

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/vol8-6.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/140TVN616.pdf>

Статья опубликована 31.01.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шабо Камил Якуб Оптимизация многосвязных систем электропривода с подчиненными контурами регулирования координат путём формирования оптимальных входных воздействий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/140TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 62

Шабо Камил Якуб

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»
Технический институт (филиал), Россия, Нерюнгри
Доцент кафедры «Электропривода и автоматизации производственных процессов»
Кандидат технических наук
E-mail: shabokamil@rambler.ru

Оптимизация многосвязных систем электропривода с подчиненными контурами регулирования координат путём формирования оптимальных входных воздействий

Аннотация. В регулируемых электроприводах промышленных установок, где имеется многосвязные системы с подчиненными контурами регулирования координат, и наиболее жесткие требования в отношении точности обработки заданных режимов, существует несколько способов оптимизации: формирование оптимальных входных воздействий, и представление заданных сигналов скорости и ускорения в фазовых координатах; оптимизация систем управления по переходным процессам и т.д. В этой статье, автором был предложен первый способ оптимизации. Было показано, что для решения задачи оптимизации работы электропривода по режиму управления целесообразно использовать специальные задающие модели, формирующие управляющие сигналы, пропорциональные заданным оптимальным диаграммам выходных переменных, которые состоят из линейных и параболических участков, что обусловлено ограничениями, накладываемыми на управляемые координаты (скорость, ток, производная тока по времени). Использование задающей модели даёт возможность формировать оптимальные управляющие сигналы в функции времени и функции действительного перемещения, и использовать разность этих сигналов для компенсации действия возмущения. Задача синтеза оптимальной системы состоит в том, чтобы для конкретного электропривода синтезировать ЗМ и регуляторы, которые удовлетворяли бы определенному критерию оптимальности, минимальное время рабочего цикла, минимальные динамические нагрузки и т.п.

Ключевые слова: системы управления; многосвязная система; задающая модель; выходные сигналы; управляющие воздействия

Регулируемые электроприводы промышленных установок в большинстве случаев обеспечивают или изменение скорости по заданной программе, или перемещение рабочего органа на заданное расстояние при ограничениях на управляемые координаты (скорость, ток двигателя, напряжение и т.п.). В этой связи система управления электроприводом может быть представлена упрощенной функциональной схемой, показанной на рис. 1. [1, 2, 3]

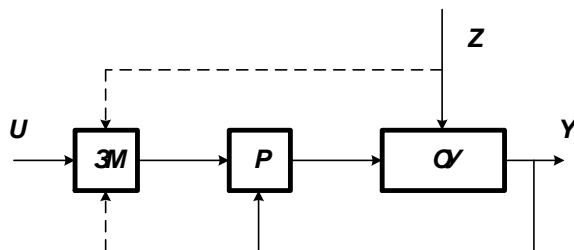


Рисунок 1. Функциональная схема системы управления с ЗМ [3]

В состав системы входит задающая модель (ЗМ), формирующая управляющие воздействия по определенным законам, регуляторов (Р), обеспечивающие обработку управляемой координатой y объекта управления (ОУ) задающего воздействия (выходного сигнала (ЗМ)). U обозначает совокупность внешней информации, поступающей на ЗМ, Z - внешнее возмущение. Сплошной линией изображена обратная связь, обязательная для любой системы регулирования электропривода. Штриховыми линиями прямые и обратные связи комбинированного и оптимального управления. [4]

Задача синтеза оптимальной системы состоит в том, чтобы для конкретного электропривода синтезировать ЗМ и регуляторы, которые удовлетворяли бы определенному критерию оптимальности (минимальное время рабочего цикла, минимальные динамические нагрузки и т.п.). В соответствии с этим необходимо решить две родственные задачи (синтез оптимальной ЗМ и синтез оптимального регулятора), но имеющие специфические особенности, которые делают целесообразным на определенном этапе рассматривать их отдельно. Особенности эти обусловлены тем, что решение первой задачи связано, как правило, с определением программного управления, а решение второй - с определением управления с обратной связью. При формировании оптимальных управляющих воздействий во всех практических системах диаграммы выходных сигналов ЗМ состоят из линейных и параболических участков, что обусловлено ограничениями, накладываемыми на управляемые координаты (скорость, ток, производная тока по времени). Согласно литературным источникам в оптимальных системах сигнал заданного тока $U_{3.T}$ двигателя должен переходить от одного установившегося состояния к другому по линейному закону: $U_{3.T1} = U_m t$, где U_m - ограниченное значение производной $dU_{3.T}/dt$.

Тогда за время t_1 сигнал $U_{3.T}$ увеличится на величину $U_m t_1$, сигнал, пропорциональный заданной скорости $U_{3.T}$ за этот же период изменится на величину

$$U_{3.c} = \int_0^{t_1} U_{3.T} dt = U_m t^2 / 2 = 0,5 U_{3.T1} / U_m,$$

а сигнал заданного перемещения $U_{3.п}$ будет равен

$$U_{3.п} = 0,5 \int_0^{t_1} U_{3.T} dt = U_{3.T}^2 / (6U_m^2).$$

В переходных режимах динамическая составляющая тока пропорциональна ускорению a , а производная $dU_{3.T}/dt$ - рывку $p = da/dt$. Поэтому построение оптимальных диаграмм выходных сигналов ЗМ можно производить непосредственно по желаемым диаграммам действительных управляемых переменных. Соотношения между последними при различных режимах удобно представлять графиками в виде площадей отдельных участков, рис. 2 (построены по результатам авторских экспериментальных исследований). [5, 6]

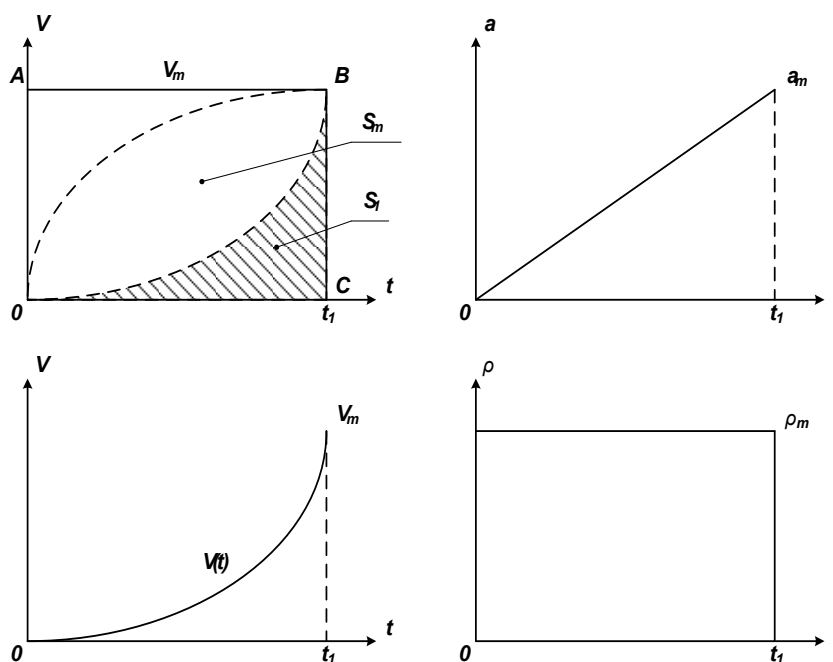


Рисунок 2. Диаграммы скорости, ускорения и рывка (разработано автором)

Так, при равномерном движении за время t_1 путь $S_m = \text{пл. } OABC = V_m t_1$. За это же время в случае линейного увеличения ускорения от 0 до a_m скорость V достигает значения

$$V_m = a_m^2 / (2p_m),$$

а пройденный путь

$$S_1 = a_m^3 / (6p_m^2).$$

Следовательно, при $t=t_1$ двум указанным режимам движения (равномерному и ускоренному с ограничением рывка p) будут соответствовать следующие соотношения между переменными:

$$S_m = V_m a_m / p_m = a_m^3 / (2p_m^2) = 3S_1.$$

Текущие значения a , V , S в интервале времени $0 \leq t < t_1$ при ускоренном движении определяется так:

$$a = p_m t, V = a^2 / (2p_m), S = a^3 / (6p_m^2). \quad (1)$$

В дискретной форме ускорение a будет равно:

$$a^* = a(NT) = a(N - 1) + p_m T \quad (2)$$

где: T - период дискретизации, $N=0,1,2,\dots$, $a(N-1)$ - значение a^* , полученное на предыдущем шаге. В дальнейшем для упрощения записи формул знак * будем опускать.

Аналогичные (1) и (2) зависимости получаются и для режима замедленного движения.

Рассмотрим наиболее общую диаграмму скорости и найдем зависимости между ее параметрами, пользуясь рис. 3. Здесь $V_m, a_1, a_2, p_1 \dots p_4$ - ограничиваемые значения V , a , p ; $S_m = \text{пл. } OCDG$ - заданное перемещение.

Приведенная диаграмма $V(t)$ с точки зрения определения аналитических зависимостей при моделировании процесса движения имеет семь характерных участков, разделенных граничными величинами скорости V_1, V_2, V_m, V_3, V_4 :

1. $0 \leq V < V_1$,

$$p = p_1, a = a + p_1T, V = 0,5a^2/p_1, S = a^3/(6p_1^2); \quad (3)$$

2. $V \leq V < V_m,$

$$p = 0, a = a_1, V = V + a_1T, S = S_1 + (V^2 - V_1^2)/(2a_1); \quad (4)$$

3. $V_2 \leq V < V_m,$

$$\left. \begin{aligned} p &= -p_2, a = a - p_2T, V = V_2 + (a_1^2 - a^2)/(2p_2), \\ S &= S_2 + V_{m1}(a_1 - a)/p_2 - (a_1^3 - a^3)/(6p_2^2); \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

4. $V = V_m = const,$

$$p = 0, a = 0, S = S + V_mT; \quad (6)$$

5. $V_m \geq V > V_3,$

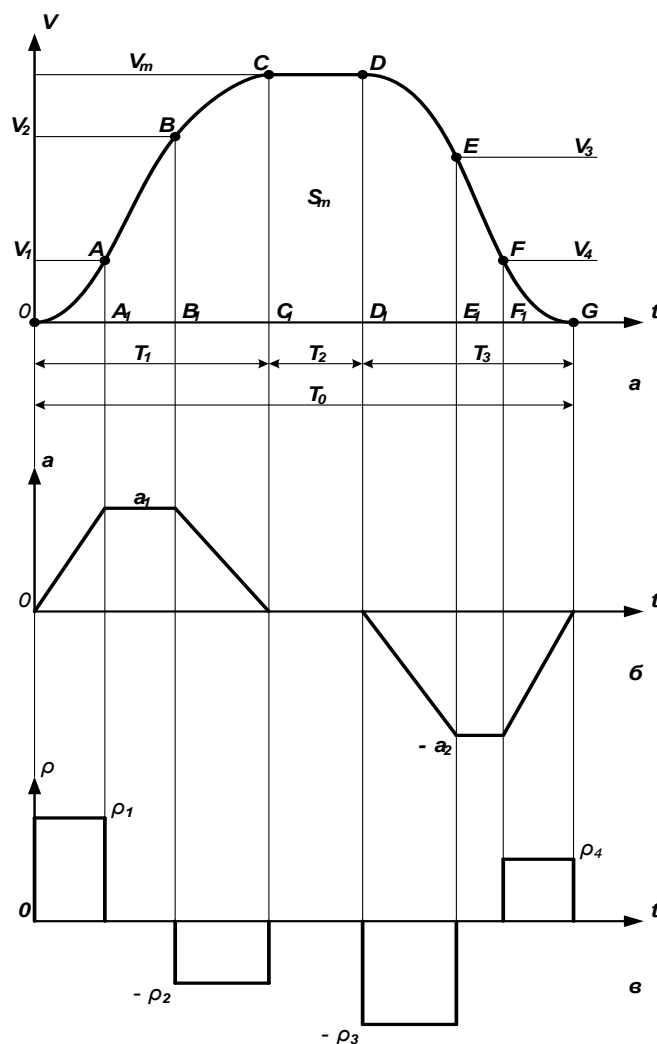


Рисунок 3. Оптимальные диаграммы скорости (V), ускорения (a) и рывка (p) (разработано автором)

$$\left. \begin{aligned} p &= -p_3, a = a - p_3T, V = V_m - a^2/(2p_3), \\ S &= S_m - S_{a.m} + V_m|a|/p_3 - |a|^3/(6p_3^2); \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

6. $V_3 \geq V > V_4,$

$$\left. \begin{aligned} p &= 0, a = -a_2, V = V - a_2T, \\ S &= S_m - S_3 + (V_3^2 - V^2)/(2a_2); \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

7. $V_4 \geq V > 0,$

$$\left. \begin{aligned} p &= -p_4, \quad a = -|a| + p_4 T, \quad V = a^2 / (2p_4), \\ S &= S_m - S_4 + (a_2^3 - |a|^3) / (6p_4^2), \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= 0,5 a_1^2 / p_1 \\ V_2 &= V_m - 0,5 a_1^2 / p_2 \\ V_3 &= V_m - 0,5 a_2^2 / p_3 \\ V_4 &= 0,5 a_2^2 / p_4 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \text{пл. OAA}_1 = a_1^3 / (6p_1^2) \\ S_2 &= \text{пл. OBB}_1 = S_1 + (V_2^2 - V_1^2) / (2a_1) \\ S_3 &= \text{пл. EGE}_1 = 0,5(V_3^2 - V_4^2) / a_2 + a_2^3 / (6p_4^2). \\ S_4 &= \text{пл. FGF}_1 = a_2^3 / (6p_4^2) \\ S_{a.m} &= \text{пл. DGD}_1 = V_m a_1 / p_2 - a_1^2 / (6p_2^2) + S_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На рис. 4 показана разработанная автором структурная схема алгоритма формирования переменных $p(t)$, $a(t)$, $V(t)$ и $S(t)$ (моделирования оптимального процесса движения системы) по заданному перемещению S_m и ограничениям производных S по t . Диаграммы, полученные в результате реализации приведенных выше математических зависимостей на ЭВМ приведены на рис. 5. [7, 8]

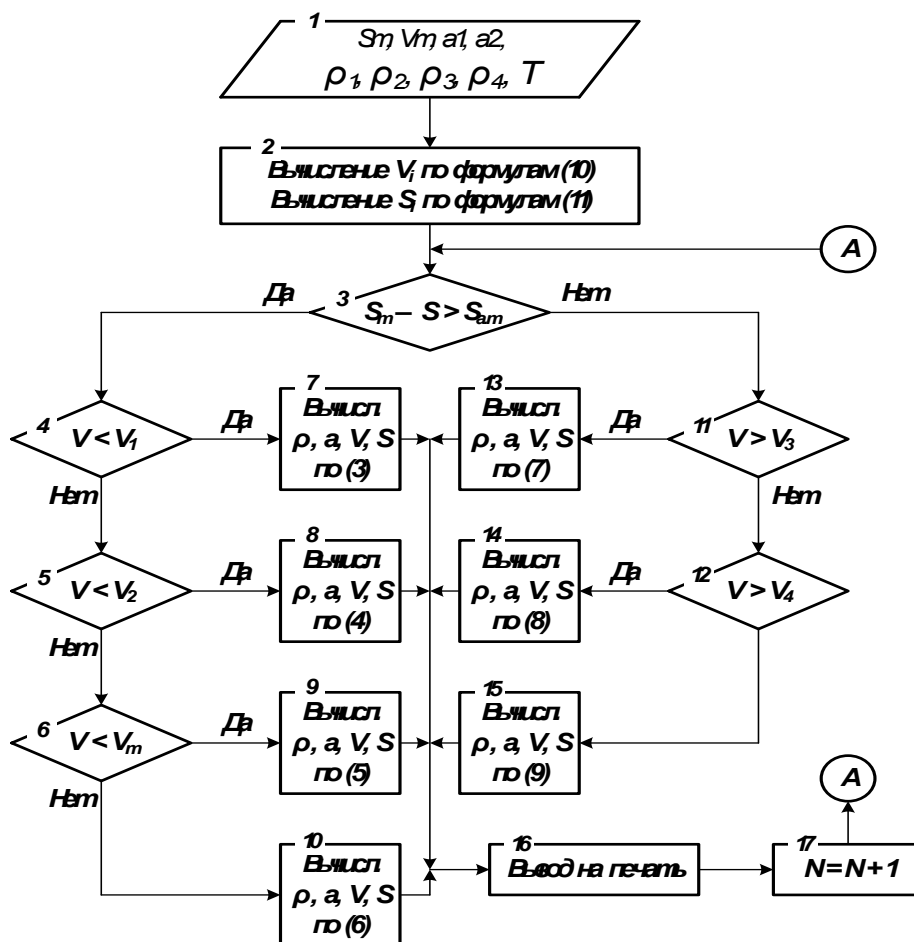


Рисунок 4. Структурная схема алгоритма формирования управляющих воздействий (разработано автором)

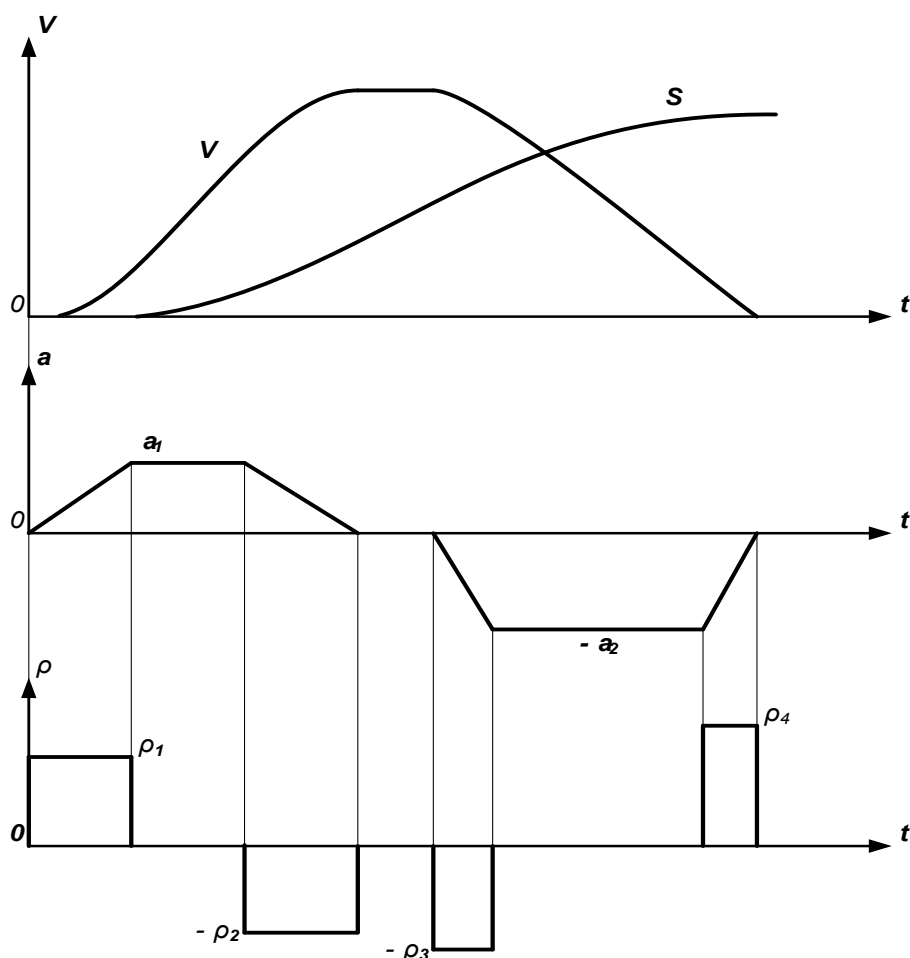


Рисунок 5. Диаграммы управляемых переменных (разработано автором)

Периоды ускоренного (T_1), замедленного (T_3) и равномерного (T_2) движения соответственно равны:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= V_m/a_1 + 0,5 a_1(p_1^{-1} + p_2^{-1}); \\ T_3 &= V_m/a_2 + 0,5 a_2(p_3^{-1} + p_4^{-1}); \\ T_2 &= (S_m - S_{1m} - S_{a.m})/V_m. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Время перемещения рабочего органа на расстояние S_m в случае изменения переменных $a(t)$, $V(t)$, $S(t)$ в соответствии с диаграммами рис. 3 будет минимальным:

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 \rightarrow \min$$

так как в каждый момент времени одна из переменных достигает ограничения.

Задающие модели строятся на базе микроконтроллера или микро-ЭВМ, поэтому диаграммы их выходных сигналов отличаются высокой стабильностью.

Для решения второй задачи оптимального управления необходимо добиться максимального быстродействия системы управления и инвариантности по отношению к параметрическим и координатным возмущениям. Для этих целей используется получившая широкое распространение система подчиненного регулирования в одноканальном или многоканальном исполнении. [9, 10]

Наиболее жесткие требования в отношении точности отработки заданных режимов работы предъявляются к позиционным электроприводам, в которых управление ведется по положению рабочего органа. Поэтому целесообразно приведенные на рис. 3 диаграммы $V(t)$ и

$a(t)$ представить в фазовых координатах $V(S)$ и $a(t)$. В этом случае в качестве независимой переменной может быть принято действительное перемещение, определяемое с помощью цифрового датчика положения.

Пользуясь зависимостями (3) ... (9) найдем уравнения в указанных фазовых координатах для каждого из семи участков:

$$1. \quad 0 \leq V < V_1, \quad a = (6p_1^2 S)^{1/3}, V = a^2 / (2p_1); \quad (13)$$

$$2. \quad V_1 \leq V < V_2, \quad a = a_1, V = [(2a_1(S - S_1) + V_1^2)]^{1/2}; \quad (14)$$

$$3. \quad V_2 \leq V < V_m, \quad \left. \begin{aligned} a^3 - a6V_m p_2 + 6(S_2 - S)p_2^2 + 6V_m a_1 p_2 - a_1^3 &= 0, \\ V &= V_2 + (a_1^2 - a^2) / (2p_2); \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$4. \quad S < S_m - S_{a.m}, \quad V = V_m, a = 0, S = S + V_m T; \quad (16)$$

$$5. \quad V_m > V > V_3, S \geq S_m - S_{a.m}, \quad a^3 - a(6V_m p_3) + 6(S_m - S_{a.m} - S)p_3^2 = 0, V = V_m - a^2 / (2p_3); \quad (17)$$

$$6. \quad V_3 \geq V > V_4, \quad a = -a_2, V = [2(S_m - S_3 - S)a_2 + V_3^2]^{1/2}; \quad (18)$$

$$7. \quad V_4 \geq V \geq 0, \quad a = -[6(S_m - S_4 - S)p_4^2 + a_2^3]^{1/3}, V = 0,5a^2 / p_4. \quad (19)$$

Зависимости $a(S)$ из (2.15) и (2.17) можно представить в виде:

$$a^3 + 3da + 2q = 0, \quad (20)$$

где: $d = d_1 = -2V_m p_2$, $q = q_1 = 3(S_2 - S)p_2^2 + 3V_m a_1 p_2 - 0,5a_1^3$ соответствуют (15);
 $d = d_2 = -2V_m p_3$, $q = q_2 = 3(S_m - S_{a.m} - S)p_3^2$ соответствует (17).

В первом случае $a = a_1$ при $S = S_2$, во втором - $a = 0$ при $S = S_m - S_{a.m}$.

Так как $d < 0$, то соответствующий рассматриваемой системе корень уравнения (20) будет определяться из выражения

$$a = 2r \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (21)$$

где $r = \pm\sqrt{|d|}$, знак r должен совпадать со знаком q ;

$$\varphi = 2 \arctg \sqrt{(1 - Q)(1 + Q)}; \quad Q = q/r^3. \quad (22)$$

При анализе системы управления, используя фазовые координаты, удобно характеризовать состояние в данный момент времени изображающей точкой, координатами которой являются перемещение S и квадрат скорости V^2 .

Диаграмма скорости, представленная в таких координатах, имеет преимущество перед диаграммой, изображенной в координатах V, S , в том, что траекториями движения с постоянным ускорением являются прямые линии, тангенс угла наклона которых к оси S равен удвоенному значению ускорения.

$$\frac{dV^2}{dS} = 2V \frac{dV}{dS} = 2 \frac{dV}{dt} = 2a. \quad (23)$$

Структурная схема алгоритма вычисления координат ρ , a , V в зависимости от S разработанная автором представлена на рис. 6, а соответствующие графики, полученные на ЭВМ - на рис. 7.

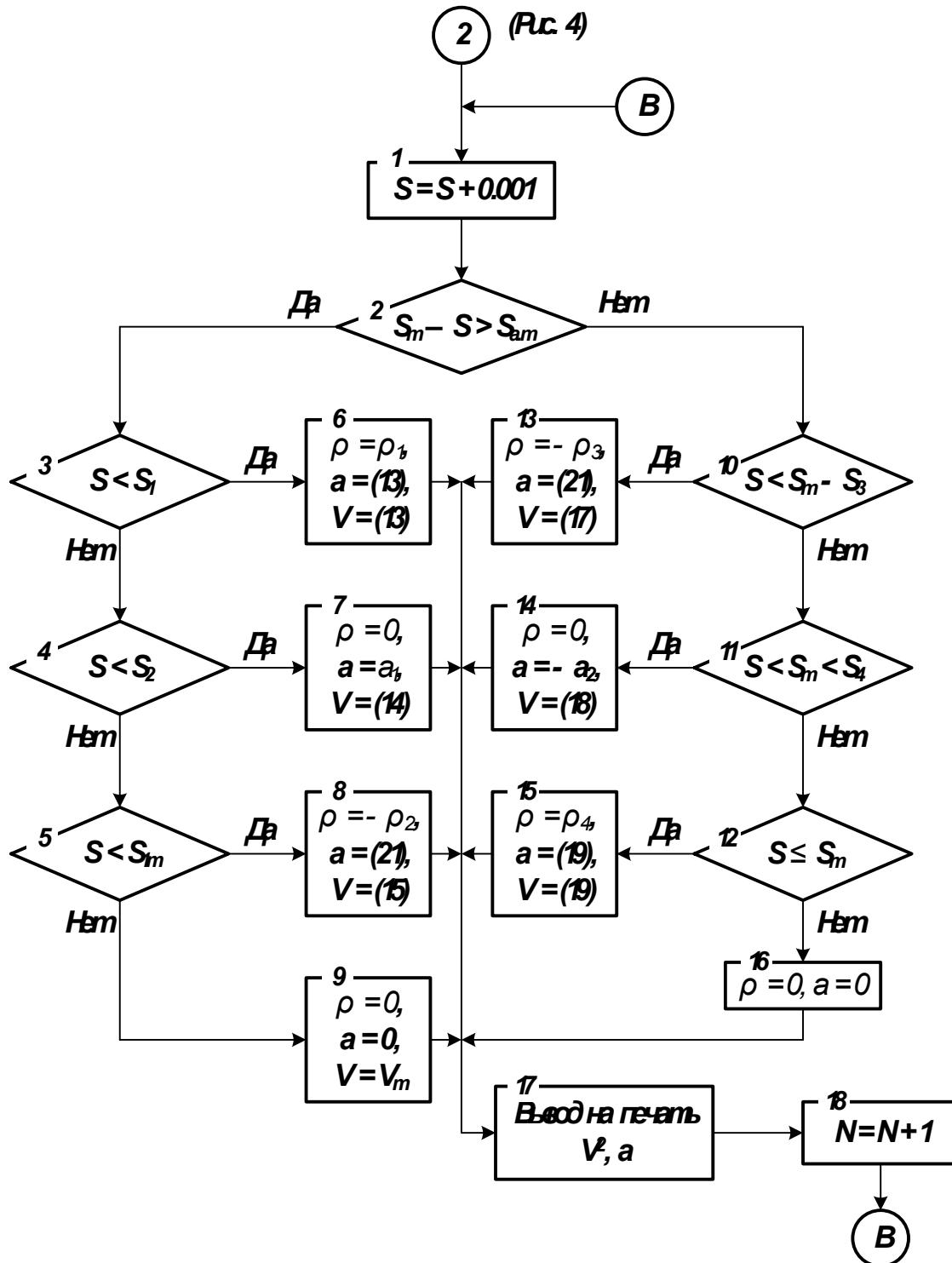


Рисунок 6. Структурная схема алгоритма вычисления управляемых переменных.
 (разработано автором)

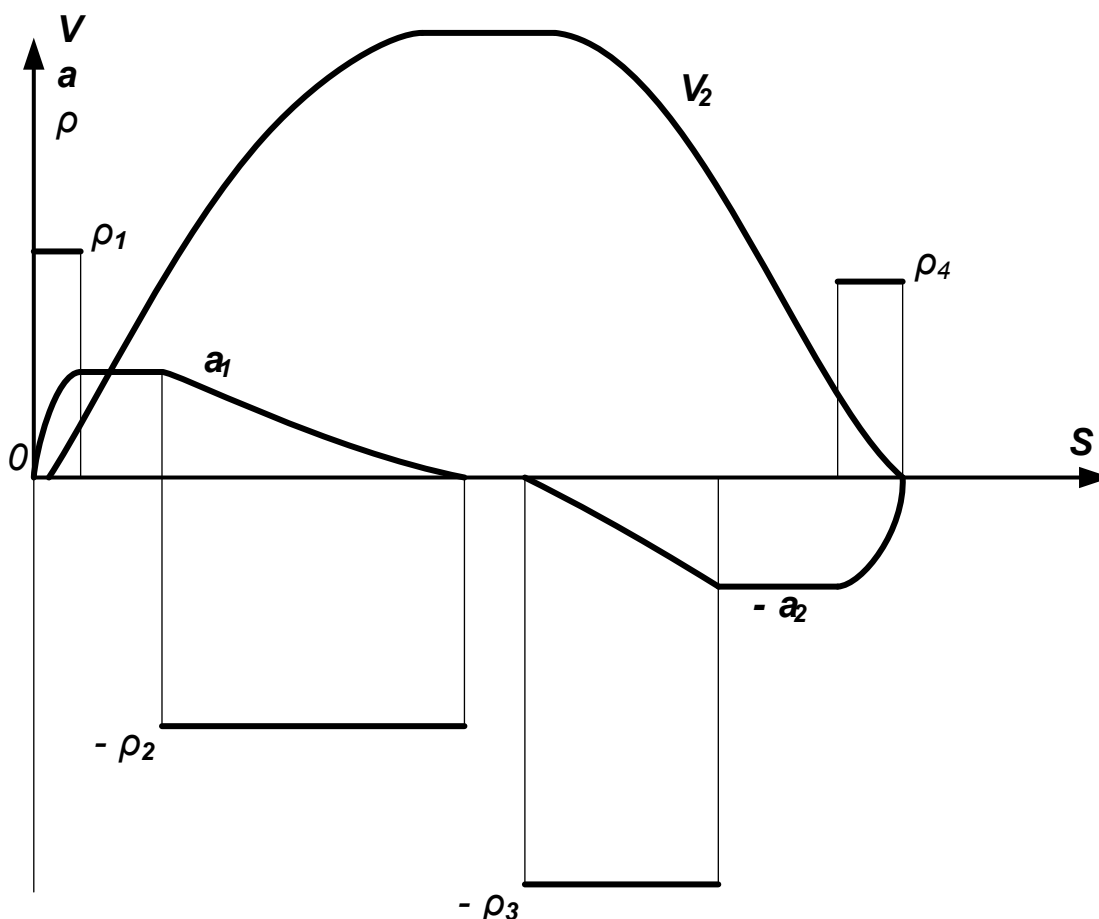


Рисунок 7. Диаграммы $V^2(S)$, $a(S)$, $p(S)$, (разработано автором)

Сигналы $V(S)$ и $a(S)$, формируемые по действительному перемещению, могут использоваться в качестве задающих воздействий или выполнять роль корректирующих. В последнем случае $V(t)$ и $a(t)$, формируются в ЗМ. Величины рассогласований $\Delta V = V(S) - V(t)$ и $\Delta a = a(S) - a(t)$ подаются соответственно на регуляторы скорости и тока, в результате чего управляемые переменные скорость и ток двигателя будут практически без искажения и запаздывания воспроизводить задающие воздействия.

Для решения задачи оптимизации работы электропривода по режиму управления целесообразно использовать специальные задающие модели, формирующие управляющие сигналы, пропорциональные заданным оптимальным диаграммам выходных переменных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чермалых, В.М., Афанасьев Ю.А., Чермалых Т.В. Построение адаптивных систем позиционного управления электроприводами машин и установок // Изв. вузов. Горный журнал. - 1992. - №10. - С. 73-77.
2. Ильинский Н.Ф., Юньков М.Г. Проблемы теории и практики автоматизированного электропривода // В кн.: Автоматизированный электропривод. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - С. 5-11.
3. Чермалых, Т.В., Халед Махди, Камил Шабо. Системы оптимального управления позиционным тиристорным электроприводом с многоканальной задающей моделью // Институт электродинамики НАН Украины. - 1994. С. 10-11.
4. Дотэ Я. Применение современных методов управления для регулирования электроприводов // ТИИЭР. - 1988. - Т.76, №4. - 171 - 191.
5. Леохард В. Регулирование электроприводов переменного тока // ТИИЭР. - 1988.- Т.76, N 4. - С. 151-170.
6. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандпер А.С. Теория автоматизированного электропривода. - М.: Энергия, 1979. - 615 с.
7. Алтухов Е.И., Чермалых Т.В. Алгоритмическое обеспечение микропроцессорного управления машинами и установками циклического действия // Вестник Киевского политехнического института. «Горная электромеханика и автоматика». - 1993. - Вып. 24. - С. 20-29.
8. Характеристики систем с распределенными параметрами / Бутковский А.Г. Справочное пособие. - М.: Наука, 1979. - 224 с.
9. Шабо Камил. Комбинированная система управления многодвигательным электроприводом с общей задающей моделью // Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т". - Киев, 1996. - 10 с. - Деп. В ГНТБ Украины, N 707 - Ук96.
10. Чермалых В.М. Многоканальные системы оптимального управления электроприводом промышленных установок // Изв. ВУЗов. Горный журнал. - 1982. - N 7. - С. 123-129.

Chabo Kamil Yakoub

North-Eastern federal university named after M.K. Ammosov
Technical institute (branch), Russia, Neryungri
E-mail: shabokamil@rambler.ru

Optimization multiply electric drive systems with subordinate control loops coordinate the formation of the optimal input actions

Abstract. The regulated electric industrial plants where there is multiply connected systems with subordinate control loops coordinates, and the most stringent requirements in terms of accuracy given mining conditions, there are several ways to optimize: the formation of the optimal input actions, and view preset speed and acceleration signals in phase coordinates; optimization of control systems transients, etc. In this article, the author suggested a first method of optimization. It has been shown that to solve the optimization problem of the drive for the control mode it is advisable to use a special set the model, generates a control signal proportional to specify the optimum diagrams of output variables, which are composed of linear and parabolic sections, due to the restrictions imposed on the controlled axes (speed, current, the derivative of the current over time). Using a given model makes it possible to generate the optimal control signals in the time function and the function of the actual move, and use the difference of these signals to compensate for the action of the disturbance. Optimal system synthesis task is to synthesize a specific electric ZM and regulators, which would satisfy certain optimality criteria, the minimum cycle time, minimum dynamic loads, etc.

Keywords: control systems; multiply system; giving model; outputs signals; control actions