

Вопросы энергопитания пневматических логических устройств нормального давления.

Пирошка Геренчер, научный сотрудник

Исследовательский Институт Вычислительной Техники
и Автоматизации ВАН

Надежность логического анализа и синтеза зависит от стабильности статических и динамических факторов элементов систем. Технический синтез пневматических логических систем - то есть создание системы - влияет на качества этих элементов, в первую очередь из-за ограниченной способности питающей сети снабжать систему энергией. Динамическое рабочее состояние логической сети и переключение элементов вызывает за собой изменения течения и давления питающей сети.

Анализ логических элементов и усилителей мощности дискретной работы /переменные нагрузки во время переключения/ ограничивающие связи из-за соблюдения уровня сигналов, симметрических времен включения и выключения, определяются на проводимости питающих каналов.

Вопросы энергоснабжения пневматических логических устройств нормального давления.

Пирошка Геренчер, научный сотрудник

Исследовательский Институт Вычислительной Техники и Автоматизации ВАН

Методы логического анализа и синтеза применяются к идеальным элементам, то есть к элементам стабильного, статического и динамического характера. В пневматических логических системах - из-за соизмеримого времени передачи сигналов элементов и сигнальных линий - сигналы срабатывания могут возникать, особенно с появлением метода создания аппаратур с фрезерованным каналом. С применением методов электроники, сигналы срабатывания в большинстве устраняются [1]. Синтезы логических устройств создаются новые источники сигналов срабатывания: недостаточное снабжение энергией неправильно созданной питающей сети изменяет статические и динамические свойства элементов. Во время работы логической системы динамические процессы в питающей сети препятствуют сложению динамических связей или неустойчивыми станут логические связи.

Потребность воздуха питания пневматического логического элемента ходовой части

После прохождения временных явлений, пневматические логические элементы ходовой части в выключенном состоянии не потребуют воздух питания, а в выключенном состоянии требуют только в случае дроссельной нагрузки /пр. струйный элемент/. Динамические процессы питающей сети вызываются элементами в положении переключения. Задача элемента соединить данной части логической сети - в соответствии осуществленных логических связей - с давлением питания /логический уровень сигнала "1"/ или с атмосферой /логический уровень сигнала "0"/. Переход

между двумя состояниями не мгновенный, а продлится до данного времени. Анализ логических мембранных элементов нормального давления и усилителей мощности дискретного действия /рис. 1/ устанавливает, что - независимо от данной логической функции элемента - система клапанов исполняющих связь, заменяется системой на рис. 2. У каждого типа элементов во время перехода между двумя стабильными положениями подвижной части устанавливается связь между питающим каналом, выводом /логическая сеть/ и сбросом. Эта связь изменяется вместе с данным положением y совместного запирающего элемента. Включительным процессам требуется воздух питания на выходе и на сбросе. У выключения течение воздуха питания - в зависимости от отклонения между давлением питания и выходным давлением - тоже начинается.

Логические элементы и потребители воздуха питания исследуются на базе схемы замещения /см. рис. 2/. Давление питания P_t перед элементом, выходное давление питания P_1 и весовые расходы зависят от положения y запроса клапана.

Функция перемещения по времени $y(t)$ в первую очередь зависит от конструкции данных элементов. Предполагается возможность установления механическими средствами каждого положения запросов клапана.

Элемент исследуется как потребитель.

Под влиянием перепада давления Δp_i на пневматическом сопротивлении весовой расход G_i проходит. На базе литературы отношения между двумя значениями следующие:

$$G_i = \alpha_i \sqrt{p_0 + p_j} \sqrt{\Delta p_i} \quad /1/$$

$$\sigma_j = \sqrt{p_0 + p_j} \quad /1a/$$

после подставки

$$G_i = \alpha_i \sigma_j \sqrt{\Delta p_i} \quad /1b/$$

где

- G_i - весовой расход [N/s]
- α_i - проводимость [m^2/s]
- P_0 - атмосфера [Pa]
- P_j - давление после набивки/избыточное давление/ [Pa]
- Δp_i - перепад давления на набивке [Pa]

Предполагается пропорциональное изменение проводимости каналов питающей стороны и стороны сброса с перемещением запора канала y [2] .

$$\alpha_T = \beta_1 (y_m - y) \quad /2/$$

$$\alpha_L = \beta_0 y \quad /3/$$

где

- α_T, α_L - проводимость каналов питающей стороны и стороны сброса [m^2/s]
- y - перемещение запора канала [m]
- y_m - максимальное перемещение [m]
- β_1 и β_0 - проводимость, относящаяся к единичному перемещению [m/s]

В случае закрепления ходовой части элемента в любом y положении отношения давлений и весовых расходов определяются без учета емкостей C_1 и C_2 .

Нагрузка - с учетом равнодействующей проводимости $\alpha_2 = \alpha_2' \alpha_2''$ - исчисляется с помощью следующих уравнений:

$$G_t = \beta_1 (y_m - y) \sigma_1 \sqrt{P_t - P_1} \quad /4/$$

$$G_0 = \beta_0 y \cdot \sigma_0 \sqrt{P_1} \quad /5/$$

$$G_2 = \alpha_2 \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{P_1} \quad /6/$$

Применяя узловой закон Кирхгофа:

$$G_t = G_0 + G_2 \quad /7/$$

После замен давление p_1 на выходном соединителе:

$$p_1 = p_t \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^2 \left[\frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2} \quad 0 \leq y \leq y_m \quad /8/$$

Весовой расход питающей стороны:

$$\sigma_t = \sqrt{p_t} \cdot \frac{\sigma_0 (\alpha_2 + \beta_0 y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^2 \left[\frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2}} \quad 0 \leq y \leq y_m \quad /9/$$

Равнодействующий весовой расход исчисляется из давления p_t и G_t весового расхода:

$$G_t = \alpha_2 \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{p_t} \quad /10/$$

$$\alpha_e = \frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2} \left[\frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2}} \quad 0 \leq y \leq y_m$$

Целесообразно вводить несколько безразмерных факторов:

Релятивная нагрузка:
$$B = \frac{\alpha_2}{y_m \cdot \beta_1} \quad /11/$$

Коэффициент симметрии:
$$D = \frac{\beta_0 y_m}{\beta_1 y_m} \quad /13/$$

Релятивное перемещение ходовой части:
$$x = \frac{y}{y_m} \quad /14/$$

Потому что $\sigma_0 = \sqrt{p_0}$ следует
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \sigma_1^x = \sqrt{1 + \frac{p_1}{p_0}} \quad /15/$$

После замен форма уравнений /8/, /9/ и /11/ следующая:

$$p_1(x) = \frac{p_t}{1 + \left[\frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /8a/$$

$$G_t(x) = \beta_1 y_m \sqrt{p_t \cdot p_0} \frac{B + Dx}{\sqrt{1 + \left[\frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2}} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /9a/$$

$$\alpha_e(x) = \beta_1 y_m \frac{B + Dx}{\sqrt{1 + \left[\frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2}} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /11a/$$

Потому что σ_1^x зависит от давления $p_1(x)$, вычисления и конструирования на базе уравнения /8а/ происходят определением переменную x к значениям $p_1(x)/p_t$:

$$x = \frac{1 - B \cdot f(p_1)}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /16/$$

где $f(p_1) = \sqrt{\left(\frac{p_t}{p_1} - 1\right)\left(1 + \frac{p_1}{p_0}\right)}$ /17/

Функция $G_t(x)$:

$$G_t(p_1) = \beta_1 y_m \sqrt{p_0} \frac{(B+D) \sqrt{p_1}}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /18/$$

К конструированию $\alpha_e(x)$ пересчитывается уравнение /11а/ следующим образом:

$$\alpha_e(p_1) = \beta_1 \cdot y_m \cdot \frac{(B+D) \sqrt{p_1/p_t}}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /19/$$

На рис. 3 видно отношение выходного давления и давления питания, а формирование равнодействующей пропускной способности элемента в функции от относительного перемещения ходовой части.

Характеристики изменяются в соответствии с параметром давления перед элементом. Максимальное отклонение характеристик номинального и 60%-ого значения 10%. Значение параметра симметрии исследованных элементов: $D = 1 \pm 0,15$. Обыкновенное значение принимающееся во внимание в расчетах: $D = 1$.

Предписания логических уровней

1. Ограничение нагрузки на выходе элемента.

Минимальное значение выходного сигнала логического элемента или усилителя мощности в включенном состоянии определяется с помощью нижнего предела области логического сигнала "1", который пропорционален давлению питания.

$$P_{1\min}/x=0/ \geq K_1 \cdot P_t \quad /20/$$

Из уравнения /16/:

$$x = \frac{1 - B \cdot f [p_1(0)]}{1 + D \cdot f [p_1(0)]}$$

$$B=f[p_1(0)]^{-1} = [(P_t/P_1(0)-1)(1+p_1(0)/P_0)]^{-\frac{1}{2}} \quad /21/$$

Допускаемая нагрузка вычисляется замещением проводимостей:

$$\alpha_2 \leq \beta_1 \cdot \gamma_m \sqrt{\frac{K_1}{1 - K_1}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + K_1 \cdot P_t / P_0}} \quad /22/$$

2. Ограничения сопротивления питающего клапана

Под действием весового расхода G_t осуществляется подача давления на питающем канале с проводимостью α_t /см. схему на рис. 2.б/.

Давление питания P_t перед элементом определяется со знаком равнодействующей проводимости:

$$P_t = P_{t0} \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\alpha_e(x)}{\alpha_t}\right)^2} \quad /23/$$

где $\sigma_t/\sigma_0 = \sigma_t^* = \sqrt{1 + P_t/P_0} \quad /24/$

Давление питания перед элементом ограничивается двумя способами:

- а/ во время переключения давление не уменьшается под предписанной минимальной величиной $P_{t\min} = K_t \cdot P_{t0}$;
- б/ после переключения выходной сигнал - у данной нагрузки - сохраняется на предписанной величине.

Выполнив условие а/ определяется максимальная проводимость $\alpha_{e\max}$. Из уравнения /19/:

$$\alpha_{e \max} = \beta_1 \cdot y_m \cdot \frac{B + D \sqrt{0,5}}{1 + D(1 + 0,5 \cdot p_t / p_o)^{-0,5}} \quad /25/$$

Заменяя в уравнении /23/:

$$p_{t \min} = \frac{p_{to}}{1 + \frac{\beta_1 y_m^2}{\alpha_1} \frac{(B + D)^2}{2(1 + p_t / p_o) [1 + D(1 + 0,5 \cdot p_t / p_o)^{-0,5}]^2}} \quad /26/$$

Допустимый минимум проводимости :

$$\alpha_{t \min} = 1 y_m \cdot \sqrt{\frac{K_t}{1 + K_t}} \cdot \frac{B + D}{\sqrt{2(1 + K_t p_{to} / p_o) [1 + D(1 + 0,5 K_t p_{to} / p_o)^{-0,5}]}} \quad /27/$$

Это условие употребляется в первую очередь у чистых мембранных систем, потому что в их устойчивом состоянии не требуют воздуха питания, и колебание давления ожидается только во время переключения. С предложениями $B=0$ и $D=1$ уравнение /27/ изменяется следующим образом:

$$\alpha_{t \min} = \beta_1 y_m \cdot \sqrt{\frac{K_t}{1 - K_t}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2(1 + K_t p_{to} / p_o) [1 + (1 + 0,5 K_t p_{to} / p_o)^{-0,5}]}} \quad /28/$$

Практически следующие данные исследуемых систем принимаются во внимание:

$$p_{to} = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Pa} ,$$

$$K_t = 0.8 ,$$

$$p_o = 10^5 \text{ Pa}$$

то есть:

$$\alpha_{\min} = 0,54 \cdot \beta_1 \cdot y_m$$

Выполнив условие б/ определяются значения $p_1(0)$ и $\alpha_e(0)$. Из уравнения /8а/:

$$p_1(0) = p_t \cdot \frac{1}{1 + \frac{B^2}{1 + p_1(0) / p_o}} \quad /29/$$

определяются с помощью уравнения /11а/:

$$\alpha_e(0) = \beta_1 \cdot y_m \sqrt{\frac{B}{1 + \frac{B^2}{1 + p_1 / p_o}}} \quad /30/$$

Заменяя в уравнении /29/, уравнения /23/ и /30/ следующие:

$$P_{l \min}(0) = \frac{P_{t0}}{1 + \frac{B^2}{(\sigma_1^x)^2} + \frac{B^2}{(\sigma_t^K)^2} \left(\frac{\beta_1 \cdot y_m}{\alpha_{t \min}} \right)^2} = K \cdot P_{t0} \quad /31/$$

где
 $K < 1$

$$\alpha_{t \min} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{1 + P_t/P_0}} \left(\frac{1 - K}{K} - \frac{B^2}{1 + K P_{t0}/P_0} \right)^{-0,5} \quad /32/$$

Размер питающего канала реализуется только тогда,

если $B < \sqrt{\frac{1 - K}{K}} \sqrt{1 + K P_{t0}/P_0}$ /32a/

Образование уровней сигналов на выходе соединителя

В результате процесса включения ходовая часть элементов перекинута с одного стабильного положения в другое. Во время выключения начальное и конечное значение ходовой части:

$$y(t < 0) = 0$$

$$y(t > t_0) = y_m$$

/33/

Во время включения значения следующие:

$$y(t < 0) = y_m$$

$$y(t > t_0) = 0$$

/34/

Функция перемещения/времени обыкновенно получается из нелинейного квадратного дифференциального уравнения.

$$m = \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + K \frac{dy(t)}{dt} + c(y)y(t) = f[A_1 P_i(t)] \quad /35/$$

m = масса ходовой части [kg]

K = коэффициент затухания [Ns/m]

$c(y)$ = нелинейная постоянная пружины [N/m]

A_1 = эффективная площадь мембраны или сечение канала [m²]

$P_i(t)$ = давление в камере элемента. [Pa]

Функция $y(t)$ определяется обыкновенно путем моделирования с по-

мощью аналоговой или цифровой вычислительной машины [2,8] с учетом пневматических сопротивлений и емкостей элемента.

Время переключения /механическое/ кодовой части элемента определяется с помощью приближенной формулы [3] :

$$t_0 \approx \sqrt{\frac{2hM}{p_K^0 s_e}} \quad /36/$$

- h - перемещение/соответствует y_m / [m]
- M - масса ходовой части [kg]
- p_K^0 - уровень давления включения [Pa] появляется в форме скачкообразной функции
- s_e - эффективная площадь мембраны [m²].

Диапазон времени механического переключения с учетом конструктивных данных элементов на рис. 1. - следующий:

$$0,14 \text{ ms} < t_0 < 1,22 \text{ ms}$$

Процесс логического переключения во время $t=t_0$ не совершается, наполнение внутренних камер и выходной нагрузочной емкости продолжается, и наполняются воздухом питания до давления ниже него предела логического диапазона "1". Во время включения емкости опоражниваются до давления меньше чем высший предел логического диапазона "0".

В зависимости от связи сопротивлений и емкостей определенных с выходной нагрузкой RC и внутренними размерами элемента, метод образования уровней логических сигналов относится к 3 типам /рис. 4/. В схеме процесс переключения $y(t)$ линеаризированный и $\alpha_2=0$.

а/ Параметры сопротивления и емкости соизмеримые. Во время механического переключения наполнение и выгрузка выходной нагрузки продолжается и два процесса смешиваются /кривые типа а/.

б/ На выходную нагрузку $\alpha_2 \leq \beta_1 y_m$ или $\beta_0 y_m$. В этом слу-

чае характеристики с $v \cong 0$ /закрытый выход/ до времени t_0 справедливые на элемент. Выходная емкость C_2 наполняется или опорожняется в области времени $t > t_0$ /кривые типа b /.

в/ На выходную нагрузку $\alpha_2 \gg \beta_1 y_m$ или $\beta_0 y_m$ и $C_2 \gg C_1$ /рис. 2б/ во время включения открытие характеристики относится до времени t_0 .

Во время выключения $G_t(x) = 0$, потому что давление $p_2(0) = p_t$ сохраняется с большой емкостью C_2 до времени t_0 /кривые типа c /.

Время появления на выходе актуального логического уровня сигнала в случае $t > t_0$ зависит от сопротивлений каналов на питающей стороне и на стороне сброса.

Постоянные времени T_i определяются со знанием пневматических сопротивлений R_i и нагрузочных емкостей C_2 /рис. 5/.

$$T_i = R_i \cdot C_2 \quad /27/$$

Элемент и его нагрузка считаются замедляющим пропорциональным звеном первого порядка.

Если $t > t_0$:

$$\alpha_T = \beta_1 y_m \quad \alpha_2 = \beta_0 y_m$$

Динамическое пневматическое сопротивление наполнения:

$$R_T = \frac{\delta(\Delta p)}{\delta G_t} = f_T \left[\frac{K_1}{\alpha_T^2} + \frac{K_2}{\alpha_2^2} \right] = f_T \cdot \left[\frac{K_1}{(\beta_1 y_m)^2} + \frac{K_2}{\alpha_2^2} \right] \quad /38/$$

где K_1 и K_2 постоянные рабочей тоски.

Динамическое пневматическое сопротивление разгрузки емкости C_2 :

$$R_L = \frac{\delta(\Delta p)}{\delta G_o} = f_L \left[\frac{K_3}{(\beta_0 y_m)^2} + \frac{K_4}{\alpha_2^2} \right] \quad /39/$$

где K_3 и K_4 постоянные рабочей точки.

Если нагрузка элемента $\alpha_2 \gg \beta_{1Y_m}$ или β_{0Y_m} , тогда время включения и выключения в первую очередь определяются проводимостями каналов питающей стороны и стороны сброса.

Технологический синтез соответствует, на месте соединения к питанию и сброса элемента, встройке дополнительных пневматических соединений /сброс осуществляется через монтажную панель/. Так сопротивления R_T и R_L больше станут и значительно отличаются друг от друга после построения логической системы. Эта асимметрия динамических факторов является сигналами состязания.

Заключение

Техническим синтезом пневматических логических систем - созданием аппаратуры с элементами - логическая и питающая сеть тесно связывается. Применение современного монтажа фрезерованного канала дает возможность соизмерением воздухопроницаемости питающих проводов и элементов, поэтому пользователи, получающие питание с неидеального генератора давления, статические и динамические характеристики элементов изменяются. Это явление с точки зрения создания сети невыгодное, потому что это станет источником сигналов состязания. Определение и соблюдение ограничивающих факторов питающей сети дают возможность содержать логические уровни сигналов и времени переключения в данном диапазоне. Таким образом возможность ошибок в системе, построенной на базе логического синтеза, уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bacsó Nándorné: Pneumatikus áramköri hazardok
MTA SzTAKI Tanulmányok 1976/44.
Budapest
- [2] Sas G., Szép E.: A TRIMELOG pneumatikus logikai
alapelem konstrukciós vizsgálata
Mérés és Automatika XVII.évf. 1969.
2.szám
- [3] Фудим, Е.В.: Пневматическая вычислительная техника
Изд-во "Наука" Москва, 1973.
- [4] Стемпневска, Й.: Вопросы надежности струйных логических
схем управления, связанных с подводом
питающего воздуха.
У1. Международная конференция, "Струй-
ная техника", Москва, 1976, А16
- [5] Bacsó P., Kovács Gy., Marton J.: Computer Aided Design
Methods in Pneumatics 7th Cranfield
Fluidics Conference Fl Stuttgart 1975.
- [6] Геренчер П., Шам Г.: Исследование динамических характе-
ристик сети питания пневматических сис-
тем на мембранных элементах
У1. Международная конференция, "струй-
ная техника" Москва, 1976.
- [7] Идельчик : Гидравлические сопротивления Госэнерг-
издат, Москва, 1954.
- [8] Геренчер П.: Вопросы динамического расхода усилите-
лей мощности дискретного действия.
Советско-венгерский семинар по флуиди-
ке Москва 1975.
- [9] Залманзон, Л.А.: Проточные элементы пневматических при-
боров контроля и управления, Изд-во
Академии наук СССР, Москва, 1961

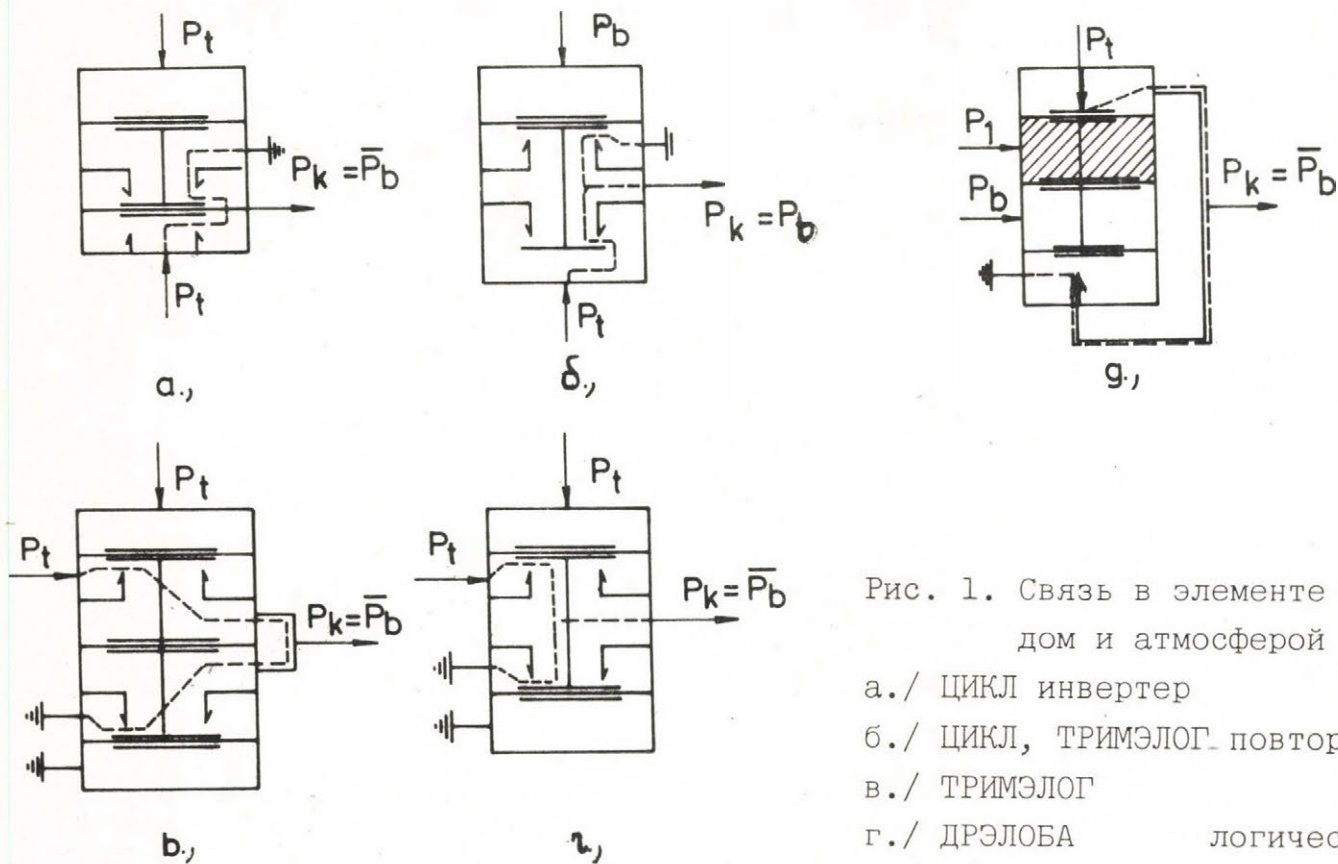


Рис. 1. Связь в элементе между питанием, выходом и атмосферой

- а./ ЦИКЛ инвертер усилители
 - б./ ЦИКЛ, ТРИМЭЛОГ повторитель
 - в./ ТРИМЭЛОГ
 - г./ ДРЭЛОБА логические элементы
 - д./ УСЭППА
- P_b - сигнал управления
 P_k - выходной сигнал
 P_t - давление питания
 P_1 - подпор

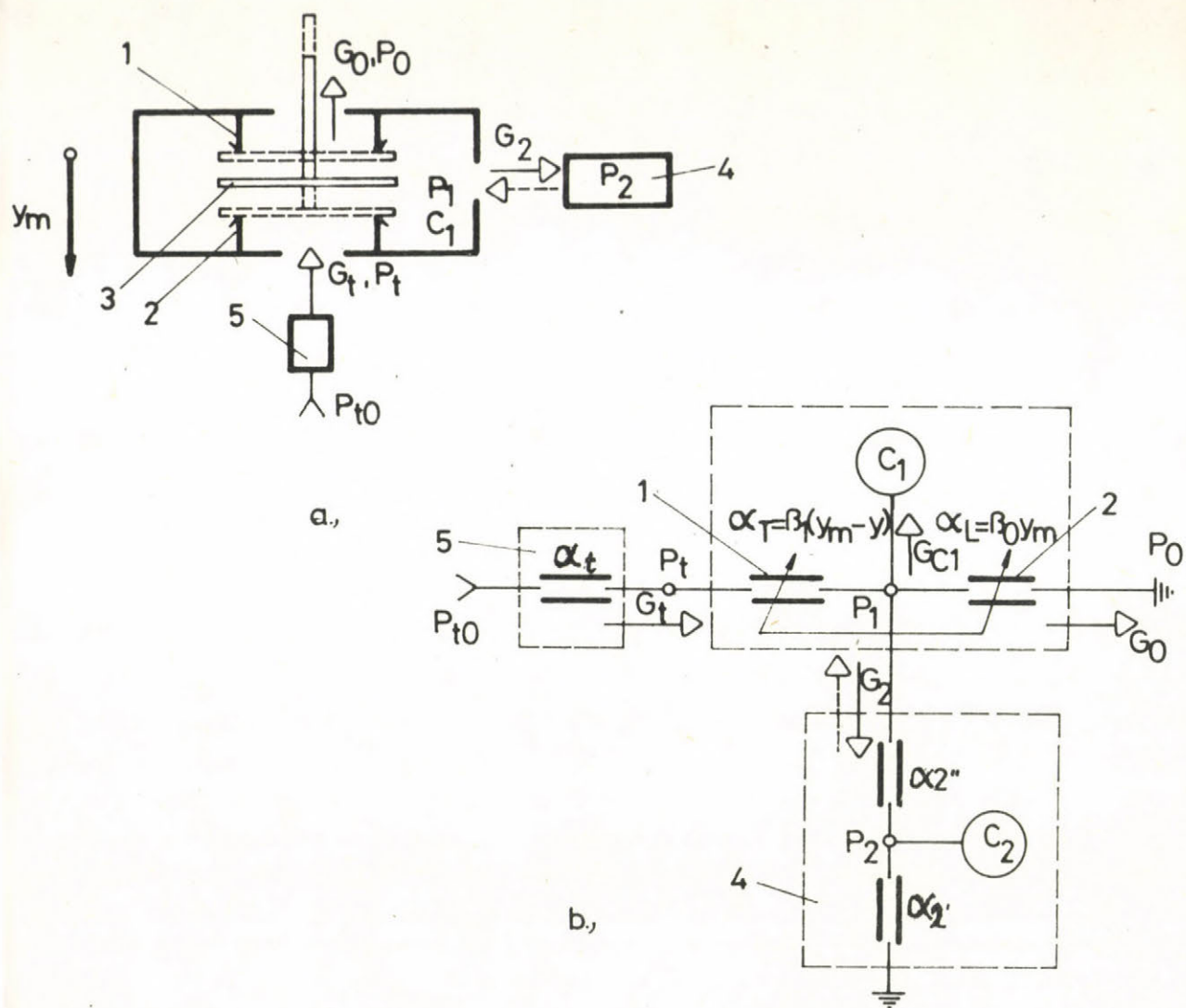


Рис. 2. Систем клапанов в реле
 а./ клапаны и проточные элементы
 б./ схема

- 1 - клапан сброса в атмосферу
- 2 - клапан питания
- 3 - заслонка
- 4 - нагрузка
- 5 - клапан питания

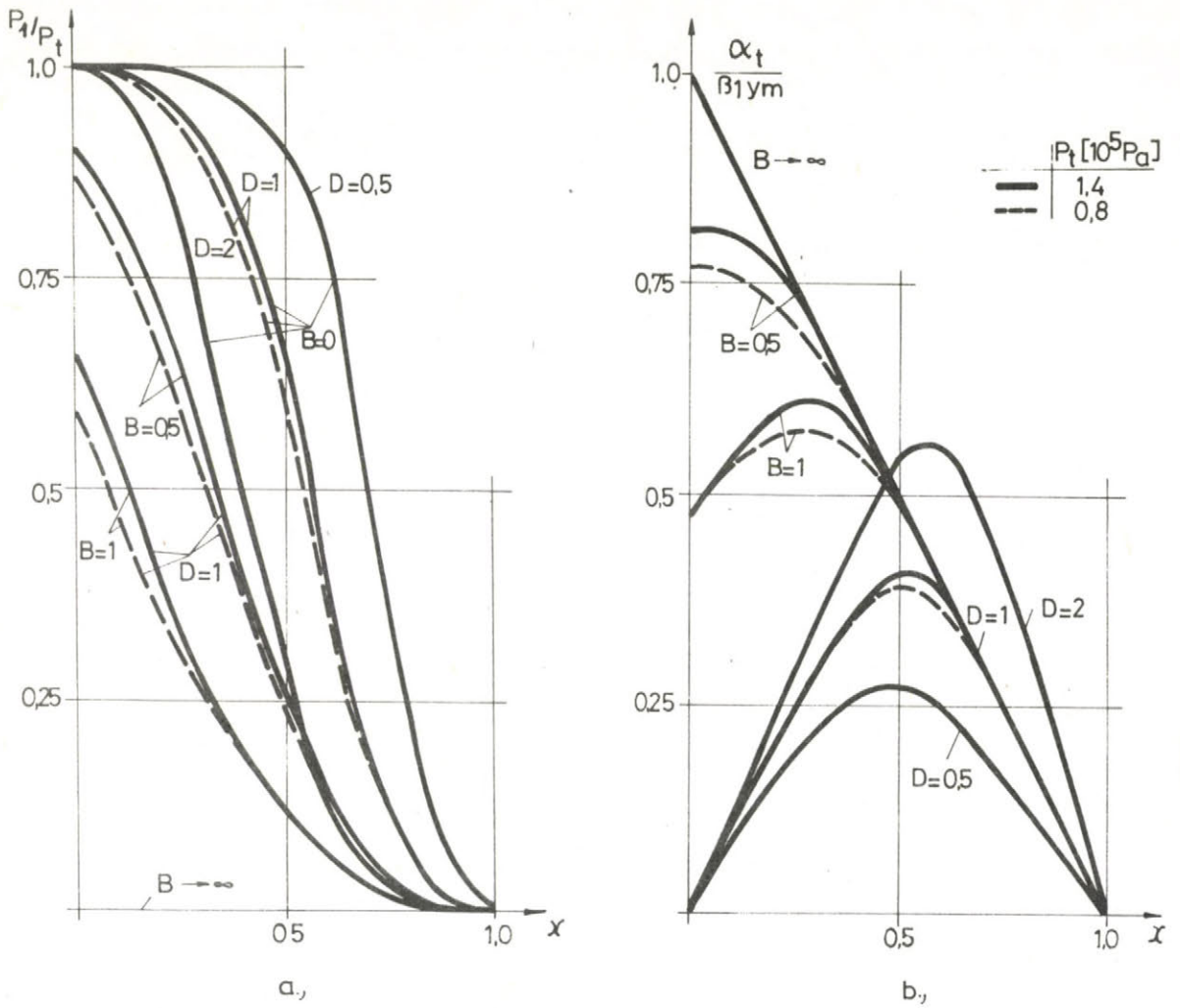


Рис. 3. Характеристики а./ выходного давления, б./ проводимости элемента по x - y . Параметры: B , D , P_t .

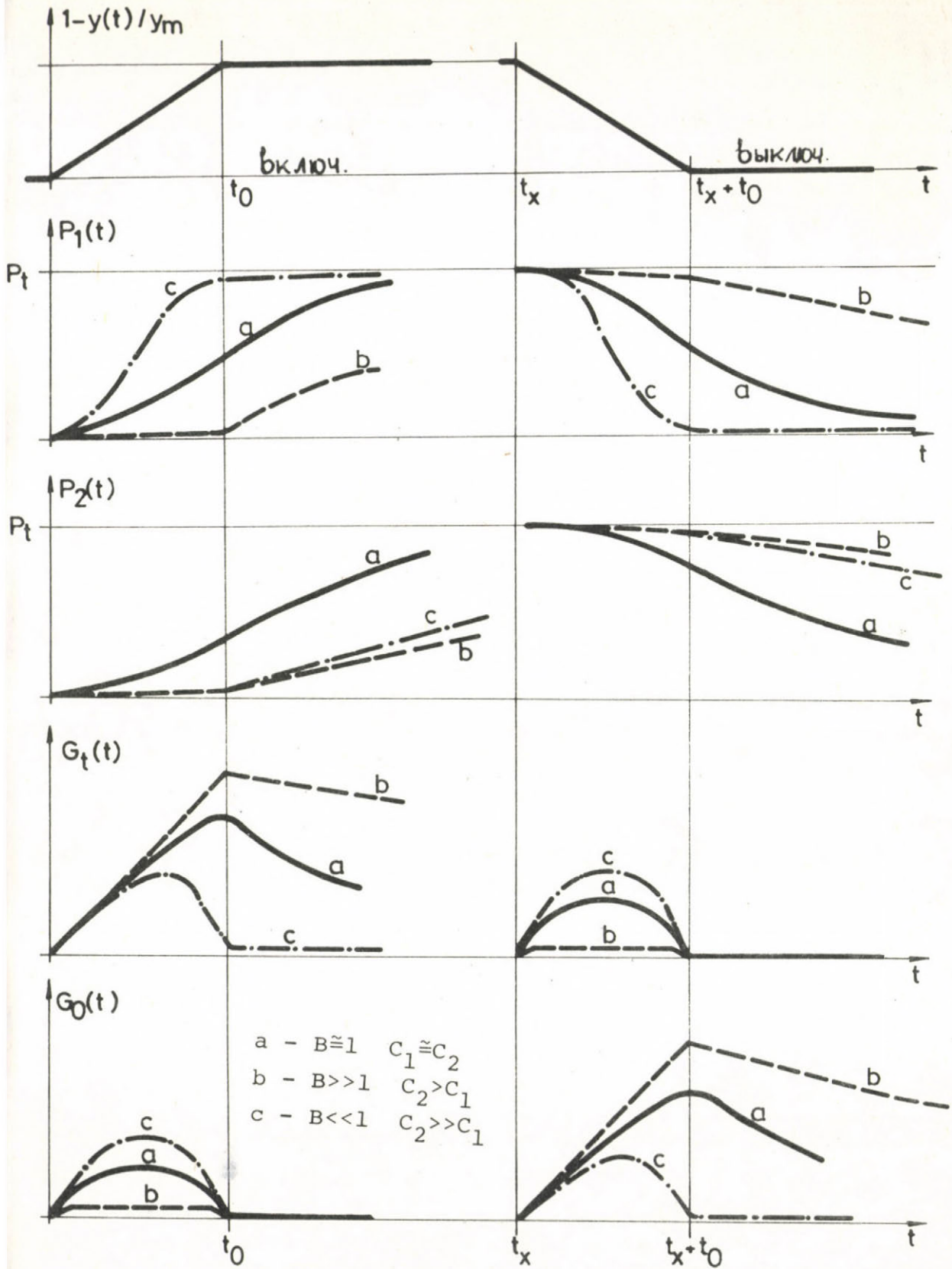
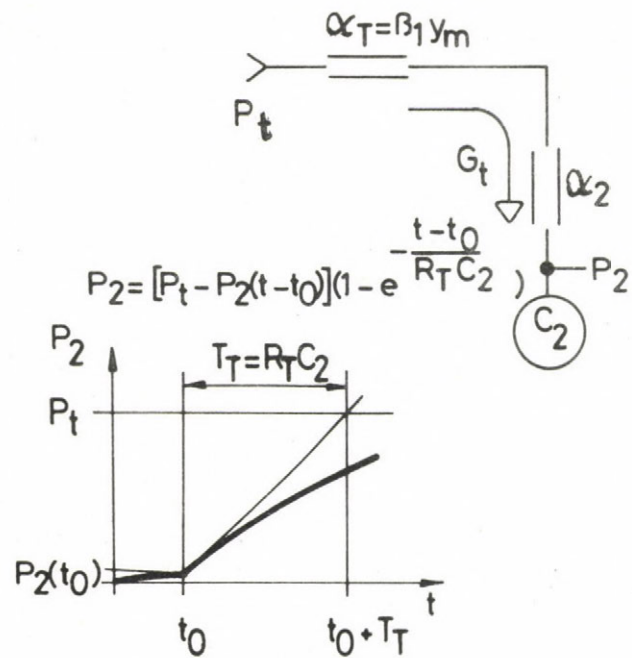
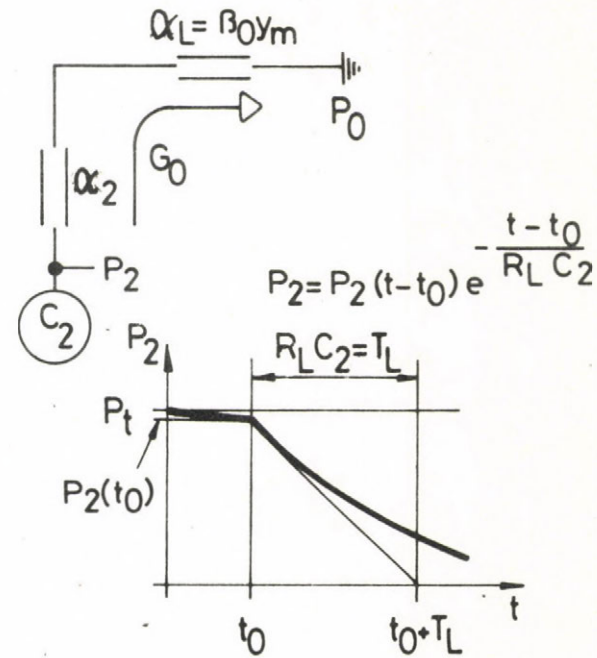


Рис. 4. Давления и расходы в элементе при переключении



a,



b,

Рис. 5. Накопление и опорожнение нагрузки элемента
 а./ включение
 б./ выключение элемента