

Робастная система управления электродвигателем

В данной статье рассматривается простое робастное управление электродвигателями. Управление устойчиво к неопределенностям в сопротивлениях обмоток ротора и статора, а также к ограниченному возмущению крутящего момента нагрузки. В предложенной схеме, предполагая, что номинальный закон управления, разработанный со знанием параметров установки, обеспечивает затратную устойчивость замкнутой системы в условиях неопределенности параметров. Результаты моделирования приведены для иллюстрации эффективности работы схемы управления.

Ключевые слова: Робастное управление, робастная система, запас устойчивости, электродвигатель.

Главной задачей синтеза робастных систем управления является поиск закона управления, который сохранял бы выходные переменные системы и сигналы ошибки в заданных допустимых пределах несмотря на наличие неопределённостей в контуре управления. Неопределённости могут принимать любые формы, однако наиболее существенными являются шумы, нелинейности и неточности в знании передаточной функции объекта управления.

Рассмотрим стандартную однополюсную пару трехфазного электродвигателя, представленных в модели, с основным предположением о линейной зависимости между потоками и токами. Как электрическая, так и механическая подсистемы представлены

$$D_e(q_5)\ddot{q}_e + W_1(q_5)\dot{q}_5\dot{q}_e + R_e\dot{q}_e = M_e u \quad (1)$$

$$J\ddot{q}_5 - \frac{1}{2}\dot{q}_e^T W_1(q_5)\dot{q}_e + B\dot{q}_5 = -\tau_L \quad (2)$$

где \dot{q}_e - являются электрические токи статора и ротора, $\dot{q}_e = [\dot{q}_s^T, \dot{q}_r^T]^T = [\dot{q}_1\dot{q}_2\dot{q}_3\dot{q}_4]^T$, q_5 —это положение вала двигателя, τ_L —является нагрузка крутящим моментом, $u = [u_1, u_2]^T$ —это (входные) напряжения статора.

$$D_e(q_5) = \begin{bmatrix} L_s I_2 & L_{sr} e^{Jq_5} \\ L_{sr} e^{-Jq_5} & L_r I_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$e^{Jq_5} = \begin{bmatrix} \cos(q_5) & -\sin(q_5) \\ \sin(q_5) & \cos(q_5) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$I = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = -I^T \quad (5)$$

$$W_1(q_5) = \frac{dD_e(q_5)}{d(q_5)} \quad (6)$$

$$R_e = \begin{bmatrix} R_s I_2 & 0 \\ 0 & R_r I_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$M_e = [I_2 \quad 0]^T \quad (8)$$

где L_s, L_r, L_{sr} — обозначают статор, ротор и взаимные индуктивности, а R_s, R_r — сопротивления статора и ротора соответственно, а J -момент инерции вращающейся массы вокруг оси вращения.

В данной работе мы рассмотрим генерируемый крутящий момент

$$\tau = \frac{1}{2} \dot{q}_e^T W_1(q_5) \dot{q}_e = L_{sr} \dot{q}_s^T J e^{Jq_5} \dot{q}_r \quad (9)$$

Предполагая знание номинальных параметров сопротивлений статора R_{s0} , сопротивления ротора R_{r0} и момента нагрузки τ_{L0} , рассмотрим номинальный закон управления

$$u_0 = L_s \ddot{q}_{sd} + L_{sr} e^{Jq_5} \ddot{q}_{rd} + L_{sr} J e^{Jq_5} \dot{q}_r \dot{q}_{5d} + R_{s0} \dot{q}_{sd} \quad (10)$$

и номинальный регулятор заявляет

$$\dot{\lambda}_{rd} + R_{r0} \dot{q}_{rd} = 0 \quad (11)$$

Номинальная модель электродвигателя определяется следующими параметрами: сопротивлением R , индуктивностью L , постоянной ЭДС K_b , постоянной якоря K_m , линейным приближением коэффициента вязкого трения K_f и инерциальной нагрузкой J . Значения сопротивления и индуктивности меняются в диапазоне +/- 40% от их номинальных значений. Мы используем функцию `ureal`, чтобы задать эти неопределенные параметры:

```
R = ureal('R',2,'Percentage',40);
```

```
L = ureal('L',0.5,'Percentage',40);
```

```
K = ureal('K',0.015,'Range',[0.012 0.019]);
```

```
Km = K;
```

```
Kb = K;
```

Ток в электрической цепи и крутящий момент, приложенный к ротору, могут быть выражены через приложенное напряжение и угловую скорость.

```
H = [1;0;Km] * tf(1,[L R]) * [1 -Kb] + [0 0;0 1;0 -Kf];
```

Неопределенная модель двигателя с одним входом и одним выходом

```
P = Pz1(2,:)
```

```
P =
```

Uncertain continuous-time state-space model with 1 outputs, 1 inputs, 2 states.

Давайте сравним переходную характеристику номинального двигателя с 20 образцами неопределенной модели:

```
step(P.NominalValue,'r-+',usample(P,20),'b',3)
```

```
legend('Nominal','Samples')
```

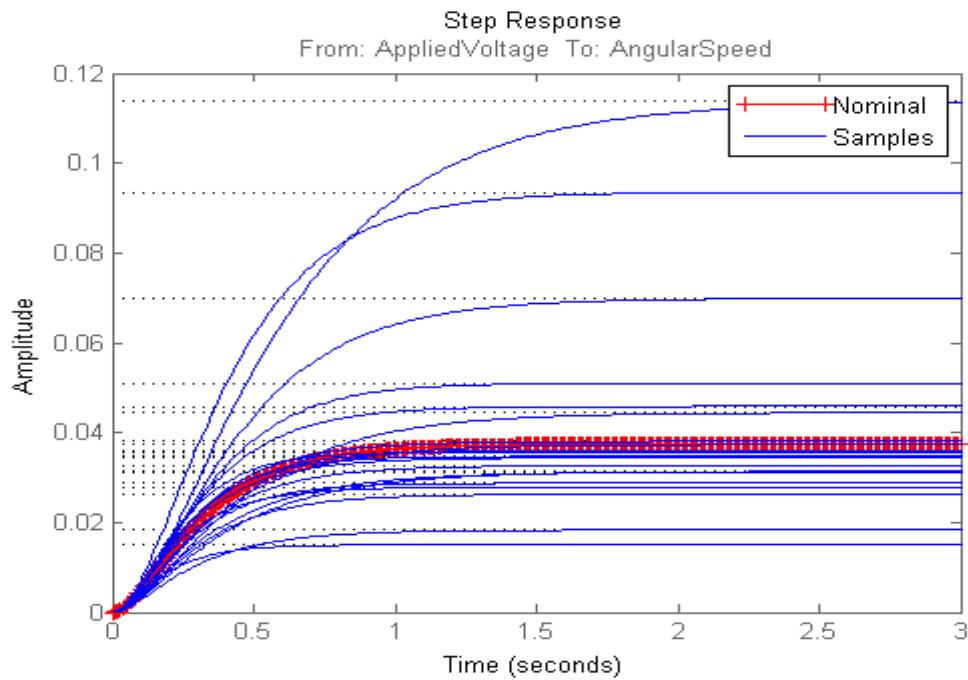


Рисунок 1: Анализ реакции системы на единичный скачок

Выводим диаграмму Боде для данной системы номинальной (красный) и неопределенной (голубой) модели двигателя.

```
om = logspace(-1,2,80); Pg = ufrd(P,om);
```

```
bode(usample(Pg,25),'b',Pg.NominalValue,'r-+');
```

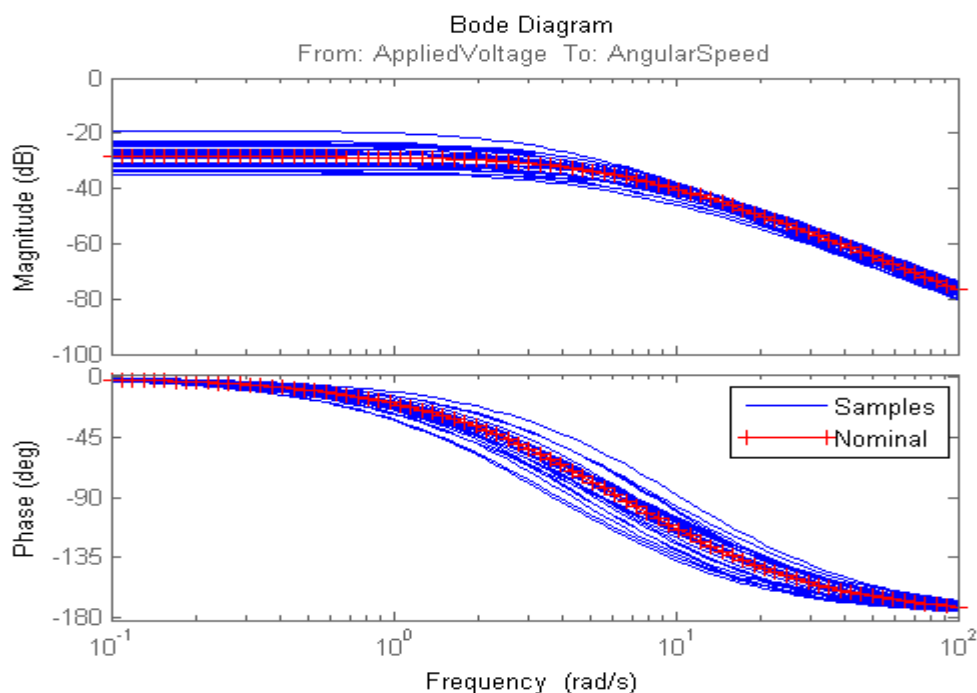


Рисунок 2: Диаграмма Бode

Анализ номинальной системы показывает, что такая система имеет хороший запас по амплитуде в 21,9 Дб и по фазе в 65,8 градусов.

`margin(P.NominalValue*Cont)`

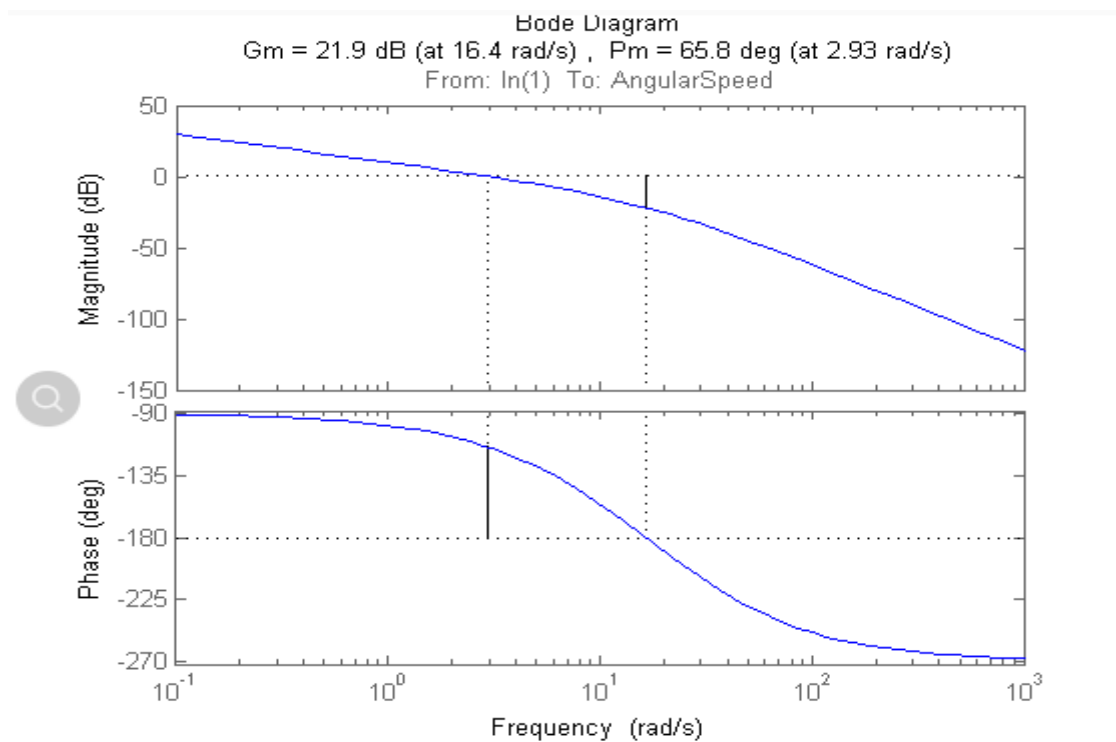


Рисунок 3: Анализ робастности системы

Заключение. Представлено простое робастное управление асинхронными двигателями с учетом неопределенности параметров. Параметры асинхронного двигателя плюс механическая нагрузка не обязательно должны быть точно известны, а для получения сигналов компенсации требуется только неопределенность p . Предлагаемый закон управления прост, способен справиться с неопределенностями в сопротивлениях обмоток и возмущениях крутящего момента нагрузки. Результаты моделирования показывают, что такая система имеет хороший запас по амплитуде и по фазе.

Литература:

1. Barambones O, Garrido AJ (2004) A sensorless variable structure control for induction motor drives. *Electr Power Syst Res* 72:21–24
2. Besancon G, Hammouri H (1996) Observer synthesis for class of nonlinear control systems. *Eur J Control* 2:176–192
3. Besancon G, Hammouri H (1998) On observer design for interconnected systems. *JMath Syst Estim Control* 8(3):377.
4. Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Чаусов А.А. Проектирование взаимосвязанных систем управления. – К.: Техника, 1994. – 232 с.
5. Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н. Проектирование систем со сложными кинематическими цепями. – К.: Техника, 1996. – 282 с. 3