

Союз Советских
Социалистических
Республик



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11)1003280

(61) Дополнительное к авт. свид-ву № 663052

(22) Заявлено 21.07.81 (21) 3321552/24-07

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 07.03.83. Бюллетень № 9

Дата опубликования описания 07.03.83

(51) М. Кл.³

H 02 P 5/06

(53) УДК 621.
.316.718.5
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

В. И. Панасюк, В. Л. Анхимюк, В. С. Юденков и Э. Д. Политыко

(71) Заявитель

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

(54) ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПОТЕРЬ В ДВИГАТЕЛЕ

Изобретение относится к электротехнике, в частности к регулируемому электроприводу постоянного тока, управляемому по цепи якоря и возбуждения двигателя постоянного тока.

По основному авт. св. № 663052 известен электропривод постоянного тока с минимизацией потерь в двигателе, содержащий датчики тока возбуждения и напряжения на якоре, последовательно соединенные датчик скорости, функциональный преобразователь и блок перемножения с подключенным к его второму входу датчиком тока якоря, а также регулятор возбуждения, к входу которого подключен блок интегрирования, с тремя входами, которые соединены соответственно с выходом блока перемножения, с выходом датчика напряжения на якоре и с выходом датчика тока возбуждения. Управление электроприводом осуществляется по закону

$$-J_A^2 R_A + G_1(\omega) K^2 \Phi^2 + \frac{\Phi}{2} \frac{\partial}{\partial \Phi} (J_B^2 R_B) = 0 \quad (1)$$

Оптимальность процесса по критерию минимума потерь обеспечивается выражением (1) только в установившемся режиме. Однако во многих электроприводах переходные процессы занимают значительное время по сравнению со временем всего цикла работы. Это приводит к необходимости учета и минимизации потерь не только в установившемся режиме, но в переходных процессах электропривода [1].

Недостатком известного устройства является невозможность обеспечения оптимального по потерям энергии динамического режима разгона электропривода.

Цель изобретения - повышение КПД путем минимизации потерь электроэнергии в переходном процессе разгона электропривода.

Поставленная цель достигается тем, что в электропривод включены микропроцессор, ключ, регулятор тока якоря, датчик момента сопротивления и датчик скорости, причем выходы датчиков тока возбуждения, скорости, тока якоря, нап-

ряжения на якоре, момента сопротивления и задатчика скорости соединены с входами микропроцессора, первый выход которого связан с входом регулятора тока якоря, два других выхода - с двумя входами ключа, третий вход которого соединен с выходом блока интегрирования, а выход ключа соединен с входом регулятора возбуждения.

На фиг. 1 показана блок-схема электропривода; на фиг. 2 - область определения функции потерь; на фиг. 3 - блок-схема функционирования микропроцессора.

Электропривод (фиг. 1) содержит последовательно соединенные датчик скорости, функциональный преобразователь, блок перемножения, блок интегрирования с коэффициентом интегрирования K_1 , связанный с регулятором тока возбуждения датчик тока якоря, соединенный с вторым входом блока 3, датчик тока возбуждения, связанный с вторым входом блока 4 с коэффициентом интегрирования K_3 , датчик напряжения на якоре, соединенный с третьим входом блока 4 с коэффициентом интегрирования K_2 , микропроцессор 9, ключ 10, датчик момента сопротивления, регулятор тока якоря и задатчик скорости. Выходы датчиков 1, 6, 7, 8 и 9 и задатчика 13 соединены с входами микропроцессора 9, один выход которого связан с регулятором 12, два других выхода - с двумя входами ключа 10, третий вход которого соединен с выходом блока 4, а выход ключа 10 связан с входом регулятора 5.

Снижение полных потерь за время разгона достигается за счет управления с более точным определением минимума функции потерь $F(J_a, \Phi, \omega)$ с учетом момента статического сопротивления M_c в допустимой области изменения тока якоря J_a и потока возбуждения Φ при ограничении напряжения в цепи якоря.

Задача оптимального управления переходным процессом разгона от скорости ω_0 до ω_T ($\omega_0 < \omega_T$) по минимуму полных потерь в двигателе постоянного тока заключается в выборе таких законов изменения тока якоря J_a и потока возбуждения Φ , которые обеспечивают минимизацию энергии потерь, выделяющихся в двигателе за время T переходного процесса:

$$Q = \int_0^T \Delta P_{\Sigma} dt \quad (2)$$

с учетом ограничений

$$\begin{cases} |J_a| \leq J_{a \max}; \\ |U| \leq U_{\max}; \\ J_{B \min} \leq J_B \leq J_{B \max}; \end{cases} \quad (3)$$

где $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_J + \Delta P_{Cm} + \Delta P_B + \Delta P_M$ - полные потери в двигателе;

$\Delta P_J = J_a^2 R_a$ - потеря в обмотке якоря;

$\Delta P_{Cm} = 6(\omega) K^2 \Phi^2$ - потеря в стали;

$\Delta P_B = \Delta P_B(\Phi) = J_B^2 R_B$ - в обмотке возбуждения;

$\Delta P_M = \Delta P_M(\omega)$ - механические потери;

J_a, J_B, Φ - токи якоря, возбуждения и магнитный поток двигателя, соответственно;

ω - скорость;

R_a и R_B - сопротивление якоря и возбуждения двигателя.

Уравнение механического равновесия двигателя

$$M = K J_a \Phi = M_c(\omega) + J \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

Задача минимизации (2) является задачей со свободным правым концом и незакрепленным временем. Заменим t в (2) на ω из (4). Тогда, пренебрегая длительностью электромагнитных процессов, получим задачу оптимального управления, сводящуюся к минимизации интеграла с фиксированными пределами

$$Q^* = \int_{\omega_0}^{\omega_T} \frac{J \Delta P_{\Sigma}}{K J_a \Phi - M_c} d\omega = \int_{\omega_0}^{\omega_T} J F(J_a, \Phi, \omega) d\omega \rightarrow \min_{J_a, J_B} \quad (5)$$

Минимум выражения (5) достигается при минимизации подинтегральной функции $F(\cdot)$ в текущий момент времени. Запишем выражение для $F(\cdot)$ в виде

$$F(\cdot) = F(x, y) = \frac{J_a^2 R_a + J_B^2 (R_B + G(\omega) K^2) + P_M(\omega)}{K J_a J_B - M_c} = C \frac{x^2 + y^2 + P}{xy - \mu_c} \quad (6)$$

где

$$x^2 = J_{\alpha}^2 R_{\partial}$$

$$y^2 = J_{\beta}^2 \gamma$$

$$P = \Delta P_m(\omega);$$

$$C = \sqrt{R_{\partial} \gamma} / k;$$

$$\mu_c = M_c \sqrt{R_{\partial} \gamma} / k;$$

$$\gamma = R_{\beta} + G(\omega) k^2;$$

$$C > 0, P > 0, \mu_c > 0, xy - \mu_c > 0$$

В (5) полагается, что магнитная система машины не насыщена т. е. $\Phi = J_{\beta}$, что не искажает сути задачи (кривую насыщения учитываем ограничением тока возбуждения J_{β} из (3)). Область определения (фиг. 2) $F(\cdot)$ определяется ограничениями (3) и уравнением

$$U_{\max} = x \sqrt{R_{\partial}} + y \frac{k_e \omega}{\sqrt{\gamma}} \quad (7)$$

На фиг. 2 нанесены область определения $F(x, y)$ - прямоугольник ACRN и линия $xy = \text{const}$. При $xy = \text{const}$ минимум $F(x, y)$ при каждом фиксированном ω достигается без учета ограничений при $x = y$, откуда следует, что если минимум $F(x, y)$ достигается в точке, принадлежащей фигуре BCD₁EM₁N₁, то эта точка должна лежать на отрезке BE биссектрисы OL. Если $F(x, y)$ имеет минимум в области ABN₁N, то эта точка лежит на отрезке AB. И, наконец, если $\arg \min F(x, y)$ принадлежит области ED₁D, то эта точка лежит на отрезке DE. Если точка минимума лежит на отрезке BE, то при $x = y$ получим

$$F(x, y) = C \frac{2x^2 + P}{x^2 - \mu_c} = C \left[\frac{2}{1 - \frac{\mu_c}{x^2}} + \frac{P}{x^2 - \mu_c} \right], \quad (8)$$

откуда видно, что при $x^2 - \mu_c > 0$

$$\arg \min_{x^2} F(x, x) \rightarrow \infty$$

т. е. точка минимум достигается при возможно большем значении произведения $xy = x^2$, т. е. на ограничениях (3) и (7) - точка E.

$$\psi = \frac{U_{\max}^2 \gamma \sqrt{R_{\partial} \gamma} + P \sqrt{R_{\partial} \gamma} (k_e \omega)^2 - \mu_c [(k_e \omega)^3 + R_{\partial} \gamma (k_e \omega)]}{U_{\max} \sqrt{\gamma} [(k_e \omega)^2 - R_{\partial} \gamma]}$$

Если прямая (7) не пересекается с прямоугольником ACRN, т. е. при малых ω и $|U| < U_{\max}$, то минимум $F(x, y)$ при выполнении

$$J_{\alpha}^2 R_{\partial} \gg J_{\beta}^2 (R_{\beta} + G(\omega) k^2) \quad (10)$$

достигается в точке, принадлежащей отрезку RN. В этом случае $y^* = y_{\max}$. Определим стационарную точку по $x = \sqrt{\text{var}}$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = C \frac{x^2 y - 2\mu_c x - y(y^2 + P)}{(xy - \mu_c)^2} = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{\mu_c}{y^*} \pm \sqrt{\left(\frac{\mu_c}{y^*}\right)^2 + (y^*)^2 + P}; x_{\max} \quad (11)$$

Для режима разгона

$$x^* = \min \left\{ \frac{\mu_c}{y^*} + \sqrt{\left(\frac{\mu_c}{y^*}\right)^2 + (y^*)^2 + P}; x_{\max} \right\}$$

При возрастании ω прямая (7) пересекает фигуру ACRN и конец достигает точки (12), что соответствует $U = U_{\max}$. При дальнейшем возрастании ω точка, доставляющая минимум $F(x, y)$, переходит на отрезок DM ($U = U_{\max}$). Для определения точки минимума в этом случае подставим в $F(x, y)$ выражение

$$y = \left(\frac{U_{\max}}{\sqrt{R_{\partial}}} - x \right) \sqrt{R_{\partial} \gamma} / (k_e \omega), \quad (13)$$

полученное из (7). Тогда, подставив (13) в (6), получим

$$F(x, y) = C \frac{x^2 + \left[\left(\frac{U_{\max}}{\sqrt{R_{\partial}}} - x \right) \sqrt{R_{\partial} \gamma} / (k_e \omega) \right]^2 + P}{x \left[\left(\frac{U_{\max}}{\sqrt{R_{\partial}}} - x \right) \sqrt{R_{\partial} \gamma} / (k_e \omega) \right] - \mu_c} \quad (14)$$

Из условия $\frac{\partial F(x, y)}{\partial x} = 0$ получим

$$x^2 + 2\psi x + q = 0; x_{1,2} = -\psi \pm \sqrt{\psi^2 - q},$$

где

$$q = \frac{2\mu_c \sqrt{R_a \gamma} K_e \omega - P(K_e \omega)^2 - U_{\max}^2 \gamma}{K_e \omega^2 - R_a \gamma}$$

Для точки минимума $F(x, y)$, лежащей на прямой (7) для разгона справедливости условия

$$x^* = \min \left\{ x_{\max}; \max \left\{ \left[\frac{U_{\max}}{\sqrt{R_a}} - \frac{J_{\max} K_e \omega}{\sqrt{R_a \gamma}} \right]; 0; \left[-\psi + \sqrt{\psi^2 - q} \right] \right\} \right\}$$

$$y^* = \min \left\{ y_{\max}; \left(\frac{U_{\max}}{\sqrt{R_a}} - x^* \right) \frac{\sqrt{R_a \gamma}}{K_e \omega} \right\} \quad (15)$$

В этом случае управляющим воздействием является y^* , так как x^* по цепи якоря изменяться не может, поскольку $U = U_{\max}$.

Если условие (10) не выполняется, т.е. прямая $x = y$ пересекает грань CR, то из (6,9) $x^* = x_{\max}$ и при разгоне

$$y^* = \min \left\{ \frac{\mu_c}{x^*} + \sqrt{\left(\frac{\mu_c}{x^*} \right)^2 + (x^*)^2 + P}; y_{\max} \right\} \quad (16)$$

Переходя в исходный переменный, алгоритм оптимального управления электродвигателем по минимуму потерь представляет собой блок-схему функционирования микропрограммного вычислительного блока (фиг. 3).

Работа электропривода происходит в двух режимах: статическом (сюда включено и торможение) и динамическом режиме разгона. Оптимизация статического режима (и торможения) происходит согласно формуле (1). При этом в работе участвуют датчик 7 тока возбуждения, датчик 1 скорости, датчик 6 тока якоря, датчик 8 напряжения на якоре, функциональный преобразователь 2, блок 3 перемножения, блок 4 интегрирования. Управляемый ключ 10 осуществляет автоматическое переключение управления со статического

режима на динамический при $\omega_r - \omega < \epsilon$ и обратно при $\omega_r - \omega > \epsilon$ для некоторой величины $\epsilon > 0$, выбираемой при настройке.

Управление ключом 10 осуществляется от микропроцессора 9 сигналом K_n ($K_n = 1$ - разгон электропривода, $K_n = 0$ - статический режим). В режиме разгона происходят коммутации ключа 10 и управление процессом организуется микропроцессором 9. На выход микропроцессора 9 подаются сигналы с задатчика 13 скорости ω_r и с датчиков 1, 6, 7, 8 и 11. Микропроцессор 9 производит обработку сигналов согласно алгоритму (фиг. 3). На двух выходах микропроцессора 9 формируется сигнал задания тока возбуждения, который подается через ключ 10 на вход регулятора 5 тока возбуждения, и сигнал задания тока якоря, который подается на вход регулятора 12 тока якоря.

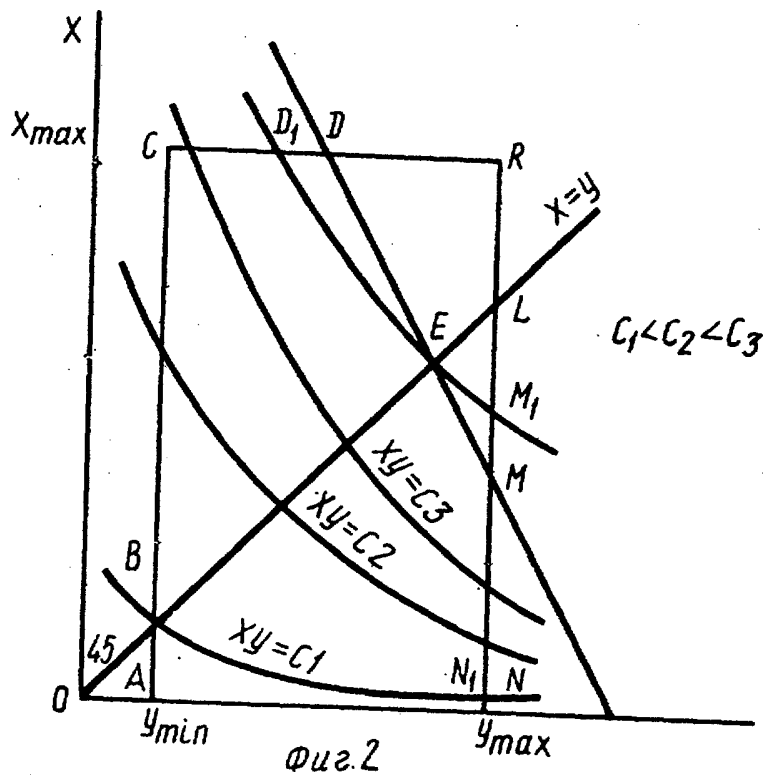
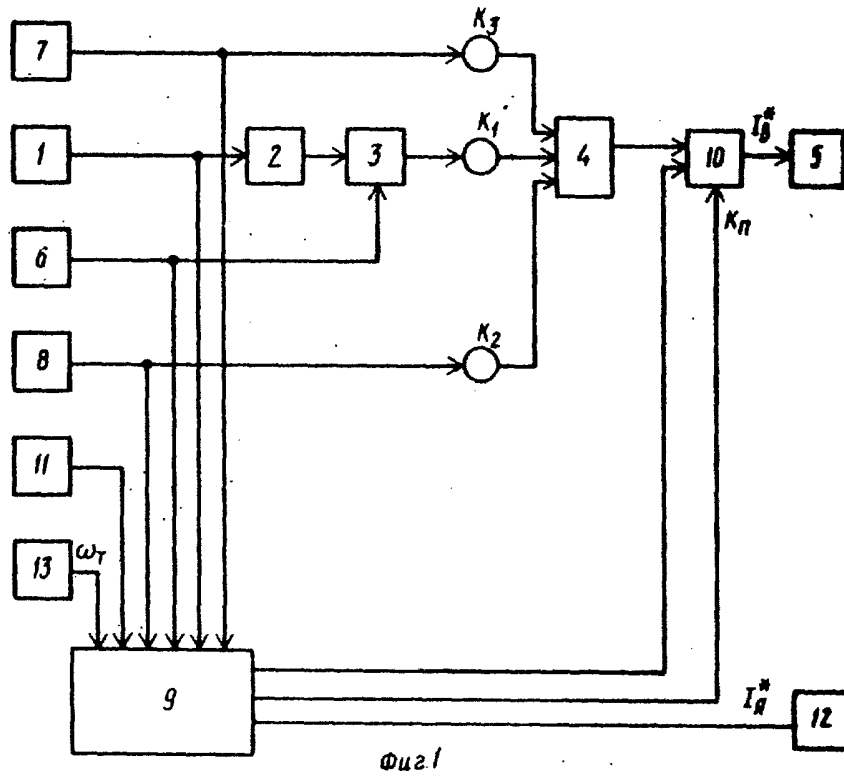
Таким образом обеспечивается оптимальное по потерям энергии функционирование электропривода как в статическом, так и в динамическом (разгон) режимах работы.

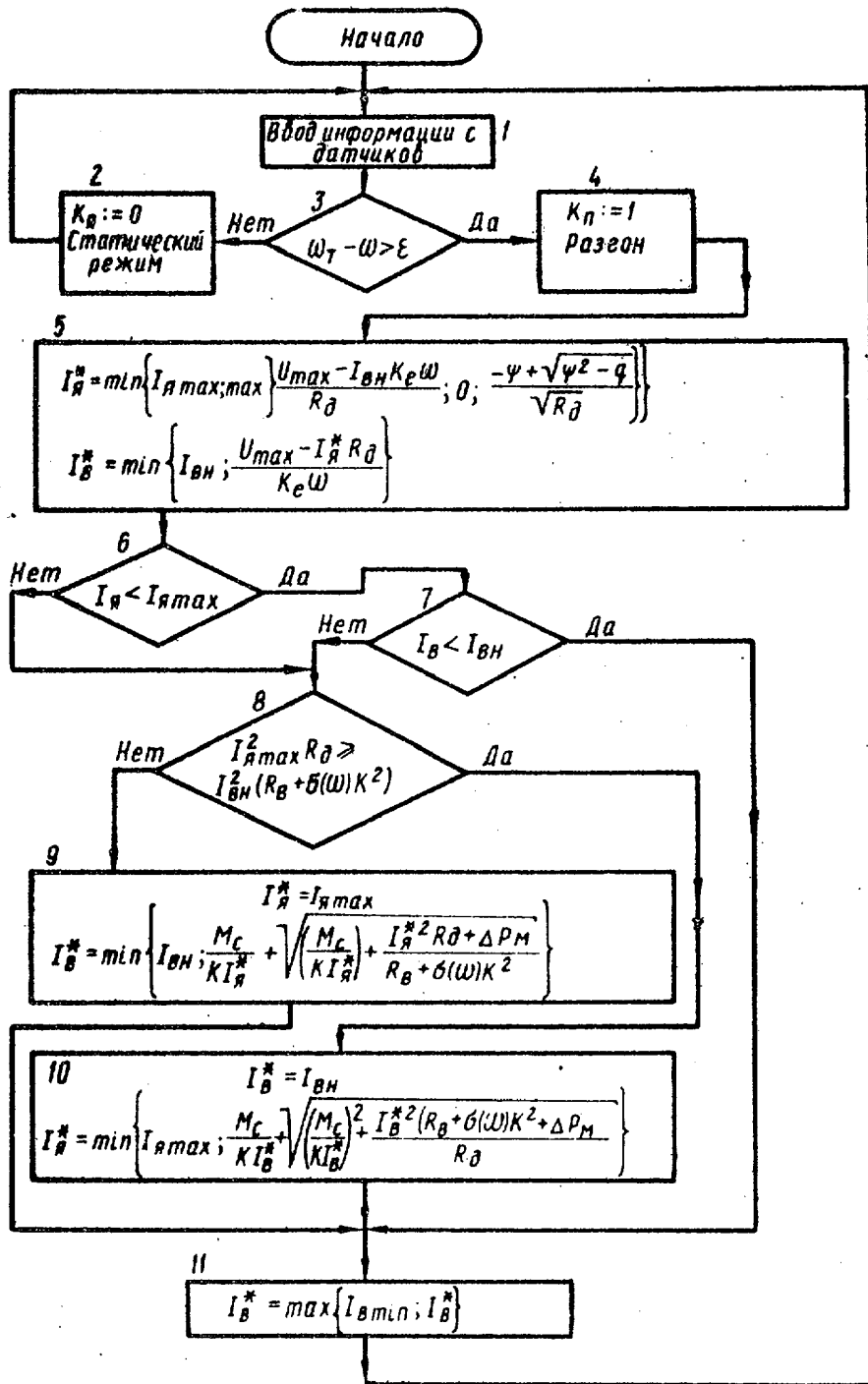
Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Электропривод постоянного тока с минимизацией потерь в двигателе по авт. св. № 663052, отличающийся в том, что с целью повышения его КПД путем минимизации потерь электроэнергии в переходном процессе, в него введены микропроцессор, ключ, датчик момента сопротивления, регулятор тока якоря и задатчик скорости, причем выходы датчиков тока возбуждения, скорости, тока якоря, напряжения на якоре, момента сопротивления и задатчика скорости соединены с входами микропроцессора, первый выход которого соединен с входом регулятора тока якоря, два других выхода - с двумя входами ключа, третий вход которого соединен с выходом блока интегрирования, а выход ключа соединен с входом регулятора возбуждения.

Источники информации,

принятые во внимание при экспертизе
1. Авторское свидетельство СССР № 663052, кл. H 02 P 5/06, 1977.





Фиг 3