

ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ШИМ НАПРЯЖЕНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Синчук О.Н., д.т.н., проф.

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

E-mail: energy@polytech.poltava.ua

Мельник О.Е., ассистент

Международная академия управления персоналом (Криворожский филиал)

Чернышев А.А., инж., Лозовой Д.Ю.

ЗАО «Электромеханические заводы Украины»

У статті розглядаються питання забезпечення необхідного рівня ЕМС тягових електроприводів постійного струму з IGBT-перетворювачами рудничних електровозів. Запропонована методика обґрунтування і вибору структур та параметрів електричних фільтрів.

Ключові слова: тяговий електропривод, IGBT-модулі, електричні фільтри.

In clause the questions of maintenance of a necessary level EMC of electric drives of a constant current with IGBT-converters of miner electric locomotives are considered. The offered technique of a substantiation both choice of structures and parameters of electrical filters

Key words: traction electric drive, IGBT-modules, filters.

Ведение. Развитие современной элементной базы преобразовательной техники, в частности IGBT-транзисторов, позволило реально подойти к практической реализации идеи создания высокоэффективного и энергоэкономичного тягового электропривода (ТЭП) для рудничных электровозов (РЭ), отечественный парк которых насчитывает более 2 тыс. единиц.

Постановка задачи исследований. Применение тяговых электроприводов с IGBT-преобразователями, повышая энергоэффективность ТЭП и решая целый ряд энергоэнергетических проблем последних как электро-механических комплексов, все же требует разрешения ряда проблем, связанных с ШИМ напряжения питания приводных тяговых двигателей.

Одной из ключевых представляется проблема электромагнитной совместимости IGBT-преобразователя ТЭП с питающей контактной сетью (ПКС)

Материал и результаты исследования. Элементную базу ШИП первого поколения, как известно, составляли однооперационные тиристоры, время принудительной коммутации которых находится в диапазоне 50...150 мкс. Путем принудительной коммутации тиристоры ШИП отключаются от ПКС, обладающей распределенной индуктивностью, что ведет к возникновению промышленных радиопомех с частотой порядка $f_p = 7...20$ кГц. Промышленные радиопомехи опасны тем, что приводят к сбою работы микропроцессорных систем, систем связи и автоматики, питающихся от той же сети.

Защита ПКС от высокочастотных помех осуществляется путем снижения уровня излучения, для чего на входе ШИП устанавливают LC-фильтр.

Согласно ГОСТ 16842-82, ГОСТ 14777-76 и

нормам 1-63 нижний уровень частоты промышленных радиопомех составляет 10 кГц. При международном стандарте распределения радиодиапазонов, принята нижняя граница радиопомех $f_p \geq 9$ кГц.

Помехи с частотой менее 9 кГц классифицируются как промышленные низкочастотные помехи [1].

Для исследований, авторами с необходимым «запасом» принят нижний предел частоты промышленных радиопомех: $f_{p\min} = 8$ кГц.

Поскольку частота помех, генерируемых тиристорными ШИП в процессе принудительной коммутации, одного порядка со стандартным минимумом, то требования к фильтру этих помех не высоки. Так, для ТЭП с тиристорными ШИП в якорной цепи ТЭД последовательного возбуждения применяют «христоматийный» Г-образный входной LC-фильтр [2], который относится к разряду низкочастотных второго порядка и в общем виде в операторной форме описывается передаточной функцией [2]:

$$W(p) = \frac{U_z(p)}{U_G(p)} = \frac{1}{1 + ap + bp^2}, \quad (1)$$

где $a = RC$; $b = LC$.

Заменяя оператор комплексной переменной $P = j\omega$, получаем частотную характеристику фильтра в комплексной форме:

$$W(j\omega) = \mathfrak{W} = \frac{1}{1 + j\omega RC - \omega^2 LC}, \quad (2)$$

которая графически представляется либо в виде диаграммы Боде $a_z = 20 \lg |\mathfrak{W}| = Ff/f_m$, либо логарифмической амплитудно-частотной характеристикой (ЛАЧХ) $\lg |\mathfrak{W}| = F(\omega)$.

Параметры элементов фильтра в слаботорных

цепях принимают, исходя из следующих соотношений:

$$R = \frac{a}{\omega_z C}; L = \frac{b}{\omega_z^2 C}.$$

Коэффициенты a и b зависят от типа фильтра – с критическим затуханием, Баттерворта, Бесселя или Чебышева [2].

В нашем случае, во избежание потерь мощности в силовой цепи, активное сопротивление R стремятся свести к нулю, тогда:

$$W(\omega) = \frac{1}{1 - \omega^2 LC}, \quad (3)$$

где $\omega_m = 2\pi f_m = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $\omega_z = 2\omega_m$; $\omega_z/\omega_m = \nu$ – относительная частота.

При этом передаточная функция предстает в нормированном виде:

$$W = \frac{1}{1 - \nu^2} \quad (4)$$

Реакция фильтра на воздействие, например, прямоугольных импульсов напряжения со стороны ПКС при отключенном ШИП, в общем виде описывается временной функцией:

$$W_z = E_G \left[1 - \frac{\omega_m}{\omega_R} \exp(-\delta t) \sin(\omega_R t + \psi_R) \right], \quad (5)$$

где E_G – амплитуда прямоугольного импульса напряжения на входе фильтра; $\omega_R = \sqrt{|\delta^2 - \omega_m^2|}$ – собственная круговая частота реального контура; $\delta = R/2L$ – коэффициент затухания контура; $\psi_R = \arctg \frac{\omega_R}{\delta}$ – фазовый сдвиг.

В идеальном контуре максимальная амплитуда напряжения на выходе фильтра $U_{Zmax} = 2E_G$, что опасно для элементов ШИП и, следовательно, требует разработки защитных мер.

Таким образом, теоретическое рассмотрение возможностей и недостатков Г-образного фильтра с учетом его практического применения позволяет сделать вывод о достаточной приемлемости Г-образного фильтра в качестве базового для дальнейших исследований в части защиты ПКС от промышленных радиопомех, генерируемых ШИП тягового электропривода.

При этом представляет интерес использование П-образного фильтра, который находит широкое применение в общепромышленных электроприводах на базе IGB-транзисторных ШИП. Последнее обстоятельство диктует применения более эффективной схемы фильтра. Дело в том, что IGB-транзисторный ШИП генерирует промышленные радиопомехи на два порядка более высокой частоты, чем тиристорный ШИП, – на уровне 1...3 МГц, вследствие чрезвычайно малых времен включения и отключения IGBT. Это предъявляет к фильтрам систем с IGBT более серьезные требования, особенно, в части применяемой элементной базы.

Обычно входные фильтры общепромышленных электроприводов выполняются по симметричной П-

образной схеме (рис. 1).

Параметры такой симметричной П-образной схемы:

$$C_S = C_Z = \frac{C}{2}; R_S = R_Z = 2R; L_Z = L, \quad (6)$$

$$f_Z = \frac{f_{Pmin}}{2} = 4кГц = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}. \quad (7)$$

Из (7) следует $lc = 6333 \times 10^{-6} \times 10^{-6} \text{ Гн} \times \Phi$.

Или $L[\text{мкГн}] \times C[\text{мкФ}] = 6333$ (8)

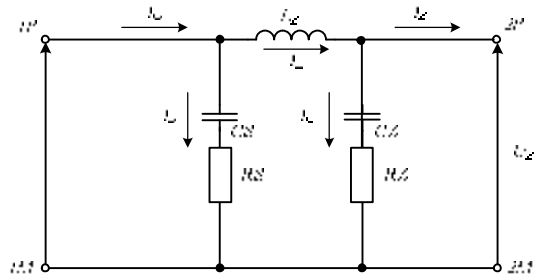


Рис. 1 – Симметричная П-образная схема входного фильтра общепромышленного привода

Волновое сопротивление $\rho = \sqrt{L/C}$ для аперического характера процесса фильтрации должно быть менее $\frac{R}{2}$.

При выборе параметров фильтра необходимо также учитывать броски зарядного тока конденсаторов при подаче на них полного напряжения питания при включении линейного (ходового) контактора. Амплитуда зарядного тока входного конденсатора C_S при включении линейного контактора:

$$I_{Sm} = \frac{U_G}{R_S} < I_{CSpeak}. \quad (9)$$

При этом желательно избежать применения устройств предварительного заряда конденсаторов с целью упрощения схемы ТЭП.

Выводы. 1. Изложенные соображения могут служить основой при разработке электрических фильтров для ТЭП.

2. Проведенные авторами исследования позволили использовать вышеизложенные теоретические предпосылки для разработки фильтров ТЭП рудничных электровозов с учетом спецификации последних и различий их параметров, что безусловно, повлияв на конечный результат исследований, не подвергло сомнению саму методологию разработки компенсирующих устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилинский В.В.. Подавления электромагнитных помех в цепях электропитания. К.: Техника, 1960. – 167 с.
2. Штинберг Г.А. Выбор фильтра для электроподвижного состава с импульсным регулированием напряжения // Электротехника. – 1972. – №4. – с. 19-22.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир. – 1982. – 98 с.

Стаття надійшла 15.03.2008 р.