

ОБ ОЦЕНКЕ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ В СОСТАВЕ ТОКА УТЕЧКИ ШАХТНОЙ УЧАСТКОВОЙ СЕТИ

Чорноус Е.В., Белинская И.И., Апухтин М.В.

Донецкий национальный технический университет

emitoe@yandex.ru

Для обеспечения безопасной эксплуатации электрических сетей и электрооборудования в горнодобывающей промышленности широко применяются аппараты защиты от токов утечки, содержащие дроссель для автоматической компенсации емкостной составляющей тока утечки на землю. Индуктивность такого дросселя регулируется в зависимости от длины кабельной сети (и, следовательно, от емкости ее фазы по отношению к земле) путем подмагничивания постоянным током [1]. Как всякая нелинейная цепь, дроссель со стальным сердечником является источником высших гармоник тока. Последние не только могут снизить компенсирующие свойства дросселя, но и усугубить тяжесть поражения человека, случайно оказавшегося под фазным напряжением сети и, таким образом, ставшего причиной однофазной утечки.

Цель данной работы – дать предварительную количественную оценку влияния высших гармоник в составе тока утечки на тяжесть поражения человека.

Предварительные исследования [2] указывают на то, что наиболее значимой из составляющих тока дросселя, является третья гармоника, которая через фильтр нулевой последовательности и далее через емкости “фаза кабеля – земля”, замыкается на землю. Часть этой составляющей проходит через тело человека, сопротивление которого параллельно суммарной емкости сети. Для оценки её влияния на тяжесть поражения человека необходимо определить долевое значение третьей гармоники в составе тока утечки.

Полученные в [3] математические модели участковой сети в режиме однофазной утечки, позволили получить функциональные зависимости, связывающие ток дросселя I_d , а также ток утечки (через тело человека) I_h в функции индуктивности дросселя L/L_0 (по отношению к резонансному значению L_0) и емкости сети C :

$$I_d = f(L/L_0, C); \quad (1)$$

$$I_h = f(L/L_0, C). \quad (2)$$

Графическое представление зависимостей (1, 2) приведено на рис. 1 и рис. 2.

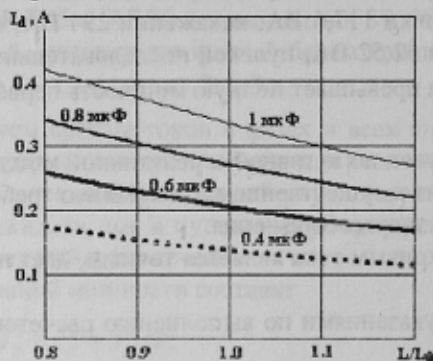


Рисунок 1 – Зависимости тока дросселя от величины его индуктивности и емкости сети

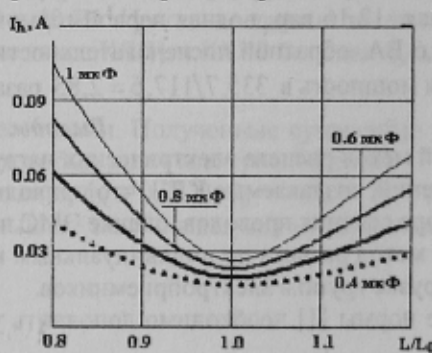


Рисунок 2 – Зависимости тока утечки от индуктивности дросселя и емкости сети

Вместе с тем, моделирование компенсирующего дросселя [2] позволило установить взаимосвязь между его током I_d , МДС управляющего подмагничивания F_0 , и значением его индуктивности L/L_0 :

$$I_d = f(F_0); \quad (3)$$

$$L/L_{max} = f(F_0); \quad (4)$$

Графическое представление зависимостей (3 и 4) приведено на рис. 3.

С другой стороны, выполненный гармонический анализ позволил установить долевую часть третьей $I_{d3}^{(3)}$ (а также пятой и седьмой) гармонических составляющих по отношению к суммарному току дросселя в функции того же намагничивающего фактора:

$$I_{d3}^{(3)}/I_d = f(F_0). \quad (5)$$

Основные результаты гармонического анализа приведены на рис. 4. Как и ожидалось, среди высших гармоник в составе тока преобладает третья, которая по действующему значению достигает 16% по отношению к результирующему току дросселя.

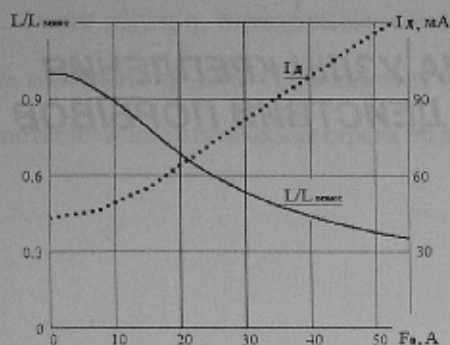


Рисунок 3 – Зависимости эквивалентной индуктивности L/L_{\max} и действующего значения тока дросселя I_d от величины управляющей намагничивающей силы F_0 .

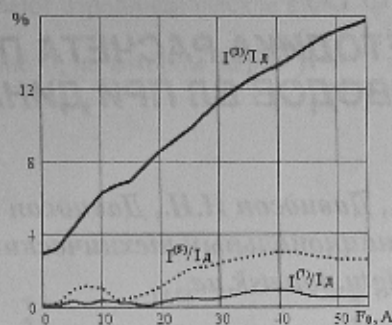


Рисунок 4 – Зависимости высших гармонических составляющих тока дросселя $I^{(n)}/I_d$ от значения управляющей намагничивающей силы F_0 . ($n = 3, 5, 7$)

По отношению к высшим гармоникам дроссель можно рассматривать как генератор тока. Это значит, что если тело человека, оказавшегося под фазным напряжением, включено параллельно трем фазным емкостям сети, то часть третьей гармоники, замыкающейся через его тело, определяется по формуле:

$$I_h^{(3)} = I_d^{(3)} \cdot \left| \frac{\frac{1}{j \cdot 9 \cdot \omega \cdot C}}{R_h + \frac{1}{j \cdot 9 \cdot \omega \cdot C}} \right| = \left| \frac{I_d^{(3)}}{1 + 9 \cdot R_h \cdot j \cdot \omega \cdot C} \right| \quad (6)$$

Таким образом, использование функциональных зависимостей (1 – 6) позволяет количественно оценить долевую часть третьей, наиболее выраженной высшей гармонической составляющей в составе тока утечки. Основные результаты этого анализа приведены на рис. 5.

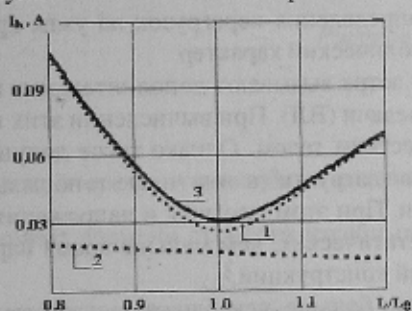


Рисунок 5 – Основные гармонические составляющие (действующие значения) тока через тело человека.

1 – первая гармоника;

2 – третья гармоника;

3 – результирующий ток через тело человека.

Условия численного эксперимента:

$C = 1$ мкФ/фазу; насыщение дросселя максимально; его добротность $Q = 25$;

доля третьей гармоники в составе его тока – 15 %

Выводы:

- управляемый дроссель выполняет свою основную функцию: компенсацию емкостной составляющей в составе тока утечки;
- при максимальной емкости сети ток через тело человека составляет от 28 до 32 мА, причем, долевая часть третьей гармоники в его составе достигает 10 %;
- при отклонении индуктивности дросселя от резонансного значения ток утечки интенсивно возрастает (рис. 2). Тяжесть поражения в этом случае практически полностью определяет первая гармоническая составляющая тока утечки;
- третья гармоника тока, на первом этапе (до защитного отключения), может повысить действующее значение тока утечки (и тяжесть поражения человека) на несколько процентов (до 10 %). При рассмотрении всей аварийной ситуации влияние третьей гармоники тока снижается в несколько раз (минимально в 2 раза);

Таким образом, результаты выполненного исследования можно считать аналитическим доказательством возможности применения нелинейного компенсирующего дросселя для решения задачи автоматической компенсации емкостной составляющей тока утечки. Существенное (не менее чем в 2 раза) уменьшение тока утечки перекрывает “добавку”, вносимую третьей гармоникой и составляющую от 2 до 5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзюбан В.С. Взрывозащищенные аппараты низкого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1993.
2. Белинская И.И. Моделирование управляемой магнитной цепи / И.И. Белинская, Е.В. Черноус // Электротехнические и электромеханические системы: Материалы Всеукраин. студен. науч.-техн. конф., г. Севастополь, 2-5 апреля 2007 г. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. — С. 38–39.
3. Ковалев А.П., Черноус В.П., Черноус Е.В. Математическое моделирование процессов в сети 660 В с изолированной нейтралью при компенсации токов утечки на землю // Электричество № 2/2004 С. 18-24.