РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2868887

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПРОВАЛАХ И ПРЕРЫВАНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

Патентообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)***

Авторы: ***Шклярский Ярослав Элиевич (RU), Скворцова Юлия Евгеньевна (RU), Королёв Николай Александрович (RU)***

Заявка № **2026111283**
Приоритет изобретения **14 апреля 2026 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **27 августа 2026 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **14 апреля 2046 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 868 887**(13) **C1**

(51) МПК
H02J 7/34 (2006.01)
H02J 9/06 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
***H02J 7/34** (2026.05); **H02J 9/06** (2026.05)*

(21)(22) Заявка: **2026111283, 14.04.2026**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.04.2026

Дата регистрации:
27.08.2026

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **14.04.2026**

(45) Опубликовано: **27.08.2026** Бюл. № **24**

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, Санкт-Петербургский Горный Университет, Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Шклярский Ярослав Элиевич (RU),
Скворцова Юлия Евгеньевна (RU),
Королёв Николай Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 163553 U1, 27.07.2016. RU 2853200 C2, 22.12.2025. GB 1439643 A, 16.06.1976. CN 111740459 A, 02.10.2020. CN 102751751 B, 19.11.2014.**

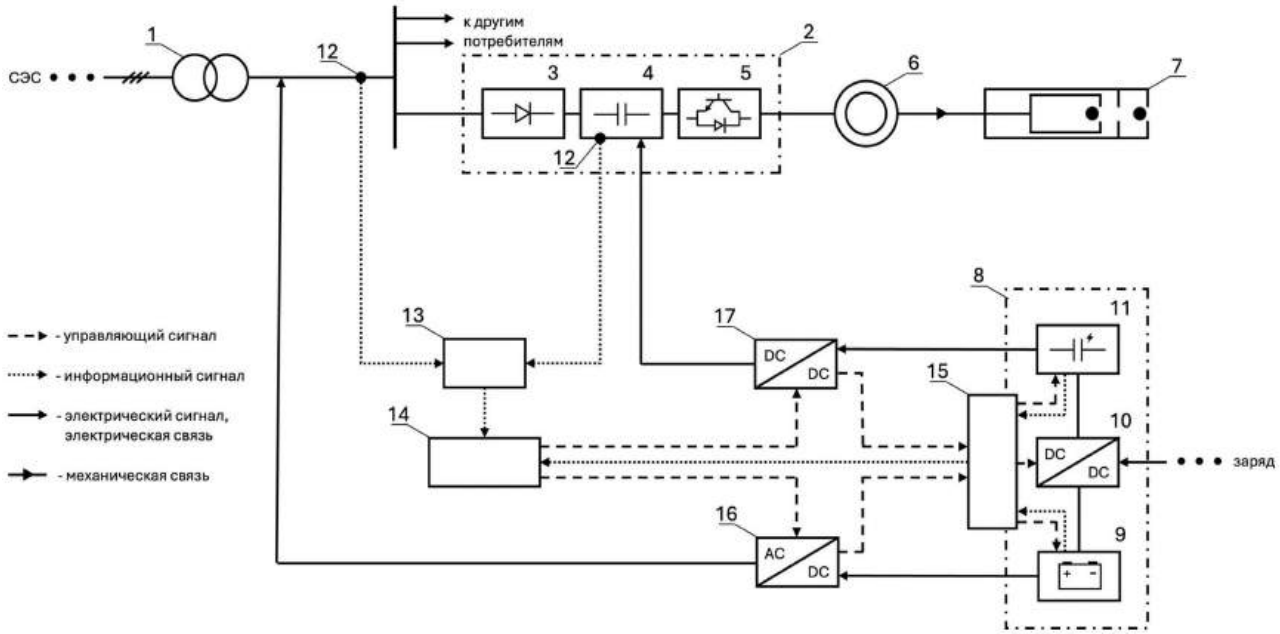
(54) СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УСКОРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПРОВАЛАХ И ПРЕРЫВАНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники. Технический результат заключается в повышении эффективности работы частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения и достигается тем, что в систему электроснабжения устанавливают гибридный накопитель 8, содержащий накопители первого 9 и второго 11 типов, соединенные по силовым каналам через DC/DC-преобразователь 10. Накопитель 9 низкой энергоемкости подключают в звено постоянного тока 4 преобразователя частоты электропривода посредством DC/DC-преобразователя 17, накопитель 11 высокой энергоемкости подключают в точку присоединения группы потребителей посредством DC/AC-преобразователя 16. По данным от датчиков 12 блок анализа 13 вычисляет отклонение, скорость и ускорение изменения напряжения сети. По сигналам от блока 13 блок управления разрядом 14 непрерывно сравнивает уровень заряда с минимально допустимым, формирует задание скорости изменения разрядного напряжения для активации накопителя 8 и подает на входы преобразователей 16, 17, что предотвращает останов электродвигателя 6, с дальнейшей возможностью полного прекращения разряда при достижении критического уровня заряда накопителя 8. 17 ил.

RU 2868887 C1

RU 2868887 C1



Фиг. 1

RU 2868887 C1

RU 2868887 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 868 887**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
H02J 7/34 (2006.01)
H02J 9/06 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
H02J 7/34 (2026.05); H02J 9/06 (2026.05)

(21)(22) Application: **2026111283, 14.04.2026**

(24) Effective date for property rights:
14.04.2026

Registration date:
27.08.2026

Priority:
(22) Date of filing: **14.04.2026**

(45) Date of publication: **27.08.2026** Bull. № **24**

Mail address:
199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, Sankt-Peterburgskij Gornyj Universitet, Patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):
Shkliarskii Iaroslav Elievich (RU),
Skvortsova Iuliia Evgenevna (RU),
Korolev Nikolai Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):
federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)

(54) METHOD OF RESTORING ACCELERATION OF VARIABLE-FREQUENCY DRIVE DURING VOLTAGE DIPS AND INTERRUPTIONS

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

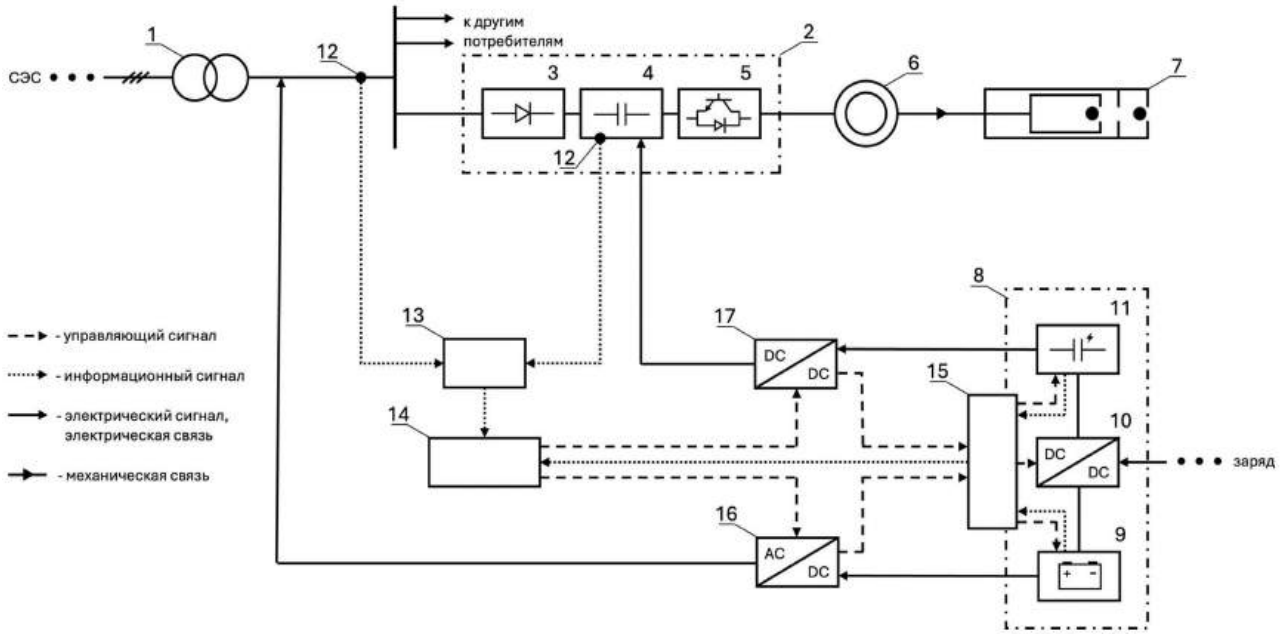
SUBSTANCE: low-energy storage device 9 is connected to the DC link 4 of the electric drive frequency converter via the DC/DC converter 17, the high-energy storage device 11 is connected to the connection point of the consumer group via the DC/AC converter 16. Based on the data from sensors 12, the analysis unit 13 calculates the deviation, speed and acceleration of change in mains voltage. Based on signals from the unit 13, the discharge control unit 14 continuously compares the charge level with the minimum permissible level, generates a setting for the rate of change of the discharge voltage to activate the storage device 8 and feeds it to the inputs of the converters 16, 17, which prevents the electric motor 6 from stopping, allowing for completely stopping the discharge when the critical charge level of storage device 8 is reached.

EFFECT: increasing the operating efficiency of a frequency-controlled electric drive during voltage dips and interruptions and is achieved by installing a hybrid storage device 8 in the power supply system, comprising storage devices of the first 9 and second 11 types, connected via power channels through a DC/DC converter 10.

1 cl, 17 dwg

RU 2868887 C1

RU 2868887 C1



Фиг. 1

RU 2868887 C1

RU 2868887 C1

Изобретение относится к области электротехники, в частности средств обеспечения непрерывной работы электротехнических комплексов при наступлении провалов и прерываний напряжения в распределительных сетях, в случае аварии позволяет не допустить останов электротехнического комплекса, и как следствие, технологического процесса, в кратчайшие сроки восстановить номинальный режим работы электропривода.

Известен способ и устройство адаптивного автоматического регулирования напряжения в электрической сети с применением конденсаторных устройств (патент РФ № 2790145, опубл. 14.02.2023). Способ заключается в том, что на основании сравнения вычисленного сигнала соотношения отклонения фазного напряжения, измеренного на входе каждого потребителя, подключенного к электрической сети, и величины отклонения фазного напряжения в точке подключения конденсаторной установки, с заданным значением соотношения этих величин, формируют сигнал корректировки для регулирования фазного напряжения в электрической сети посредством выдачи электрической энергии из блока суперконденсаторного накопителя.

Недостатком данного способа является ограниченный функционал, несмотря на возможность определения провала, прерывания напряжения в электрической сети, а также высокое быстродействие суперконденсаторов, работа накопителя в качестве источника электрической энергии при наступлении аварийных ситуаций не предусмотрена и не допустима с точки зрения топологии подключения накопителя в сеть.

Известна система автономного электроснабжения с комбинированным накопителем энергии (патент РФ № 2726735, опубл. 15.07.2020). Работа системы заключается в том, что в качестве источника электрической энергии для потребителя применяется гибридный электротехнический комплекс, в состав которого входят ветроэнергетические установки, дизель-генераторная установка, электрохимический накопитель энергии и суперконденсаторная установка, ветрогенераторы являются основными источниками электроэнергии, накопители и дизельная установка - резервными, при этом управление накопителями осуществляется таким образом, что аккумуляторы вводятся в работу при снижении уровня выработки электроэнергии за счет возобновляемых источников и, соответственно, уровня напряжения в сети, а суперконденсаторы используются для демпфирования коммутационных процессов в системе, дизельная установка вводится в работу в случае, если мощности аккумулятора недостаточно для поддержания работы потребителя.

Недостатком данной системы является то, что за счет нее не обеспечивается бесперебойность электроснабжения потребителей. В моменты снижения выработки электрической энергии за счет ветрогенераторов переход системы на питание потребителей от электрохимического накопителя происходит не мгновенно, к тому же не учитывается ситуация, когда накопитель находится в разряженном состоянии, но при этом возникает необходимость поддержания работы системы на время запуска дизельного генератора.

Известен способ и устройство адаптивного автоматического регулирования напряжения в электрической сети с применением накопителя электроэнергии (патент РФ № 2767517, опубл. 17.03.2022). Способ заключается в том, что в системе электроснабжения в точках подключения всех потребителей производится вычисление сигналов отклонения фазного напряжения от номинального значения, далее вычисляется отношение этих сигналов к сигналу отклонения фазного напряжения в точке подключения накопителя, после чего осуществляется сравнение полученного

соотношения с заданным допустимым значением этого соотношения, и на основании полученного сигнала разницы формируется корректирующее воздействие для выдачи электрической энергии из накопителя энергии.

Недостатком данного способа является то, что для его осуществления требуется установка измерительных датчиков в каждой точке подключения потребителей вдоль линии электрической сети, а также его ограниченный функционал. Несмотря на возможность идентификации провала, прерывания напряжения в электрической сети, в случае наступления нештатной ситуации, накопитель выводится из работы, топология его подключения не позволяет участвовать в компенсации провалов, прерываний напряжения.

Известен способ повышения энергетической эффективности автономной системы электроснабжения буровой установки при провалах напряжения (Червонченко С.С., Фролов В.Я. Повышение энергоэффективности автономной системы электроснабжения буровой установки при провалах напряжения // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С.470-478. EDNMGAPVA). Способ заключается в том, что в систему электроснабжения буровой установки дополнительно подключается свинцово-кислотный накопитель электроэнергии, при этом при возникновении провала, прерывания напряжения в системе фиксируется наступление аварийной ситуации, соответствующий сигнал с датчика напряжения поступает на вход системы автоматического управления, далее системой автоматического управления одновременно формируются сигналы на запуск дизельного генератора и разряд накопителя электрической энергии, на время запуска дизельного генератора подпитка электроприводов буровой установки осуществляется за счет аккумулятора, при выходе дизельного генератора на номинальный режим работы питание нагрузки полностью отключается от накопителя и переключается на генератор.

Недостатком данного способа является то, что не учитывается низкое быстродействие выбранного типа накопителя электрической энергии. В условиях наступления аварийной ситуации в системе, когда буровая установка переходит в состояние прихвата, а в сети электроснабжения возникает провал, прерывание напряжения, важнейшим требованием к системе аварийного энергоснабжения становится высокая скорость ввода источников бесперебойного энергоснабжения в работу, поскольку промедления могут повлечь опрокидывание электропривода и полный останов технологического процесса.

Известен способ обеспечения устойчивой работы частотно-регулируемого привода шахтной подъемной установки при провалах напряжения (Иванова Т.С., Шонин О.Б. Обеспечение устойчивой работы частотно регулируемого привода шахтной подъемной установки при провалах напряжения // Известия ТулГУ Технические науки. 2017. Т. 6. С.53-67. EDN ZFIANN), принятый за прототип. Способ заключается в том, что в звено постоянного тока преобразователя частоты системы электропривода шахтной подъемной установки дополнительно подключается суперконденсаторный накопитель электрической энергии с системой управления, осуществляющей ввод накопителя в работу по сигналу сравнения текущих значений тока и напряжения с граничными значениями опорного модуля тока, протекающего в системе, вычисляемого системой управления активным выпрямителем в координатах d-q, и граничным значением модуля вектора напряжения, приложенного в системе, вычисляемого системой управления активного выпрямителя. В случае фиксации системой управления превышения текущего значения тока опорного значения, система управления накопителем направляет сигнал на блок анализатора сети, который посылает управляющий сигнал на ключ, подключающий блок суперконденсаторного накопителя в систему электроснабжения.

В случае фиксации более низкого, более высокого значения модуля вектора напряжения в сравнении с опорным значением, системой управления накопителя посылается сигнал на блок анализатора сети, который осуществляет подключение суперконденсатора в систему электроснабжения электропривода, подавая управляющий сигнал на ключ.

Недостатком данного способа является то, что не учитывается уровень заряда источника бесперебойного электроснабжения на основе суперконденсатора на момент фиксации превышения величины тока заданного опорного значения и на момент фиксации отклонения величины модуля вектора напряжения от опорного значения. В случае недостаточного уровня заряда накопителя невозможным становится предотвращение аварийной ситуации из-за возникших провалов, прерываний напряжения.

Техническим результатом является повышение эффективности работы частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения.

Технический результат достигается тем, что в структуру системы электроснабжения частотно-регулируемого электропривода устанавливают гибридный накопитель электрической энергии, содержащий, помимо быстродействующего накопителя низкой энергоемкости, накопитель электрической энергии высокой энергоемкости, который подключают через DC/AC-преобразователь в точку общего присоединения группы потребителей, при этом накопители электрической энергии первого типа и второго типа по силовым каналам подключают к общему DC/DC-преобразователю для обеспечения электрической связи между ними, в процессе работы электротехнического комплекса блок анализа сигнала напряжения непрерывно производит вычисление отклонения действующего значения напряжения в сети от номинального значения, скорости и ускорения изменения действующего значения напряжения, по информационным каналам с выходов блока анализа сигнала напряжения и системы управления накопителем электрической энергии информационные сигналы поступают на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, который сравнивает величину текущего уровня заряда с минимально допустимым уровнем заряда гибридного накопителя электрической энергии, после получения сигнала о наступлении провала, прерывания напряжения от блока анализа сигнала напряжения и, когда текущий уровень заряда превышает минимально допустимый, блок управления разрядом накопителя электрической энергии производит формирование задания по скорости изменения величины напряжения на выходе накопителя электрической энергии, после этого с выхода блока управления разрядом накопителя электрической энергии, сигнал задания по величине скорости изменения разрядного напряжения поступает на вход системы управления DC/AC-преобразователя и DC/DC-преобразователя, при этом в процессе разряда блок анализа сигнала напряжения непрерывно производит вычисление скорости изменения величины напряжения в сети, а с выхода системы управления накопителем электрической энергии по информационным каналам непрерывно поступает сигнал об уровне заряда гибридного накопителя электрической энергии на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, при достижении критически малого уровня заряда, опасного для функционирования накопителя, с выхода блока управления разрядом накопителя электрической энергии на входы DC/AC-преобразователя и DC/DC-преобразователя по управляющим каналам поступает сигнал об останове процесса разряда, в дальнейшей работе процесс повторяется, блок анализа сигнала напряжения самостоятельно определяет наступление аварийного режима в электрической сети и передает информационный сигнал на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, который формирует

управляющие сигналы для контроля процесса разряда, а так же осуществляет запуск и завершение работы накопителя в автоматическом режиме.

Способ восстановления ускорения частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения поясняется следующими чертежами:

фиг. 1 - структурная схема системы восстановления ускорения частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения;

фиг. 2 - графики зависимости трехфазного напряжения сети от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % без накопителя;

фиг. 3 - графики зависимости, напряжения в звене постоянного тока от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % без накопителя;

фиг. 4 - графики частоты вращения двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % без накопителя;

фиг. 5 - графики зависимости электромагнитного момента двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % без накопителя;

фиг. 6 - графики зависимости трехфазного напряжения сети от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % с накопителем;

фиг. 7 - графики зависимости напряжения в звене постоянного тока от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % с накопителем;

фиг. 8 - графики зависимости частоты вращения двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % с накопителем;

фиг. 9 - графики зависимости электромагнитного момента двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 % с накопителем;

фиг. 10 - графики зависимости трехфазного напряжения сети от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, без накопителя;

фиг. 11 - графики зависимости напряжения в звене постоянного тока от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, без накопителя;

фиг. 12 - графики зависимости частоты вращения двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, без накопителя;

фиг. 13 - графики зависимости электромагнитного момента двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, без накопителя;

фиг. 14 - графики зависимости трехфазного напряжения сети от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, с накопителем;

фиг. 15 - графики зависимости напряжения в звене постоянного тока от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, с накопителем;

фиг. 16 - графики зависимости частоты вращения двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, с накопителем;

фиг. 17 - графики зависимости электромагнитного момента двигателя от времени при провале напряжения в сети глубиной 50 %, возникшего из-за нарушения работы нагрузки, с накопителем, где:

1 - понижающий трансформатор напряжения;

2 - преобразователь частоты;

3 - неуправляемый выпрямитель в составе преобразователя частоты;

4 - звено постоянного тока в составе преобразователя частоты;

5 - автономный инвертор напряжения в составе преобразователя частоты;

6 - асинхронный электродвигатель;

7 - исполнительный механизм, приводимый во вращение асинхронным электродвигателем;

8 - гибридный накопитель электрической энергии;

9 - накопитель электрической энергии первого типа;

10 - DC/DC-преобразователь в составе гибридного накопителя;

11 - накопитель электрической энергии второго типа;

12 - датчики напряжения;

13 - блок анализа сигнала напряжения;

14 - блок управления разрядом накопителя электрической энергии;

15 - система управления накопителем электрической энергии;

16 - DC/AC-преобразователь;

17 - DC/DC-преобразователь.

Способ осуществляется следующим образом. В структуру системы электроснабжения удаленной группы частотно-регулируемых потребителей сопоставимой мощности устанавливают гибридный накопитель электрической энергии 8. Накопитель электрической энергии второго типа 11, высокой энергоемкости, подключают к DC/AC преобразователю 16, который затем подключают в точку общего присоединения группы потребителей. Накопитель электрической энергии первого типа 9, низкой энергоемкости, но высокого быстродействия, подключают к DC/DC-преобразователю 17, который затем подключают в шину звена постоянного тока преобразователя частоты 2. Накопитель электрической энергии второго типа 11 и накопитель электрической энергии первого типа 9 по силовым каналам подключают к DC/DC-преобразователю в составе гибридного накопителя 10.

В процессе функционирования электротехнического комплекса датчики напряжения 12, встроенные в преобразователь частоты 2 и установленные в точку общего подключения потребителей, непрерывно измеряют величину питающего потребителей напряжения. С выходов датчиков напряжения 12, сигналы напряжения по информационным каналам поступают на вход блока анализа сигнала напряжения 13.

Блок анализа сигнала напряжения 13 непрерывно производит вычисление отклонения действующего значения напряжения в сети от номинального значения, скорости и ускорения изменения действующего значения напряжения. Когда отклонение действующего значения напряжения превышает 5% от номинального значения, блок анализа сигнала напряжения 13 формирует информационный сигнал о наступлении аварийной ситуации в системе и о величине скорости и ускорения изменения действующего значения напряжения. По информационным каналам с выхода блока анализа сигнала напряжения 13 сигнал поступает на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14.

На вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14 по информационным каналам поступает сигнал об уровне заряда накопителя электрической энергии с выхода системы управления накопителем электрической энергии 15. Блок управления разрядом накопителя электрической энергии 14 сравнивает его величину с минимально допустимым уровнем заряда гибридного накопителя электрической энергии 8. После получения сигнала о наступлении провала, прерывания напряжения и, когда текущий уровень заряда превышает минимально допустимый, блок управления

разрядом накопителя электрической энергии 14 производит формирование задания по скорости изменения величины напряжения на выходе накопителя электрической энергии по формуле (1):

$$v_{\Delta U}(t) = v_{\Delta U}(t-\Delta t) + a_{\Delta U}(t-\Delta t) \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где $v_{\Delta U}(t)$ - скорость изменения действующего значения напряжения, В/с;

$a_{\Delta U}(t)$ - ускорение изменения действующего значения напряжения, $В/с^2$;

t - время, с.

Сигнал задания по величине скорости изменения разрядного напряжения с выхода блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14 поступает на вход системы управления DC/AC-преобразователя 16 и DC/DC-преобразователя 17. С выхода системы управления DC/AC-преобразователя 16 и DC/DC-преобразователя 17 на вход системы управления накопителем электрической энергии 15 поступает управляющий сигнал о запуске процесса разряда накопителя электрической энергии. Начинается процесс разряда гибридного накопителя электрической энергии 8.

В процессе разряда блок анализа сигнала напряжения 13 непрерывно производит вычисление скорости изменения величины напряжения. Датчики напряжения 12 непрерывно производят контроль уровня действующего значения напряжения в точке общего подключения потребителей. Обновление статуса ситуации в системе электроснабжения осуществляют на основе фактического значения действующего значения напряжения. Сигнал статуса системы электроснабжения с выхода блока анализа напряжения 13 непрерывно поступает по информационным каналам на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14. При фиксации блоком анализа напряжения 13 восстановления действующего значения напряжения в точке общего подключения потребителей до номинального уровня с его выхода на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14 по информационным каналам поступает сигнал о наступлении «штатного режима». Блок управления разрядом накопителя электрической энергии 14 формирует на выходе управляющий сигнал для завершения процесса разряда гибридного накопителя электрической энергии 8, который по управляющим каналам поступает на вход системы управления DC/AC-преобразователя 16 и DC/DC-преобразователя 17. С выхода системы управления DC/AC-преобразователя 16 и DC/DC-преобразователя 17 на вход системы управления накопителем электрической энергии 15 поступает управляющий сигнал о завершении процесса разряда.

Система управления накопителем электрической энергии 15 непрерывно производит мониторинг уровня заряда гибридного накопителя электрической энергии 8. С выхода системы управления накопителем электрической энергии 15 на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14 по информационным каналам непрерывно поступает сигнал об уровне заряда гибридного накопителя электрической энергии 8. Блок управления разрядом накопителя электрической энергии 14 непрерывно производит сравнение текущего уровня заряда накопителя с заданным минимально допустимым уровнем заряда. По достижении критически малого уровня заряда, опасного для функционирования накопителя, блок управления разрядом накопителя электрической энергии 14 на вход DC/AC-преобразователя 16 и DC/DC-преобразователя 17 по управляющим каналам направляет сигнал об останове процесса разряда.

Блок анализа сигнала напряжения 13 самостоятельно определяет наступление аварийного режима в электрической сети и передает информационный сигнал на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии 14. Блок управления

разрядом накопителя электрической энергии 14 формирует управляющие сигналы для контроля процесса разряда гибридного накопителя электрической энергии 8, осуществляет запуск и завершение работы гибридного накопителя электрической энергии 8 в автоматическом режиме. Система обеспечивает непрерывную работу частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения в электрической сети.

Способ поясняется следующим примером.

В структуру электротехнического комплекса, содержащего частотно-регулируемый привод с асинхронным двигателем 6 мощностью 0,37 кВт и скалярной системой управления, реализующей закон управления $U/f=const$, осуществляется подключение гибридного накопителя электрической энергии 8 в две точки системы: за понижающим трансформатором напряжения 1 10/0,4 кВ на стороне низкого напряжения и в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4. Производится имитационное моделирование нормального режима работы электротехнического комплекса и нештатной ситуации - провала напряжения в сети электроснабжения. Состояние электротехнического комплекса оценивается с помощью графических зависимостей следующих величин от времени: напряжения в сети электроснабжения электротехнического комплекса, напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4, частоты вращения асинхронного электродвигателя 6, развиваемого асинхронным электродвигателем 6 электромагнитного момента.

Нормальный режим работы характеризуется следующими зависимостями: напряжение в сети электроснабжения имеет синусоидальную форму, система симметричная, прямая последовательность, нагрузка равномерная, амплитуда напряжения соответствует номинальному значению - 310 В. Напряжение в звене постоянного тока в установившемся режиме соответствует номинальному значению и равно 537 В, во время запуска асинхронного электродвигателя 6 наблюдается кратковременный скачок напряжения. Разгон асинхронного электродвигателя 6 в соответствии с заданием осуществляется за 1 с, частота вращения достигает номинального значения при работе с номинальной нагрузкой. Развиваемый электромагнитный момент асинхронного электродвигателя 6 достигает номинального значения за 1 с.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны системы электроснабжения глубиной 10% характеризуется числовыми зависимостями, представленными в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8, в момент наступления провала снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 279 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 461 В. Асинхронный электродвигатель 6 продолжает работу без останова: частота вращения снижается на 0,6 рад/с, величина развиваемого электромагнитного момента практически не изменяется, изменяется общий характер колебаний электромагнитного момента. При включении гибридного накопителя электрической энергии 8 в работу в момент идентификации провала напряжения в сети сначала активируется накопитель электрической энергии первого типа 9. Амплитуда питающего напряжения сети в первый момент провала снижается и остается на пониженном уровне 279 В до тех пор, пока в работу не будет введен накопитель электрической энергии второго типа 11. При введении в работу накопителя электрической энергии второго типа 11 амплитуда питающего напряжения сети возрастает до номинального значения 310 В. Напряжение в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 в первый момент провала незначительно снижается, но тут же подхватывается за счет накопителя электрической

энергии первого типа 9, который, разрядившись, отключается. Далее напряжение в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 поддерживается на номинальном уровне 537 В за счет восстановления напряжения в питающей сети. Асинхронный электродвигатель 6 продолжает работу без останова: частота вращения практически не изменяется, величина развиваемого момента - тоже, при этом незначительно изменяется характер колебаний момента.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны системы электроснабжения глубиной 50% характеризуется графическими и числовыми зависимостями, представленными на фиг. 10-17 и в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8 в момент времени 3 с снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 155 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 250 В. Первые 0,04 с асинхронный электродвигатель 6 продолжает работу, затем частота вращения и электромагнитный момент снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно, происходит останов. При введении в работу гибридного накопителя электрической энергии 8 останов не происходит. В момент фиксации провала напряжения в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 начинает поступать энергия от накопителя электрической энергии первого типа 9, напряжение снижается до 400 В, но не опускается до критического для работы электропривода значения. Затем в работу вводится накопитель электрической энергии второго типа 11, амплитуда напряжения сети восстанавливается от 155 В до 310 В. При переключении между работой отдельных частей гибридного накопителя электрической энергии 8 происходит снижение частоты вращения до 134,4 рад/с, однако в установившемся режиме, в процессе работы накопителя электрической энергии второго типа 11 частота вращения возвращается к номинальному значению. В процессе работы системы с гибридным накопителем электрической энергии 8 несколько изменяется характер колебаний электромагнитного момента, однако изменения незначительны, величина развиваемого момента соответствует номинальному значению.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны системы электроснабжения глубиной 95% характеризуется числовыми зависимостями, представленными в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8 в момент наступления провала снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 15,5 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 11,2 В. Частота вращения и электромагнитный момент, развиваемый асинхронным электродвигателем 6, снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно, происходит останов. При введении в работу гибридного накопителя электрической энергии 8 останов асинхронного электродвигателя 6 не происходит. В момент фиксации провала напряжения в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 начинает поступать энергия от накопителя электрической энергии первого типа 9, тем не менее напряжение от исходного значения 537 В снижается до уровня 432 В, но не опускается до критического для работы электропривода значения. Затем в работу вводится накопитель электрической энергии второго типа 11, амплитуда напряжения сети восстанавливается от 15,5 В до 310 В. При переключении между работой отдельных частей гибридного накопителя электрической энергии 8 происходит незначительное снижение частоты вращения асинхронного электродвигателя 6, однако в установившемся режиме, в процессе работы накопителя электрической энергии второго типа 11 частота вращения остается на номинальном уровне. В процессе работы системы с гибридным накопителем

электрической энергии 8 изменяется характер колебаний электромагнитного момента, однако изменения незначительны, величина развиваемого момента соответствует номинальному значению.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны нагрузки глубиной 10% характеризуется числовыми зависимостями, представленными в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8 в момент наступления провала снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 279 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 428,5 В. Частота вращения и электромагнитный момент, развиваемый асинхронным электродвигателем 6, снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно за 0,03 с, происходит останов. При введении в работу гибридного накопителя электрической энергии 8 останов асинхронного электродвигателя 6 не происходит. В момент фиксации провала напряжения в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 начинает поступать энергия от накопителя электрической энергии первого типа 9, тем не менее напряжение в от исходного значения 537 В снижается до уровня 494 В, но не опускается до критического для работы электропривода значения. Затем в работу вводится накопитель электрической энергии второго типа 11, амплитуда напряжения сети восстанавливается от 279 В до 310 В, а напряжение в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается глубже до уровня 485 В. Частота вращения асинхронного электродвигателя 6 снижается на 2 рад/с, при этом останов не происходит. В процессе работы системы с гибридным накопителем электрической энергии 8 изменяется характер колебаний электромагнитного момента, однако изменения незначительны, величина развиваемого момента соответствует номинальному значению.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны нагрузки глубиной 50% характеризуется графическими и числовыми зависимостями, представленными на фиг. 2-9 и в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8 в момент времени 3 с снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 155 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 210,5 В. Частота вращения и электромагнитный момент, развиваемый асинхронным электродвигателем 6, снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно за 0,02 с, происходит останов. При введении в работу гибридного накопителя электрической энергии 8 останов асинхронного электродвигателя 6 не происходит. В момент фиксации провала напряжения в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 начинает поступать энергия от накопителя электрической энергии первого типа 9, напряжение от исходного значения 537 В увеличивается до уровня 545 В, но не превышает максимального допустимого для работы электропривода значения. Затем в работу вводится накопитель электрической энергии второго типа 11, амплитуда напряжения сети восстанавливается от 279 В до 310 В, а напряжение в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 увеличивается до уровня 567 В. Частота вращения асинхронного электродвигателя 6 снижается на 0,2 рад/с, при этом останов не происходит. В процессе работы системы с гибридным накопителем электрической энергии 8 изменяется характер колебаний электромагнитного момента, однако изменения незначительны, величина развиваемого момента соответствует номинальному значению.

Режим работы электротехнического комплекса при наступлении провала напряжения со стороны нагрузки глубиной 95% характеризуется числовыми зависимостями,

представленными в табл. 1. При бездействии гибридного накопителя электрической энергии 8 в момент наступления провала снижается амплитуда питающего напряжения до уровня 15,5 В, при этом величина напряжения в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 4,25 В. Частота вращения и электромагнитный момент, развиваемый асинхронным электродвигателем 6, снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно за 0,01 с, происходит останов. При введении в работу гибридного накопителя электрической энергии 8 аналогично наступает останов асинхронного электродвигателя 6. В момент фиксации провала напряжения в звено постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 начинает поступать энергия от накопителя электрической энергии первого типа 9, напряжение в от исходного значения 537 В снижается до уровня 335 В. Затем в работу вводится накопитель электрической энергии второго типа 11, амплитуда напряжения сети восстанавливается от 15,5 В до 24 В, а напряжение в звене постоянного тока в составе преобразователя частоты 4 снижается до уровня 9,5 В. Частота вращения асинхронного электродвигателя 6 и развиваемый электромагнитный момент снижаются до 0 рад/с и 0 Н·м соответственно за 0,1 с, при этом происходит останов. Восстановить работу электропривода не удается.

Способ за счет анализа сигналов напряжения, поступающих с выходов датчиков напряжения на вход блока анализа сигналов напряжения, что позволяет своевременно зафиксировать наступление нештатной ситуации в системе электроснабжения и передать соответствующий информационный сигнал с выхода блока анализа сигналов напряжения на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, который формирует управляющий сигнал задания по величине скорости изменения напряжения и передает его на вход системы управления накопителем электрической энергии, с выхода которой управляющий сигнал на запуск процесса разряда поступает на вход гибридного накопителя электрической энергии. Своевременное введение в работу гибридного накопителя электрической энергии позволяет предотвратить останов двигателя при провалах и прерываниях напряжения в системе электроснабжения электротехнического комплекса.

Таблица 1 - Основные характеристики режима работы электротехнического комплекса при наступлении провалов напряжения различных типов.

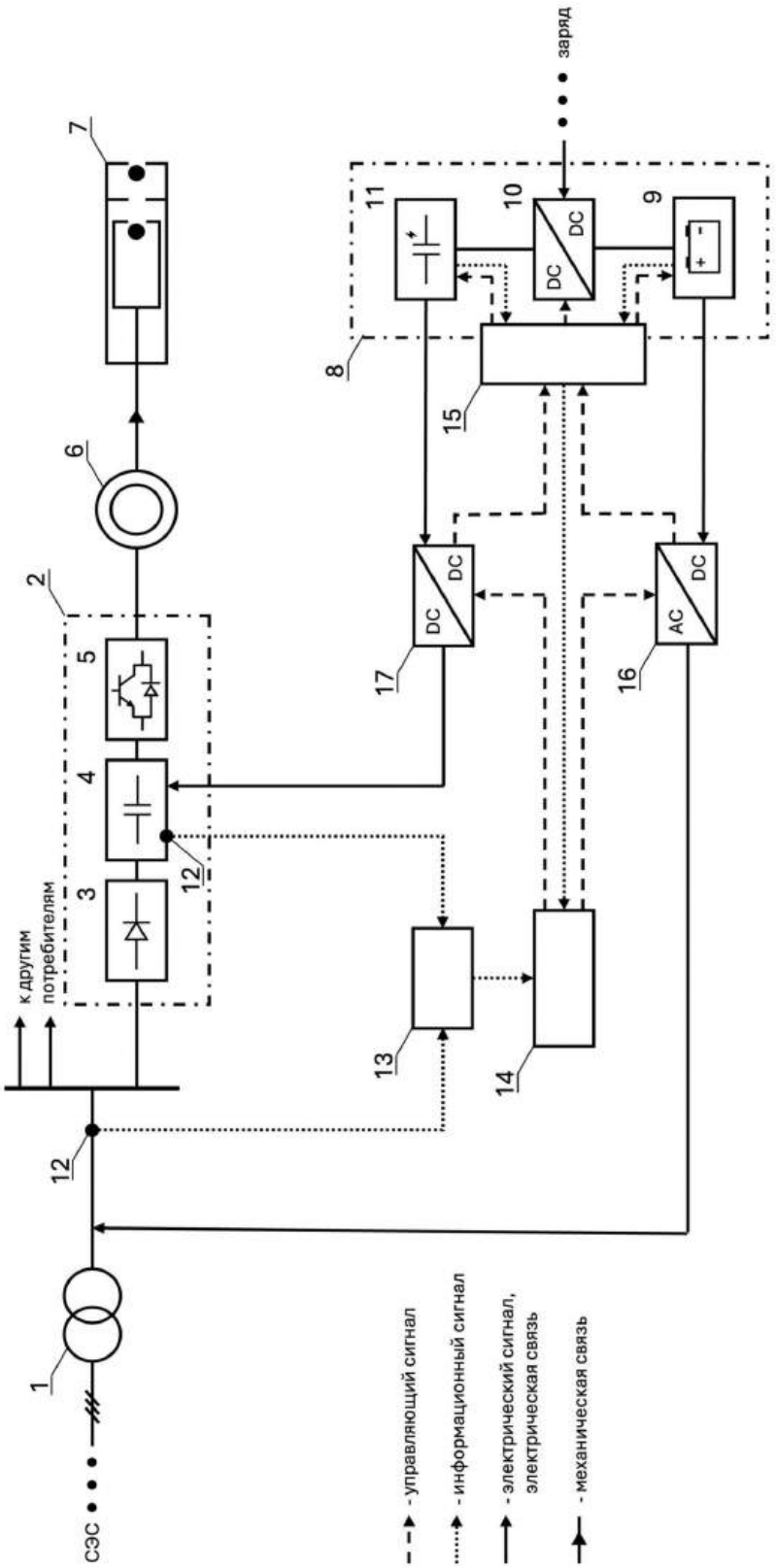
Источник провала	Глубина провала напряжения, %	Накопитель, подключен - «+» / отключен - «-»	Глубина провала напряжения в сети, В	Глубина провала напряжения в звене постоянного тока, В	Глубина провала частоты вращения, рад/с	Глубина провала электромагнитного момента, Н·м
Сеть	10	-	31	76	0,6	0
		+	31 → 0	0	0	0
	50	-	155	287	137	2,7
		+	155 → 0	137 → 0	2,6 → 0	0
	95	-	294,5	525,8	137	2,7
		+	294,5 → 0	105 → 0	0	0
Потребители	10	-	31	108,5	137	2,7
		+	31 → 0	52	2	0
	50	-	155	326,5	137	2,7
		+	155 → 0	+30	0	0
	95	-	294,5	532,75	137	2,7
		+	286	527,5	137	2,7

(57) Формула изобретения

Способ восстановления ускорения частотно-регулируемого электропривода при провалах и прерываниях напряжения, включающий установку в структуру электропривода накопителя электрической энергии, содержащего в своем составе

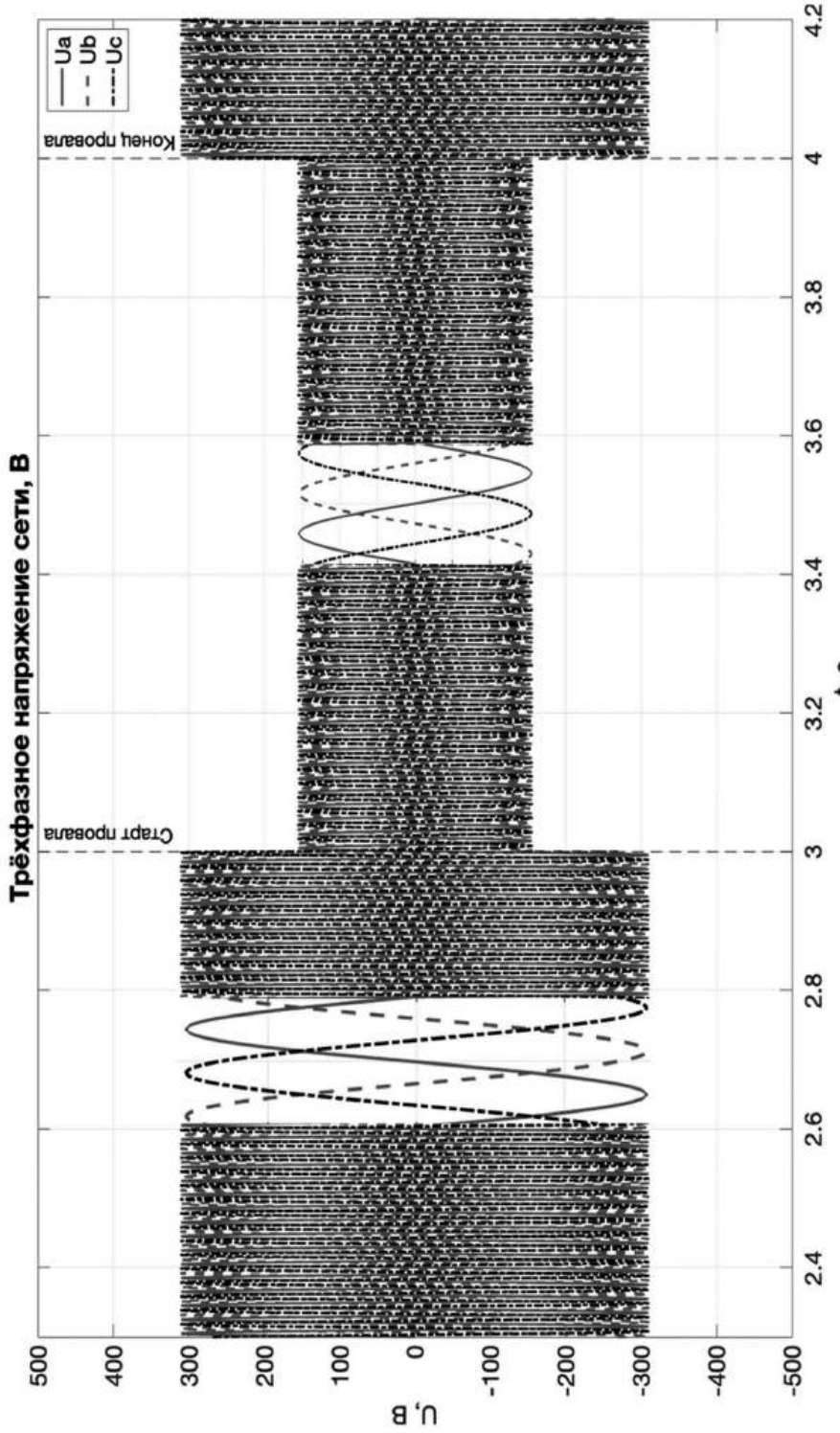
батарею быстродействующих электрических накопителей низкой энергоемкости, подключение накопителя в структуру частотно-регулируемого электропривода через DC/DC-преобразователь в звено постоянного тока, измерение уровня питающего потребителей напряжения в электрической сети и вычисление отклонения этого значения от номинального для идентификации провала и прерывания напряжения, внедрение в существующую систему управления электротехническим комплексом логических блоков управления разрядом накопителя электрической энергии, отличающийся тем, что в структуру системы электроснабжения частотно-регулируемого электропривода устанавливают гибридный накопитель электрической энергии, содержащий, помимо быстродействующего накопителя низкой энергоемкости, накопитель электрической энергии высокой энергоемкости, который подключают через DC/AC-преобразователь в точку общего присоединения группы потребителей, при этом накопители электрической энергии первого типа и второго типа по силовым каналам подключают к общему DC/DC-преобразователю для обеспечения электрической связи между ними, в процессе работы электротехнического комплекса блок анализа сигнала напряжения непрерывно производит вычисление отклонения действующего значения напряжения в сети от номинального значения, скорости и ускорения изменения действующего значения напряжения, по информационным каналам с выходов блока анализа сигнала напряжения и системы управления накопителем электрической энергии информационные сигналы поступают на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, который сравнивает величину текущего уровня заряда с минимально допустимым уровнем заряда гибридного накопителя электрической энергии, после получения сигнала о наступлении провала прерывания напряжения от блока анализа сигнала напряжения и, когда текущий уровень заряда превышает минимально допустимый, блок управления разрядом накопителя электрической энергии производит формирование задания по скорости изменения величины напряжения на выходе накопителя электрической энергии, после этого с выхода блока управления разрядом накопителя электрической энергии сигнал задания по величине скорости изменения разрядного напряжения поступает на вход системы управления DC/AC-преобразователя и DC/DC-преобразователя, при этом в процессе разряда блок анализа сигнала напряжения непрерывно производит вычисление скорости изменения величины напряжения в сети, а с выхода системы управления накопителем электрической энергии по информационным каналам непрерывно поступает сигнал об уровне заряда гибридного накопителя электрической энергии на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, при достижении критически малого уровня заряда, опасного для функционирования накопителя, с выхода блока управления разрядом накопителя электрической энергии на входы DC/AC-преобразователя и DC/DC-преобразователя по управляющим каналам поступает сигнал об останове процесса разряда, в дальнейшей работе процесс повторяется, блок анализа сигнала напряжения самостоятельно определяет наступление аварийного режима в электрической сети и передает информационный сигнал на вход блока управления разрядом накопителя электрической энергии, который формирует управляющие сигналы для контроля процесса разряда, а также осуществляет запуск и завершение работы накопителя в автоматическом режиме.

1


заряд
7
6
2
5
4
3
12
к другим потребителям
1
СЭС
11
10
9
8
15
DC
DC
DC
DC
AC
DC
17
16
13
14
12
- управляющий сигнал
- информационный сигнал
- электрический сигнал, электрическая связь
- механическая связь

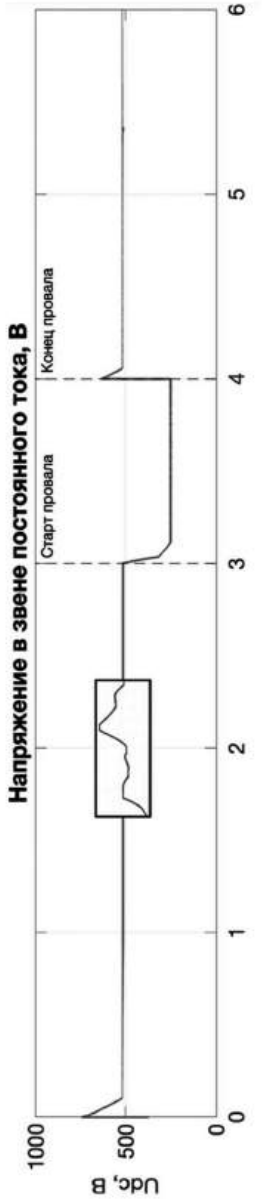
Фиг. 1

2

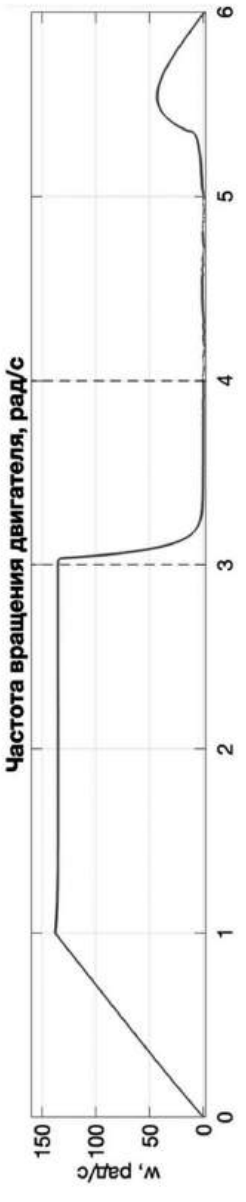

Трёхфазное напряжение сети, В
Ua
Ub
Uc
Старт провала
Конец провала
U, В
t, с
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
2.4
2.6
2.8
3
3.2
3.4
3.6
3.8
4
4.2

Фиг. 2

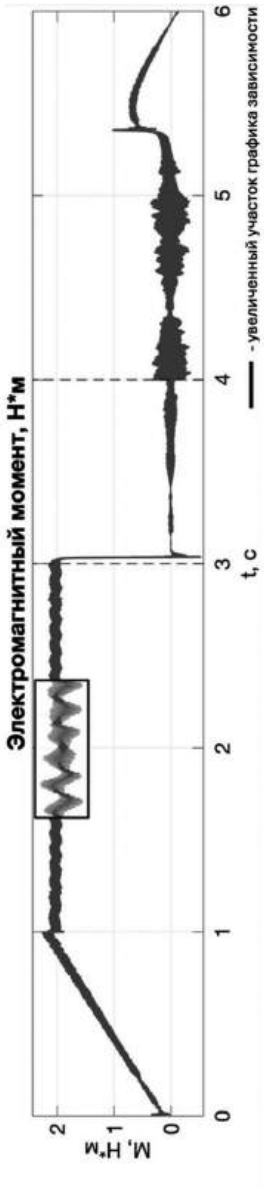
3



Фиг. 3

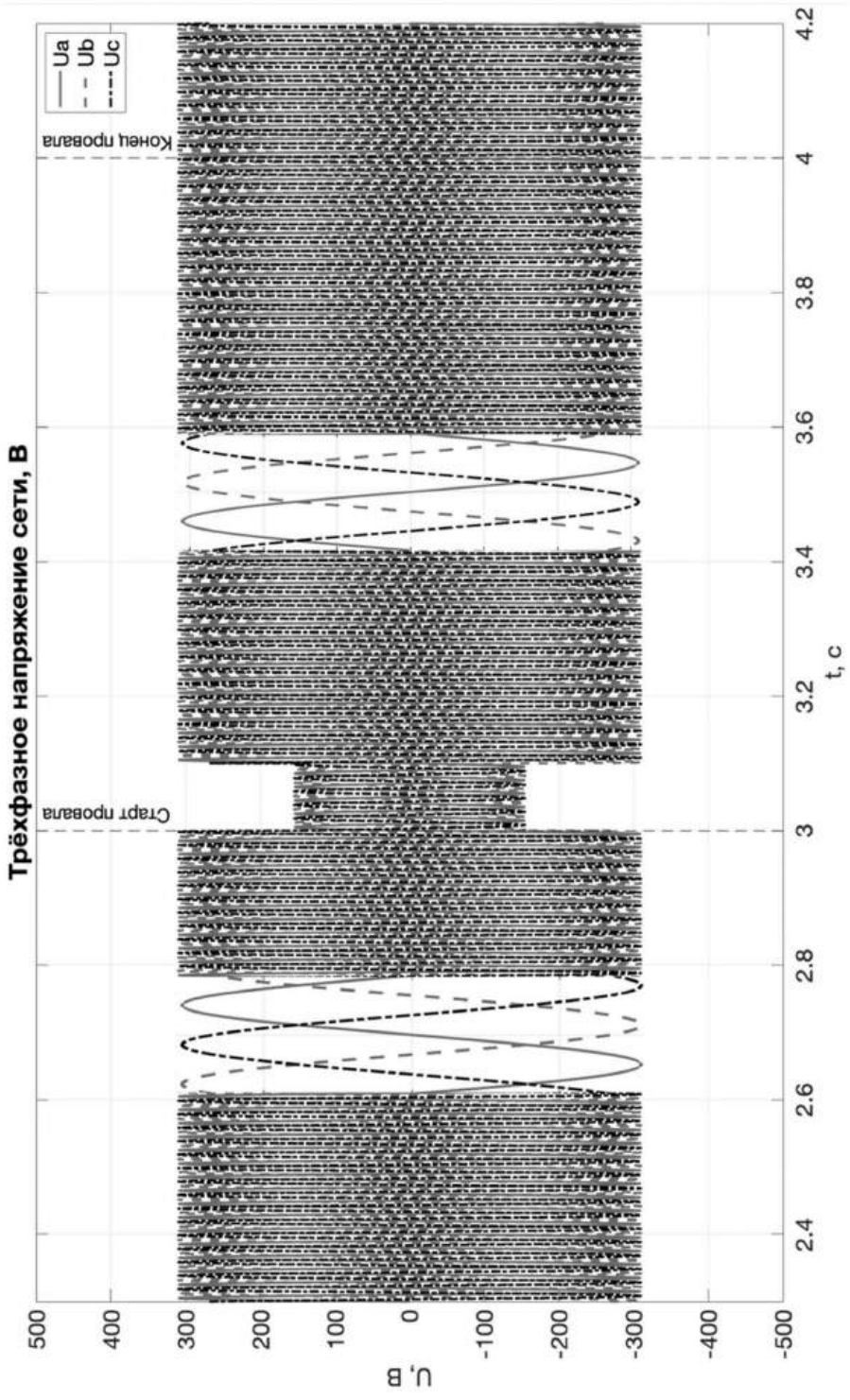


Фиг. 4

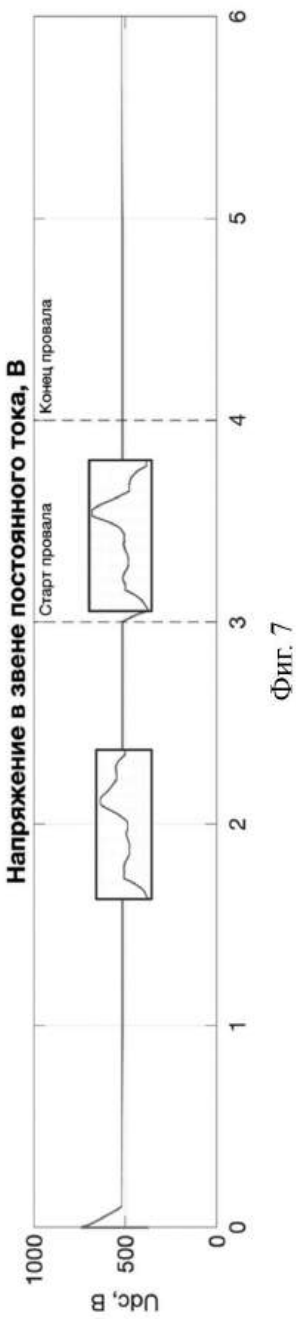


Фиг. 5

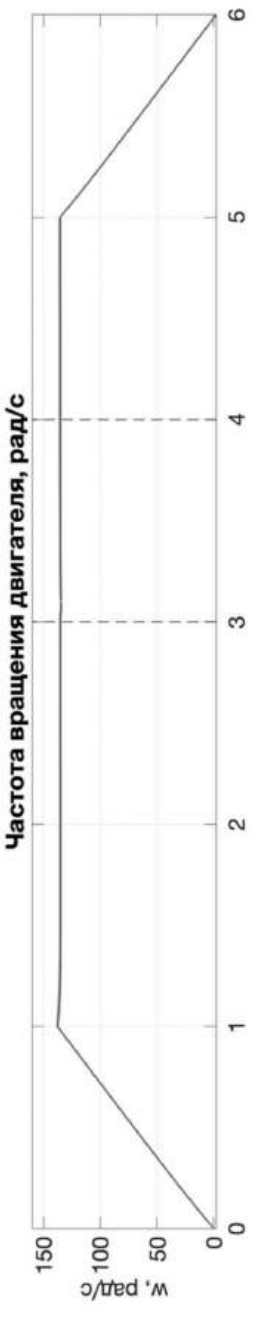
4


Трёхфазное напряжение сети, В
Ua
Ub
Uc
Старт провала
Конец провала
U, В
t, с
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
2.4
2.6
2.8
3
3.2
3.4
3.6
3.8
4
4.2

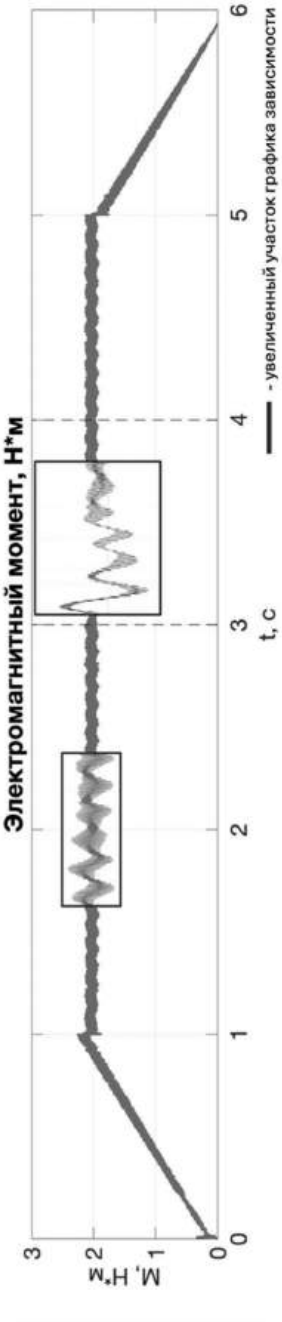
Фиг. 6



Фиг. 7

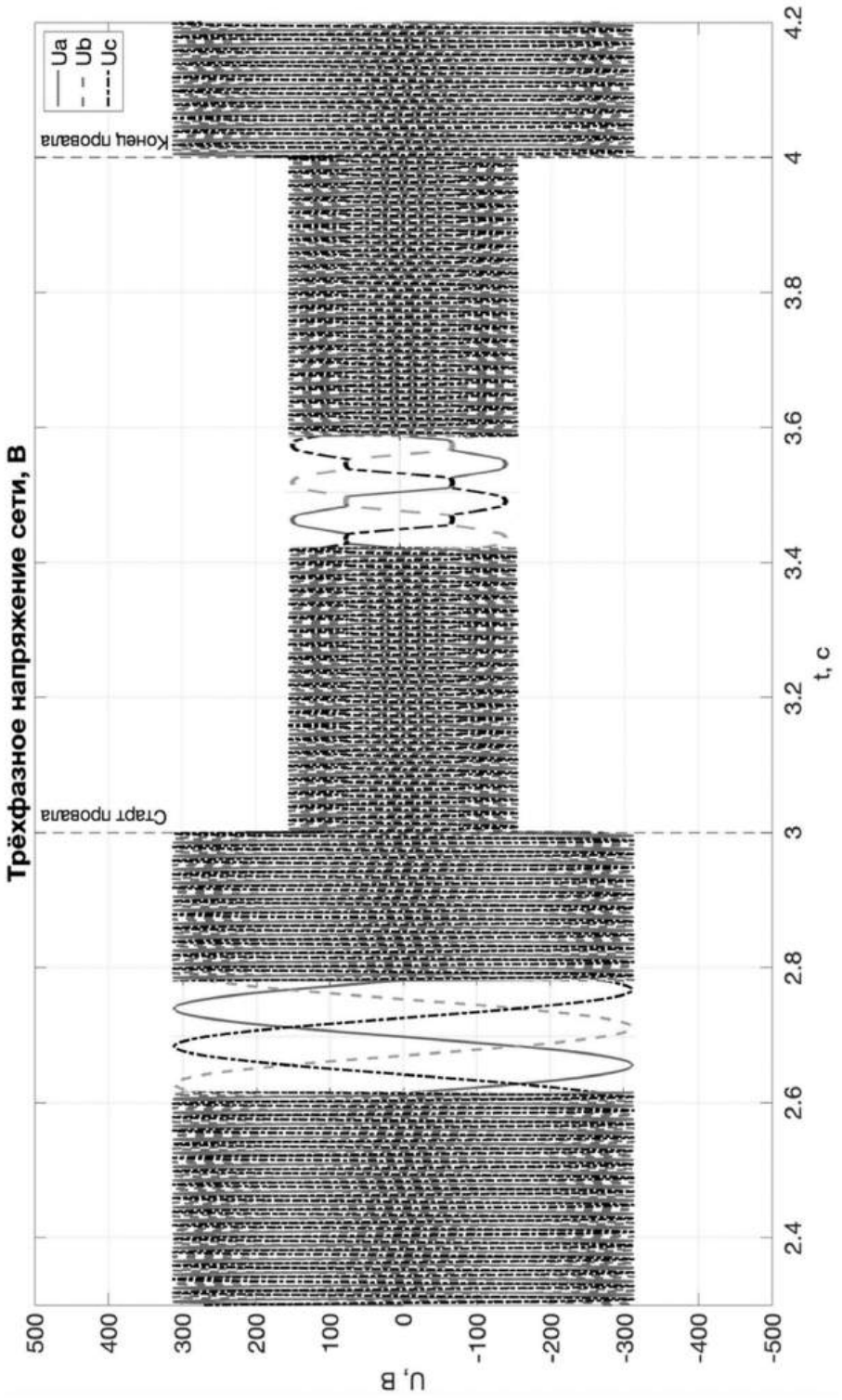


Фиг. 8



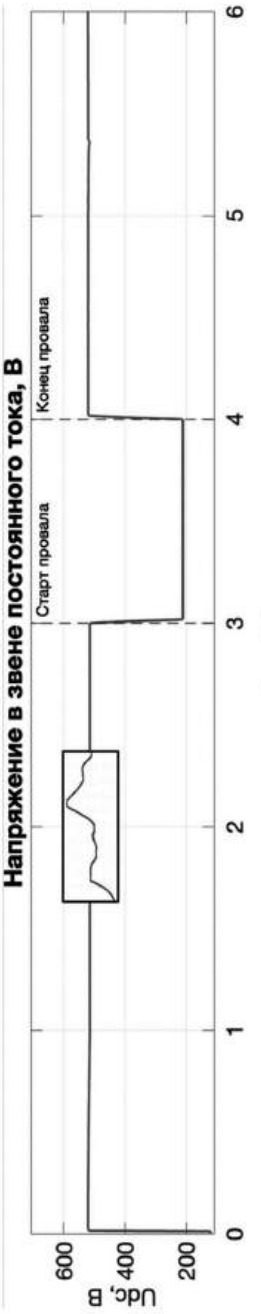
Фиг. 9

6

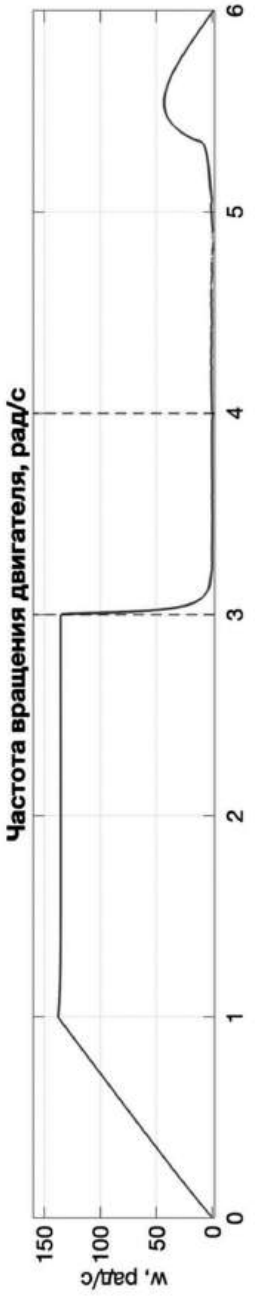

Трёхфазное напряжение сети, В
Ua
Ub
Uc
Старт провала
Конец провала
U, В
t, с
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
2.4
2.6
2.8
3
3.2
3.4
3.6
3.8
4
4.2

Фиг. 10

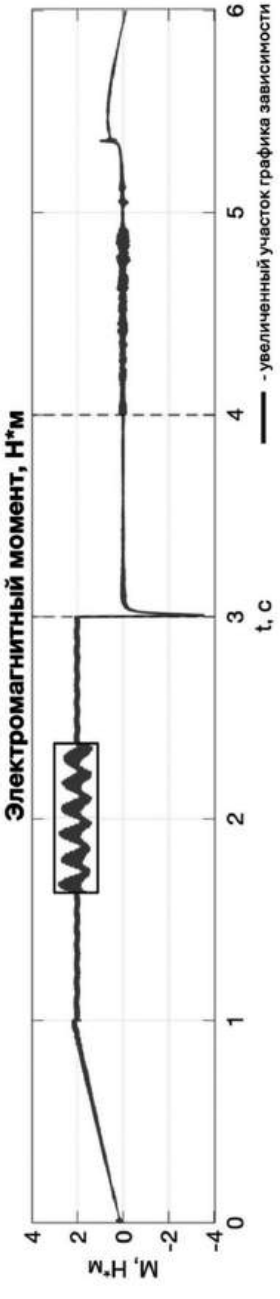
7



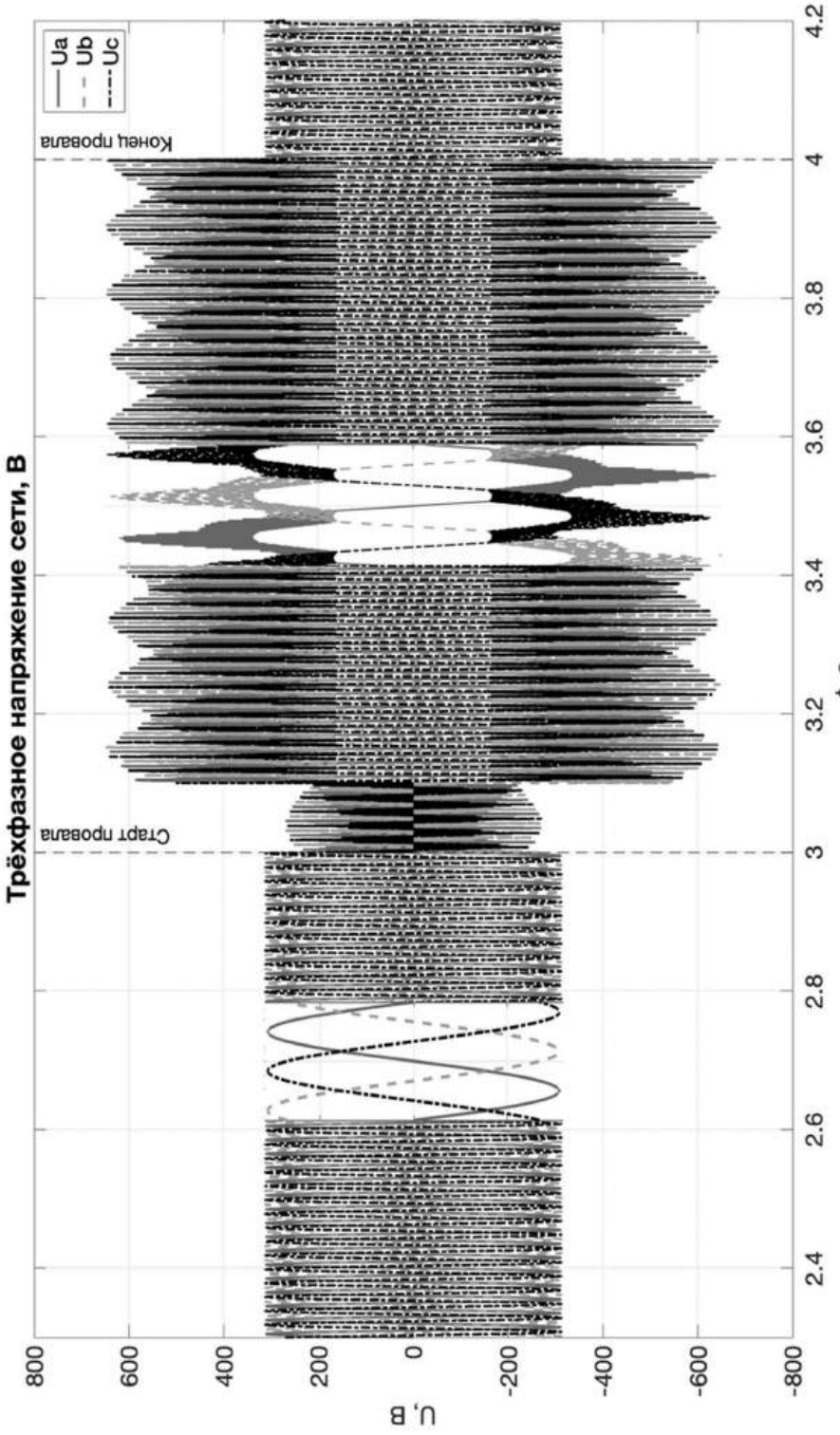
Фиг. 11



Фиг. 12

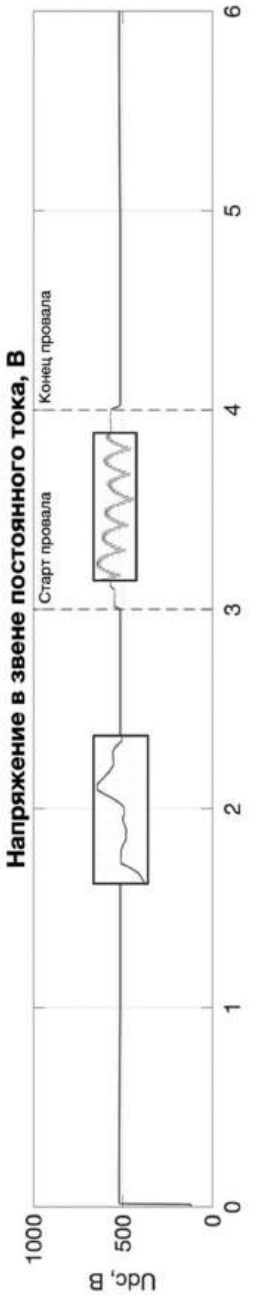


Фиг. 13

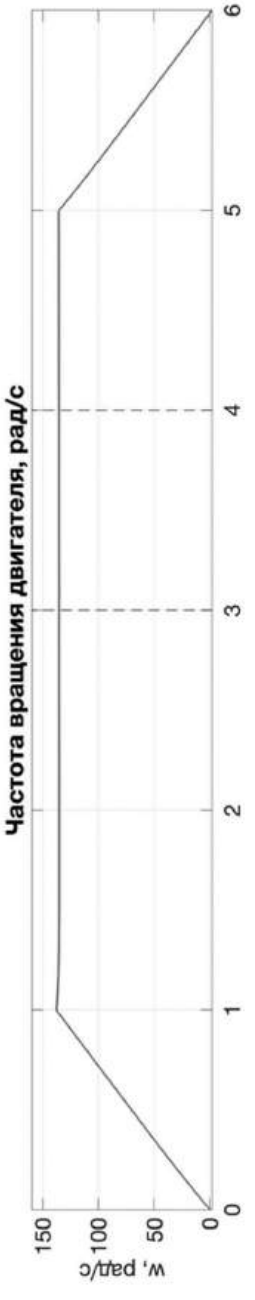

Трёхфазное напряжение сети, В
Ua
Ub
Uc
Старт провала
Конец провала
U, В
t, с
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
2.4
2.6
2.8
3
3.2
3.4
3.6
3.8
4
4.2

Фиг. 14

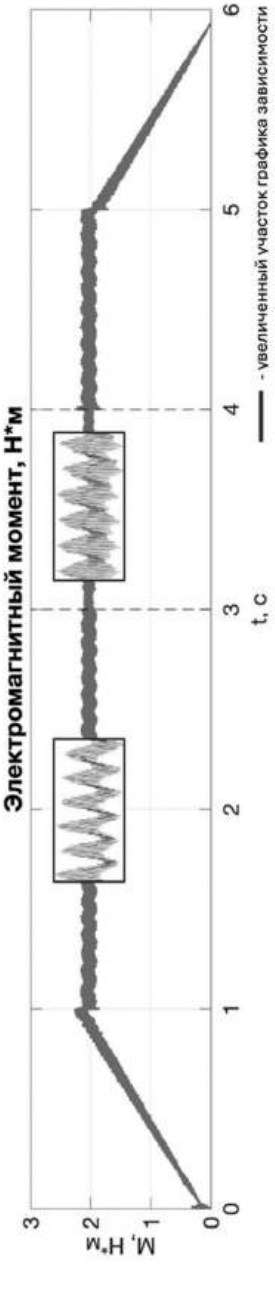
9



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17