

Г. В. КРИВЯКИН, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ В ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ НА КОЛЕБАНИЯ ТОКОВ ФАЗ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вивчено вплив динамічного моменту у тяговій передачі на коливання струмів фаз асинхронного двигуна.

The influence of dynamic moment in traction drive on the phases current oscillation of induction motor is defined.

Скорость движения на железных дорогах Украины ограничена, кроме причин связанных с состоянием инфраструктуры и подвижного состава тем, что на имеющемся пути радиусы кривых и частота их следования таковы, что при принятых ограничениях по боковым ускорениям нет возможности эксплуатировать пассажирские поезда со скоростями более 160 км/ч.

Как показано в [1], для таких скоростей может оказаться рациональным привод с опорно-осевым подвешиванием. Однако этот привод имеет ряд недостатков, которые обусловили применение таких приводов с двигателями постоянного тока преимущественно на локомотивах грузовой службы с конструкционной скоростью 100...120 км/ч.

Одним из таких недостатков является значительная величина динамического момента, возникающего на валу тягового двигателя в силу наличия непосредственной связи поворота ротора с вертикальными колебаниями колесной пары, которые характеризуются высоким уровнем скоростей и ускорений [2].

Наметившийся переход к использованию асинхронных двигателей переменного тока, имеющих более высокие удельные показатели, делает необходимым пересмотр свойств привода первого класса с позиции их применения.

Исследованию динамических процессов в механической части привода посвящен ряд монографий и большое количество работ в научно-технической периодике. В то же время исследования влияния динамических моментов в тяговой передаче на систему электромеханического преобразования энергии и в частности на электромагнитные процессы в асинхронном тяговом двигателе мало отражены в литературе. Рассмотрению этого вопроса и посвящена данная статья.

Для исследования динамических процессов была создана математическая модель, которая описывает работу двух взаимодействующих подсистем тягового привода: механической и электромеханической.

Механическая подсистема включает в себя колесную пару и тяговую передачу, электромеханическая – асинхронный тяговый двигатель. Особенность этой модели заключается в следующем. Процессы, протекающие в тяговом приводе, определяются совместным решением на каждом временном шаге интегрирования, дифференциальных уравнений движения элементов механической части и уравнений, характеризующих процесс электромеханического преобразования энергии в асинхронном тяговом двигателе. Математическая модель в общем виде выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_c = M_w + \frac{v}{R_k} J_r \frac{di_{rk}}{dt} + F_{tr} \sqrt{h^2 + x^2}; \\ M - M_c = J_r \frac{d\omega_r}{dt}; \\ M = \sum_{j=1}^m \left(\vec{r}_j \times L \int_{S_j} (\vec{\delta} \times \vec{B}) dS_j \right). \end{array} \right. \quad (1)$$

$$(2)$$

$$(3)$$

Уравнение (1) описывает процессы в механической части, которые определяются величиной суммарного момента нагрузки, приведенного к валу тягового двигателя, и характеризующегося наличием постоянной и динамической составляющих:

$$M_c = M_w + M_d,$$

где: M_w – постоянная составляющая, обусловленная сопротивлением движению поезда; $M_d = M_{di} + M_{tr}$ – динамическая составляющая, обусловленная взаимодействием колесной пары с верхним строением пути; M_{di} и M_{tr} – составляющие динамического момента, характеризующие взаимодействие колесно-моторного блока и верхнего строения пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно.

Первая составляющая динамического момента M_{di} является функцией изменения передаточного отношения – i_{rk} [2]. При $v = const$ и $R_k = const$.

$$M_{di} = \frac{v}{R_k} J_r \frac{di_{rk}}{dt},$$

где: v – скорость движения локомотива, R_k – радиус колеса.

Второй составляющей является момент трения – M_{tr} , обусловленный возникновением контакта гребня колеса с боковой поверхностью рельса:

$$M_{tr} = F_{tr} \sqrt{h^2 + x^2},$$

где: F_{tr} – сила трения в контакте гребня колеса с боковой поверхностью рельса, h – расстояние от плоскости пути до точки контакта гребня с боковой гранью рельса, x – “забег” гребня.

Взаимодействие между механической и электромеханической подсистемами, описывается уравнением движения электропривода (2), где: M – электромагнитный момент тягового двигателя; M_c – суммарный момент нагрузки на валу тягового двигателя; $J_r d\omega_r/dt$ – инерционный момент возникающий при изменении скорости вращения; J_r – момент инерции ротора тягового двигателя; ω_r – частота вращения ротора.

Процессы в асинхронном двигателе характеризуются величиной электромагнитного момента (3), где: \vec{r}_j – радиус вектор приложения силы, $\vec{\delta}$ – вектор плотности тока, \vec{B} – вектор магнитной индукции областей с токами в обмотке ротора, L – длина ротора.

Численное моделирование процесса электромеханического преобразования энергии проводилось при скоростях движения 60, 160 и 200 км/ч. Результаты расчета токов фаз приведены на рис. 1.

Как показано на рис. 1 (а), при скорости 60 км/ч на амплитуду тока с частотой 50 Гц накладываются колебания с частотой 5 Гц обусловленные взаимодействием с волнообразными неровностями пути. Ток фазы при этом изменяется в пределах 440...352 А, что составляет 22% от номинального значения 396 А. При скорости 160 км/ч частота тока составляет 150 Гц, а колебания амплитуды при прохождении неровностей составляет 16 Гц. Ток фазы при этом изменяется в пределах 213...230 А, что составляет 8% от номинального значения 208 А. Постоянная составляющая добавки к амплитуде тока имеет величину 5 А и обусловлена по видимому электромагнитной и механической инерционностью системы. При скорости 200 км/ч частота тока фазы составляет 160 Гц. Колебания амплитуды происходят с частотой 17,5 Гц. Ток фазы изменяется в пределах 230...239 А, что составляет 4,5% от номинального значения 200 А. Постоянная составляющая добавки имеет величину 20 А.

При групповом питании двух тяговых двигателей установленных на тележке, токи фаз для скоростей 60, 160 и 200 км/ч изменяются, как показано на рис. 1 (б). Амплитуда токов фаз в этом случае определяется суммой токов двух двигателей установленных на тележке, а частота их колебаний, как и при индивидуальном питании, определяется частотой воздействия непрерывных неровностей. Так при скорости 60 км/ч, ток фазы колеблется в пределах от 757 до 856 А, что составляет 12,5% от номинального значения 792 А, определяемого суммой токов фаз двух двигателей в установившемся режиме. При скорости 160 км/ч, ток фазы колеблется в пределах от 432 до 468 А, что составляет 8,6% от номинального значения 418 А. При скорости 200 км/ч, ток фазы

колеблется в пределах от 418 до 455 А, что составляет 9% от номинального значения 400 А.

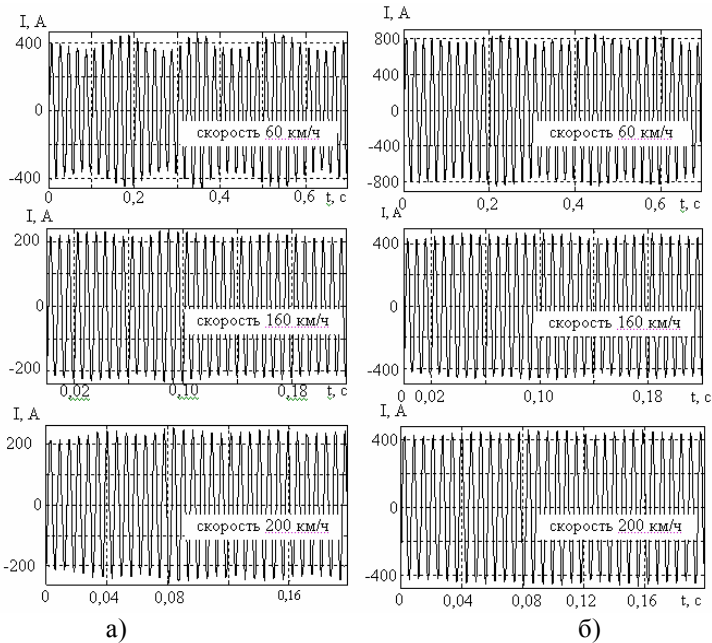


Рис. 1. Токи фаз тяговых двигателей при индивидуальном (а) и групповом (б) питании тяговых двигателей

Таким образом, цифровое моделирование процесса электромеханического преобразования энергии при скоростях движения 60, 160 и 200 км/ч, показало, что определяющее воздействие, на колебания токов фаз оказывает периодическое изменение суммарного момента нагрузки, обусловленного взаимодействием колесно-моторного блока с волнообразными неровностями верхнего строения пути. Колебания амплитуды тока могут составлять при этом 4,5...22% от номинального значения. Менее существенно сказывается взаимодействие с единичными неровностями. Эти колебания токов фаз следует учитывать при проектировании привода, а также выборе номиналов элементной базы инвертора напряжения и звена постоянного тока.

Список литературы: 1. Кривякин Г.В. Возможности повышения скоростей движения пассажирских локомотивов, обусловленные применением тяговой передачи с опорно-осевой подвеской на базе асинхронных тяговых двигателей // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2004. – №24. – С. 35-40. 2. Бирюков И. В., Беляев А. И и др. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. М.: Транспорт, 1986. 256с.