



(51) МПК

H02P 6/16 (2006.01)*H02P 6/18* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015120204/07, 27.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.05.2015

(45) Опубликовано: 20.08.2016 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2262181 C2, 10.10.2005. RU 2277289 C1, 27.05.2006. RU 2182743 C1, 20.05.2002. GB 2505488 A, 05.03.2014. FR 2697696 A1, 06.05.1994. DE 69726776 T2, 07.10.2004. JP 3381509 B2, 04.03.2003. US 2014232311 A, 21.08.2014. EP 2493066 A1, 29.08.2012. WO 2014130601 A2, 28.08.2014.

Адрес для переписки:

394006, г. Воронеж, ул. Красноармейская, 52Д,
ЗАО "Орбита"

(72) Автор(ы):

Волокитин Вадим Николаевич (RU),
Васильев Евгений Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Закрытое акционерное общество "Орбита"
(RU)

(54) СПОСОБ БЕЗДАТЧИКОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

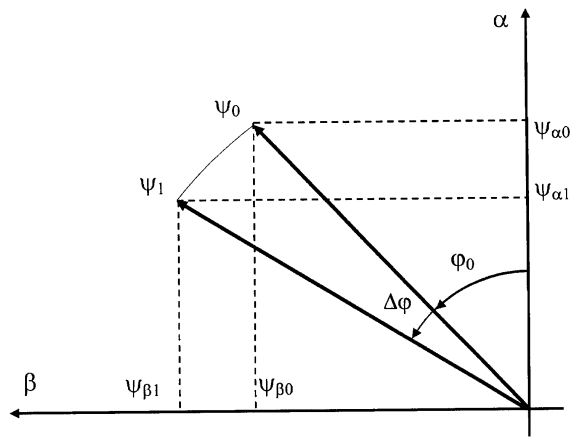
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и предназначено для применения в системах управления синхронным электродвигателем с постоянными магнитами в зависимости от положения ротора без использования датчика положения ротора, конструктивно связанного с электродвигателем. Техническим результатом является упрощение, снижение стоимости и повышение надежности. В способе бездатчикового определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами для определения

начального положения ротора электродвигателя осуществляют его пробный кратковременный пуск, т.е. подключение напряжения питания, приводящее к малому угловому перемещению ротора в произвольном направлении; на основе измерения мгновенных значений фазных токов и напряжений в течение этого перемещения вычисляют положение ротора. Числовое значение положения ротора используют для последующего рабочего пуска электродвигателя с бездатчиковым способом управления движением. 2 ил.

RU 2 594 358 C1

RU 2 594 358 C1



Фиг. 1

R U 2 5 9 4 3 5 8 C 1

R U 2 5 9 4 3 5 8 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H02P 6/16 (2006.01)
H02P 6/18 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015120204/07, 27.05.2015
(24) Effective date for property rights:
27.05.2015
Priority:
(22) Date of filing: 27.05.2015
(45) Date of publication: 20.08.2016 Bull. № 23
Mail address:
394006, g. Voronezh, ul. Krasnoarmejskaja, 52D,
ZAO "Orbita"

(72) Inventor(s):
Volokitin Vadim Nikolaevich (RU),
Vasilev Evgenij Mikhajlovich (RU)
(73) Proprietor(s):
Zakrytoe aktsionernoe obshshestvo "Orbita"
(RU)

(54) **METHOD OF SENSORLESS DETERMINATION OF INITIAL POSITION OF ROTOR OF SYNCHRONOUS MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS**

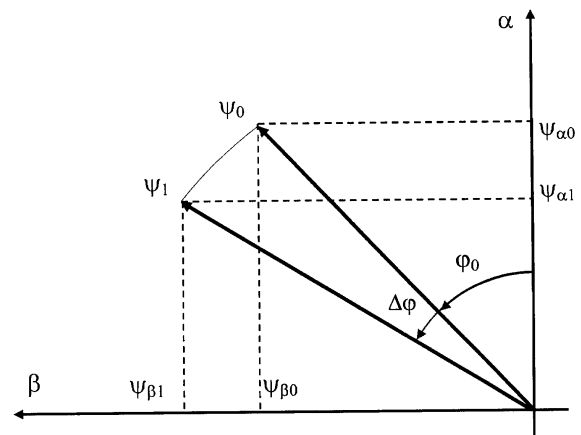
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering and is intended to be used in control systems for a synchronous motor with permanent magnets depending on the rotor position without the rotor position sensor structurally connected with the motor. In the method of sensorless determination of the initial position of the rotor of a synchronous electric motor with permanent magnets in order to determine the initial position of the motor rotor its short-time testing start is performed, that is connection of supply voltage, which leads to a small angular movement of the rotor in arbitrary direction; based on measurement of instantaneous values of phase currents and voltages during this movement the rotor position is calculated. Numerical value of the rotor position is used for further working start of the motor with sensorless method of controlling the movement.

EFFECT: technical result is simplification, lower cost and higher reliability.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 594 358 C1

RU 2 594 358 C1

Изобретение относится к электротехнике и предназначено для применения в системах управления синхронным электродвигателем с постоянными магнитами в зависимости от положения ротора без использования датчика положения ротора, конструктивно связанного с электродвигателем.

5 Известен способ бездатчикового определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами.

(WO 2001045247 A1, опубл. 21.06.2001;

US 5854548 A, опубл. 29.12.1998;

US 5841252 A, опубл. 24.11.1998;

10 Initial Rotor Angle Detection of a Non-Salient Pole Permanent Magnet Synchronous Machine / P.B. Schmidt, M.L. Gasperi, G. Ray, A.H. Wijenayake // Industry Applications Conference, 1997. Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS '97, Conference Record of the 1997 IEEE, Vol. 1, pp. 459-463;

15 Schroedl M. Detection of the Rotor Position of a Permanent Magnet Synchronous Machine at Standstill // Proceedings of International Conference in Electrical Machines, ICEM '88, Pisa, Italy, 1988, pp. 195-197), заключающийся в использовании несимметричности магнитной системы электродвигателя и зависимости индуктивностей обмоток статора от положения ротора путем введения в систему управления электроприводом дополнительных специальных сигналов, подаваемых на обмотки статора, и последующего измерения
20 параметров этих сигналов, содержащих информацию о положении ротора электродвигателя.

К недостаткам этого известного способа следует отнести существенное техническое и алгоритмическое усложнение электропривода, необходимое для формирования дополнительных специальных сигналов и анализа их параметров, что увеличивает
25 стоимость и снижает надежность электропривода.

Также известен способ бездатчикового определения углового положения ротора многофазного электродвигателя с постоянными магнитами (патент RU №2262181, опубл. 10.10.2005), согласно которому подают первый переменный сигнал определенной частоты на вход, по меньшей мере, одной из обмоток статора и снимают сигнал
30 измерения на выходе этой обмотки, сигнал измерения обрабатывают средствами электронной обработки с обеспечением извлечения информации о периодическом изменении эффективной индуктивности обмотки статора. Это изменение является функцией углового положения ротора. Осуществляя попеременно такие измерения на обмотках статора, получают три периодических кривых, определяющих
35 зигзагообразную кривую, позволяющую точно определить угловое положение ротора.

К недостаткам этого известного способа следует отнести высокую сложность его аппаратной реализации, ухудшающие показатели надежности электропривода.

В качестве ближайшего аналога выбран способ бездатчикового определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами
40 (Initial Rotor Position Detection in PMSM based on Low Frequency Harmonic Current Injection / D. Basic, F. Malrait, P. Rouchon // European Power Electronics, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE/PEMC, Ohrid, Sep. 2010, Vol. 4, pp. 916-922), заключающийся в инъекции низкочастотных токов в обмотки статора электродвигателя и возбуждении малых колебаний его ротора с последующим анализом гармонических составляющих тока инъекции и спектрального разложения, приложенного к обмоткам
45 статора напряжения, дающим информацию о положении ротора.

К недостаткам ближайшего аналога следует отнести усложнение электропривода из-за введения в его состав дополнительных устройств для формирования и ввода

низкочастотных колебаний и устройств спектрального анализа измеряемых токов и напряжений, снижающих надежность электропривода.

Задачей изобретения является повышение надежности и снижение стоимости системы управления синхронным электродвигателем без датчиков, конструктивно связанных с электродвигателем.

Поставленная задача решается тем, что в способе бездатчикового определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами, заключающемся в подаче на электродвигатель пробного воздействия и последующем вычислении положения ротора на основе измеренных мгновенных значений фазных токов и напряжений, в качестве указанного воздействия используют кратковременный пуск электродвигателя, приводящий к повороту ротора в произвольном направлении; в течение времени поворота ротора измеряют указанные мгновенные значения фазных токов и напряжений, вычисляют значения напряжений и токов в двухфазной ортогональной системе координат $\alpha\beta$ по формулам:

$$U_{\alpha}(t) = U_A(t), \quad U_{\beta}(t) = \frac{U_A(t) + 2U_B(t)}{\sqrt{3}};$$

$$i_{\alpha}(t) = i_A(t), \quad i_{\beta}(t) = \frac{i_A(t) + 2i_B(t)}{\sqrt{3}},$$

вычисляют приращения проекций потокосцеплений на оси координат α и β :

$$\Delta\psi_{\alpha} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\alpha}(t) - Ri_{\alpha}(t)] dt - Li_{\alpha}(\tau);$$

$$\Delta\psi_{\beta} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\beta}(t) - Ri_{\beta}(t)] dt - Li_{\beta}(\tau),$$

и вычисляют значение начального положения ротора:

$$\hat{\phi}_0 = -\arctg \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}},$$

где:

$\alpha\beta$ - неподвижная двухфазная система ортогональных координат, причем ось α связана с осью одной из фазных обмоток электродвигателя;

$U_A(t)$, $U_B(t)$ - мгновенные фазные напряжения фаз А и В в трехфазной системе координат АВС;

$U_{\alpha}(t)$, $U_{\beta}(t)$ - напряжения в двухфазной системе координат $\alpha\beta$;

$i_A(t)$, $i_B(t)$, - мгновенные фазные токи фаз А и В в трехфазной системе координат АВС;

$i_{\alpha}(t)$, $i_{\beta}(t)$ - токи в двухфазной системе координат $\alpha\beta$;

R и L - активное сопротивление и индуктивность фазной обмотки;

τ - время поворота ротора;

$\Delta\psi_{\alpha}$ и $\Delta\psi_{\beta}$ - приращения проекций потокосцеплений на оси координат α и β ;

$\hat{\phi}_0$ - вычисленное значение начального положения ротора электродвигателя.

Изобретение пояснено чертежами, где на фиг. 1 представлена векторная диаграмма потокосцепления, а на фиг. 2 временная диаграмма, поясняющие способ определения

начального положения ротора по результатам пробного пуска электродвигателя.

На чертежах представлены:

$\alpha\beta$ - неподвижная двухфазная система ортогональных координат, причем ось α связана с осью одной из фазных обмоток электродвигателя;

5 φ_0 - начальное положение ротора электродвигателя;

$\Delta\varphi$ - угловое перемещение ротора в результате пробного пуска;

$\varphi(t)$ - изменение положения ротора во времени в течение пробного движения;

φ_1 - новое начальное положение ротора электродвигателя;

10 $\hat{\varphi}(t)$ - вычисляемые мгновенные значения истинной величины $\varphi(t)$;

$\hat{\varphi}_0$ - вычисленное начальное положение ротора электродвигателя;

ε_1 - ошибка определения нового начального положения.

ψ_0 - вектор потокосцепления, создаваемого в фазной обмотке электродвигателя
15 постоянными магнитами ротора в начальном угловом положении φ_0 ;

ψ_1 - вектор потокосцепления в положении φ_1 после пробного пуска;

$\psi_{\alpha 0}, \psi_{\alpha 1}, \psi_{\beta 0}, \psi_{\beta 1}$ - проекции векторов ψ_0 и ψ_1 на оси α и β .

Сущность предложенного способа заключается в том, что для определения
20 начального положения ротора электродвигателя осуществляется его пробный кратковременный пуск, т.е. подключение напряжения питания, приводящее к малому угловому перемещению ротора в произвольном направлении, и на основе измерения мгновенных значений фазных токов и напряжений в течение этого перемещения вычисляется положение ротора. Числовое значение положения ротора используется
25 для последующего рабочего пуска электродвигателя с бездатчиковым способом управления движением.

Теоретическое обоснование предложенного способа определения начального положения ротора в результате пробного пуска поясняется с помощью фиг. 1, на которой вектор потокосцепления ψ_0 , создаваемый постоянным магнитом в фазной обмотке
30 неподвижного электродвигателя, находится в некотором произвольном начальном угловом положении φ_0 и имеет проекции $\psi_{\alpha 0}$ и $\psi_{\beta 0}$ на неподвижные оси координат α и β .

Допустим теперь, что в результате малого перемещения ротора на угол $\Delta\varphi$ вектор
35 потокосцепления принял положение ψ_1 . Соответственно изменятся его проекции: $\psi_{\alpha 1}$ и $\psi_{\beta 1}$. Определим приращения этих проекций в виде:

$$\begin{aligned} \Delta\psi_{\alpha} &= \psi_{\alpha 1} - \psi_{\alpha 0}; \\ \Delta\psi_{\beta} &= \psi_{\beta 1} - \psi_{\beta 0}, \end{aligned} \quad (1)$$

40 и найдем предел отношения этих приращений при $\Delta\varphi \rightarrow 0$:

$$\lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}}. \quad (2)$$

Для этого воспользуемся фиг. 1 и получим $\Delta\psi_{\alpha}$ и $\Delta\psi_{\beta}$ из тригонометрических
45 соотношений соответствующих треугольников:

$$\begin{aligned}\Delta\psi_{\alpha} &= \psi_m \cdot (\cos(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \cos(\varphi_0)); \\ \Delta\psi_{\beta} &= \psi_m \cdot (\sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \sin(\varphi_0));\end{aligned}\quad (3)$$

5 где ψ_m - модуль вектора потокосцепления.

Далее, после подстановки (3) в (2):

$$\lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\psi_m \cdot (\cos(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \cos(\varphi_0))}{\psi_m \cdot (\sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \sin(\varphi_0))} = -\frac{\sin(\varphi_0)}{\cos(\varphi_0)} = -\operatorname{tg}(\varphi_0). \quad (4)$$

10

Из (4) вычисляем искомое начальное положение φ_0 ротора:

$$\varphi_0 = -\operatorname{arctg} \left. \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}} \right|_{\Delta\varphi \rightarrow 0}. \quad (5)$$

15

Предложенный способ определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами осуществляется следующим образом.

Выполняется кратковременный пробный пуск электродвигателя (рекомендации по длительности этого пуска даны ниже при обсуждении погрешностей способа). В результате пробного пуска двигатель, находившийся в некотором начальном положении φ_0 , за время τ повернется в произвольном направлении на малый угол $\Delta\varphi$ и перейдет в новое начальное положение φ_1 .

В течение пробного движения ротора в фазах А и В трехфазного электродвигателя измеряются мгновенные фазные напряжения $U_A(t)$, $U_B(t)$ и токи $i_A(t)$, $i_B(t)$, которые пересчитываются в значения напряжений $U_{\alpha}(t)$, $U_{\beta}(t)$ и токов $i_{\alpha}(t)$, $i_{\beta}(t)$ двухфазной системы координат $\alpha\beta$:

$$U_{\alpha}(t) = U_A(t), \quad U_{\beta}(t) = \frac{U_A(t) + 2U_B(t)}{\sqrt{3}};$$

30

$$i_{\alpha}(t) = i_A(t), \quad i_{\beta}(t) = \frac{i_A(t) + 2i_B(t)}{\sqrt{3}}.$$

На основании уравнений Кирхгофа для двухфазной модели электродвигателя:

$$\begin{aligned}U_{\alpha}(t) &= R i_{\alpha}(t) + L \frac{d i_{\alpha}(t)}{d t} + \frac{d \psi_{\alpha}(t)}{d t}; \\ U_{\beta}(t) &= R i_{\beta}(t) + L \frac{d i_{\beta}(t)}{d t} + \frac{d \psi_{\beta}(t)}{d t},\end{aligned}\quad (6)$$

40 в которой $U_{\alpha,\beta}(t)$, $i_{\alpha,\beta}(t)$ - напряжения и токи фаз α и β , R и L - активное сопротивление и индуктивность фазной обмотки, вычисляют приращения $\Delta\psi_{\alpha}$ и $\Delta\psi_{\beta}$ проекций потокосцеплений на оси координат α и β :

45

$$\Delta\psi_{\alpha} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\alpha}(t) - Ri_{\alpha}(t)]dt - Li_{\alpha}(\tau); \quad (7)$$

$$\Delta\psi_{\beta} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\beta}(t) - Ri_{\beta}(t)]dt - Li_{\beta}(\tau),$$

где τ - длительность пробного движения ротора.

По найденным значениям приращений $\Delta\psi_{\alpha}$ и $\Delta\psi_{\beta}$ проекций потокосцеплений

вычисляется оценка $\hat{\varphi}_0$ начального положения φ_0 ротора:

$$\hat{\varphi}_0 = -\arctg \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}} \Big|_{\Delta\varphi \neq 0}.$$

Ошибка ε_0 определения начального положения φ_0 ротора находится из выражения:

$$\varepsilon_0 = \varphi_0 - \hat{\varphi}_0 = \varphi_0 - \left(-\arctg \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}} \Big|_{\Delta\varphi \neq 0} \right), \quad (8)$$

или, после подстановки (3) в (8):

$$\varepsilon_0 = \varphi_0 - \left(-\arctg \frac{\psi_m \cdot (\cos(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \cos(\varphi_0))}{\psi_m \cdot (\sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) - \sin(\varphi_0))} \right) = -\frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (9)$$

Поскольку в результате пробного движения ротор переходит в новое начальное положение φ_1 , то фактическая ошибка ε_1 составит:

$$\varepsilon_1 = \varphi_1 - \hat{\varphi}_0 = (\varphi_0 + \Delta\varphi) - \hat{\varphi}_0 = \varphi_0 - \hat{\varphi}_0 + \Delta\varphi = \frac{\Delta\varphi}{2}. \quad (10)$$

Таким образом, ошибка предложенного способа определения начального положения ротора является систематической и ее значение вдвое меньше пробного перемещения $\Delta\varphi$ ротора. При практической реализации предложенного способа ошибка определения начального положения ротора может быть заранее задана выбором соответствующего значения малого пробного перемещения $\Delta\varphi$ ротора.

На фиг. 2 показан полученный на модели электропривода результат определения начального положения $\varphi_0=100$ электрических градусов ротора в течение пробного пуска продолжительностью 0,2 мс. Длительность τ пробного движения ротора составила около 3 мс, в течение которого ротор переместился на угол $\Delta\varphi=0,4$ электрических

градусов. Полученная оценка $\hat{\varphi}_0 = 100,2$ электрических градусов отличается от истинного положения $\varphi_1=100,4$ электрических градусов ротора на значение ошибки $\varepsilon_1 = \varphi_1 - \hat{\varphi}_0 = 100,4 - 100,2 = 0,2$ электрических градусов.

В результате, для определения начального положения φ_0 ротора синхронного электродвигателя предложенным способом не требуется введения в электропривод дополнительных устройств для формирования и анализа специальных сигналов, что позволяет упростить электропривод и повысить его надежность.

Формула изобретения

Способ бездатчикового определения начального положения ротора синхронного электродвигателя с постоянными магнитами, заключающийся в подаче на электродвигатель пробного воздействия и последующем вычислении положения ротора на основе измеренных мгновенных значений фазных токов и напряжений, отличающийся тем, что в качестве указанного воздействия используют кратковременный пуск электродвигателя, приводящий к повороту ротора в произвольном направлении; в течение времени поворота ротора измеряют указанные мгновенные значения фазных токов и напряжений, вычисляют значения напряжений и токов в двухфазной ортогональной системе координат $\alpha\beta$ по формулам:

$$U_{\alpha}(t) = U_A(t), \quad U_{\beta}(t) = \frac{U_A(t) + 2U_B(t)}{\sqrt{3}};$$

$$i_{\alpha}(t) = i_A(t), \quad i_{\beta}(t) = \frac{i_A(t) + 2i_B(t)}{\sqrt{3}},$$

вычисляют приращения проекций потокосцеплений на оси координат α и β :

$$\Delta\psi_{\alpha} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\alpha}(t) - Ri_{\alpha}(t)] dt - Li_{\alpha}(\tau);$$

$$\Delta\psi_{\beta} = \int_{t=0}^{\tau} [U_{\beta}(t) - Ri_{\beta}(t)] dt - Li_{\beta}(\tau),$$

и вычисляют значение начального положения ротора:

$$\hat{\varphi}_0 = -\arctg \frac{\Delta\psi_{\alpha}}{\Delta\psi_{\beta}},$$

где

$\alpha\beta$ - неподвижная двухфазная система ортогональных координат, причем ось α связана с осью одной из фазных обмоток электродвигателя;

$U_A(t)$, $U_B(t)$ - мгновенные фазные напряжения фаз А и В в трехфазной системе координат АВС;

$U_{\alpha}(t)$, $U_{\beta}(t)$ - напряжения в двухфазной системе координат $\alpha\beta$;

$i_A(t)$, $i_B(t)$, - мгновенные фазные токи фаз А и В в трехфазной системе координат АВС;

$i_{\alpha}(t)$, $i_{\beta}(t)$ - токи в двухфазной системе координат $\alpha\beta$;

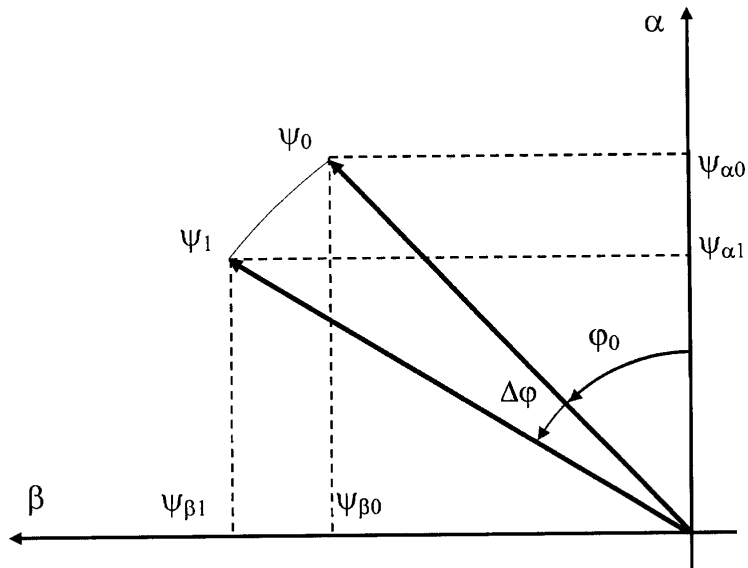
R и L - активное сопротивление и индуктивность фазной обмотки;

τ - время поворота ротора;

$\Delta\psi_{\alpha}$ и $\Delta\psi_{\beta}$ - приращения проекций потокосцеплений на оси координат α и β ;

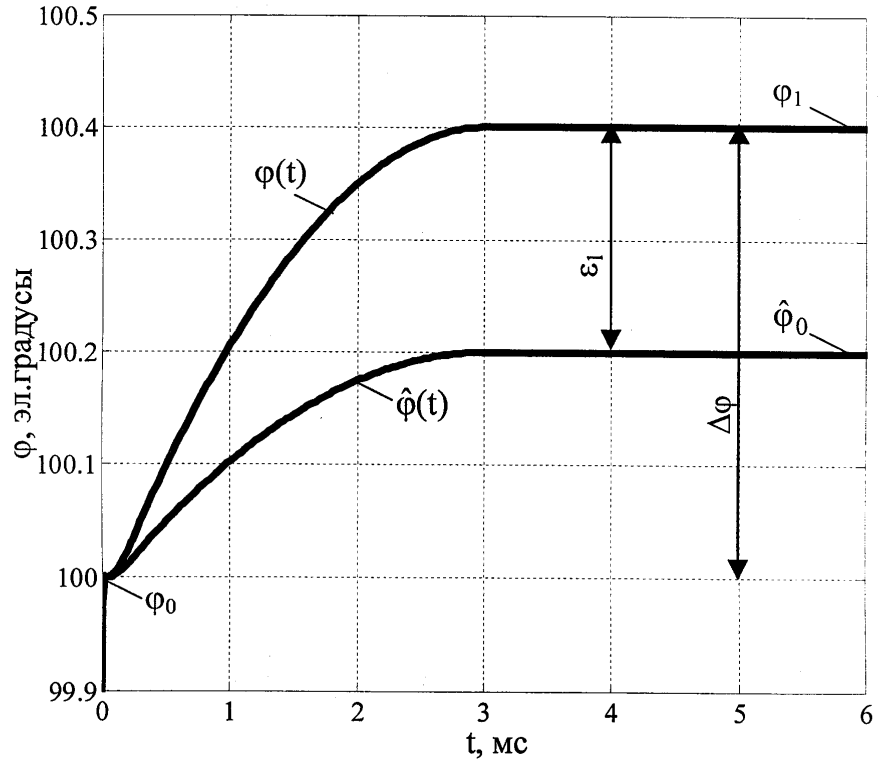
$\hat{\varphi}_0$ - вычисленное значение начального положения ротора электродвигателя.

**Способ бездатчикового определения начального положения ротора
синхронного электродвигателя с постоянными магнитами**



Фиг. 1.

Способ бездатчикового определения начального положения ротора
синхронного электродвигателя с постоянными магнитами



Фиг. 2