

УДК 681.51

МЕТОД РАСЧЕТА И АНАЛИЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПО- СТОЯННОГО ТОКА

Чепендюк Н.Н., Чепендюк С.В.

Предлагается метод расчета и анализа систем автоматического управления электроприводов постоянного тока (САУ ЭППТ) по заданным показателям качества с учетом возможности технической реализации.

В работе [1] был рассмотрен метод нахождения области значений регулируемых параметров САУ ЭППТ по заданным показателям качества. При расчете достаточно сложных систем, какими являются промышленные электроприводы постоянного тока, возникают затруднения в связи с необходимостью решения системы дифференциальных уравнений высокого порядка. Задачу нахождения области параметров, в которой САУ обладает устойчивостью и заданными показателями качества, можно решить, если заранее выделить перечень элементов, параметры которых накладывают ограничения на возможность технической реализации.

Любой элемент электромеханической системы обладает набором технических характеристик и параметров (постоянных и варьируемых), определяемых справочными данными. Для каждого варьируемого параметра существует диапазон значений, при которых гарантируется сохранение работоспособности элемента с расчетной вероятностью выхода его из строя. Например, для каждого двигателя определены максимальные значения тока якоря, тока возбуждения, частоты вращения вала, превышение которых приведет к выходу двигателя из строя (выгорание обмоток, механическое разрушение машины). Поэтому при проектировании САУ ЭППТ по заданным показателям качества необходимо учитывать ограничения, накладываемые техническими характеристиками элементов.

Предлагаемый метод основан на последовательном анализе и выборе значений варьируемых параметров каждого элемента САУ в отдельности с последующим синтезом корректирующего устройства (КУ), обеспечивающего реализацию заданных параметров качества с наименьшими затратами времени на проектирование и наименьшим количеством элементов КУ.

Поясним предлагаемый метод на примере расчета системы стабилизации ЭПТТ. Структурная схема такой системы приведена на рисунке 1, а; функциональная – на рисунке 1, б, на которых электромашинный усилитель (ЭМУ) для электроприводов большой мощности может быть заменен генератором.

Этап первый. Расчет коэффициентов передачи элементов системы.

Произведение коэффициентов передачи всех элементов представляет собой коэффициент передачи всей системы с разомкнутой обратной связью (ОС) по контролируемой величине (в нашем примере – частоте вращения вала двигателя). Величину необходимого коэффициента передачи системы можно определить, исходя из требований точности поддержания контролируемой величины (ошибки ε на входе электронного усилителя)

$$\varepsilon = U_{зад} - U_{ТГ}, \quad (1)$$

где $U_{зад}$ – задающий сигнал; $U_{ТГ}$ – выходной сигнал тахогенератора, который определяется как

$$U_{ТГ} = U_{ЭМУ}^{бых} \cdot k_{ДВ} \cdot k_{ТГ}, \quad (2)$$

где $U_{ЭМУ}^{бых}$ – напряжение, подаваемое на двигатель, равное

$$U_{ЭМУ}^{бых} = \varepsilon \cdot k_{эл.ус.} \cdot k_{ЭМУ}. \quad (3)$$

Откуда

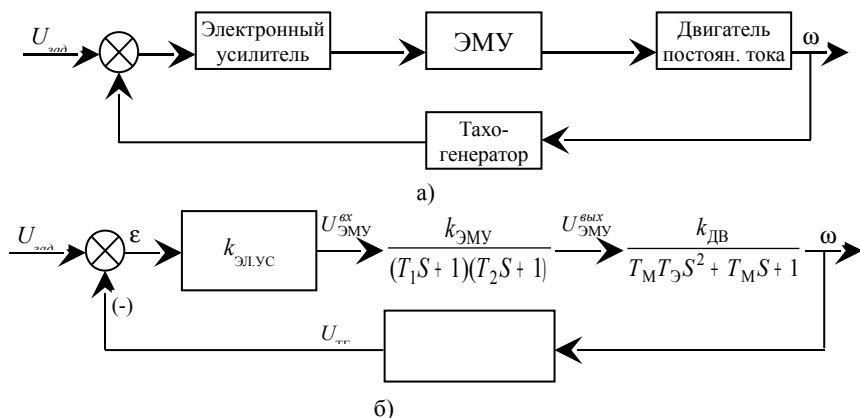


Рисунок 1 – Структурная схема системы стабилизации ЭПТТ (а), функциональная схема (б)

$$k_{эл.ус.} \cdot k_{ЭМУ} = \frac{U_{ЭМУ}^{вых}}{\varepsilon}. \quad (4)$$

Коэффициент передачи двигателя и тахогенератора определяются конструктивными данными, поэтому их величины в расчете принимаются как константы.

Коэффициент передачи системы обычно определяется из выражения

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + k_{сис}} U_{зад}.$$

Однако в нашем случае рациональнее воспользоваться уравнением (4). Поясним это утверждение. Следует иметь в виду, что максимальная величина выходного напряжения ЭМУ не должна превышать максимально допустимого напряжения на якоре электродвигателя (в противном случае двигатель «пойдет в разнос»). В то же время обмотки управления ЭМУ обладают активным сопротивлением, которое накладывает ограничения на величину напряжения входного управляющего сигнала ЭМУ (исходя из соображений тепловой нагрузки обмоток управления). Что касается электронного усилителя (ЭУ), современная элементная база позволяет проектировать усилители с высоким значением задающего напряжения, а значит, большой амплитудой выходного сигнала. Таким образом, электронный усилитель не накладывает существенных ограничений на снижение коэффициента передачи ЭМУ и позволяет снизить $k_{ЭМУ}$ вплоть до единицы. Это является существенным положительным моментом, так как в работе [2] отмечалось, что применение внутренних (местных) ОС повышает качественные характеристики элементов, и значит, всей САУ в целом. Целесообразно определить $k_{ЭМУ}$, используя следующее выражение:

$$k_{ЭМУ} = \frac{U_{я.дв}^{max}}{k_1 \cdot U_{эл.ус}^{num}}, \quad (5)$$

где $k_{ЭМУ}$ – коэффициент передачи ЭМУ; $U_{я.дв}^{max}$ – максимально допустимая величина выходного напряжения ЭМУ; k_1 – коэффициент, учитывающий потери напряжения при передаче от источника питания электронного усилителя на вход ЭМУ (0,8-0,9 в зависимости от схемы ЭУ); $U_{эл.ус}^{num}$ – напряжение питания электронного усилителя.

При расчете следует иметь в виду, что $k_1 \cdot U_{эл.ус}^{num} < U_{ЭМУ}^{ex max}$. Если это условие не выполняется, необходимо между ЭУ и ЭМУ включить звено, коэффициент передачи которого вычисляется по формуле:

$$k_2 = \frac{U_{ЭМУ}^{ex max}}{k_1 \cdot U_{эл.ус}^{num}}. \quad (6)$$

В качестве такого звена можно использовать, например, резистивный делитель напряжения.

Определив $k_{ЭМУ}$, можно вычислить коэффициент передачи ЭУ. На практике необходимые коэффициенты передачи можно получить с помощью введения местных отрицательных обратных связей (ООС) по напряжению, как показано на рисунке 2 (элементы L2, R1 и R2 образуют кольцо ООС ЭМУ по напряжению).

Параметры электрической части двигателя накладывают ограничения на максимальную величину тока якоря (превышение этого значения приводит к перегреву якорной обмотки и выходу из строя коллекторно-щеточного аппарата и т.п.). Принимая во внимание это условие, целесообразно обеспечить в системе ООС по току якоря двигателя. Наиболее простой способ показан на рисунке 2 (L3, стабилитроны VD1, VD2 и Rш). Броски тока выше номинального могут возникать только в моменты переходных процессов, поэтому введение ООС по току не оказывает влияние на коэффициент передачи системы.

Этап второй. Оптимизация качественных показателей элементов с целью достижения заданных показателей качества всей системы.

После расчета показателей системы в стационарном (установившемся) режиме, необходимо получить передаточные функции каждого элемента системы с учетом местных обратных связей, введенных на первом этапе:

а) передаточная функция двигателя

$$F_{ДВ} = \frac{k_{ДВ}}{T_M T_{\mathcal{E}} S^2 + T_M S + 1}, \quad (7)$$

где T_M , $T_{\mathcal{E}}$ – электромеханическая и электромагнитная постоянные времени двигателя соответственно;

б) передаточная функция электронного усилителя

$$F_{эл.ус} = k_{эл.ус}; \quad (8)$$

в) передаточная функция тахогенератора

$$F_{ТГ} = \frac{k_{ТГ}}{T_{ТГ} S + 1}, \quad (9)$$

где $k_{ТГ}$, $T_{ТГ}$ – коэффициент передачи и постоянная времени тахогенератора;

г) передаточная функция ЭМУ запишется в виде

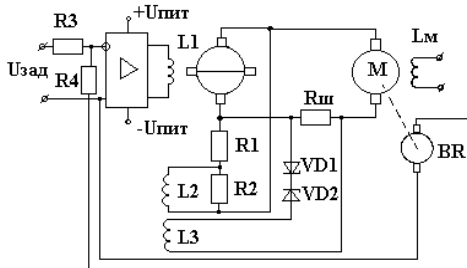


Рисунок 2 – Пример выполнения обратных связей

$$\begin{aligned}\Phi_{ЭМУ} &= \frac{F_{ЭМУ}}{1 + k_{ОС.напр} \cdot F_{ЭМУ}} = \frac{\frac{k_{ЭМУ}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{k_{ЭМУ}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}} = \\ &= \frac{\frac{k_{ЭМУ}}{R_1 + R_2}}{1 + \frac{T_1 S}{1 + R_2 k_{ЭМУ}} + \frac{T_2 S}{1 + R_2 k_{ЭМУ}} + \frac{T_1 T_2 S^2}{1 + R_2 k_{ЭМУ}}},\end{aligned}\quad (10)$$

где $k_{ОС.напр} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ – коэффициент ООС ЭМУ по напряжению; T_1, T_2 –

постоянные времени продольной и поперечной обмоток ЭМУ.

Таким образом, введение ООС по напряжению в ЭМУ позволило сократить величины постоянных T_1 и T_2 в $(1 + R_2 k_{ЭМУ})$ раз, а значит, увеличить его быстродействие и расширить частотный диапазон.

Этап третий. Анализ и коррекция системы. На этом этапе возможны два подхода к анализу системы.

1 Введение глубокой ООС ЭМУ по напряжению позволило сделать его постоянные ничтожно малыми по сравнению с постоянными времени электродвигателя. Поэтому постоянными времени ЭМУ можно пренебречь и рассматривать систему более низкого порядка.

2 Введение ООС по току двигателя позволяет рассматривать переходный процесс в САУ как в системе, состоящей из электродвигателя и генератора тока, работающего на электродвигатель. В этом случае время переходного процесса можно рассчитать по формуле:

$$t_{nn} = \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{d\omega / dt}, \quad (11)$$

где $\omega_{нач}, \omega_{кон}$ – начальное и конечное значение скорости вращения вала двигателя (для нашего примера); $d\omega/dt$ – скорость изменения частоты вращения вала двигателя при заданных значениях тока якоря и момента на валу двигателя.

При необходимости коррекции известными методами разрабатывается корректирующее устройство, компенсирующее инертность прямого канала. Такое КУ можно выполнить на активных фильтрах и установить на входе электронного усилителя. При разработке КУ необходимо стремиться к минимизации фазовых искажений. Например, применение корректора высокого порядка может привести к потере устойчивости системы по причине большого опережения по фазе. В этом случае необходимо применить два корректирующих устройства: одно – в цепи прямого канала (дифференцирующее), другое – в цепи главной обратной связи системы (интегрирующее).

щее). Корректирующие устройства должны быть такими, чтобы суммарная фазо-частотная характеристика системы имела минимальные искажения. Это условие является гарантом широкого частотного диапазона системы и наилучших показателей качества. Результат синтеза КУ проверяется путем построения кривой переходного процесса и проверки устойчивости САУ любым удобным методом.

Выводы. Предлагаемый метод позволяет оптимально рассчитать и выбрать параметры практически любой схемы САУ ЭПТ, основываясь на заданных показателях качества и технических характеристиках реальных элементов на стадии разработки принципиальной схемы. Особенностью метода является возможность его использования с методом, описанным в работе [1], так как он позволяет сократить число неизвестных величин в системе дифференциальных уравнений, описывающих проектируемую систему, а в ряде случаев и снизить порядок этих уравнений без снижения точности расчетов.

Библиография

1 Чепендюк Н.Н. Оптимизация электроприводов постоянного тока по заданным качественным показателям / Н.Н. Чепендюк // Оптимизация производств. процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 1999. — Вып. 1. — С. 122–125.

2 Чепендюк Н.Н. Выбор параметров автоматизированных электроприводов постоянного тока для регулирования их показателей качества / Н.Н. Чепендюк, С.В. Чепендюк // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. — Севастополь, 1998. — Вып. 15. — С. 106–110.

Поступила в редакцию 28.10.1999 г.