

Машинный язык является наиболее общим из всех языков программирования. На этом языке программист "разговаривает" непосредственно с ЭВМ. Считается, что программировать на этом языке наиболее трудно, поскольку программист должен мыслить в терминах машинных функций. Однако программирование на машинном языке, хотя и сопряжено со значительными трудностями, обеспечивает полный контроль и управление каждой машинной операцией. Такое управление позволяет оптимизировать программу с точки зрения времени ее выполнения и требуемого для ее размещения объема памяти.

Структурную работу программных средств можно организовать, как показано на рис. 2.

Во время выполнения основной программы на отдельных ее участках с определенной периодичностью через систему прерываний подключается та или другая подпрограмма, которая следит за изменяющимися параметрами системы.

Предложенная организация системы управления трансмиссией автомобиля была проверена на кафедре "Автомобили" БПИ и показала хорошую работоспособность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Руктешель О.С., Эль Камиль Хамад. Информационные параметры системы автоматического управления силовым агрегатом автомобиля // Автотракторостроение. — Минск, 1985. — Вып. 20. — С. 26–29.

УДК 629.13

В.В. КАПУСТИН, канд.техн.наук  
(БПИ)

### К ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Электрогидравлический распределитель (ЭГР), широко применяемый на автомобилях и тракторах, включает два основных функциональных узла (рис. 1): электромагнит 1 и золотниковый или клапанный распределительный элемент (РЭ) 2 потока жидкости. Их расчет традиционно проводится раздельно. Так, в инженерной практике применяется методика расчета электромагнита [1, 5]. Золотниковый РЭ рассчитывается на основе уравнения его движения [2].

ЭГР характеризуется совместной работой электромагнита и распределительного элемента, что, естественно, влияет на их параметры, время срабатывания и точность регулирования давления на выходе. Поэтому практическое значение принимает расчет и оптимизация параметров электромагнита и РЭ с помощью общей математической модели.

Обычно время срабатывания электромагнита  $t_{\text{ср}}$  [1] делят на время трогания  $t_{\text{тр}}$  (с начала подачи электрического сигнала до начала трогания электромагнита) и время движения  $t_{\text{дв}}$  электромагнита и РЭ, т. е.  $t_{\text{ср}} = t_{\text{тр}} + t_{\text{дв}}$ . Анализируя работу ЭГР, отметим, что движение сердечника электромагнита 1

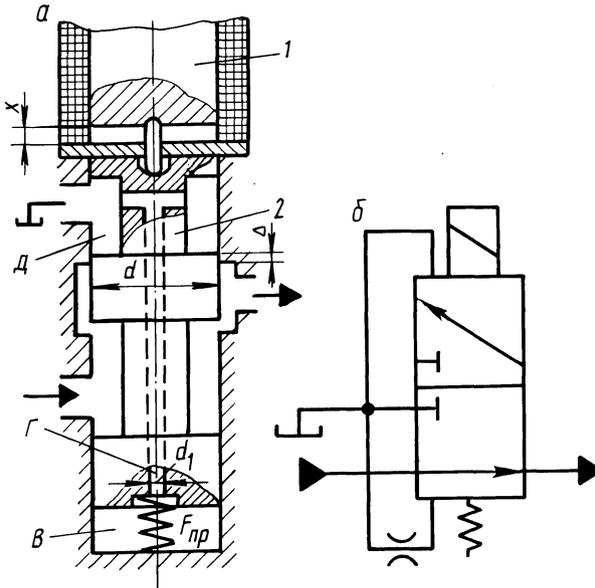


Рис. 1. Электрогидравлический распределитель:  
 а – расчетная схема; б – принципиальная

происходит практически одновременно с РЭ 2 (см. рис. 1). Следовательно, время трогания  $t_{тр}$  будет определяться не только характеристиками электромагнита, но и теми силами сопротивления, которые испытывает РЭ при своем перемещении. В проведенных нами экспериментах время трогания электромагнита промышленных ЭГР может достигать 0,15 с, а время движения электромагнита и РЭ составляет лишь 0,01...0,02 с. При таком соотношении составляющих времени срабатывания ЭГР при увеличении давления в гидросистемах существенно снижается точность регулирования давления на выходе РЭ.

Например, перемещение золотника модулятора противоблокировочной системы в фазе оттормаживания за  $t_{дв} = 0,01$  с приводит к "забросу" давления на выходе РЭ до 17 МПа (перерегулирование составляет 60%). Эти возмущения вызывают высокочастотные колебания жидкости и трубопроводов, гидравлические удары, что снижает также и надежность элементов привода. Таким образом, возникает необходимость в увеличении и регулировании времени движения РЭ. Быстродействие ЭГР может быть улучшено за счет сокращения времени трогания электромагнита путем применения специальных схем форсирования.

Рассмотрим возможности регулирования времени движения РЭ. При включении электромагнита перемещение золотникового РЭ 2 (см. рис. 1) вызывает вытеснение рабочей жидкости из полости В через канал Г в линию слива Д. Время движения РЭ будет зависеть и от сопротивления канала по длине  $l$  и местных сопротивлений  $\xi$ .

Составим уравнение равновесия золотникового РЭ рассматриваемой схемы:

$$F_{\text{эм}} = F_{\text{и}} + F_{\text{в.т}} + F_{\text{д}} + F_{\text{гд}} + F_{\text{с.т}} + F_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{эм}}$  – усилие, развиваемое электромагнитом;  $F_{\text{и}}$  – сила инерции электромагнита и золотника;  $F_{\text{в.т}}$  – сила вязкого трения золотника по контактирующей поверхности гильзы;  $F_{\text{д}}$  – сила вязкого трения при движении рабочей жидкости по каналу  $\Gamma$ ;  $F_{\text{гд}}$  – гидродинамическая сила, вызываемая реактивным действием потока жидкости, проходящей через рабочие щели золотника;  $F_{\text{с.т}}$  – сила трения в паре "золотник – гильза" (без смазочного материала);  $F_{\text{пр}}$  – сила возвратной пружины РЭ.

Постоянные составляющие уравнения (1)  $F_{\text{и}}, F_{\text{в.т}}, F_{\text{гд}}, F_{\text{с.т}}$ , их характеристики и параметры этих сил изложены в работах [2, 4]. Здесь же рассмотрим одну из составляющих – силу вязкого трения  $F_{\text{д}}$ , которая непосредственно обеспечивает возможность регулирования движения РЭ. Сила вязкого трения в канале  $\Gamma$  золотника может быть определена на основе обобщенного уравнения движения жидкости [3]:

$$F_{\text{д}} = 0,393 k \rho \nu l u^2 \frac{dx}{dt} + (0,443 \frac{\rho l A}{\sqrt{A_1}} f(\epsilon) + 0,5 \Sigma \xi \rho A) u^2 (\frac{dx}{dt})^2, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент аппроксимации [4]:  $k = 64 \dots 75$ ;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости;  $l$  – длина канала  $\Gamma$  золотника;  $u = A/A_1$  – отношение площади сечения золотника  $A$  к площади  $A_1$  канала  $\Gamma$ ;  $\frac{dx}{dt}$  – скорость перемещения золотника;  $f(\epsilon)$  – функция шероховатости канала  $\Gamma$ ;  $\Sigma \xi$  – местные сопротивления канала  $\Gamma$  золотника.

Рассмотрим также возможность применения временной функции усилия  $F_{\text{эм}}$ , которое связано зависимостью с параметрами электромагнита. Тяговая сила электромагнита определяется по данным [1]:

$$F_{\text{эм}} = 6,4 \cdot 10^{-8} \eta^2 I_y^2 \omega^2 \left| \frac{dG}{d\delta} \right|_{\delta=\delta_{\text{м}}}, \quad (3)$$

где  $\eta$  – коэффициент запаса по току;  $I_y$  – установившаяся сила тока электромагнита;  $\omega$  – число витков обмотки электромагнита;  $\left| \frac{dG}{d\delta} \right|_{\delta=\delta_{\text{м}}}$  – модуль

производной проводимости  $G$  якоря по перемещению  $\delta$  при максимальном ходе  $\delta_{\text{н}} = x$ .

Коэффициент  $\eta$  есть отношение тока трогания  $i_{\text{тр}}$  электромагнита к току  $I_y$ , т. е.  $\eta = i_{\text{тр}}/I_y$ . Ток  $i_{\text{тр}}$  с момента включения электромагнита представляет непрерывную функцию времени  $t$ , которая изменяется по экспоненте до  $I_y$ :

$$i_{\text{тр}} = I_y (1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{эм}} + T_{\text{в}}}}), \quad (4)$$

где  $T_{\text{эм}}$  – постоянная времени обмотки электромагнита;  $T_{\text{в}}$  – постоянная времени, учитывающая действие вихревых токов в магнитопроводе.

Подставляя выражение (4) в уравнение (3), получим временную функцию тягового усилия электромагнита:

$$F_{эм} = 6,4 \cdot 10^{-8} I_y^2 \omega^2 \left| \frac{dG}{d\delta} \right|_{\delta=x} (1 - e^{-\frac{t}{T_{эм} + T_B}})^2. \quad (5)$$

Введем полученное выражение (2) в уравнение (1), предварительно заменив совокупность параметров при  $\frac{dx}{dt}$  и  $(\frac{dx}{dt})^2$  на соответствующие коэффициенты  $R_1, R_3, R_4$ , и выражение (5) с коэффициентом передачи  $k_{\pi}$ . Подставим также в уравнение (1) уже известные составляющие  $F_{и}, F_{гд}, F_{в.т}, F_{с.т}, F_{пр}$  [2, 4].

В результате получим уравнение для расчета электрогидравлического распределителя в виде

$$m \frac{d^2 x}{dz^2} + (R_1 + R_2) \frac{dx}{dt} + (R_3 + R_4) u^2 \left( \frac{dx}{dz} \right)^2 \text{sign} \frac{dx}{dt} + R_5 (x \pm \Delta) + F_{ст} \text{sign} x + F_{0пр} + cx = K_{\pi} (1 - e^{-\frac{t}{T_{э} + T_B}})^2,$$

где  $m$  — масса золотника и якоря электромагнита;  $R_2$  — коэффициент демпфирующей силы золотника [2];  $R_5$  — коэффициент гидродинамической силы золотника [2, 4];  $\Delta$  — перекрытие золотниковой пары;  $F_{0пр}$  — сила предварительного сжатия пружины;  $C$  — жесткость пружины;  $x$  — перемещение золотника;  $t$  — время.

Предложенная математическая модель дает возможность производить динамический расчет и решение задачи оптимизации по определению параметров регулируемого золотникового элемента и электромагнита гидравлических распределителей, в частности модуляторов, ускорительных клапанов гидросистем транспортных и технологических объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование электрических аппаратов авиационного электрооборудования / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Голтеев, А.В. Гордон, А.Н. Ларионов. — М.: Оборонгиз, 1962. — 476 с.
2. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с.
3. Капустин В.В. Обобщенное уравнение движения рабочей жидкости в трубопроводе гидравлического привода // Автотракторостроение. — Минск, 1981. — Вып. 16. — С. 25–29.
4. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1967. — 496 с.
5. Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов. — Л.: Машиностроение, 1985. — 447 с.