

Исследование модели тягового электропривода троллейбуса

Экспериментальные исследования ряда электроприводов агрегатов металлургической, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности показали существенное влияние упругости механических передач на поведение систем электропривода [1, 2]. Попытки оптимизации систем исходя из установившихся представлений, рассматривающих механическую часть приводов как жесткую систему, приводили к появлению автоколебаний в автоматических системах регулирования, следствием чего явилось снижение точности регулирования, повышенное искрение на коллекторах электрических машин, «стук» редукторов, частые обрывы обрабатываемого материала, а в наиболее тяжелых случаях и выход из строя механического оборудования.

В данной работе объектом исследования выбран тяговый электропривод троллейбуса с тиристорно-импульсным регулированием скорости ДПТ последовательного возбуждения типа ДК-210А-3. Механическая часть системы электропривода в данном случае представляет собой многомассовую механическую систему с упругими передачами и зазорами (с нелинейными упругими связями первого рода). Работа систем электропривода подобных агрегатов характеризуется взаимосвязью электромагнитных процессов, механических явлений и технологических факторов, действием внешних (изменение момента сопротивления, напряжения сети, температуры окружающей среды и др.) и внутренних (изменение электромеханических параметров привода) возмущений.

В первом случае предполагается, что кинетическая связь между двигателем и исполнительным органом (ведущими колесами) не подвержена упругим деформациям и не содержит зазора. При таком допущении скорость двигателя и приведенная к двигателю скорость исполнительного органа равны между собой не только в установившемся режиме, но и в переходных процессах. Влияние механизма на работу электропривода проявляется лишь в том, что механизм определяет характер момента нагрузки на двигателе, а момент инерции привода является суммой моментов инерции двигателя, редуктора и приведенного к двигателю момента инерции исполнительного органа [3].

При этом дифференциальные уравнения, описывающие процессы в системе электропривода с двигателем последовательного возбуждения без учета падения напряжения под щетками, имеют следующий вид:

$$e_{np} = R_{\Sigma} i_{\alpha} + L_{\Sigma} \frac{di_{\alpha}}{dt} + e_{\partial\partial};$$

$$M_{\partial\partial} - M_c = J_{\partial\partial} \frac{d\omega}{dt},$$

где e_{np} - мгновенное значение ЭДС широтно-импульсного преобразователя;

R_{Σ} - суммарное активное сопротивление якорной цепи;

i_{α} - мгновенное значение тока якоря (тока возбуждения);

L_{Σ} - суммарная индуктивность якорной цепи;

$e_{\partial\partial}$ - мгновенное значение противо-ЭДС двигателя;

$M_{\partial\partial}$ - момент тягового двигателя;

M_c - статический момент сопротивления;

$J_{\partial\partial}$ - момент инерции двигателя;

ω - угловая скорость вращения электродвигателя.

Данные уравнения справедливы как для переходных, так и для установившихся режимов работы. При линеаризации уравнений используем следующие допущения:

- 1) при малых изменениях переменных параметры системы электропривода остаются постоянными;
- 2) поведение системы при возмущениях описывается приращениями средних величин тока и скорости, а не их мгновенными значениями. При этом анализируется различие между исходным и установившимися в результате возмущения состояниями системы;
- 3) средние и среднеквадратичные значения токов предполагаются одинаковыми.

Уравнения системы электропривода в средних величинах в операторной форме записи примут вид

$$E_{np} = I_{\alpha} R_{\Sigma} + L_{\Sigma} I_{\alpha} p + E_{\partial\partial};$$

$$M_{\partial\partial} - M_c = J_{\partial\partial} \omega_{\partial\partial} p,$$

где $p = \frac{d}{dt}$, а момент, развиваемый двигателем равен $M_{\partial\partial} = k\Phi \cdot I_{\alpha}$.

Структурная схема, соответствующая этим выражениям с учетом трения в электродвигателе и механизмах троллейбуса, приведена на рис. 1.

При этом введены следующие обозначения:

$k\Phi$ - поток возбуждения двигателя;

J_{mp} - суммарный момент инерции троллейбуса;

ω_k, v_k - угловая и линейные скорости ведущих колес троллейбуса;

R_k - радиус колеса;

M_{f1} - момент трения в электродвигателе;

M_{f2} - момент трения в механизмах троллейбуса;

M_c - статический момент нагрузки, включая силу сопротивления подъему, силу сопротивления воздуха и т.д.;

f - коэффициент, учитывающий зависимость $M_{c0} = f(v_k)$ (при моделировании заменяется коэффициентом сцепления);

a_1 - коэффициент вязкого трения двигателя;

a_2 - коэффициент, учитывающий трение в механизмах троллейбуса.

Структурная схема, изображенная на рис. 1, является линеаризованной. В действительности блок 6 представляет собой существенно нелинейный элемент (рис. 2, а), характеризующий сухое трение в электродвигателе. Блок 8 характеризует явления, возникающие при качении колес по дороге (рис. 2, б). К ним относятся:

- сила сопротивления качению, затрачиваемая на деформирование шины и дороги, на трение шины о дорогу, трение в подшипниках колес и др.;
- сила сцепления колеса с дорогой зависит от веса, приходящегося на колесо, от состояния покрытия дороги, давления воздуха в шинах и рисунка протектора.

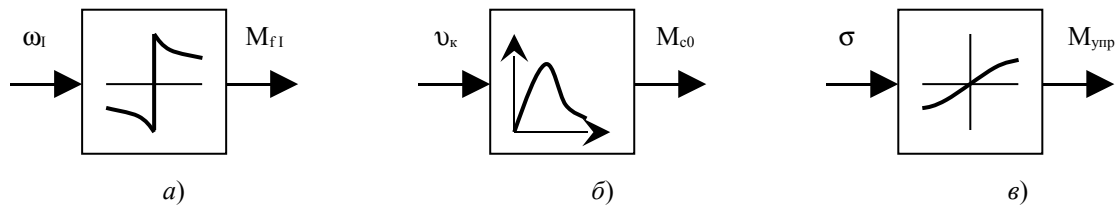


Рис. 2. Существенно нелинейные звенья системы: зависимости $M_{f1} = f(\omega_i)$ (а), $M_{c0} = f(v_k)$ (б), $M_{ynp} = f(\sigma)$ (в).

Для определения влияния состояния дороги на силу сцепления служит коэффициент сцепления, величина которого в зависимости от состояния дороги может отличаться в 10 раз. Коэффициент сцепления колес с дорогой уменьшается также при увеличении скорости движения. Так, при возрастании скорости движения на сухой дороге с асфальтобетонным покрытием с 30 до 60 км/ч коэффициент сцепления уменьшается на 0,15 [4].

Полученные графики переходных процессов электромеханической системы с учетом коэффициентов a_1 , a_2 и f приведены на рис. 3, а, б.

Во втором случае, принимая то, что зазоры в механической передаче не учитываются, т.к. из-за специфики исследуемого объекта (рассматривается система управления скоростью электродвигателя) углы поворота соответствующих масс не представляют интереса, можно записать уравнения равновесия моментов, действующих на выделенные сосредоточенные массы:

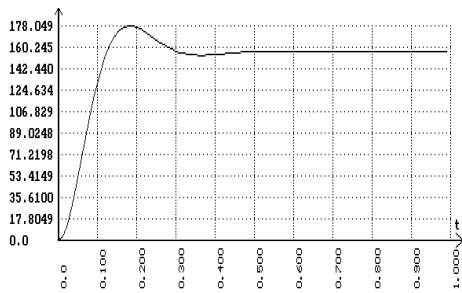
$$M_{\partial\partial} - M_{ynp} - M_{f1} = J_{\partial\partial} p \omega_{\partial\partial};$$

$$M_{ynp} - M_c - M_{f2} = J_{mp} p \omega_k;$$

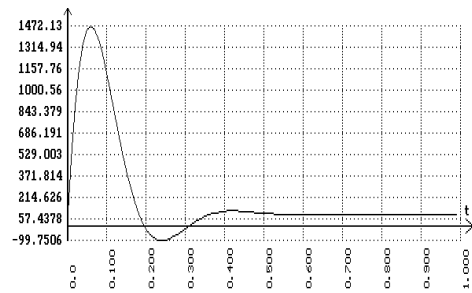
$$M_{ynp} = f(\sigma),$$

где $\sigma = (\omega_{\partial\partial} - \omega_k) / p$ - деформация кручения (рис. 2, в);

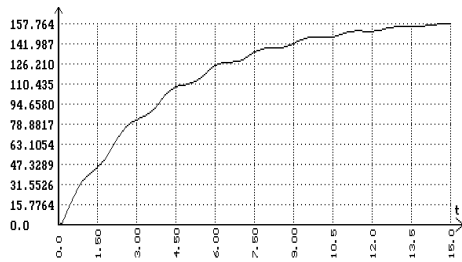
M_{ynp} - момент в скручиваемых упругих связях передач.



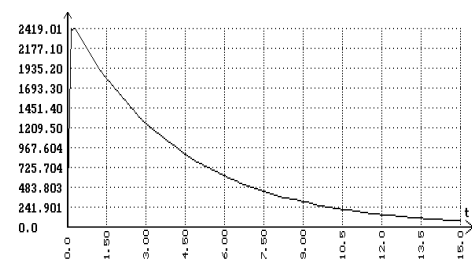
a)



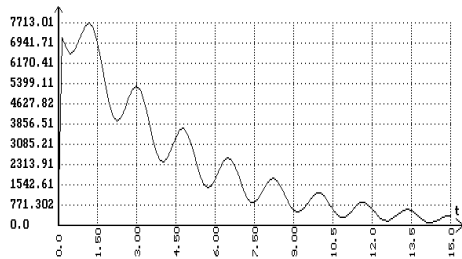
б)



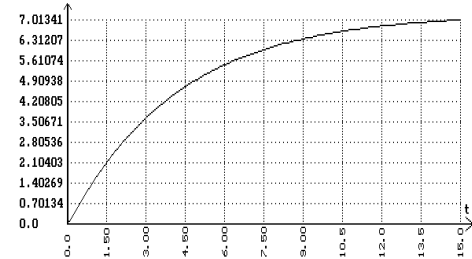
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Графики переходных процессов системы без учета упругости передач: зависимости $\omega = f(t)$ (a), $I = f(t)$ (б) и графики переходных процессов в системе с учетом упругости передач: зависимости $\omega = f(t)$ (в), $I = f(t)$ (г), $M_{эп} = f(t)$ (д) и $v = f(t)$ (е).

С учетом влияния упругих связей на систему электропривода, структурная схема принимает вид представленный на рис. 4.

Здесь β - коэффициент внутреннего трения в упругих передачах;

C - жесткость упругих соединений.

Графики переходных процессов электромеханической для второго случая исследований системы приведены на рис. 3 в – е.

В обоих случаях широтно-импульсный преобразователь не оказывает влияние на вид переходных процессов, т.к. постоянная времени преобразователя $T_{ui} = 5 \cdot 10^{-4} c \ll T_s = 0,046 c$.

Выводы.

Исследуя полученные графики переходных процессов (рис. 3) видно, что упругости в механической системе влияют на переходные процессы в электродвигателе, отражаясь на его скорости и моменте даже при их апериодическом характере. Следовательно, можно говорить о взаимной связи переходных процессов в механической системе (упругие колебания) и электродвигателе. Наиболее существенно это влияние сказывается в электроприводах механизмов, содержащих упругие звенья с относительно малой жесткостью и низкой собственной частотой механических колебаний. В электроприводах с замкнутой системой управления такая взаимосвязь может вызвать электромеханический резонанс [5]. Таким образом, наличие упругих связей в системе электродвигатель-механизм в динамических режимах приводит к дополнительным усилиям в звеньях кинематической цепи, создает вибрации (рис. 3, *в, д*), ускоряет износ механического оборудования, снижает точность воспроизведения заданных перемещений рабочих органов и т.д.

Следовательно, при проектировании замкнутых систем автоматизированного регулирования тягового электропривода необходимо разрабатывать регуляторы с демпфирующими свойствами или формировать напряжение задания регуляторов по определенному закону.

Литература.

1. Иванов Г.М., Левин Г.М., Хуторецкий В.М. Автоматизированный многодвигательный привод постоянного тока. – М.: Энергия, 1978.
2. Шестаков В.М. Автоматизированные электроприводы бумаго- и картоноделательных машин. – М.: Лесная промышленность, 1978.
3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982.
4. Калинский В.С., Манзон А.И., Нагула Г.Е. Автомобиль. Учебник водителя третьего класса. – М.: Транспорт, 1974.
5. Квартальнов Б.В. Динамика автоматизированных электроприводов с упругими механическими связями. – М., Л.: Энергия, 1965.