

в котором $M_{тo}$ – момент, создаваемый тормозным устройством при отсутствии напряжения на обмотке электромагнита (когда электродвигатель отключен от сети);

I_{mp} – ток трогания электромагнита; $1(t)$ и $1\left(t_{mp}\right)$ – единичные функции; t_{mp} – время трогания электромагнита.

Несколько иначе формируются переменные u_{ϑ} и $M_{т}$ в случае применения схем включения (рис. 1б), где растормаживающий электромагнит состоит из двух одинаковых обмоток, расположенных в общем магнитопроводе, и двух одинаковых диодов VD1 и VD2. Из-за влияния ЭДС самоиндукции и взаимной индукции токи в каждой из обмоток протекают более чем половину периода, питающего напряжения. В схеме (рис. 1в) имеет место только влияние ЭДС самоиндукции.

При моделировании переходных процессов с разными параметрами электромагнита наблюдались случаи незапуска АД, обусловленные несимметрией статорной цепи. Явление незапуска крайне нежелательно и даже опасно, так как возникающие при нем близкие к максимальным колебания электромагнитного момента вызывают значительные механические удары, вибрацию и, в конечном счете, приводят к повреждению электрической машины. В связи с этим целесообразно проектировать электромагнит с x_{ϑ} и r_{ϑ} так, чтобы для схемы (рис. 1а) они не превышали значений $x_{\vartheta} = 0,3 \cdot x_s$, $r_{\vartheta} = 2 \cdot r_1$, для схемы (рис. 1б) – $x_{\vartheta} = 0,15 \cdot x_s$, $r_{\vartheta} = r_1$ и для схемы (рис. 1в) – $x_{\vartheta} = 0,24 \cdot x_s$, $r_{\vartheta} = 3 \cdot r_1$.

Литература

1. Соленков В.В., Брель В.В. Электромеханические переходные процессы в асинхронных двигателях с тормозными устройствами // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель. – 2003. – № 1. – С. 67-72.
2. Соленков В.В., Плотников Ю.А. Критериальные уравнения для проектирования электродвигателей с тормозными устройствами // Материалы третьей региональной НПК «Молодые ученые и специалисты – народному хозяйству». – Томск. – 1980. – С. 161-164.
3. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

СИНТЕЗ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ПРУЖИН НА ОСНОВЕ ЛАД

Ю.А. Рудченко, А.В. Туренкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В.И. Луковников

В ряде областей науки, техники и производства, где используется колебательное движение рабочего органа машины без повышенных требований к качеству колебаний, очень перспективным оказывается применение автоколебательных режимов работы электродвигателей. Это, например, испытательные стенды пружинных подвесок и других упругих элементов, дисбалансные вибраторы, станки-качалки, аппараты спортивной вибростимуляции, игрушки, рекламные качающиеся устройства и т. д.

Как известно, незатухающий автоколебательный режим возникает в консервативной паре «масса – упругость», если в процессе колебаний диссипативные силы компенсируются силами подпитки с нелинейной характеристикой.

В данном докладе будет излагаться методика синтеза линейного асинхронного электродвигателя (ЛАД) для его работы в автоколебательном режиме. Функциональная схема автоколебательной системы на основе ЛАД представлена на рисунке 1.

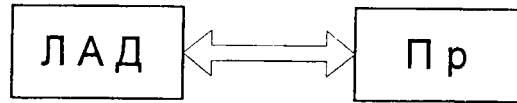


Рис. 1. Функциональная схема автоколебательной системы: ЛАД – линейный асинхронный электродвигатель (ЛАД); Пр – пружина

Как известно, недостатком ЛАД являются его низкие энергетические показатели, но при работе в автоколебательном режиме двигатель используется в качестве источника, компенсирующего потери энергии в автоколебательной системе, что является экономически целесообразным. Поскольку отсутствует серийный выпуск ЛАД, то при синтезе автоколебательных электроприводов приходится не выбирать двигатель с учетом определенных параметров колебательного движения (как это делается при использовании АД вращательного движения), а проектировать его таким образом, чтобы были соблюдены эти параметры (частота и амплитуда колебаний).

Исходными данными для проектирования автоколебательного ЛАД будем считать следующие:

$F_{mp\Sigma}$ – суммарное усилие сухого трения;

H_{Σ} – суммарный коэффициент жидкостного трения (демпфирование);

C_{Σ} – суммарный коэффициент жесткости (жесткость испытуемых пружин C_{np});

X_m, ω_0 – требуемые амплитуда и частота колебаний.

По выражению для собственной частоты колебаний [1]

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_{\Sigma}}{m_{\Sigma}}} \quad (1)$$

можно найти требуемое суммарное значение массы автоколебательной системы

$$m_{\Sigma} = \frac{C_{\Sigma}}{\omega_0^2},$$

которое далее будет определять массу бегуна.

Считая закон колебаний гармоническим $X = X_m \cos \omega_0 t$, по заданной амплитуде и частоте колебаний определим:

1. Усилие от инерционной нагрузки:

$$F_{ин} = m_{\Sigma} \frac{d^2 X}{dt^2} = -C_{\Sigma} X_m \cos \omega_0 t.$$

2. Усилие жидкостного трения:

$$F_{ж.т} = H_{\Sigma} \frac{dX}{dt} = -H_{\Sigma} X_m \omega_0 \sin \omega_0 t.$$

3. Усилие сухого трения:

$$F_{c.m} = F_{mp\Sigma} \text{Sign} \left(\frac{dX}{dt} \right) = -F_{mp\Sigma} \text{Sign}(\sin \omega_0 t).$$

4. Усилие от позиционной нагрузки:

$$F_{noz} = C_{\Sigma} X = C_{\Sigma} X_m \cos \omega_0 t.$$

Так как $F_{дин} = F_{noz}$, что согласуется с идеей компенсации, то нагрузочную диаграмму можно найти (построить или рассчитать) суммированием (графическим или алгебраическим) двух составляющих нагрузки:

$$F_{н\Sigma}(t) = F_{жс.м}(t) + F_{c.m}(t) = -H_{\Sigma} X_m \omega_0 \sin \omega_0 t - F_{mp\Sigma} \text{Sign}(\sin \omega_0 t). \quad (2)$$

Основными параметрами ЛАД при его работе в автоколебательном режиме, которые в дальнейшем надо выдержать при проектировании, будут критическое усилие $F_{кр}$ и критическая скорость $V_{кр}$, т. е. координаты критической точки. Принимаем $F_{кр}$ и $V_{кр}$ такими, чтобы они удовлетворяли условию:

$$\begin{cases} F_{кр} \geq (1,1 \dots 1,3) F_{н\Sigma,m} \\ V_{кр} \leq X_m \omega_0 \leq V_1, \end{cases} \quad (3)$$

где $F_{н\Sigma,m}$ – максимальное значение усилия по нагрузочной диаграмме;

$F_{кр}$ – критическое усилие проектируемого ЛАД;

V_1 – скорость идеального холостого хода ЛАД, рекомендуется выбирать такой, чтобы $S_{кр} = 0,4 - 0,5$.

Далее переходят непосредственно к проектированию двигателя.

Предварительно правильность проектирования ЛАД проверяют по наличию точек пересечения механических характеристик электродвигателя и нагрузки. Механическая характеристика ЛАД строится по выражению, приближенно учитывающему краевой эффект.

Для однофазного ЛАД

$$F = \frac{2 \cdot F_k}{2p+1} \left(\frac{2p+1}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} - \frac{1}{\frac{2-s}{s_k} + \frac{s_k}{2-s}} \right), \quad (4)$$

где F_k, s_k – критическое усилие и скольжение двигателя без учета краевого эффекта [2].

Механическая характеристика нагрузки строится по выражению (2), но в функции скорости, а не времени.

Затем производят проверку ЛАД по перегрузочной способности, для чего строят временные диаграммы мгновенных мощностей, потребляемой нагрузкой и располагаемой электродвигателем, по выражениям:

$$\begin{aligned} p_n(t) &= F_{н\Sigma}(t) \cdot V(t) = F_{н\Sigma}(t) \cdot (-X_m \omega_0 \sin \omega_0 t), \\ p_{\text{дв}}(t) &= F_{\Sigma m}(t) \cdot V(t) = F_{\Sigma m}(t) \cdot (-X_m \omega_0 \sin \omega_0 t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $F_{\Sigma m}(t)$ определяется по выражению (4).

Проверка ЛАД по перегрузочной способности производится по выражению:

$$P_{\text{дв},m} \geq (1,1 \dots 1,3) P_{n,m}, \quad (6)$$

где $P_{\text{дв},m}$, $P_{n,m}$ – максимальные значения мгновенных мощностей двигателя и нагрузки по диаграммам.

При подтверждении правильности проектирования ЛАД переходим к расчету относительных коэффициентов μ_1, \dots, μ_{15} уравнения движения [1], с целью определения предельных циклов автоколебаний, которые будем вести на основе критериального уравнения, которое можно получить, приравняв выражения для X_m полученные в [1].

$$\sqrt{v_0^2 + [x_0 - (\mu_3 + \frac{1}{2} \mu_5)]^2} = \frac{4}{3} \sqrt{\lambda_1} \cos(60^\circ - \frac{1}{3} \arccos \frac{9\lambda_2}{\pi \sqrt{\lambda_1^3}}), \quad (7)$$

где $\lambda_1 = (\mu_4 - \mu_1)/\mu_6$, $\lambda_2 = \mu_2/\mu_6$ – бифуркационные параметры;

x_0, v_0 – начальные условия пуска.

Решая уравнение (7) относительно x_0 , получим условие пуска в устойчивый автоколебательный режим:

$$x_0 = \sqrt{\frac{16}{9} \lambda_1 \cos^2(60^\circ - \frac{1}{3} \arccos \frac{9\lambda_2}{\pi \sqrt{\lambda_1^3}}) - v_0^2} + (\mu_{3,0} + \frac{1}{2} \mu_{5,0}), \quad (8)$$

Найденные начальные условия пуска (x_0, v_0) существенно влияют на получение устойчивого автоколебательного режима.

Для окончательной проверки правильности синтеза автоколебательной системы решаем уравнение движения на ПЭВМ, в результате чего определяем основные параметры колебательного движения X_m, ω_0 . В случае большой погрешности требуется изменить параметры двигателя и повторить расчет.

Литература

1. Луковников В.И., Рудченко Ю.А. Анализ электромеханической автоколебательной системы «Асинхронный электродвигатель — упругий элемент» // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – 2003. – № 1. – С. 61-66.
2. Ижеля Г.И. Линейные электродвигатели. – Киев: Техника, 1975.