



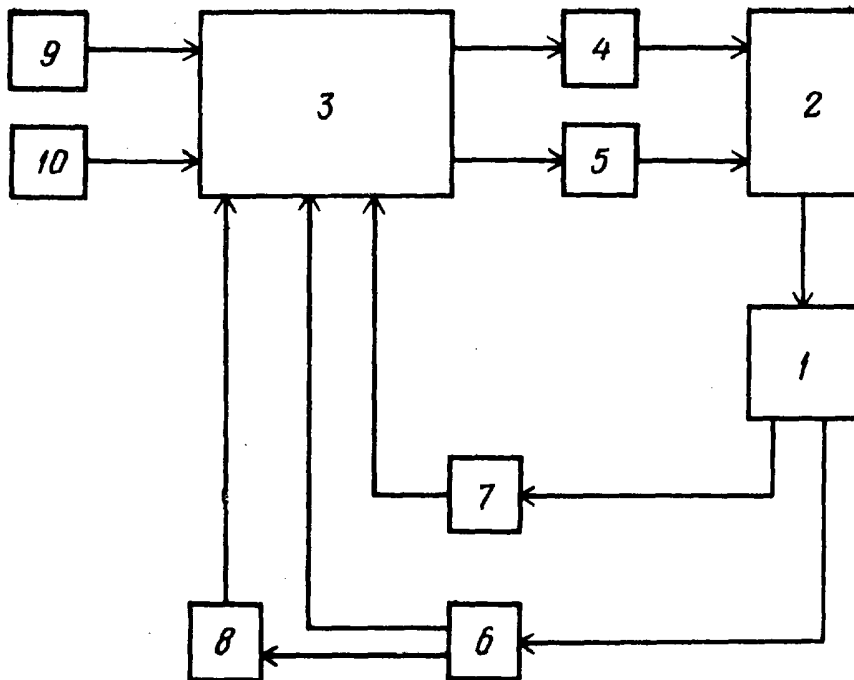
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 3927877/24-07
- (22) 16.07.85
- (46) 07.10.87. Бюл. № 37
- (71) Белорусский политехнический институт
- (72) В.И.Панасюк, Ю.В.Лопатин, Э.Д.Политыко, Ю.Н.Петренко и Л.М.Дембовский
- (53) 621,313.3.072.9(088,8)
- (56) Авторское свидетельство СССР № 587589, кл. Н 02 Р 7/42, 1978.  
Авторское свидетельство СССР № 629618, кл. Н 02 Р 7/42, 1978.

- (54) ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
- (57) Изобретение относится к области электротехники и может быть ис-

пользовано в электроприводах различного назначения для регулирования угла поворота вала асинхронного электродвигателя. Целью изобретения является минимизация потерь энергии в электродвигателе в процессе позиционирования. Применение в структуре электропривода программных переключателей задания уровня потерь 10 и угла поворота 9, датчиков момента 7 и ускорения 8 наряду с датчиком 6 частоты вращения при использовании вычислительного блока 3, реализующего заданный вычислительный алгоритм, позволяет электроприводу за минимальное время обрабатывать заданный угол поворота  $\theta_3$  при заданном уровне потерь энергии  $Q_3 \cdot 1$  ил. 1 табл.



Изобретение относится к электро-технике и может быть использовано в электроприводах различного назначения для регулирования угла поворота вала асинхронного электродвигателя.

Целью изобретения является минимизация потерь энергии в электродвигателе в процессе позиционирования.

На чертеже показана структурная схема частотно-управляемого асинхронного электропривода.

Электропривод содержит асинхронный электродвигатель 1, статорные обмотки которого подключены к выходам статического преобразователя 2 частоты, вычислительный блок 3, соединенный выходами через блоки управления частотой 4 и напряжением 5 с управляющими входами статического преобразователя 2 частоты, датчик 6 частоты вращения, датчик 7 статического момента, подключенные входами к асинхронному электродвигателю 1, датчик 8 ускорения, вход которого соединен с вторым выходом датчика 6 частоты вращения, программные переключатели задания угла поворота 9 и уровня потерь 10, первый, второй, третий, четвертый и пятый входы вычислительного блока 3 соединены соответственно с первым выходом датчика 6 частоты вращения и выходами программного переключателя 9 задания угла поворота, программного переключателя 10 задания уровня потерь, датчика 8 ускорения и датчика 7 статического момента.

Для асинхронного электропривода, динамика которого описывается полной системой дифференциальных уравнений в полярных координатах

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\rho}_s = U \cos \gamma - d \rho_s + c \rho_r \cos \Delta \varphi, \\ \dot{\gamma} = -\frac{U}{\rho_s} \sin \gamma + C \frac{\rho_r}{\rho_s} \sin \Delta \varphi + \omega, \\ \dot{\rho}_r = h \rho_s \cos \Delta \varphi - b \rho_r, \\ \Delta \dot{\varphi} = \frac{U}{\rho_s} \sin \gamma - \left( C - \frac{\rho_r}{\rho_s} + h \frac{\rho_s}{\rho_r} \right) \times \\ \times \sin \Delta \varphi - p \nu, \\ I_{\dot{\nu}} = \mu_3 - \mu_5 (\nu), \\ \mu_3 = \varepsilon \rho_s \rho_r \sin \Delta \varphi \end{array} \right. \quad (1)$$

на основе асимптотической магистральной теории аналитически определен оптимальный позиционный процесс. Обобщенный критерий качества взят в виде

$$I = \int_0^T (\lambda_1 Q + \lambda_2 - \lambda_3 \nu) dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  - неотрицательные весовые множители.

Критерий (2) учитывает быстродействие, потери и производительность и получен как взвешенная сумма критериев

$$I_1 = \int_0^T Q dt = \int_0^T (R_s i_s^2 + R_r i_r^2) \times x dt \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$I_2 = \int_0^T 1 dt \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$I_3 = \int_0^T \nu dt \rightarrow \max. \quad (5)$$

В (1) все величины выражены через параметры схемы замещения и общепринятые обозначения в декартовой системе координат:

$U, \omega$  - напряжение и частота питания статора;  
 $\rho_s, \rho_r$  - модули потокосцепления статора и ротора;  
 $\Delta \varphi$  - угол между потокосцеплениями статора и ротора;  
 $\mu_5$  - момент сопротивления, может зависеть от  $\nu$  непрерывно и монотонно;  
 $\nu$  - частота вращения ротора;  
 $I$  - момент инерции привода;  
 $a, b, c, h, \varepsilon$  - константы;

$$\gamma = \theta - \varphi_s = \arctg \frac{\psi_{s\beta}}{\psi_{s\alpha}};$$

$\theta$  - угол поворота ротора;  
 $\varphi_s$  - угол поворота вектора потокосцепления статора;

$\psi_{s\beta}$  - проекция вектора потокосцепления статора на ось  $\beta$ ;  
 $\psi_{s\alpha}$  - проекция вектора потокосцепления статора на ось  $\alpha$ ;

В (3)  $i_r^2$  и  $i_s^2$  - квадраты токов в роторе и статоре; и  $R_s$  и  $R_r$  - сопротивление статора и ротора.

Учитываем ограничения на управление

$$0 \leq U \leq U_{\max},$$

$$\omega_{\min} \leq \omega \leq \omega_{\max} \quad (6)$$

и фазовые координаты

$$0 \leq \rho_s \leq \rho_{s \max} = 1, \quad (7)$$

$$0 \leq \rho_r \leq \rho_{r \max} = 1.$$

$$F^+ = \frac{\lambda_1 (R_s + R_r) (1 - \cos^2 \Delta \varphi) \cdot \rho_s^2 / (\delta L)^2 + \lambda_2 - \lambda_3 \nu}{\rho_s^2 3p \sin(2\Delta \varphi) / (4\delta L) - \mu_s},$$

$$\text{где } L = \frac{L_s + L_r + L_m}{3};$$

$L_s, L_r, L_m$  - индуктивности статора, ротора, взаимная;

$$\delta = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r},$$

$p$  - число пар полюсов.

Значение  $\nu_n$  может быть определено из формулы

$$\nu_n = \frac{a_1 (1 - \sqrt{1 - \mu_b^2}) + \lambda_2}{\lambda_3} \quad (8)$$

$$\text{где } a_1 = \frac{\lambda_1 (R_s + R_r)}{2 (\delta L)^2};$$

$$\mu_b = \frac{4 \mu_s \delta L}{3p}.$$

При разгоне имеем

$$(\rho_{s+}^*, \Delta \varphi_+^*) = (1; 0,5 \arccos X_1), \quad (9)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{1 + \alpha_1 - \mu_b \sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_b^2}}{(1 + \alpha_1)^2 + \mu_b^2};$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_2 - \lambda_3 \nu}{a_1}.$$

При торможении

$$\text{на участке I } (\nu_n \geq \nu \geq \nu_k = \frac{\lambda_2}{\lambda_3})$$

$$(\rho_{s-}^*, \Delta \varphi_-^*) = (1; 0,5 \arccos x_2), \quad (10)$$

$$U_1 = \rho_s^* \sqrt{(a - c \frac{h}{b} \cos^2 \Delta \varphi^+)^2 - (c \frac{h}{2b} \sin 2\Delta \varphi^+ + \text{btg } \Delta \varphi^+ + \nu_p)^2}. \quad (15)$$

Таким образом, получены аналитические выражения для оптимального в смысле критерия (2) управления асинхронным электроприводом.

Электропривод работает следующим образом.

Сигналы с программных переключателей задания уровня потерь 10 и

Решение задачи минимизации функционала (2) при условиях (1) находят по выражению  $(\rho_{s+}^*, \Delta \varphi_+^*) = \underset{\rho_s, \Delta \varphi}{\text{argmin}} F^+(\rho_s, \Delta \varphi)$  для разгона, имеющего место до достижения  $\nu$  значения  $\nu_n$  (при этом  $\mu_s \geq \mu_{s-}$ ) и по выражению  $(\rho_{s-}^*, \Delta \varphi_-^*) = \underset{\rho_s, \Delta \varphi}{\text{argmax}} F^+(\rho_s, \Delta \varphi)$  для торможения (при этом  $\mu_s < \mu_{s-}$ ), где

15 на участке II  $\nu_k > \nu$ ,

$$(\rho_{s-}^*, \Delta \varphi_-^*) = (1; -0,5 \arccos x_2), \quad (11)$$

$$20 \text{ где } x_2 = \frac{1 + \alpha_1 + \mu_b \sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_b^2}}{(1 + \alpha_1)^2 + \mu_b^2}$$

Управления  $U^*$  и  $\omega^*$ , удерживающие систему (1) в точках  $(\rho_{s+}^*, \Delta \varphi_+^*)$  при разгоне и  $(\rho_{s-}^*, \Delta \varphi_-^*)$  при торможении, определяются как

$$30 \omega^* = \begin{cases} \omega_{\min}, & \omega_1 < \omega_{\min}, \\ \omega_1, & \omega_{\min} \leq \omega_1 \leq \omega_{\max}, \\ \omega_{\max}, & \omega_1 > \omega_{\max}. \end{cases} \quad (12)$$

$$35 U^* = \begin{cases} U_1, & U_1 \leq U_{\max}, \\ U_{\max}, & U_1 > U_{\max}. \end{cases} \quad (13)$$

$$40 \text{ где } \omega_1 = \text{btg } \Delta \varphi^+ + \nu_p + \frac{\rho_s^{*2}}{U_1^2} (a -$$

$$- c \frac{h}{b} \cos^2 \Delta \varphi^+) (\frac{\delta h}{2b} \rho_s^{*2} x$$

$$x \sin 2\Delta \varphi_-^* \mu_s) - \frac{p}{I}; \quad (14)$$

55 угла поворота 9 поступают в вычислительный блок 3, где по заранее построенным таблицам определяется  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (параметр  $\lambda_3$  полагается равным 1). Далее вычислительный блок 3 рассчитывает значение  $\nu_n$  по формуле (8) и  $\nu_k = \lambda_2 / \lambda_3$  и в каждом такте управления выполняет (до тех

пор, пока асинхронный двигатель 1 не отработает заданный программным переключателем 9 угол поворота ротора

$\theta_3$ ) следующую процедуру: рассчитывается  $\Delta\varphi^*$ ,  $\rho_5^*$ ,  $U_1$ ,  $\omega_1$ . Теперь значения  $U^*$  и  $\omega^*$  с выхода вычислительного блока 3 поступают на входы блоков управления напряжением 4 и частотой 5, которые через статический преобразователь 2 частоты управляют асинхронным двигателем 1. Информация о состоянии двигателя (значение скорости, ускорения, статического момента) через датчики частоты вращения 6, статического момента 7 и ускорения 8 поступает на входы вычислительного блока 3, который переходит к следующему такту управления.

Алгоритм работы вычислительного блока 3 позволяет существенно снизить количество арифметических операций и отказаться от вычисления прямых и обратных тригонометрических функций.

При его выполнении приняты следующие обозначения и допущения.

Для всего процесса  $\rho_5^* = 1$ , что позволяет этот множитель исключить из выражений (14) и (15).

Ингредиент  $(\frac{\xi h}{2b} \rho_5^2 \cdot \sin 2\Delta\varphi - \mu_5)/I$

из формулы (15) представляет собой преобразованную правую часть уравнения  $\dot{\nu} = (\mu_3 - \mu_5)/I$ , т.е. ускорение.

В (14) и (15) имеются члены  $\cos^2 \Delta\varphi^*$ ,  $\sin 2\Delta\varphi^*$ ,  $\operatorname{tg} \Delta\varphi^*$ , где  $\Delta\varphi^*$  — магистральные значения ((9) — (11)). На основании известных тригонометрических соотношений

$$\cos^2 \Delta\varphi = \frac{1 + \cos 2\Delta\varphi}{2};$$

$$\operatorname{tg} \Delta\varphi = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos 2\Delta\varphi}{1 + \cos 2\Delta\varphi}};$$

$$\sin 2\Delta\varphi = \pm \sqrt{1 - \cos^2 2\Delta\varphi},$$

получаем

$$\begin{aligned} \cos^2 \Delta\varphi^* &= \frac{1 + \cos 2(\pm 0,5 \arccos x_{1,2})}{2} = 55 \\ &= \frac{1 + \cos(\pm \arccos x_{1,2})}{2} = \end{aligned}$$

$$= \frac{1 + x_{1,2}}{2};$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Delta\varphi^* &= \pm \sqrt{\frac{1 - \cos 2(\pm 0,5 \arccos x_{1,2})}{1 + \cos 2(\pm 0,5 \arccos x_{1,2})}} = 5 \\ &= \pm \sqrt{\frac{1 - x_{1,2}}{1 + x_{1,2}}} = \frac{\pm \sqrt{1 - x_{1,2}^2}}{1 + x_{1,2}}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin 2\Delta\varphi^* &= \pm \sqrt{1 - \cos^2 2(\pm 0,5 \arccos x_{1,2})} = 15 \\ &= \pm \sqrt{1 - x_{1,2}^2}. \end{aligned}$$

Введем обозначения

$$x^* = \begin{cases} x_1 & \text{при разгоне,} \\ x_2 & \text{при торможении,} \end{cases}$$

$$y^* = k_2 \sqrt{1 - x^{*2}},$$

где

$$k = \begin{cases} 1 & \text{— при разгоне на участке} \\ & \text{I торможения,} \\ -1 & \text{— на участке II торможения.} \end{cases}$$

Знак "-" в формулах соответствует второму участку торможения, где  $\Delta\varphi^* < 0$ .

Учитывая указанные выводы запишем выражения для  $U$  и  $\omega$ , которые реализуются в вычислительном блоке 3.

$$\omega = \sqrt{A^2 + [k_2 y^* (\frac{ch}{2b} + \frac{b}{1+x^*}) + p\nu]^2},$$

$$\omega = b \frac{k_2 y^*}{1+x^*} + \sqrt{p + \frac{Ap\nu}{\omega^2}},$$

$$\text{где } A = a - \frac{ch}{2b} (1+x^*).$$

Алгоритм, реализованный в вычислительном блоке 3, выглядит в общем виде так:

вычисление и задание постоянных коэффициентов;

$k_1 := -1$  (знак "+" перед  $y^*$ );  
разгон ( $x^* = x_1$ ), пока  $\dot{\nu} < \dot{\nu}_n$ ;

$k_1 := 1$  (признак торможения);  
торможение (первый участок), пока  $v \geq v_k$  ;  
 $k_2 := -1$  (знак "-" перед  $y^*$ ) -  
признак участка II торможения;  
торможение, пока  $v \geq 0$  ;  
останов;  
Выражение для  $x^*$  упрощается  
следующим образом.

Пусть

$$z_1 = 1 + \alpha_1 ; \quad z_2 = z_1^2 + \mu_B^2 .$$

Тогда

$$\alpha_1^2 + 2\alpha_1 + \mu_B^2 = [(\alpha_1^2 + 2\alpha_1 + 1) + \mu_B^2] - 1 = (z_1^2 + \mu_B^2) - 1 = z_2 - 1 ,$$

откуда

$$x^* = \frac{z_1 + k_1 \mu_B \sqrt{z_2 - 1}}{z_2} .$$

В табличной записи алгоритма используются следующие соотношения:

$$d = \frac{4\zeta L}{3p} ; \quad g = \frac{R_s + R_r}{2\zeta^2 L^2} ;$$

$$k_3 = \frac{ch}{2b} ; \quad \bar{x}^* = 1 + x^* ;$$

$$\bar{v} = v_p ; \quad B = \frac{b}{\bar{x}^*} ; \quad A = a - k_3 \bar{x}^* ;$$

$$U^* = \min (U, U_{\max}) ;$$

$$\omega^* = \min \{ \max(\omega_{\min}, \omega) \} ,$$

где  $d, g, k_3$  - константы;  
 $\bar{x}^*, \bar{v}, B, z_3 \div z_{36}$  - промежуточные результаты.

Таблица описывает алгоритм работы вычислительного блока 3 как последовательность вычислительных операций.

5 Таким образом, применение в структуре электропривода программных переключателей задания уровня потерь 10 и угла поворота 9 датчиков момента 7 и ускорения 8 и использование 10 указанного алгоритма работы вычислительного блока 3 позволяет электроприводу за минимальное время срабатывать заданный угол поворота  $\theta_3$ , при заданном уровне потерь энергии 15  $Q_3$ .

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

20 Частотно-управляемый асинхронный электропривод, содержащий асинхронный электродвигатель, статорные обмотки которого подключены к выходам статического преобразователя частоты, вычислительный блок, соединенный 25 выходами через блоки управления напряжением и частотой с управляющими входами статического преобразователя частоты, датчик частоты вращения ротора асинхронного электродвигателя, первый выход которого 30 подключен к первому входу вычислительного блока, отличающийся тем, что, с целью минимизации потерь энергии в электродвигателе в процессе позиционирования, введены 35 программные переключатели задания угла поворота и уровня потерь, датчик статического момента, датчик ускорения, второй, третий, четвертый 40 и пятый входы вычислительного блока соединены с выходами соответственно программного переключателя задания угла поворота, программного переключателя задания уровня потерь, датчика 45 ускорения и датчика статического момента, а вычислительный блок функционирует в соответствии с алгоритмом, представленным в таблице:

Номер пункта алгоритма	Первый операнд	Операция	Второй операнд	Результаты	Обозначения	Следующий вып. пункт алгоритма
1	2	3	4	5	6	7
1	$\mu_5$	Умножение	$\alpha$	$(46L\mu_5)/3p$	$\mu_8$	Следующий пункт
2	$\lambda_1$	"-	$g$	$\lambda_1(R_5 + R_r)/(2\delta^2L^2)$	$a_1$	"-
3	$\lambda_2$	Деление	$\lambda_3$	$\lambda_2/\lambda_3$	$\nu_k$	"-
4	$\mu_8$	Умножение	$\mu_8$	$\mu_8^2$	$z_3$	"-
5	1	Вычитание	$z_3$	$1 - \mu_8^2$	$z_4$	"-
6	$z_4$	Корень квадратный	-	$\sqrt{1 - \mu_8^2}$	$z_5$	"-
7	1	Вычитание	$z_5$	$1 - \sqrt{1 - \mu_8^2}$	$z_6$	"-
8	$a_1$	Умножение	$z_6$	$a_1(1 - \sqrt{1 - \mu_8^2})$	$z_7$	"-
9	$\lambda_2$	Сложение	$z_7$	$\lambda_2 + a_1(1 - \sqrt{1 - \mu_8^2})$	$z_8$	"-
10	$z_5$	Деление	$\lambda_3$	$[\lambda_2 + a_1(1 - \sqrt{1 - \mu_8^2})]/\lambda_3$	$\nu_n$	"-
11	$k_1$	Присваивание	-1	$k_1 := -1$	$k_1$	"-
12	$k_2$	Присваивание	1	$k_2 := 1$	$k_2$	"-
13	$\lambda_3$	Умножение	$\nu$	$\lambda_3\nu$	$z_9$	"-
14	$\lambda_2$	Вычитание	$z_9$	$\lambda_2 - \lambda_3\nu$	$z_{10}$	"-
15	$z_{10}$	Деление	$a_1$	$(\lambda_2 - \lambda_3\nu)/a_1$	$\alpha_1$	"-
16	1	Сложение	$\alpha_1$	$1 + \alpha_1$	$z_n$	"-

1	2	3	4	5	6	7
17	$\mu_5$	Умножение	d	$(46L\mu_5)/3p$	$\mu_B$	Следующий пункт
18	$\mu_B$	Умножение	$\mu_B^2$	$\mu_B^2$	$z_3$	"-
19	$z_{11}$	"-	$z_{11}$	$(1 + \alpha_1)^2$	$z_{12}$	"-
20	$z_{12}$	Сложение	$z_3$	$(1 + \alpha_1)^2 + \mu_B^2$	$z_{13}$	"-
21	$z_{13}$	Вычитание	1	$2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_B^2$	$z_{14}$	"-
22	$z_{14}$	Корень квадратный	-	$\sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_B^2}$	$z_{15}$	"-
23	$z_{15}$	Умножение	$\mu_B$	$\mu_B \sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_B^2}$	$z_{16}$	"-
24	$z_{16}$	"-	$k_1$	$k_1 \mu_B \sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_B^2}$	$z_{17}$	"-
25	$z_{17}$	Сложение	$z_{11}$	$1 + \alpha_1 + k_1 \mu_B \sqrt{2\alpha_1 + \alpha_1^2 + \mu_B^2}$	$z_{18}$	"-
26	$z_{18}$	Деление	$z_{13}$	$z_{18} / [(1 + \alpha_1)^2 + \mu_B^2]$	$x^*$	"-
27	$x^*$	Умножение	$x^*$	$x^{*2}$	$z_{19}$	"-
28	1	Вычитание	$z_{19}$	$x - x^{*2}$	$z_{20}$	"-
29	$z_{20}$	Корень квадратный	-	$\sqrt{1 - x^{*2}}$	$z_{21}$	"-
30	$z_{21}$	Умножение	$k_2$	$k_2 \sqrt{1 - x^{*2}}$	$y^*$	"-
31	$x^*$	Сложение	1	$x^* + 1$	$\overline{x^*}$	"-
32	$\downarrow$	Умножение	p	$\downarrow p$	$\overline{\downarrow}$	"-
33	$k_3$	"-	$\overline{x^*}$	$k_3 \overline{x^*}$	$z_{23}$	"-

1	2	3	4	5	6	7
34	a	Вычитание	$z_{23}$	$a - k_3 \bar{x}^*$	$z_{24}$	"
35	$z_{24}$	Умножение	$z_{24}$	$(a - k_3 \bar{x}^*)^2$	$z_{25}$	"
36	b	Деление	$\bar{x}^*$	$b/\bar{x}^*$	B	"
37	$k_3$	Сложение	B	$k_3 + b/\bar{x}^*$	$z_{26}$	"
38	$y^*$	Умножение	$z_{26}$	$y^*(k_3 + b/\bar{x}^*)$	$z_{27}$	"
39	$z_{27}$	Сложение	$\bar{v}$	$y^*(k_3 + b/\bar{x}^*) + \bar{v}$	$z_{28}$	"
40	$z_{28}$	Умножение	$z_{28}$	$[y^*(k_3 + b/\bar{x}^*) + \bar{v}]^2$	$z_{29}$	"
41	$z_{29}$	Сложение	$z_{25}$	$[y^*(k_3 + b/\bar{x}^*) + \bar{v}]^2 + (a - k_3 \bar{x}^*)^2$	$z_{30}$	"
42	$z_{30}$	Корень квадратный	-	$\sqrt{[y^*(k_3 + b/\bar{x}^*) + \bar{v}]^2 + (a - k_3 \bar{x}^*)^2}$	U	"
43	B	Умножение	$y^*$	$by^*/\bar{x}^*$	$z_{31}$	"
44	$z_{31}$	Сложение	$\bar{v}$	$by^*/\bar{x}^* + \bar{v}$	$z_{32}$	"
45	A	Умножение	P	Ap	$z_{33}$	"
46	$z_{33}$	"	$\bar{v}$	$Ap\bar{v}$	$z_{34}$	"
47	U	"	U	$U^2$	$z_{35}$	"
48	$z_{34}$	Деление	$z_{35}$	$Ap\bar{v}/U^2$	$z_{36}$	"



Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
49	$z_{36}$	Сложение	$z_{32}$	$Ar\dot{v}/U^2 + by^*/\bar{x}^* + \dot{v}_p$	$\omega$	Следующий пункт
50	$U$	Сравнение	$U_{max}$	Меньше	-	Переход к п.52
51	$U$	Присваивание	$U_{max}$	$U := U_{max}$	$U$	Следующий пункт
52	$\omega$	Сравнение	$\omega_{min}$	Больше	-	Переход к п.54
53	$\omega$	Присваивание	$\omega_{min}$	$\omega := \omega_{min}$	$\omega$	Переход к п.56
54	$\omega$	Сравнение	$\omega_{max}$	Меньше	-	"-"
55	$\omega$	Присваивание	$\omega_{max}$	$\omega := \omega_{max}$	$\omega$	Следующий пункт
56	$k_1$	Сравнение	-1	Не равно	-	Переход к п.59
57	$\dot{v}$	"-"	$\dot{v}_n$	Меньше	-	Переход к п.13
58	$k_1$	Присваивание	1	$k_1 := 1$	$k_1$	Следующий пункт
59	$\dot{v}$	Сравнение	$\dot{v}_k$	Больше или равно	-	Переход к п.13
60	$k_2$	Присваивание	-1	$k_2 := -1$	$k_2$	Следующий пункт
61	$\dot{v}$	Сравнение	0	Больше или равно	-	Переход к п.13
62		Останов				

15

1343536

16