

УДК 621.314.2

С. А. ГУЛАК, старший преподаватель, А. Ю. СЛЕПУХИН, старший преподаватель, Ю. М. ЧЕРНЫХ, кандидат технических наук, Э. К. ЕРМОЛЕНКО, студент группы 1-ЕТ-спец., Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев, Украина

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С КОЛЛЕКТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Рассматривается метод улучшения кривой питающего напряжения тягового привода электровозов переменного тока с коллекторными двигателями путем уменьшения высших гармонических составляющих напряжения питания. Приведен пример построения схемы уменьшения высших гармоник питающего напряжения тягового привода.

Юго-Западная, Одесская, часть Львовской и Южной дорог Укрзалізничці електрифіцированы переменным током. Основными грузовыми электровозами были и остаются электровозы переменного тока ВЛ-80^{Т.К} с коллекторными тяговыми двигателями и регулированием напряжения на тяговых электродвигателях (ТЭД) путём переключения обмоток трансформатора на вторичной стороне. Потребление активной мощности на тягу поездов на Юго-Западной дороге составило в 2012 г. 1140660 тыс. кВт, реактивной – 335113,5 тыс. кВАр, т.е. суммарный коэффициент мощности электроподвижного состава (ЭПС) $\cos \varphi = 0,773$. По требованию национальной комиссии, которая осуществляет государственное регулирование в области энергетики, коэффициент мощности потребителей должен быть не менее 0,9 ($\cos \varphi \geq 0,9$). Как видно из приведенных данных, вопрос повышения коэффициента мощности на сегодняшний день является актуальным.

Анализируя факторы, которые влияют на величину коэффициента мощности, можно выделить основные:

- сдвиг фаз между напряжением питания и током, что протекает в цепи ТЭД, обусловленный тем, что тяговый привод имеет активно-индуктивное сопротивление;
- наличие высших гармоник питающего напряжения тягового привода.

Компенсированию реактивной мощности в цепях тягового привода посвящено много работ. В них предлагается компенсировать реактивную мощность путем включения дополнительной емкостной нагрузки в цепь тягового привода. Это приведет к компенсации индуктивного сопротивления, что, в свою очередь, приведет к уменьшению угла сдвига между питающим напряжением и током в цепях ТЭД. Поскольку вносимые дополнительные емкости выполняют также роль фильтра, то с их помощью могут быть отфильтрованы и высшие

гармоники. Всегда ли эффективен метод пассивной фильтрации для уменьшения высших гармоник питающего напряжения тягового привода электровозов переменного тока? Для анализа природы появления высших гармоник удобно воспользоваться структурной схемой тягового привода, показанной на рисунке 1, где ВУ – выпрямительная установка, СР – сглаживающий реактор, ТД – тяговый двигатель, ТР – тяговый редуктор.

Основные уравнения системы электропривода в относительных единицах:

$$\bar{\omega}_1 = f(\bar{I}) \tag{1}$$

$$T_{\text{я}} \frac{d\bar{I}}{dt} = \frac{\bar{U} - \bar{\Phi} \bar{\omega}_1 - \bar{I} \bar{R}}{\bar{r}_{\text{я}}} \tag{2}$$

$$\bar{\Phi} = \frac{1 - |\bar{I}| \bar{r}_{\text{я}}}{\bar{\omega}_1 (1 - \bar{r}_{\text{я}})} \tag{3}$$

$$T_{\text{дв}} \frac{d\bar{\omega}_1}{dt} = \bar{\Phi} \bar{I} - \bar{M}_{12} - \bar{\Delta M} \tag{4}$$

$$T_{\text{рп}} \frac{d\bar{\omega}_2}{dt} = \bar{M}_{12} - \bar{M}_{\text{рп}} \tag{5}$$

$$T_{\text{с}} \frac{d\bar{M}_{12}}{dt} = \bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_2 \tag{6}$$

$$\bar{\Delta M} = \bar{M}_{\text{х}} + \bar{M}_{\text{пер}} \tag{7}$$

$$\bar{\Delta M}_{\text{рп}} = \bar{M}_{\text{с}} - \bar{\Delta M} \tag{8}$$

где $r_{\text{я}} = r_{\text{оя}} + r_{\text{дп}} + r_{\text{оз}}$ – внутреннее сопротивление якорной цепи ($r_{\text{оя}}$ – внутреннее сопротивление обмотки якоря; $r_{\text{дп}}$ – внутреннее сопротивление дополнительных полюсов; $r_{\text{оз}}$ – внутреннее сопротивление обмотки возбуждения); $R_{\text{я}} = r + R_i$ – полное сопротивление якорной цепи, что включает внутреннее сопротивление якорной цепи и активное сопротивление вторичной обмотки тягового трансформатора на i -ой ступени; $M_{\text{х}}$ – момент

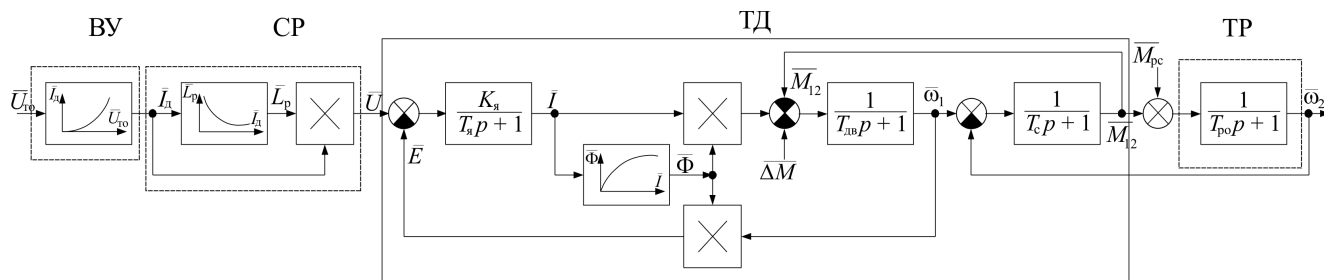


Рисунок 1 – Структурная схема тягового привода

холостого хода двигателя; M_c – статический момент сопротивления; M_{12} – вращательный момент на валу двигателя; $\Delta M_{пер}$ – момент переходных процессов; $T_я$ – электромагнитная постоянная якорной цепи; $T_{дв}$ – механическая постоянная двигателя; T_c – механическая постоянная упругого звена; $T_{рo}$ – механическая постоянная рабочего органа (редуктора).

Из рисунка 1 видно, что высшие гармоники в цепи тягового привода возникают из-за нелинейных соотношений между величиной тока и напряжения в выпрямительной установке, между величиной индуктивности и тока в сглаживающем реакторе и между магнитным потоком и током в обмотках двигателя. При частоте напряжения питания 50 Гц частоты высших гармоник будут кратны 50 Гц. Применение пассивных компенсаторов реактивной мощности фильтрация высших гармоник может быть эффективной, если частота среза фильтров, созданных вносимой емкостью, будет 50 Гц. В электровозах серии ВЛ-80^{Т,К} в качестве электродвигателей вспомогательных машин применяются асинхронные двигатели. В цепях вспомогательных машин будут также высшие гармоники, но частоты этих гармоник будут меньше 50 Гц. Нелинейное напряжение цепи вспомогательных машин через обмотку трансформатора будет накладываться на напряжение питания тягового привода. И фильтр нижних частот, настроенный на частоту 50 Гц, не сможет фильтровать гармоники с более низкой частотой. С другой стороны, если вносимая в цепь тягового привода емкость, необходимая для компенсации угла сдвига между напряжением питания и током, образует фильтр, частота среза которого больше 50 Гц, он тоже может пропускать высшие гармоники.

Предлагается для компенсации высших гармоник в тяговом приводе применить схему автоматического управления формой напряжения питания с моделью, параметры которой будут настраиваться на линейный режим работы выпрямительной установки, сглаживающего реактора, тягового двигателя на каждой ступени. Напряжение питания, соответствующее i -й ступени, будет подаваться на тяговый привод и модель. При сравнении выходных параметров нелинейного тягового привода и линейной модели будет вырабатываться сигнал рассогласования, с помощью которого будет корректироваться форма питающего напряжения.

По способу достижения эффекта самонастройки системы автоматического управления (САУ) с моделями делятся на два вида:

- САУ с сигнальной (пассивной) настройкой;
- САУ с параметрической (активной) настройкой.

САУ с сигнальной настройкой имеют достаточно простое конструктивное решение, но обеспечивают необходимое качество управления в ограниченном диапазоне изменения параметров объекта. Поскольку напряжение питания тягового привода может меняться в довольно-таки большом диапазоне, то более целесообразно использовать САУ с параметрической (активной) настройкой. В САУ с параметрической настройкой

наиболее распространенными методами формирования сигналов самонастройки есть градиентный и метод функций Ляпунова. Градиентные методы синтеза позволяют решить поставленную задачу, но не гарантируют устойчивой работы полученной системы. Поэтому система будет строиться с помощью метода функций Ляпунова, структурная схема которой приведена на рисунке 2 [2], где объектом обозначен тяговый привод; x – напряжение, которое соответствует i -й ступени; y – частота вращения вала двигателя; y_M – частота вращения привода модели; g – сигнал рассогласования; u – скорректированное напряжение питания тягового привода.

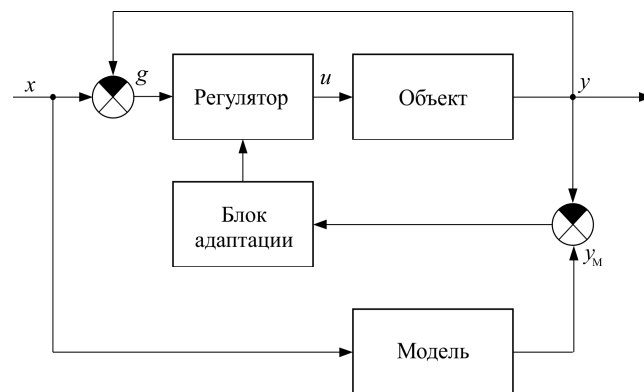


Рисунок 2 – САУ с параметрической настройкой

Модель удобнее реализовывать с помощью микропроцессорной техники. При реализации модели на микропроцессоре период дискретизации

$$T \leq \frac{1}{(2-3)F_{\max}}, \quad (9)$$

где F_{\max} выбирается из следующих соображений: согласно ГОСТ 13109-97 при расчете коэффициента нелинейности следует учитывать первые семь гармоник, т.е. $F_{\max} = 7f_c = 7 \cdot 50 = 350$ Гц.

Подводя итог, следует сделать вывод, что применение системы автоматического управления формой напряжения питания совместно с пассивными компенсаторами реактивной мощности увеличивает коэффициент мощности электровозов серий ВЛ-80^{Т,К}, что позволит уменьшить расход реактивной мощности на тягу поездов.

Список литературы

- 1 Основы автоматизированного электропривода : учеб. пособие для вузов / М. Г. Чиликин [и др.]. – М. : Энергия, 1974. – 568 с.
- 2 Тютюнник, А. Г. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування : навч. посіб. / А. Г. Тютюнник. – Житомир : ЖІТІ, 1998. – 512 с.
- 3 ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Получено 12.05.2014

S. O. Gulak, A. Y. Slepuhin, Y. M. Chernyh, E. K. Ermolenko. Method to reduce harmonics in a traction drive supply voltage AC electric with commutator motor.

This article discusses a method of improving the voltage waveform power traction drive electric AC commutator motors by reducing the higher harmonic components of the voltage. The construction of the higher harmonics reduction circuit voltage traction drive is an example.