

## ЗАЩИТА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДНИЧНОГО КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ОТ СВЕРХНАПРЯЖЕНИЙ В ПИТАЮЩЕЙ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

*Питання захисту тягового електроустаткування стали наріжним каменем в ефективності функціонування всього комплексу транспортної одиниці (електровоза, вагонів і тому подібне). Необхідність засобів захисту вимагає розробки методів оцінки їх ефективності. Цьому і присвячена дана стаття.*

**Введение.** Как свидетельствуют результаты исследований, природа сверхнапряжений в питающей контактной сети (ПКС) весьма разнообразна. Это и коммутационные помехи в электрооборудовании тяговых подстанций, и подключение и отключение от сети электровазов при оперативных и аварийных манипуляциях и т.п.

**Цель исследований.** Разработка методики оценки эффективности защиты тяговых электроприводов с помощью Г-образных фильтров от сверхнапряжений в питающей контактной сети.

**Материалы и результаты исследований.** В большинстве случаев наиболее вероятная причина «выброса» напряжения в ПКС связана с отключением или потерей электрического контакта между ней и токоприемником электровоза, так как в силу этого в ней возникает ЭДС самоиндукции распределенной индуктивности сети, как линии с распределенными параметрами [1, 2, 3]. Процесс возникновения импульса сверхнапряжения можно исследовать с помощью идеализированных схем замещения – рис. 1 с П-образным и рис. 2 с Г-образным входными фильтрами. Здесь LL – приведенная к сосредоточенной индуктивность ПКС; ZZ – фильтр с элементами CS, CZ, LZ; RW – исследуемая нагрузка; RU – параллельно действующая нагрузка, имитирующая электровоз, который отключается в процессе работы.

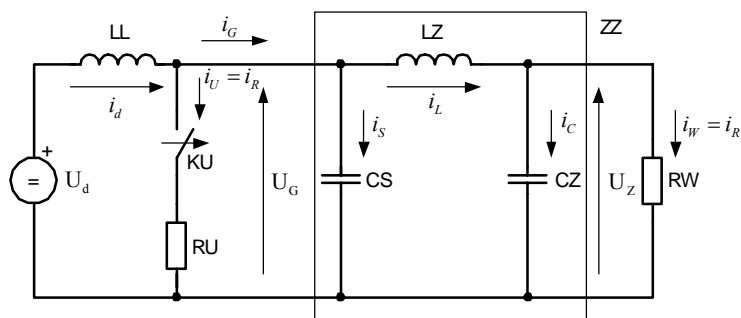


Рис. 1

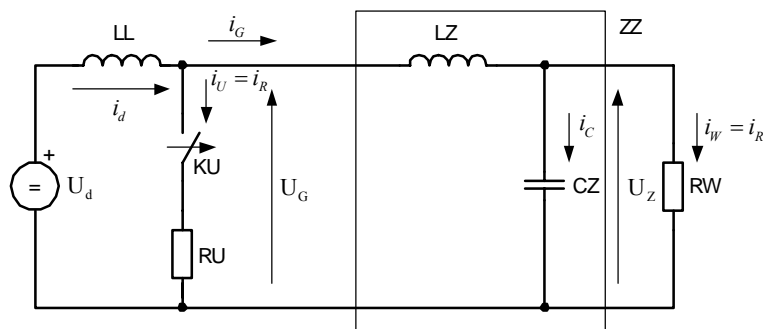


Рис. 2

Мощности нагрузок RW и RU и, следовательно, установившиеся в них токи полагаем равными. В установившемся статическом режиме  $i_d = 2i_R$ ;  $i_L = i_R$ .

При отключении нагрузки RU на оставшейся в работе нагрузке RW возникает импульс напряжения, обусловленный избыточной магнитной энергией

$$W_L = \frac{L_L \times i_R^2}{2}, \text{ накопленной в LL.}$$

Анализ показывает, что в случае применения схем с Г-образным фильтром этот «выброс» напряжения может многократно превышать величину  $U_d$ , что естественно предъявляет весьма жесткие требования к конструкции и изоляции дросселя. Несмотря на это, следует отме-

титель, что именно Г-образные фильтры нашли применение в тяговых электроприводах (ТЭП) различных видов транспортных установок, в том числе и в ТЭП электровозов с ШИП, где зарекомендовали себя как простые и надежные.

В схеме с П-образным фильтром избыточная энергия ПКС компенсируется входным конденсатором CS и чем больше его емкость, тем меньше пик напряжения на входе LZ. Однако величина избыточной энергии  $W_L$  сложно предсказуема, так как зависит от многих неизвестных – скорости отключения нагрузки RU, реальных распределенных параметров ПКС, расстояния между RU и RW и их удаления от тяговой подстанции, параметров источника питания и проч. Все это диктует необходимость применения специального типа конденсатора, воспринимающего и выдерживающего мощные зарядные импульсы тока и предопределяет завышенные величины его емкости.

Определить и оценить параметры входного конденсатора CS предлагается следующим образом. Поскольку индуктивность фильтра LZ достаточно велика, то влиянием LZ – CZ и нагрузки RW на процесс в первый момент можно пренебречь, тогда схема по рис. 1 сводится к простейшей схеме по рис. 3.

Начальные условия при включенном КУ:

$$I_{do} = I_{RO} = \frac{U_d}{R}; R = R_U; I_{SO} = 0; U_{GO} = U_d.$$

При отключении КУ возникает колебательный процесс:

$$u_G = U_d + U_d \frac{\rho_L}{R} \sin \omega_L t; \quad (1)$$

$$i_S = \frac{U_d}{R} \cos \omega_L t; \quad (2)$$

где 
$$\rho_L = \sqrt{\frac{L_L}{C_S}}; \quad \omega_L = \frac{1}{\sqrt{L_L \times C_S}}; \quad (3)$$

$$R = \frac{U_{dH}^2}{2P_{HЭ}} = \frac{U_{dH}}{2I_{dH}}. \quad (4)$$

Коэффициент «2» учитывает пару тяговых двигателей. В соответствии со структурой данного ТЭП, подставляя (4) в (1) и полагая  $\sin \omega_L t = 1$ , находим максимальное значение выброса напряжения на входном конденсаторе CS (превышения над  $U_d$ ):

$$\Delta U = \sqrt{\frac{L_L}{C_S}} \times 2I_{dH}. \quad (5)$$

Откуда 
$$C_S = \frac{4L_L \times I_{dH}^2}{\Delta U^2}. \quad (6)$$

Задавая допустимое значение  $\Delta U$ , находим  $C_S$ . В данном случае  $L_L = 9$  мГн максимально возможное;  $I_{dH} = 330$  А;  $I_{d_{МАКС}} = 420$  А (пуск);  $\Delta U = 0,2U_{dH} = 0,2 \times 750 = 150$  В;

$$C_S = \frac{4 \times 9 \times 10^{-3} \times 330^2}{150^2} = 174 \times 10^{-3} \text{ Ф}.$$

Оценивая полученные параметры  $C_S$ , можно утверждать, что разместить конденсаторы с требуемой емкостью 175 мФ и напряжением 1000 В в габаритах различных электровозов (к примеру) практически нереально, т.е. применение П-образного фильтра с необходимыми для достаточной фильтрации параметрами в тяговом электроприводе для данных условий исключено.

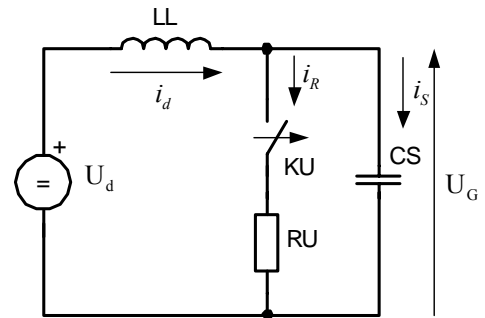


Рис. 3

Это требует дополнительного поиска приемлемых схем и вариантов. При этом дополнительно необходимо учесть, что в Г-образном фильтре конденсатор CZ кроме функций фильтрации и защиты может и должен быть предназначен также для накопления энергии, необходимой для предварительного возбуждения тяговых двигателей в начале резисторного торможения, когда обмотки возбуждения двигателей подпитываются от конденсатора CZ.

Таким образом, должно быть  $W_B = K_B \times P_H \times t_B \approx 10^{-3} \times 110000 \times 1 = 110 \text{ ВА} \times \text{с}$ ;  $W_c = \frac{U_{дН}^2 \times C_Z}{2}$ ;

$W_B = W_c$ . Тогда  $C_Z = \frac{2 \times 110}{750^2} = 0,4 \times 10^{-3} \text{ Ф} = 400 \text{ мкФ}$ .

Здесь необходимо иметь в виду, что использование энергии конденсатора CZ для предвозбуждения ТЭД является избыточным моментом и служит лишь для подстраховки и надежного торможения, поскольку практически для самовозбуждения тяговых двигателей достаточно остаточного намагничивания полюсов двигателей [2].

**Выводы.** 1. Защита тягового электрооборудования контактных электровозов от сверхнапряжений на требуемом уровне обеспечивается Г-образным LC-фильтром.

2. Для обеспечения надежности LC-фильтра при защите тягового электропривода электровоза от сверхнапряжений необходимо усовершенствование конструкции слагаемых элементов (емкости).

*Вопросы защиты тягового электрооборудования стали «краеугольным камнем» в эффективности функционирования всего комплекса транспортной единицы (электровоза, вагонов и тому подобное). Необходимость средств защиты требует разработки методов оценки их эффективности. Этому и посвящена данная статья.*

*Questions of defence of hauling electrical equipment were a «head stone» in efficiency functioning of all of complex of transportmobile unit (electric locomotive, carriages etc.). Development of facilities of defence with the required level of employment, requires development of methods of estimation of their efficiency. This article is devoted it.*

1. Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилипинский В.В. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания. – К.: 1990. – 167 с.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. – 98 с.
3. Штибен Г.А. Выбор фильтра для электроподвижного состава с импульсным регулированием напряжения // Электротехника. – 1972. – №4. – С. 19–22.

Надійшла 14.09.2009