УДК 637.116.5

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ВАКУУМНЫХ ПУЛЬСАТОРОВ СТОЙЛОВЫХ ДОИЛЬНЫХ АВТОМАТОВ

И.К.Винников, докт. техн. наук**, О.Н.Бахчевников,** науч. сотр.
ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии

Обгрунтовані раціональні пневматичні схеми управління вакуумних пульсаторів для синтезу стійлових доільних автоматів.

***Ключові слова**: доільний аппарат, вакуумний пульсатор, інверсна схема.*

Цель настоящего исследования – повышение эффективности машинного доения коров путем совершенствования доильного аппарата на основе новых знаний о возможностях и особенностях функционирования пульсатора, как управляющего устройства.

Исследуемый пульсатор является основным узлом сложной вакуумной линейной пневматической системы – доильного аппарата. Любой пневматический пульсатор может быть реализован по схеме прямого или инверсного мембранно-клапанных усилителей, реализующих логические операции ДА (повторение) (рис. 1а) и НЕТ (отрицание) (рис. 1б).

Инверсная схема является более простой в изготовлении и в эксплуатации, и поэтому в производстве она является более предпочтительной. По функциональным возможностям обе схемы являются полностью взаимозаменяемыми, если мембранно-клапанные блоки выполняются как единый узел, а подводы питания и атмосферы меняются местами. Соотношение тактов в обоих случаях зависит от соотношения эффективных

© И.К. Винников, О.Н. Бахчевников

площадей мембран и клапанов. Исходя из этого в наших исследованиях используется инверсная схема (рис. 1б). Итак, пульсатор автоматизированного доильного аппарата необходимо строить по более простой инверсной схеме (рис. 1в).

Управляющая камера пульсатора является инерционным звеном, включающим пневмоемкость с дросселем, и может служить основным узлом управления в автоматизированном аппарате. Для синтеза его рациональной управляемой структуры необходимо исследовать динамику этого узла.

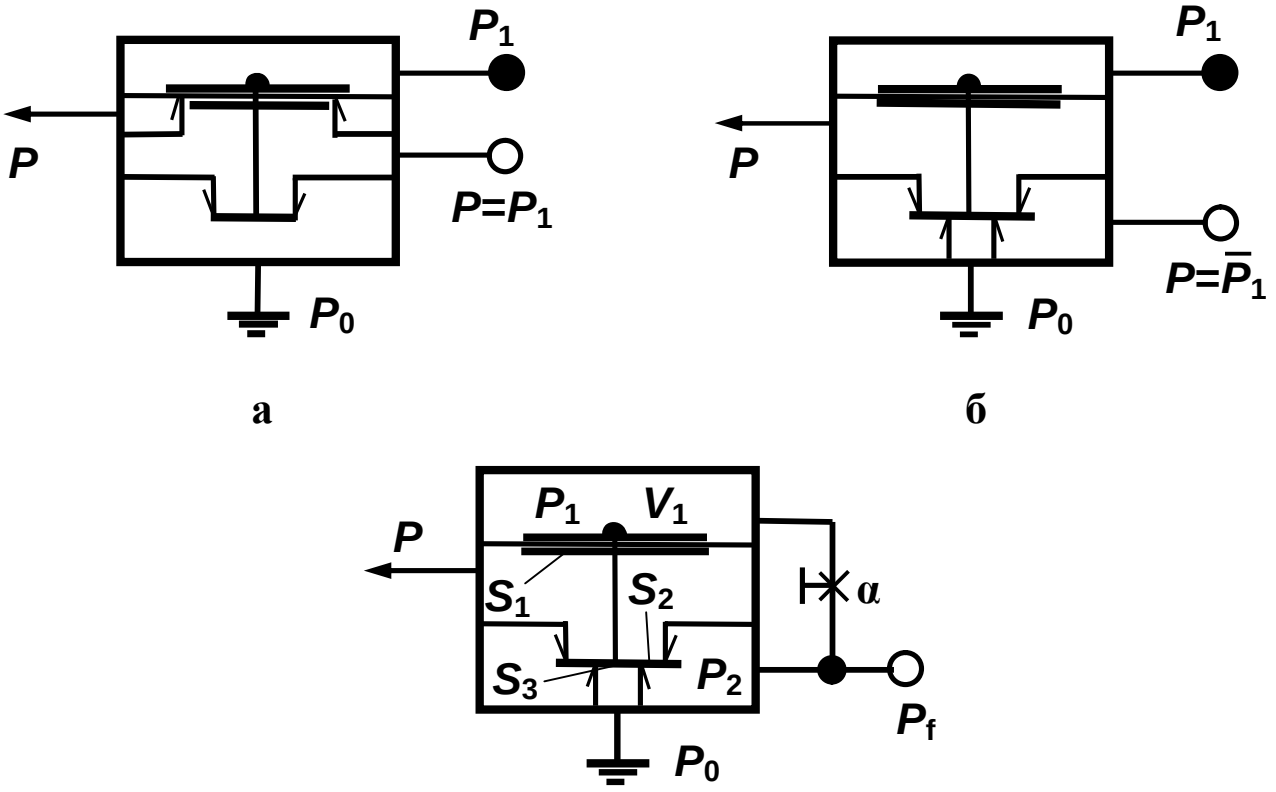

Рис. 1. Выбор схемы пульсатора: а – прямой усилитель; б – инверсный усилитель; в – пульсатор; P_0 – атмосферное давление; P – величина вакуума в системе питания; P_1 – давление в управляющей камере; P_2 – выход сигналов и величина переменного вакуума; P_f – выход переменного вакуума; α – проводимость дросселя пульсатора; V_1 – объем управляющей камеры; S_1 – эффективная площадь мембраны; S_2, S_3 – площади клапанов

При исследовании динамических свойств пульсатора, по аналогии с элементами промышленной пневмоавтоматики, инерционное звено рассматривается как дроссельный делитель (рис. 2а), включающий обратный клапан 5, рассматриваемый как пневматический дроссель β переменной проводимости, изменяющейся от 0 до ∞, см^2/с; пневмоемкость управляющей камеры V_1, см^3; в которой действует управляющий сигнал P_1, кПа;

постоянный дроссель пульсатора с проводимостью α, см^2/с.

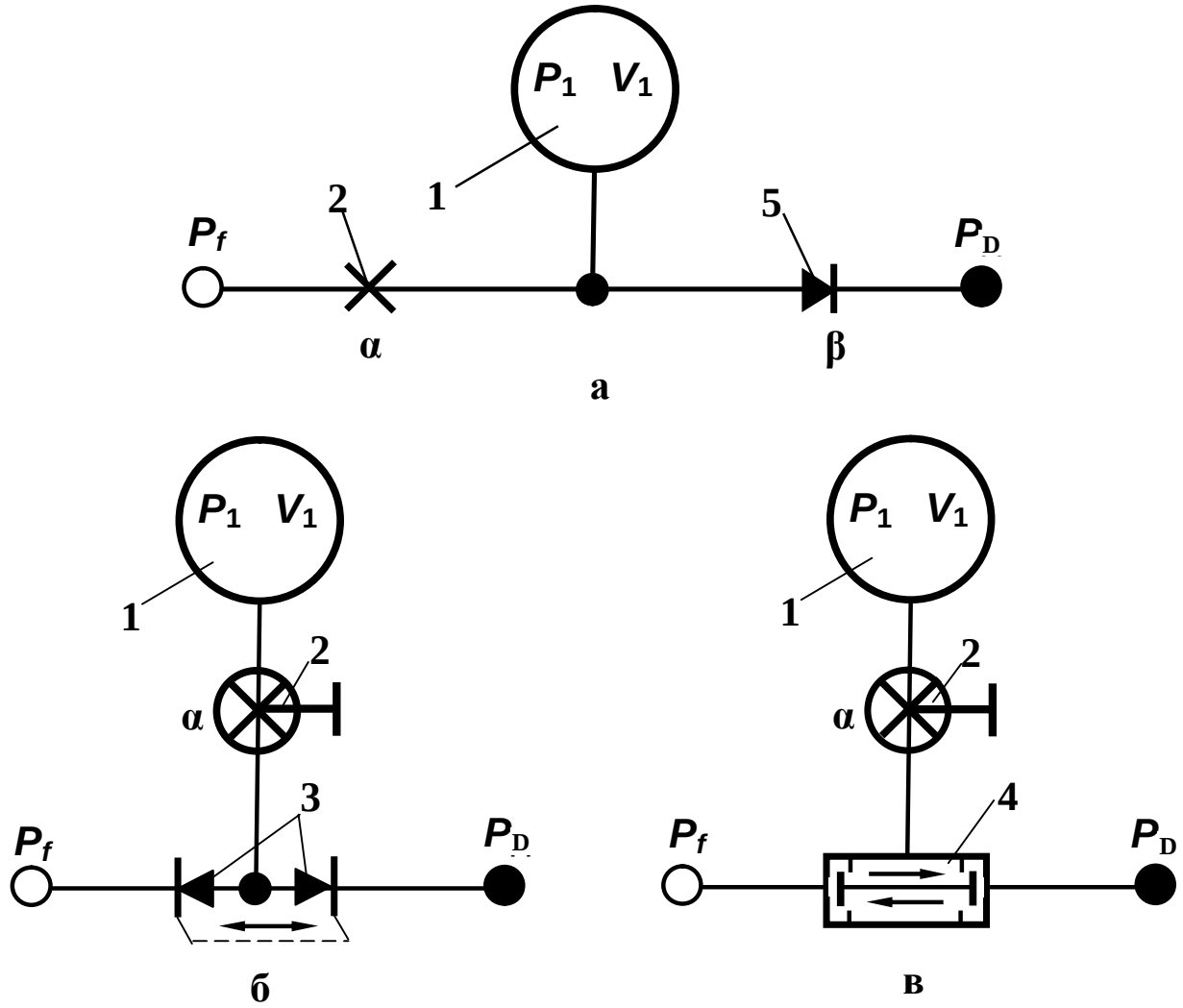

Рис. 2. Пневматические схемы подачи сигналов в управляющую камеру пульсатора: а – с непосредственным входом сигнала датчика P_D в управляющую камеру пульсатора через обратный клапан β; б – с механически сблокированными заслонками обратных клапанов; в – с логическим вакуумным пневмоэлементом ИЛИ; 1 – пневмоемкость; 2 – дроссель; 3 – механически сблокированные обратные клапаны; 4 – вакуумный логический пневмоэлемент ИЛИ; 5 – обратный клапан

Дроссельный делитель в управляющей камере реализует операцию

$$P_1 = k_1 P_2 + k_2 P_D ,$$

где k_1, k_2 – коэффициенты усиления:

$$k_1 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}; \qquad k_2 = \frac{\beta}{\alpha + \beta} \; ; \qquad k_1 + k_2 = 1. \tag{1}$$

Коэффициенты усиления k_1 и k_2 зависят от величины проводимостей α и β. При этом постоянная времени управляющей камеры пульсатора будет

$$T = \frac{V_1}{R \cdot \Theta \cdot (\alpha + \beta)}, \qquad (2)$$

а передаточная функция имеет вид апериодического звена первого порядка

$$W_1(S) = \frac{K}{TS + 1} \qquad (3)$$

где $S = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования,

$$T = \frac{V}{R \cdot \Theta \cdot \alpha} \; ; \; K = \frac{\beta}{\alpha}, \qquad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная, Н·м/(кг $\cdot^0$К); Θ – абсолютная температура, ^{0}К. Проводимости пневматических дросселей (см^2/с) определяются экспериментально.

Амплитудно-фазовая характеристика управляющей камеры пульсатора в составе дроссельного делителя с передаточной функцией (3) будет

$$W(iw) = \frac{K}{T_{\max} iw + (1 + k)},$$

$$A(w) = \frac{K}{\sqrt{(T_{\max} iw)^2 + (1 + k)^2}},$$

$$\varphi(w) = -arctg \frac{T_{\max} w}{1 + k}.$$

При работе пульсатора, управляемого через обратный клапан, по схеме дроссельного делителя (рис. 2а), возможны три характерные ситуации. Исходя из этого, и опираясь на полученные уравнения и передаточные функции (1-4), проведем краткий математический анализ.

Ситуация 1: Когда обратный клапан закрыт (β = 0), управляющая камера работает в режиме апериодического звена первого порядка, как обычная глухая управляющая камера пульсатора доильного аппарата.

Ситуация 2: Когда обратный клапан открыт (β = ∞), управляющая камера теряет свою апериодичность и ее передаточная функция принимает выражение передаточной функции усилительного звена $W_1'(S) = K$. При этом управляющая камера работает как силовая, выключающая доильный

аппарат из работы.

Ситуация 3: Когда обратный клапан закрыт, $P_D = 0$, $P_2 = 1$, но в результате прососа воздуха через закрытый обратный клапан переменная проводимость $\beta > 0$. Частота пульсаций при этом изменяется, что не желательно, а при уровне вакуума меньшем, чем вакуум срабатывания ($P_1 < P_{ср}$), аппарат отказывает в работе.

Желаемый результат можно получить в том случае, если заслонки обоих клапанов механически сблокировать, как показано на рис. 2б, или вводить сигналы через логический элемент ИЛИ (рис. 2в).

Согласно схемам рис. 2б и 2в заслонки открывают сопла вакуумным сигналам с той стороны, откуда они поступают. Если с обоих входов P_2 и P_D действуют одинаковые сигналы «вакуум» или «атмосфера» – обе заслонки приоткрыты и в управляющих камерах устанавливаются, соответственно, вакуум или атмосфера, т.е. обе схемы реализуют ситуации *1* и *2*. Даже в том случае, если при подаче дискретных сигналов «0» или «1» клапаны незначительно пропускают воздух, обе схемы остаются работоспособными и ситуация *3* исключается.

Управляющая камера пульсатора с дросселем, как апериодическое звено первого порядка, описывается дифференциальным уравнением

$$T\frac{dP}{dt} + P = P_1 ,$$

где P и P_1 – величины вакуума на входе и выходе звена;

$T = \frac{V_1}{R\Theta\alpha}$ – постоянная времени, с. (5)

Передаточная функция управляющей камеры пульсатора, как апериодического звена первого порядка, имеет вид (3), где $K = \alpha/\alpha = 1$ – коэффициент усиления глухой камеры.

Переходные характеристики этой камеры представляют собой экспоненты: восходящая

$$P(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \cdot 1(t) ,$$

нисходящая

$$P(t) = K \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1(t) ,$$

где t – текущее время, с.

Амплитудно-фазовая характеристика

$$W(iw) = \frac{k_1}{T_1 iw + 1} ;$$

Откуда амплитудно-частотная характеристика

$$A(w) = \frac{k_1}{\sqrt{(T_1 i w)^2 + 1}},$$

а фазочастотная

$$\varphi(w) = -arctg T_1 w.$$

Постоянную времени T можно определить по формуле (5), но сложность состоит в том, что для этого проводимость α нужно определять экспериментально. Поэтому проще будет определить постоянную времени T из амплитудно-фазовой характеристики, или, зная текущее время t_α заполнения заданной емкости через дроссель α при заданной величине перепада вакуума ΔP, с достаточной степенью точности постоянную времени можно определить из выражения

$$T = \frac{t_\alpha}{3}, \text{ с},$$

а затем уже по формуле (5) определить проводимость дросселя α.

Исследованиями пульсатора, как рабочего органа, проведенными во ВНИПТИМЭСХ [1] была установлена релейная сущность его работы по гистерезисной петле с характерными для реле точками срабатывания

$$P_{\text{ср}} = P\left(1 - \frac{S_3}{S_1}\right);$$

и отпускания

$$P_{\text{от}} = P\left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right),$$

где S_1 – эффективная площадь мембраны; S_2, S_3 – площади клапанов по окружностям большого (вакуумного) и малого (атмосферного) сопл, соответственно.

В результате проведенных ранее во ВНИПТИМЭСХ исследований [2] был сделан вывод, что вакуумное пневмореле, работающее в режиме генератора плавно изменяющихся импульсных сигналов, можно реализовать на базе пульсаторов отечественных аппаратов. Для этого в пульсаторе нужно установить дополнительную мембрану со стороны мембранно-клапанного блока. В другом варианте между управляющей камерой и камерой постоянного вакуума пульсатора вместо одной мембраны нужно установить блок двух мембран: с мягким (со стороны камеры постоянного вакуума) и с жестким (со стороны управляющей камеры) центрами. В ре-

зультате между мембранами образуется дополнительная камера переменного подпора *p*, изменяющегося в процессе доения пропорционально интенсивности молоковыведения.

Имея исходные данные и релейную характеристику пульсатора можно продолжить его исследования, но уже не как исполнительного органа, а как управляющего звена, формирующего команды на основе реализации поступающих элементарных логических операций И, ИЛИ, НЕ, ДА алгебры логики для синтеза стойловых доильных автоматов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Бенова Е.В.* Динамические режимы и параметры вакуумного привода двух-трехтактного доильного аппарата: дис. … канд. техн. наук. / Е.В.Бенова. – Зерноград, 2007. – 154 с.

2. *Винников И.К.* Автоматическое регулирование частоты пульсаций и соотношения тактов доильного аппарата. / И.К.Винников, Т.К.Берендс, В.А.Петровский. / Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – Вып. 24. – Зерноград, 1976. – С.128-139.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ВАКУУМНЫХ ПУЛЬСАТОРОВ СТОЙЛОВЫХ ДОИЛЬНЫХ АВТОМАТОВ

Обоснованы рациональные пневматические схемы управления вакуумных пульсаторов для синтеза стойловых доильных автоматов.

Ключевые слова: *доильный аппарат, вакуумный пульсатор, инверсная схема.*

SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF RATIONAL SCHEMES VACUUM PULSATORS OF STALL MILKING AUTOMATIC MACHINES

I.K. Vinnikov, O.N. Bakhchevnikov

Rational pneumatic schemes of management of vacuum pulsators for synthesis of stall milking automatic machines are proved.

Keywords*: milking machine, vacuum pulsator, inverse scheme.*