

УДК: 621.316.91:621.335.0

К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ МИНИМИЗАЦИИ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ УПРАВЛЕНИИ

Синчук О.Н., д.т.н., проф., Гальченко Н.А., доц., Мельник О.Е., асп., Черная В.О., асп. Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского 39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20 E-mail: energy@polytech.poltava.ua

В статті приведені результати досліджень з аналізу втрат потужності в тягових двигунах постійного струму при імпульсному регулюванні напруги.

Ключові слова: пульсація, двигун, втрати, імпульсне керування.

In article cite survey of analysis of power loss in traction direct current motor of pulse control voltage.

Key words: pulsation, engine, waste, pulse control.

Введение. Величина переменной составляющей потерь в тяговых электрических двигателях (ТЭД) постоянного тока последовательного возбуждения зависит от ряда факторов, часть из которых изменяется в процессе регулирования случайным образом (уровень напряжения в контактной сети, нагрузка на валу двигателя и т.д.). Поэтому, существующие способы управления, основанные на принципе регулирования скважности импульсов преобразователя в функции входного сигнала управления, не обеспечивают требуемое качество работы систем импульсного регулирования напряжения питания ТЭД.

Применение электроэнергоэффективных систем управления (СУ) тяговыми электроприводами (ТЭП) с импульсными преобразователями напряжения, помимо общего положительного эффекта сопровождается отдельными негативными моментами и, в частности, появлением дополнительных потерь электрической энергии (ЭЭ).

Цель работы – разработка способов и средств минимизации пульсационных потерь в тяговых двигателях.

Материал и результаты исследования. Проведенные исследования позволили разработать способ управления, который заключается в том, что одновременно изменяют частоту и скважность импульсов управления импульсного преобразователя. При этом изменяется величина переменной составляющей тока двигателя, сравнивается с заданной и по результатам сравнения формируют напряжение управления частотой задающего генератора системы управления.

В этом случае для напряжения управления $U_{упр}(t)$ можно записать

$$U_{упр}(t) = K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt - U_{пор} \quad (1)$$

при $K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt > U_{пор}$;

$$U_{упр}(t) = 0$$

при $K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt \leq U_{пор}$, где

$U_1(t) = i_{дв}(t) \cdot K_3$ – напряжение, пропорциональное току двигателя, В; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты пропорциональности; $U_{пор}$ – пороговое значение напряжения сравнения, В.

На рис. 1, а) изображена блок-схема, реализующая способ управления, при котором на заданном уровне поддерживается абсолютная величина переменной составляющей тока двигателя. В том случае, когда начальный уровень переменной составляющей тока двигателя находится на высоком уровне (например, низкой начальной частоте коммутации), величину порогового напряжения целесообразно изменять в процессе регулирования с целью минимизации величины дополнительных потерь в двигателе. Алгоритм вычисления управляющего воздействия в этом случае будет иметь вид:

$$U_{упр}(t) = K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt - U_{пор} + K_4 \int U(t) dt \quad (2)$$

при $K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt > U_{пор} + K_4 \int U(t) dt$;

$$U_{упр}(t) = 0$$

при $K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt \leq U_{пор} + K_4 \int U(t) dt$,

где K_4 – коэффициент пропорциональности.

Блок-схема, реализующая данный способ управления изображена на рис. 1, б). Эта схема позволяет реализовать способ управления, при котором относительный уровень переменной составляющей тока останется на заданном уровне. Алгоритм вычисления управляющего воздействия в этом случае:

$$U_{упр}(t) = K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt - U_{пор} - K_4 \int U(t) dt \quad (3)$$

$$\text{при } K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt > U_{\text{пор}} - K_4 \int U(t) dt ;$$

$$U_{\text{упр}}(t) = 0$$

$$\text{при } K_1 \int |U(t) - K_2 \int U(t) dt| dt \leq U_{\text{пор}} - K_4 \int U(t) dt .$$

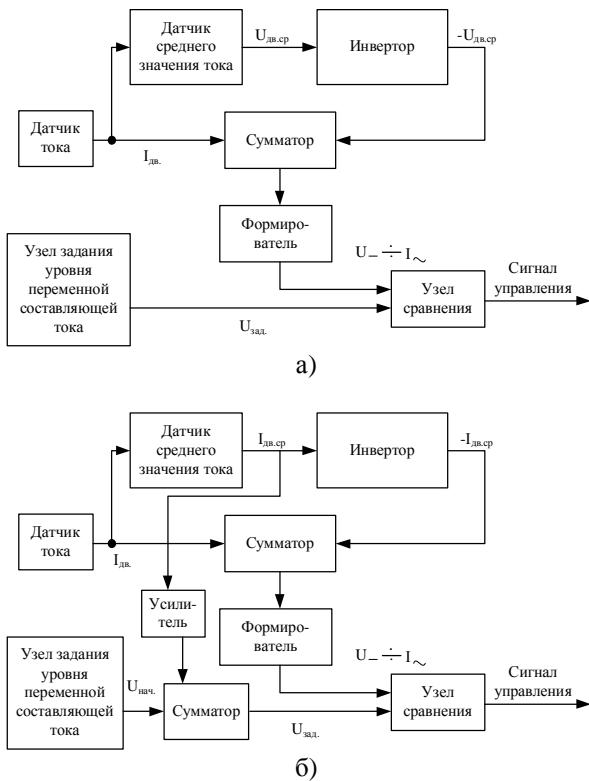


Рисунок 1 – Блок-схема реализации способов управления импульсным преобразователем рудничного электровоза при поддержании на заданном уровне абсолютной (а) и относительной (б) величин переменных составляющих тока

На рис. 2 изображены диаграммы изменения частоты коммутации преобразователя при регулировке по абсолютной и относительной величинам переменной составляющей тока тягового двигателя. Разработанный способ управления является приемлемым и для двухдвигательного привода. Ярким выражением положительным моментом разработанного метода и на его основе схемного решения является и то, что выход из строя одного из двигателей не влияет на работоспособность системы управления в целом.

Таким образом, очевидно, что разработанные способы регулирования частоты импульсного преобразователя являются эффективным средством снижения потерь в тяговых двигателях, однако не достаточным, так как величина потерь, тем не менее, остается большой. На рис. 3 приведены зависимости составляющих мощностей от частоты, которые показывают, что даже на частоте 500 Гц дополнительные потери от переменной составляющей тока составляют 2.1 кВт или 0.8 от потерь на постоянном токе в этом режиме. То есть, суммарные потери в

тяговом двигателе возрастают в 1.8 раза, что, безусловно, недопустимо. Это ставит задачу изыскания дополнительно других средств снижения пульсационных потерь.

В этой связи большой практический интерес представляет исследование шунтирования обмоток возбуждения для уменьшения в них переменной составляющей тока. В работе для двигателей пульсирующего напряжения предлагается шунтирование обмоток главных и дополнительных полюсов активным сопротивлением или двумя элементами – диодом и сопротивлением. Многочисленные эксперименты, проведенные под руководством автора, показали, что такие шунтировки вызывают ухудшение коммутации и для тяговых двигателей рудничных электровозов неприемлемы. Шунтировка же только обмоток главных полюсов, напротив, улучшает коммутацию.

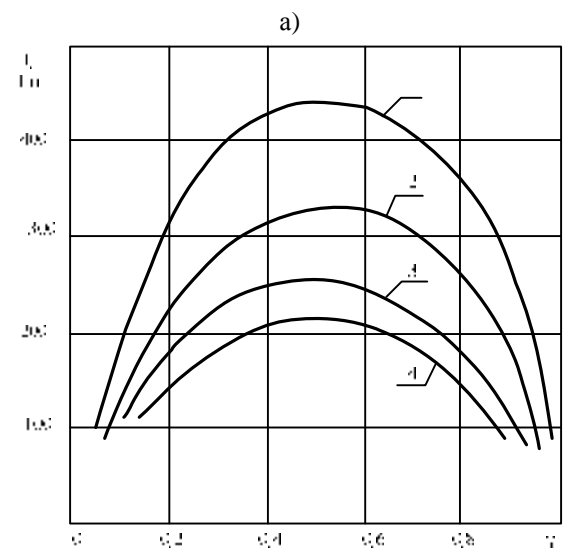
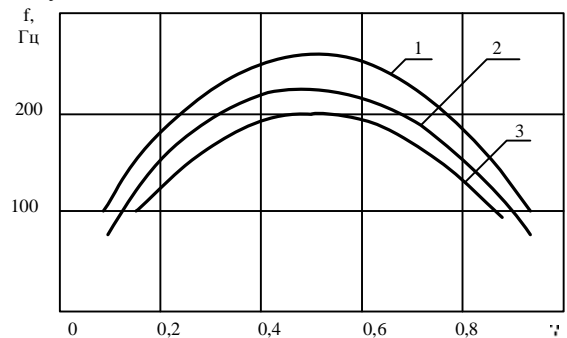


Рисунок 2 – Диаграммы изменения частоты коммутации импульсного преобразователя при регулировании по абсолютной (а) и относительной (б) величинам переменных составляющих тока двигателя:

1 – 15 А; 2 – 20 А; 3 – 25 А; 4 – 30 А

Для предварительной оценки эффективности шунтировки были произведены измерения мощности переменной составляющей, которая в конечном

итоге и определяет дополнительные потери, в различных элементах двигателя. Оказалось, что около 70 % мощности переменной составляющей теряется в главных полюсах обмотки возбуждения и 30 % приходится на якорь и дополнительные полюса. Это говорит о правильности выбранного пути и больших возможностях снижения потерь путем шунтирования главных полюсов.

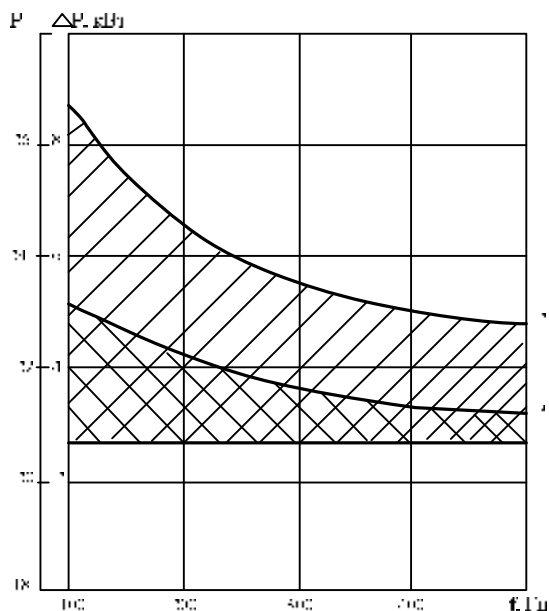


Рисунок 3 – Изменение составляющих мощностей в функции частоты коммутации ($\omega = 105$ рад/с)
 1 – при постоянном токе; 2 – при импульсном питании; 3 – при импульсном питании с шунтировкой обмотки возбуждения резистором ($R=1.5$ Ом)

Рассмотрены варианты шунтирования обмоток главных полюсов диодом, сопротивлением и различными сочетаниями их и их параметров.

Экспериментальная проверка показала, что наиболее целесообразна шунтировка сопротивлением, в этом случае одновременно снижаются потери в двигателе и улучшаются условия коммутации.

Оптимальная величина шунтирующего сопротивления находится в пределах 1...2 Ом в зависимости от частоты импульсного преобразователя – с ростом частоты требуемая величина шунтирующего сопротивления несколько увеличивается. При сопротивлениях менее 1 Ом ухудшаются условия коммутации, более 2 Ом – возрастают потери. Шунтировка практически не изменяет механические характеристики двигателей, так как через шунтирующее сопротивление ответвляется лишь около 2 % постоянной составляющей тока обмотки возбуждения.

Проведенные исследования показывают, что применение шунтировки обмотки возбуждения указанными сопротивлениями позволяет уменьшить дополнительные потери в двигателе от переменной составляющей в 2...4 раза, а полные потери – в среднем в 1.5 раза, что иллюстрируется кривой 3 (рис. 3).

Выводы. Таким образом, совместное использование регулирования частоты импульсного преобразователя и шунтирования обмотки возбуждения резистором позволяет получить вполне приемлемые характеристики потерь в тяговых двигателях. Одновременно улучшается коммутация на коллекторе, особенно при высоких скоростях вращения.

В разработанной силовой схеме в качестве шунтирующих используются тормозные резисторы. Это обеспечивается за счет специального построения схемы без всяких дополнительных переключений.

В итоге разработанный способ позволяет достигнуть существенного снижения пульсационных потерь в тяговых двигателях (в 4...7 раз) без использования специальных силовых устройств, что немало важно для стесненных габаритных условий рудничных электровозов.