

УДК 621-83

А.Ю.Сальников (асп., каф. САУ), С.А.Ковчин, д.т.н., проф.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНТУРА ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

При синтезе регулятора тока в системе электропривода с подчиненным управлением контур тока обычно настраивают на модульный оптимум. Структуру и параметры пропорционально-интегрального регулятора тока выбирают, полагая, что цепь якоря и усилитель мощности являются инерционными звеньями первого порядка с большой $T_{\text{я}}$ и малой $T_{\text{мТ}}$ постоянными времени соответственно, датчик тока – безынерционным, а обратная связь по ЭДС двигателя не действует [1]. При таких условиях передаточная функция (ПФ) регулятора тока имеет вид

$$W_{\text{РТ}}(s) = \frac{r_{\text{я}}(T_{\text{я}}s + 1)}{2T_{\text{мТ}}k_{\text{у}}k_{\text{М}}k_{\text{ДТ}}s},$$

а передаточная функция оптимизированного контура тока без учета ЭДС двигателя равна

$$\Phi_{\text{T1}}(s) = \frac{1}{k_{\text{ДТ}}(2T_{\text{мТ}}^2s^2 + 2T_{\text{мТ}}s + 1)},$$

где $r_{\text{я}}$ – сопротивление цепи якоря, $k_{\text{у}}$ – коэффициент передачи усилителя мощности, $k_{\text{М}}$ – конструкционный коэффициент двигателя, $k_{\text{ДТ}}$ – коэффициент передачи датчика тока.

Если учесть ЭДС двигателя, то при использовании регулятора с ПФ $W_{\text{РТ}}(s)$ контур тока будет иметь передаточную функцию, которую можно представить в виде:

$$\Phi_{\text{T2}}(s) = \frac{T_{\text{мТ}}s + \alpha}{k_{\text{ДТ}}(2T_{\text{мТ}}^3s^3 + 2T_{\text{мТ}}(\alpha + 1)s^2 + T_{\text{мТ}}(2\alpha\beta + 2\alpha + 1)s + \alpha(2\beta + 1))},$$

где $\alpha = T_{\text{мТ}}/T_{\text{я}}$, $\beta = T_{\text{мТ}}/T_{\text{М}}$, $T_{\text{М}}$ – механическая постоянная времени привода; $0 < \beta < \alpha < 1$. Таким образом, если регулятор тока синтезируется с пренебрежением ЭДС двигателя, возникает задача сравнения показателей качества переходных процессов в контурах с ПФ $\Phi_{\text{T1}}(s)$ и $\Phi_{\text{T2}}(s)$, позволяющих оценить корректность такого пренебрежения. В этом и состоит цель данной работы.

Несложно показать, что для любых α и β контур тока остается устойчивым, колебательный характер переходного процесса сохраняется. Известно, что действие ЭДС ведет к установившейся ошибке регулирования тока, зависящей от соотношения $T_{\text{мТ}}/T_{\text{М}}$

$$I_3 - I = I_3 \frac{2\beta}{2\beta + 1},$$

где I и I_3 – значения установившегося и заданного токов.

Динамические свойства контуров $\Phi_{\text{T1}}(s)$ и $\Phi_{\text{T2}}(s)$ близки при достаточно большой механической инерции привода по сравнению с инерцией усилителя мощности и цепи якоря. Например, в [2] представлены частотные характеристики контуров $\Phi_{\text{T1}}(s)$ и $\Phi_{\text{T2}}(s)$, которые практически совпадают в области значащих частот, если $2T_{\text{мТ}}/T_{\text{М}} > 0,1$. В работе [3] показано, что отклонения динамических свойств контура $\Phi_{\text{T2}}(s)$ от идеализированных определяются соотношениями между всеми тремя постоянными времени электропривода, $T_{\text{М}}$, $T_{\text{я}}$ и $T_{\text{мТ}}$. Отмечено, что передаточная функция $\Phi_{\text{T2}}(s)$ переходит в $\Phi_{\text{T1}}(s)$ при взаимной компенсации ее действительного полюса и нуля. Можно доказать, что это происходит только при $\beta \rightarrow 0$, то есть при выполнении условия $T_{\text{мТ}} \ll T_{\text{М}}$. Предполагается, что переходные процессы в контуре тока будут повторять идеализированные даже при соотношении $2T_{\text{мТ}}/T_{\text{М}} = 0,4$, если при этом $T_{\text{я}}/T_{\text{М}} < 0,2$.

Нами было проведено более подробное исследование зависимостей основных показателей качества переходных процессов при скачкообразном входном воздействии (перерегулирование σ , время переходного процесса t_{Π} , скорость изменения регулируемой величины Γ) в контуре тока от α и β ; расчеты проводились с использованием пакета MATLAB 6.5.

Исследование зависимости производной $\Gamma(\alpha; \beta)$, определяющей рывок механической части электропривода, показывает, что ее максимальное значение $\Gamma = 0,3224I_3/T_{\mu T}$ достигается при $\alpha \rightarrow 0$ и $\beta \rightarrow 0$, то есть с приближением свойств контура тока к идеализированным. Это означает, что пренебрежение ЭДС при синтезе регулятора тока не может в дальнейшем привести к нарушению предварительно заданных ограничений на скорость возрастания тока двигателя и механический рывок привода.

При малых β перерегулирование мало зависит от α , а при увеличении β убывает при росте α . Наименьшее перерегулирование $\sigma = 4,32\%$ соответствует $\alpha \rightarrow 0$ и $\beta \rightarrow 0$, а наибольшее $\sigma = 213\%$ – $\alpha \rightarrow 0$ и $\beta \rightarrow 1$.

Наименьшее значение времени переходного процесса имеет место при $\alpha \rightarrow 1$ и $\beta \rightarrow 1$ (если условие его окончания – снижение отклонения регулируемой величины от установившегося значения до 5%, $t_{\Pi} = 6,17T_{\mu T}$). При малых α время переходного процесса неограниченно возрастает. Зависимость $t_{\Pi}(\beta)$ выражена слабее, чем $t_{\Pi}(\alpha)$.

На интервале $0,01 < \alpha < 0,4$, $0,03 < \beta < 0,4$ перерегулирование и время переходного процесса можно вычислить по формулам:

$$\sigma = \beta \frac{44,75\%}{\alpha + 0,2143} + 4,5\%,$$

$$t_{\Pi} = T_{\mu T} \left(\frac{1}{\alpha} \left(-\frac{0,157}{\beta + 0,04147} - 1,281\beta + 2,3671 \right) + \frac{0,1819}{\beta + 0,006628} + 2,386\beta + 2,0045 \right).$$

Числовые коэффициенты рассчитаны по методу наименьших квадратов. Погрешность расчета для σ не более 10%, для t_{Π} – не более 20%.

Полученные результаты позволяют инженеру рассчитать численные значения показателей качества контура тока, определяющего энергетику системы, по конкретным параметрам электропривода с подчиненным управлением.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Электротехнический справочник. Т. 4: Использование электрической энергии. 2002. 696 с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. 1982. 392 с.
3. Ковчин С.А., Фан Ли-Цзинь Особенности упругих двухмассовых электромеханических систем. СПб.: Сборник научных трудов СПбГПУ, 1995, N 452. с. 28 – 38.