

УДК 621.313.333

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ ТРОЛЛЕЙБУСА

Симонович А. В., Петренко Ю. Н.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Использование асинхронного привода в качестве тягового привода является перспективным направлением развития городского электротранспорта [1]. Создание тягового асинхронного привода имеет ряд особенностей, влияющих на синтез системы управления.

При синтезе системы управления возникает вопрос о том, какими координатами необходимо управлять. Большинство промышленных электроприводов управляет скоростью электродвигателя. Если рассмотреть систему регулирования скорости применительно к тяговому электроприводу, то получение постоянной скорости при заданном положении педали хода является достаточно удобным для водителя. Это свойство можно отнести к преимуществу данной системы. Но у нее есть и множество недостатков, вызванных особенностями тягового привода:

1) большой диапазон изменения статического момента приводит к тому, что при большом статическом моменте момента двигателя не хватает для того, чтобы получить максимальную скорость. То есть скорость транспортного средства будет меньше заданной. Причем реальная скорость может быть меньше заданной в два раза. Такую систему уже нельзя назвать системой стабилизации скорости. Чтобы избежать этого недостатка, придется повышать мощность двигателя, что нерационально;

2) переменный момент инерции (изменяется в два раза) и сложность его определения приводит к тому, что не удастся получить оптимальную настройку привода во всех режимах работы;

3) в системе стабилизации скорости наезд транспортного средства на препятствие приведет к броску момента, то есть удару по мосту;

4) вызывает сложность реализация режима выбега. Отпускание педали хода в системе стабилизации скорости приведет к остановке транспортного средства, т.к. задание скорости станет равным нулю. В действительности транспортное средство должно продолжать движение по инерции.

К тому же все существующие системы тягового привода городского электротранспорта с двигателями постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения являются системами регулирования момента. Из все-

го вышесказанного следует, что для тягового привода предпочтительней является использование системы регулирования момента.

Помимо этого следует отметить отсутствие жестких требований к точности поддержания скорости; наличие частых включений — выключений привода; наличие частых пусков — торможений. Важным является формирование мягкой тяговой характеристики привода [2], которая в приводе постоянного тока формировалась за счет механических характеристик самого двигателя, а в асинхронном приводе она должна формироваться системой управления.

На рис. 1 представлена общая структура предлагаемой системы векторного управления тягового асинхронного привода. Система управления построена на основе модели асинхронного двигателя (АД) в осях X, Y. Исходные уравнения АД для синтеза системы управления и наблюдателя выглядят так:

$$i_{1x} = \frac{1}{R_3 \left(\frac{L_3}{R_3} p + 1 \right)} \left(U_{1x} + R_2 \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2x} + \omega_{03л} L_3 i_{1y} \right), \quad (1)$$

$$i_{1y} = \frac{1}{R_1 \left(\frac{L_2}{R_1} p + 1 \right)} \left(U_{1y} - \omega_{03л} L_3 i_{1x} - \omega_{03л} \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_{2x} \right), \quad (2)$$

$$\Psi_{2x} = \frac{L_{12}}{\left(\frac{L_2}{R_2} p + 1 \right)} \cdot i_{1x}, \quad (3)$$

$$M = \frac{3L_{12}}{2L_2} p i_{1y} \Psi_{2x} = K_M i_{1y} \Psi_{2x}, \quad (4)$$

$$\omega_{03л} = \omega_{3л} + R_2 \frac{L_{12}}{L_2} \frac{i_{1y}}{\Psi_{2x}} = \omega_{3л} + \Delta \omega, \quad (5)$$

$$R_3 = R_1 + R_2 \frac{L_{12}^2}{L_2^2} \quad L_3 = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2}$$

где U_{1x} , U_{1y} — проекции напряжений статора на оси X, Y; i_{1x} , i_{1y} — проекции токов статора и ротора на оси X, Y; $\omega_{03л}$, $\omega_{3л}$ — скорость вращения поля статора и ротора; R_1 , R_2 — сопротивление обмотки статора и ротора соответственно; Ψ_{2x} — проекция потокосцепления ротора на ось X; L_1 , L_2 , L_{12} — полная эквивалентная индуктивность фазы статора и ротора и индуктивность взаимной индукции.

В схеме приняты следующие обозначения:

ПК1...ПК4 — преобразователи координат; БФП — блок формирования потока; РП — регулятор потока; РТХ — регулятор тока по оси X; ЗИМ — задачник интенсивности момента; БОМ — блок ограничения момента; РТУ — регулятор тока по оси Y; ДТ — датчики тока; ВВ1 — датчик скорости; $K_{от}$

— коэффициент обратной связи по току; U_{α}, U_{β} — напряжения по осям α, β ; I_{α}, I_{β} — токи по осям α, β ; U_x, U_y — напряжения по осям X, Y ; I_x, I_y — токи по осям X, Y ; Ω — скорость двигателя; $\Omega_{\text{эл}}$ — скорость поля ротора; $\Omega_{0\text{эл}}$ — скорость поля статора; F_2 — поток ротора; F_3 — заданный поток ротора; M_3 — заданный момент двигателя.

Мы получаем два контура регулирования тока статора I_x и I_y и контур регулирования потока ротора Ψ_{2x} . При $\Psi_{2x} = \text{const}$ момент двигателя прямо пропорционален току статора по оси Y . В систему поступают сигналы обратных связей по токам I_A, I_B и сигнал с датчика скорости. Помимо использования сигнала обратной связи по скорости в системе управления, применение датчика скорости продиктовано и требованиями безопасности транспортного средства. Блок ограничения момента формирует ограничение момента в зависимости от скорости, т. е. мягкую характеристику привода. Блок формирования потока обеспечивает снижение задания потока при регулировании скорости вверх от номинальной. В системе задается момент двигателя и поток ротора [2].

Моделирование предложенной системы управления выполнено в среде MATLAB с использованием пакета SIMULINK. Преобразователь при моделировании учтен упрощенно в виде апериодических звеньев в каждом канале регулирования. Результаты моделирования пуска привода троллейбуса представлены на рис. 2.

Из приведенных графиков видно, что пуск троллейбуса со статическим моментом $M_C = 0,3M_{\text{ном}}$ и заданным пусковым моментом $M_{\text{зад}} = 1,6M_{\text{ном}}$ происходит примерно за 15 с. При этом переходный процесс можно разделить на пять характерных участков. На первом участке идет формирование потока ротора. На втором участке идет пуск с заданным нарастанием момента и с постоянным потоком. На третьем участке происходит разгон с постоянным потоком и моментом двигателя до номинальной скорости. На четвертом участке двигатель уже достиг номинальной скорости и дальнейший разгон возможен только при снижении потока. Но двигатель при этом еще не вышел на предельную характеристику по моменту, поэтому удается поддерживать постоянный момент за счет увеличения тока по оси X . На пятом участке момент двигателя достигает предельного значения, и дальнейший разгон происходит с поддержанием постоянства мощности.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что система векторного управления тяговым асинхронным приводом позволяет получить необходимые динамические характеристики и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к тяговому приводу.

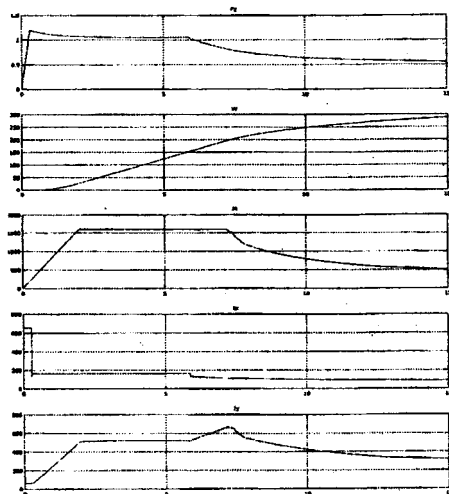


Рис.2 Переходные процессы в асинхронном приводе троллейбуса

Литература:

1. Имитационная модель автоматизированного привода троллейбуса. Петренко Ю. Н., Симонович А. В. // Материалы 3-й международной научно-технической конференции СИМ*2002. — Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2002. — С. 120–121.
2. Перспективы развития систем управления троллейбусов. Симонович А. В., Петренко Ю. Н. // Энергетика. — 2003. — №1. — С. 24–28
3. Теория и расчет тягового привода электромобилей. Под ред. И. С. Ефремова. — М.: «Высшая школа», 1984.