

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2410826

### СПОСОБ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОРЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009128017

Приоритет изобретения 20 июля 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 января 2011 г.

Срок действия патента истекает 20 июля 2029 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам*

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

**H02K33/02** (2006.01)**H02K33/04** (2006.01)**H02P27/02** (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ****(21), (22) Заявка: 2009128017/07, 20.07.2009****(24) Дата начала отсчета срока действия патента:****20.07.2009**

Приоритет(ы):

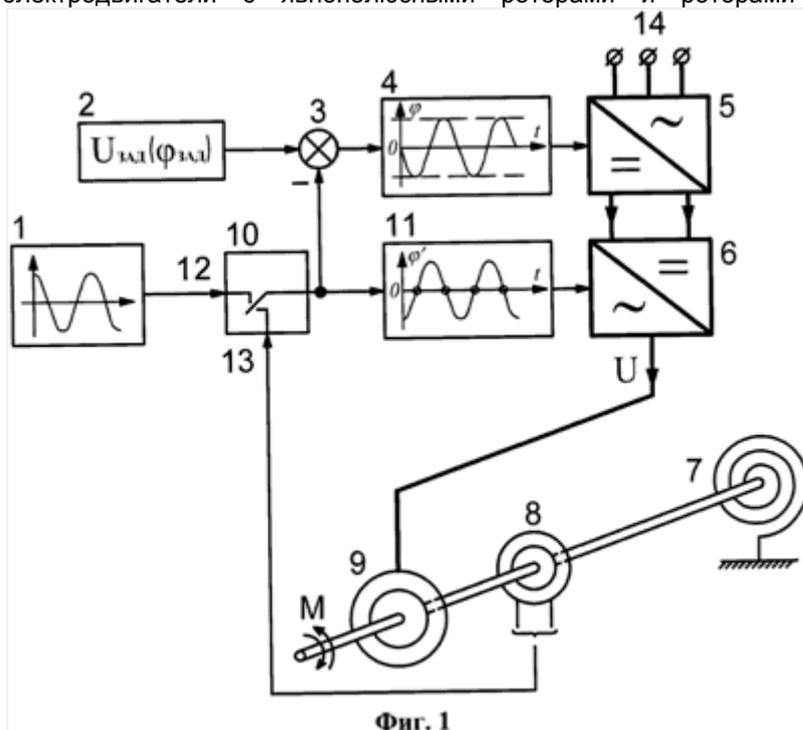
**(22) Дата подачи заявки: 20.07.2009****(45) Опубликовано: 27.01.2011****(56) Список документов, цитированных в отчете о****поиске: RU 2223852 C2, 20.02.2004. RU 2082277 C1, 20.06.1997. SU 1631689 A1, 28.02.1991. SU 1417160 A1, 15.08.1988. GB 296501 A, 06.09.1928. US 5753985 A, 19.05.1998. DE 19859622 A1, 06.07.2000. EP 1140439 A2, 10.10.2001.**

Адрес для переписки:

**199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия,  
2, СПГГИ(ТУ), патентный отдел****(72) Автор(ы):****Загривный Эдуард Анатольевич (RU),  
Гаврилов Юрий Александрович (RU)****(73) Патентообладатель(и):****Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Санкт-Петербургский  
государственный горный институт имени  
Г.В. Плеханова (технический  
университет)" (RU)****(54) СПОСОБ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОРЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ****(57) Реферат:**

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в системах управления электроприводом возвратно-вращательного движения для возбуждения резонансных колебаний рабочих органов вибромашин и поддержания резонансного режима с заданной амплитудой колебаний при изменении параметров технологической нагрузки и динамических параметров электромеханической системы вибромашин. Техническим результатом является повышение КПД. В способе возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний на каждом полупериоде колебаний измеряют скорость колебаний ротора и питают электродвигатель. В моменты времени перехода кривой скорости колебаний ротора относительно статора через нулевое значение на обмотки электродвигателя подают напряжение, формирующее электромагнитный момент, изменяющийся синфазно со скоростью колебаний ротора относительно статора. Заданное значение амплитуды колебаний ротора относительно статора регулируют изменением подводимого напряжения с помощью отрицательной обратной связи по амплитудному значению скорости колебаний на каждом полупериоде колебаний. В результате на каждом полупериоде колебаний обеспечиваются резонансные фазовые соотношения между углом колебаний, скоростью колебаний ротора относительно статора и моментом электродвигателя. В электроприводе возвратно-вращательного движения могут быть использованы

электродвигатели постоянного, переменного тока (асинхронный и синхронный двигатели), электродвигатели с явнополюсными роторами и роторами из постоянных магнитов. 8 ил.



Изобретение относится к электротехнике, а именно к способам возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний ротора относительно статора в электроприводе возвратно-вращательного (колебательного) движения с упругим элементом. Способ может быть использован в системах управления электроприводом возвратно-вращательного движения для возбуждения резонансных колебаний рабочих органов вибромашин и поддержания резонансного режима с заданной амплитудой колебаний при изменении параметров технологической нагрузки и динамических параметров электромеханической системы вибромашины.

Известен способ управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме колебательного движения (авторское свидетельство СССР № 1415400, дата подачи заявки: 09.01.87, H02P 7/62), включающий питание фаз двигателя переменными токами одинаковой амплитуды и одной частоты со сдвигом по фазе, при этом указанный сдвиг токов по фазе поддерживается постоянным и равным  $\pi/2$ , ток одной фазы модулируют по амплитуде гармоническим напряжением, а ток другой фазы - выпрямленным гармоническим напряжением.

Недостатками известного способа являются отсутствие измерения параметров колебаний ротора относительно статора электродвигателя и формирования сигналов управления приводом. При этом не обеспечивается поддержание резонансного режима работы привода при изменениях параметров нагрузки и динамических параметров электромеханической системы. Кроме того, способ имеет ограниченные возможности для практического применения по причине использования двухфазного асинхронного электродвигателя, который значительно уступает трехфазному асинхронному электродвигателю по объемам применения.

Известен способ управления синхронным двигателем в режиме колебаний (патент РФ № 2025890, дата подачи заявки: 28.11.91, H02P 7/00), включающий питание одной из обмоток статора постоянным током, а другой - переменным, при этом измеряют переменные напряжения и ток второй обмотки, по которым оценивают отклонение режима от резонанса, и устанавливают величину постоянного тока в первой обмотке такой, при которой электрические колебания во второй обмотке находятся в резонансном режиме.

Недостатками способа являются отсутствие измерения параметров колебаний ротора относительно статора электродвигателя и формирования сигналов управления приводом, что не позволяет получить необходимые резонансные фазовые соотношения в электромеханической системе при (изменении динамических параметров электромеханической системы (коэффициента жесткости упругих элементов, момента инерции подвижных частей) и параметров нагрузки. Способ имеет ограниченные возможности для практического применения из-за узкого диапазона рабочих частот (1-10 Гц) по причине

использования электрической пружины.

В качестве прототипа выбран способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем (авторское свидетельство СССР № 1631689, дата подачи заявки: 13.02.89, H02P 7/62) и упругим элементом, соединенным с его валом, состоящий в том, что измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости, при этом в каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают.

Прототип имеет ограниченные возможности для практического применения по причине использования однофазного асинхронного электродвигателя, который значительно уступает трехфазному асинхронному электродвигателю по объемам применения. Известно, что КПД колебательного электропривода достигает максимального значения при резонансном режиме его работы. Однако в прототипе возбуждение колебаний на резонансной частоте электропривода и регулирование амплитуды колебаний при изменениях параметров нагрузки и динамических параметров электромеханической системы не предусматривается. Следовательно, недостатком прототипа является низкий КПД из-за отсутствия резонансной настройки и возможности регулирования амплитуды колебаний при изменении параметров нагрузки и динамических параметров электропривода.

Технический результат изобретения заключается в повышении КПД электропривода возвратно-вращательного движения, инвариантного к изменению параметров нагрузки и динамических параметров электромеханической системы, путем возбуждения и регулирования амплитуды авторезонансных колебаний.

Технический результат изобретения достигается тем, что в способе возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения, заключающемся в том, что на каждом полупериоде колебаний измеряют скорость колебаний ротора и питают электродвигатель, согласно изобретению в моменты времени перехода кривой скорости колебаний ротора относительно статора через нулевое значение на обмотки электродвигателя подают напряжение, формирующее электромагнитный момент, изменяющийся синфазно со скоростью колебаний ротора относительно статора, а заданное значение амплитуды колебаний ротора относительно статора регулируют изменением подводимого напряжения с помощью отрицательной обратной связи по амплитудному значению скорости колебаний на каждом полупериоде колебаний.

Предлагаемый способ поясняется чертежами, представленными на фиг.1-8, где на фиг.1 показана функциональная схема авторезонансного электропривода возвратно-вращательного движения, на основе которой реализуется предлагаемый способ, на фиг.2 - графики установившихся вынужденных колебаний на резонансной частоте, иллюстрирующие резонансные фазовые соотношения, на фиг.3-7 представлены результаты имитационного моделирования, а именно, на фиг.3 - осциллограммы авторезонансных колебаний при изменении электромагнитного момента по синусоидальному закону, на фиг.4 - осциллограммы авторезонансных колебаний при изменении электромагнитного момента по закону прямоугольного синуса, на фиг.5 - осциллограммы авторезонансных колебаний при изменении электромагнитного момента по закону прямоугольного синуса и изменении жесткости упругого элемента в 2 раза при превышении угла колебаний ротора относительно статора в 30 геометрических градусов, на фиг.6 - характеристика нелинейного упругого элемента с изменением коэффициента жесткости упругого элемента по закону  $C=C_0 \cdot (1+0.9 \cdot t^2)$ , на фиг.7 - осциллограммы авторезонансных колебаний при изменении электромагнитного момента по закону прямоугольного синуса и изменении коэффициента жесткости упругого элемента  $C$  по закону  $C=C_0 \cdot (1+0.9 \cdot t^2)$ , на фиг.8 - осциллограммы авторезонансных колебаний на частоте 15,7 Гц, полученные при физическом моделировании. На фиг.1: 1 - генератор сигналов; 2 - блок задания амплитуды; 3 - сумматор; 4 - регулятор амплитуды; 5 - выпрямитель; 6 - инвертор; 7 - упругий элемент; 8 - датчик скорости колебаний; 9 - электродвигатель; 10 - переключатель; 11 - блок управления; 12 - ручное управление; 13 - автоматическое управление или авторезонансный режим; 14 - сеть. На фиг.2-5 и 7:  $M$  - момент электродвигателя;  $\varphi$  - угол колебаний;  $\varphi'$  - скорость колебаний ротора относительно статора. На фиг.5 и 7 параметр  $\Omega^2 \varphi = \varphi \cdot C/J$  пропорционален  $M_{упр}$ , где  $C$  - коэффициент жесткости упругого элемента,  $J$  - момент инерции подвижных элементов,  $M_{упр}$  - упругий момент. На фиг.8:  $\varphi'$  - скорость колебаний ротора относительно статора,  $I_1$  и  $I_2$  - токи в обмотках электродвигателя, формирующие электромагнитный момент.

Способ возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения реализуется следующим образом.

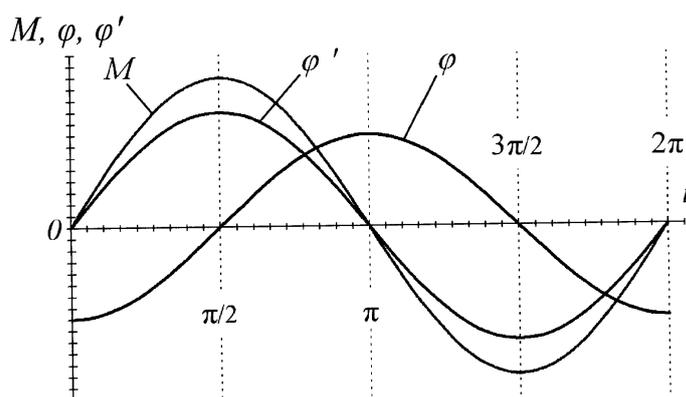
Запуск авторезонансного электропривода возвратно-вращательного движения производят традиционным способом (см. фиг.1), для чего переключатель 10 переводят в положение 12. Изменением частоты сигнала на выходе генератора сигналов 1 возбуждают колебания ротора относительно статора в

околорезонансной зоне. При достижении околорезонансного режима переключатель 10 переводят в положение 13. В режиме автоматического управления сигналы напряжения с выхода датчика скорости колебаний 8, установленного на электродвигатель 9, поступают через переключатель 10 на вход блока управления 11. Блок управления 11 на каждом полупериоде колебаний определяет моменты времени перехода кривой скорости колебаний ротора относительно статора через нулевое значение. В указанные моменты времени блок управления 11 формирует управляющие сигналы, поступающие на вход инвертора 6. На второй вход инвертора 6 подается напряжение от выпрямителя 5, подключенного к сети 14. В моменты времени, когда скорость колебаний равна нулю, на обмотки электродвигателя 9 подают напряжение, формирующее электромагнитный момент, изменяющийся синфазно со скоростью колебаний ротора относительно статора на каждом полупериоде колебаний. Использование упругого элемента 7, соединенного с валом электродвигателя 9, позволяет получить колебания ротора относительно статора в широком диапазоне частот (1-50 Гц). Амплитуду авторезонансных колебаний регулируют путем сравнения в сумматоре 3 заданного напряжения блока задания амплитуды 2 с сигналом отрицательной обратной связи, поступающим с выхода переключателя 10. Сигнал ошибки с выхода сумматора 3 поступает на вход регулятора амплитуды 4. Регулятор амплитуды 4 формирует сигналы управления, соответствующие заданной амплитуде, выпрямителем 5. Увеличение или уменьшение напряжения на выходе выпрямителя 5 соответствует увеличению или уменьшению амплитуды авторезонансных колебаний. Предлагаемый способ позволяет на каждом полупериоде колебаний обеспечить резонансные фазовые соотношения (см. фиг.2) между углом колебаний  $\varphi$ , скоростью колебаний ротора относительно статора  $\varphi'$  и моментом электродвигателя  $M$ . Результаты имитационного моделирования авторезонансного электропривода возвратно-вращательного движения показали, что момент электродвигателя  $M$ , изменяющийся синфазно со скоростью колебаний ротора относительно статора  $\varphi'$  по синусоидальному закону (см. фиг.3), по закону прямоугольного синуса (см. фиг.4-5 и 7) не влияет на устойчивость авторезонансного режима. Имитационное моделирование режимов работы авторезонансного электропривода (фиг.5 и 7) при изменении динамических параметров электромеханической системы, например, коэффициента жесткости упругого элемента (см. фиг.6), показало, что авторезонансный режим работы электропривода возвратно-вращательного движения инвариантен к изменению динамических параметров электромеханической системы и параметров нагрузки. Результаты физического моделирования (фиг.8) подтверждают возможность возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения.

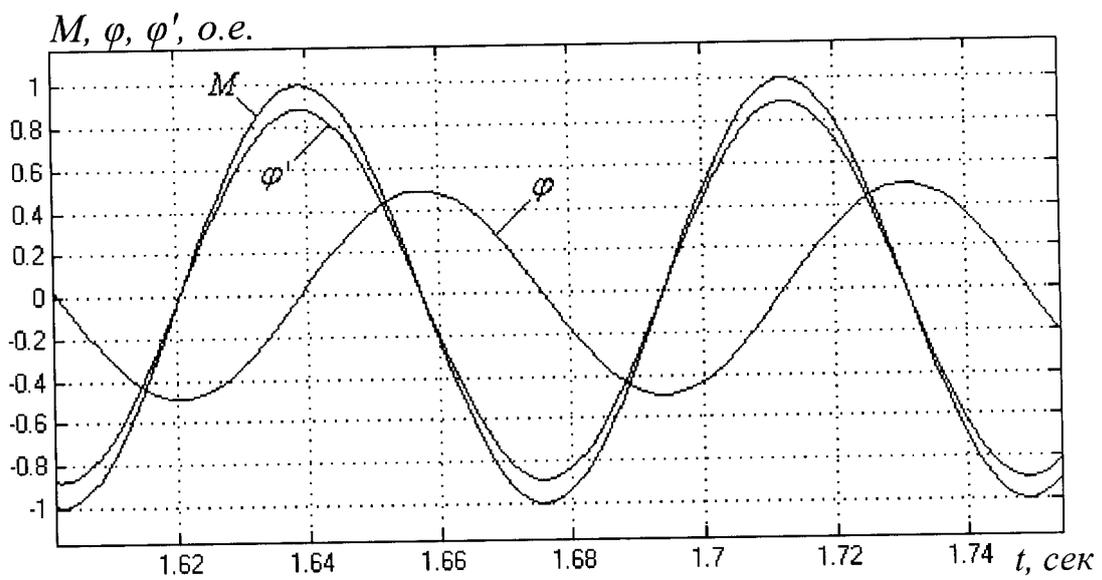
Предлагаемый способ возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения может быть реализован с использованием электродвигателей постоянного тока, переменного тока (асинхронного и синхронного двигателей), электродвигателей с явнополюсными роторами и роторами из постоянных магнитов.

#### Формула изобретения

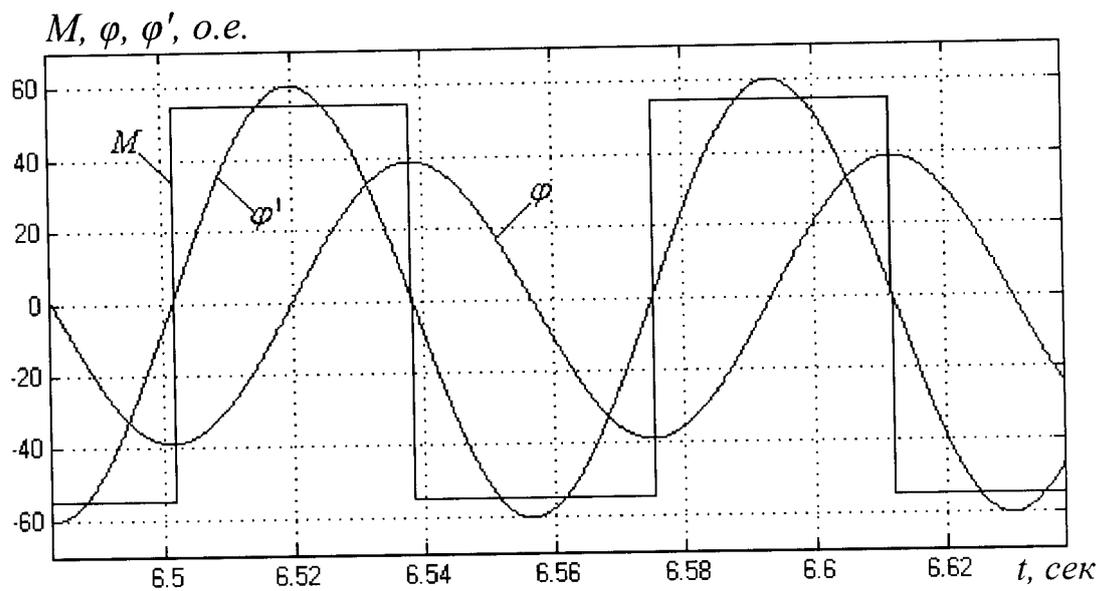
Способ возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения, заключающийся в том, что на каждом полупериоде колебаний измеряют скорость колебаний ротора и питают электродвигатель, отличающийся тем, что в моменты времени перехода кривой скорости колебаний ротора относительно статора через нулевое значение на обмотки электродвигателя подают напряжение, формирующее электромагнитный момент, изменяющийся синфазно со скоростью колебаний ротора относительно статора, а заданное значение амплитуды колебаний ротора относительно статора регулируют изменением подводимого напряжения с помощью отрицательной обратной связи по амплитудному значению скорости колебаний на каждом полупериоде колебаний.



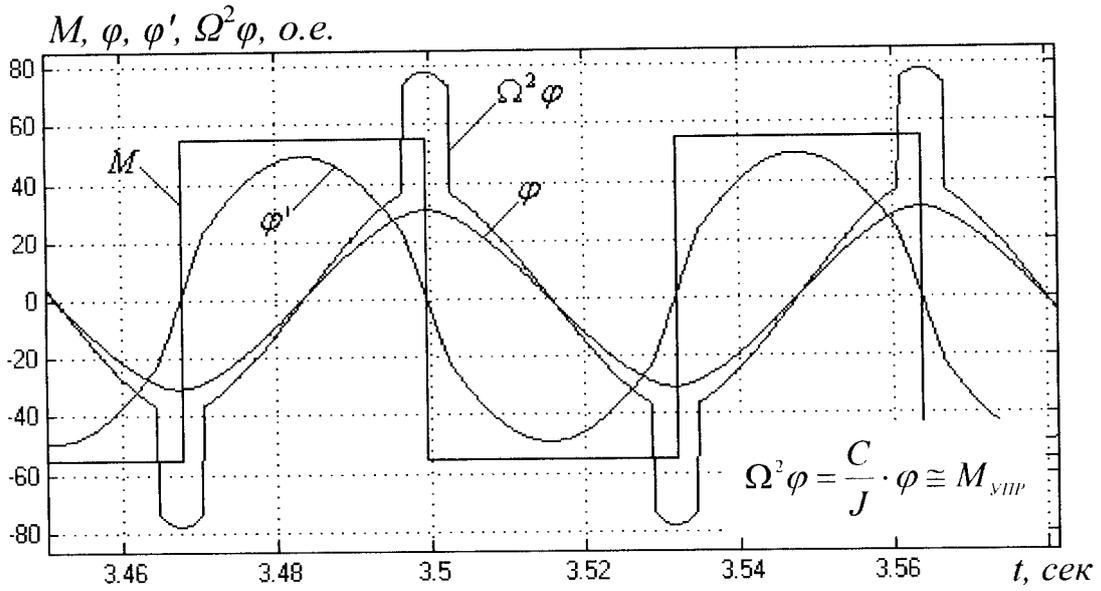
Фиг. 2



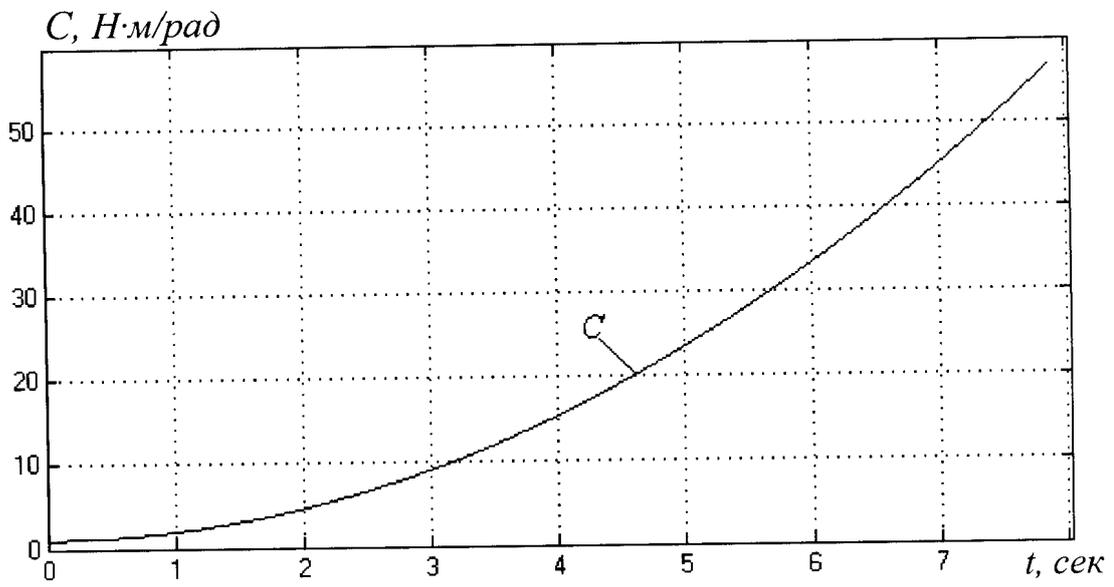
**Фиг. 3**



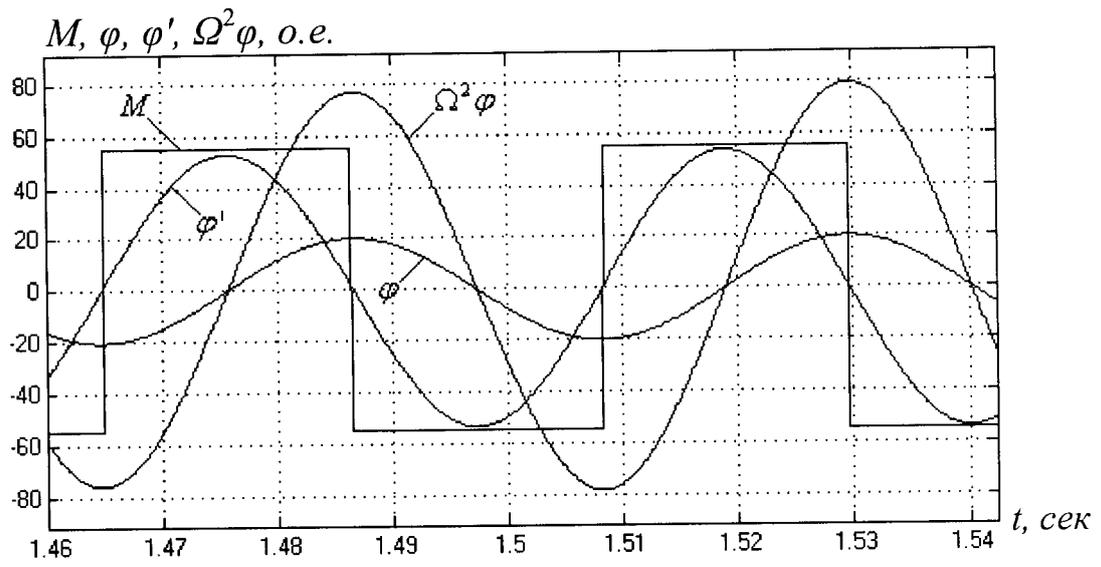
**Фиг. 4**



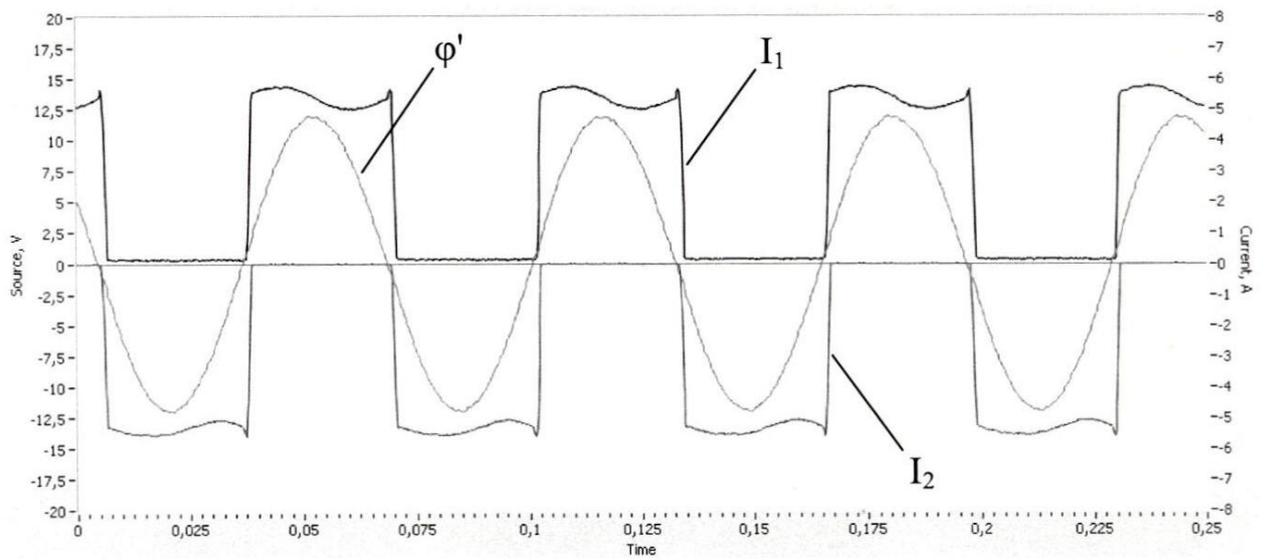
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8