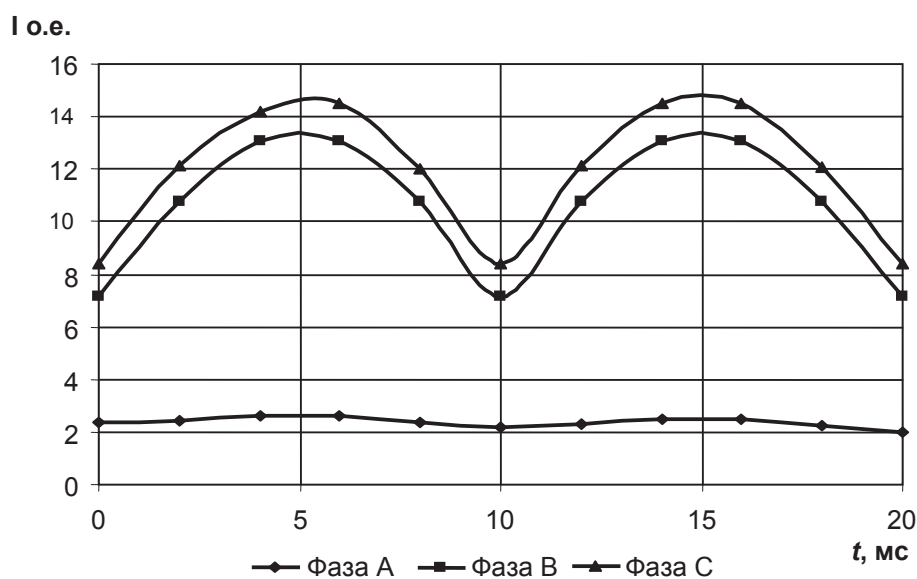


Рис. 6. Зависимость амплитуд ударных фазных токов ДА при двухфазном коротком замыкании фаз В и С в функции времени начала короткого замыкания

Наибольшая величина ударных моментов для СД составляет 9,045 о.е., для САД – 1,946 о.е., а для ДА – 10,99 о.е. Установлено также, что от момента начала короткого замыкания существенно зависят ударные токи ДА: наибольший ударный ток наблюдается в фазе *C*, для которой величина ударного тока составляет 14,51 о.е., для фазы *B* – 13,08 о.е., а для фазы *A* – 2,507 о.е. (рис. 6).

Вывод: переходный процесс при двухфазном коротком замыкании питающей сети сопровождается значительными по величине колебаниями моментов и токов двигателей, при этом ДА сохраняет динамическую устойчивость и не выпадает из синхронизма, если короткое замыкание устраняется в течение времени, не превышающем 1,86 с.

Получено 06.12.06.