



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02P 9/32 (2024.01); H02P 9/36 (2024.01); H02P 9/40 (2024.01); H02K 21/14 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023128661, 07.11.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.11.2023

Дата регистрации:
16.04.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.11.2023

(45) Опубликовано: 16.04.2024 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

445056, г. Тольятти, 40 лет Победы, а/я 1261, 84,
Романеева Нина Евтихиевна

(72) Автор(ы):

Буряшкин Сергей Львович (RU),
Зубков Юрий Валентинович (RU),
Владимиров Денис Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ "ШТОРМ" (RU)

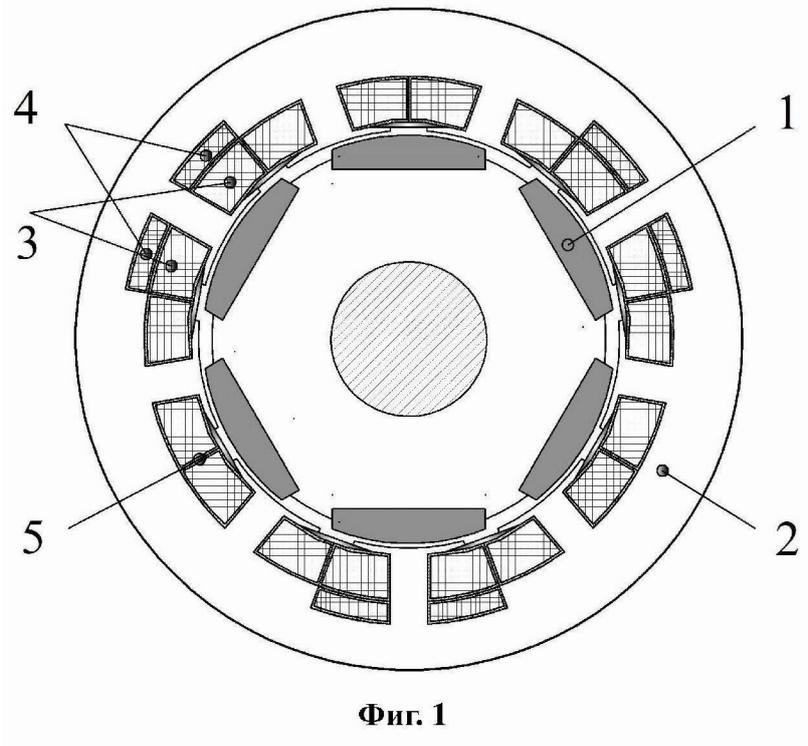
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2637767 C2, 07.12.2017. RU
2439770 C1, 10.01.2012. RU 81609 U1, 20.03.2009.
RU 132647 U1, 20.09.2013. JP 2020088910 A,
04.06.2020. Бертинов А.И. Авиационные
электрические генераторы: Учебное пособие
для ВТУЗов. М.: Оборонгиз, 1959. - 594 с.

(54) Способ стабилизации выходного напряжения генератора с магнитоэлектрическим возбуждением

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в магнитоэлектрических генераторах автономных систем электроснабжения. Технический результат заключается в повышении точности регулирования, расширении диапазона изменения нагрузки при стабильном выходном напряжении и обеспечении высокого КПД за счет изменения магнитного состояния зубцов статора, по которым замыкается магнитный поток. Способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора, заключающийся в стабилизации напряжения генератора, снабженного дополнительной обмоткой, путем изменения магнитной индукции магнитопровода статора. При этом обеспечивают насыщение зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода и осуществляют изменение

магнитной индукции в зубцах статора. Изменение магнитной индукции в зубцах статора в процессе нагрузки генератора до номинальной осуществляют путем уменьшения тока в дополнительной обмотке статора, при этом обеспечивают встречное направление магнитных потоков, созданных постоянными магнитами на роторе и дополнительной обмоткой на статоре. При изменении магнитной индукции в зубцах статора в диапазоне изменения нагрузки генератора от номинальной и выше обеспечивают согласное направление магнитных потоков постоянных магнитов и дополнительной обмотки. Способ осуществляют посредством использования магнитоэлектрического генератора, содержащего вращающийся ротор с постоянными магнитами, разделенный воздушным зазором со статором. 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H02P 9/32 (2006.01)
H02P 9/36 (2006.01)
H02P 9/40 (2006.01)
H02K 21/14 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02P 9/32 (2024.01); H02P 9/36 (2024.01); H02P 9/40 (2024.01); H02K 21/14 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023128661, 07.11.2023**

(24) Effective date for property rights:
07.11.2023

Registration date:
16.04.2024

Priority:
(22) Date of filing: **07.11.2023**

(45) Date of publication: **16.04.2024** Bull. № 11

Mail address:
**445056, g. Tolyatti, 40 let Pobedy, a/ya 1261, 84,
Romaneeva Nina Evtikhievna**

(72) Inventor(s):
**Buriashkin Sergei Lvovich (RU),
Zubkov Iurii Valentinovich (RU),
Vladimirov Denis Andreevich (RU)**

(73) Proprietor(s):
**Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostiu
NAUCHNO- PROIZVODSTVENNOE
OBIeEDINENIE "ShTORM" (RU)**

(54) **METHOD OF STABILIZING OUTPUT VOLTAGE OF GENERATOR WITH MAGNETOELECTRIC EXCITATION**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering and can be used in magnetolectric generators of self-contained power supply systems. Method of voltage stabilization of magnetolectric generator consists in voltage stabilization of generator equipped with additional winding by changing magnetic induction of stator magnetic conductor. At that saturation of teeth of magnetolectric generator in idling mode is provided and magnetic induction in stator teeth is changed. Change of magnetic induction in stator teeth during generator load to nominal is carried out by reducing current in additional stator winding, wherein counter direction of magnetic fluxes created by

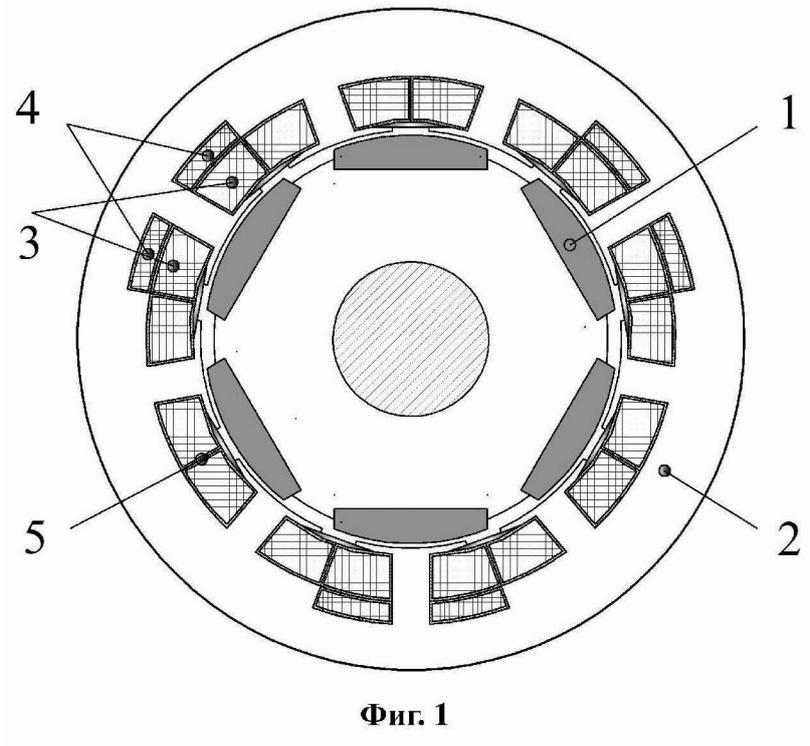
permanent magnets on rotor and additional winding on stator are provided. When magnetic induction in the stator teeth changes in the range of variation of the generator load from the nominal one and higher, a consistent direction of magnetic fluxes of permanent magnets and additional winding is provided. Method is realized by using a magnetolectric generator containing a rotating rotor with permanent magnets separated by an air gap with a stator.

EFFECT: higher accuracy of control, wider range of load variation at stable output voltage and high efficiency due to change in magnetic state of stator teeth, on which magnetic flux is closed.

1 cl, 5 dwg

RU 2 817 407 C1

RU 2 817 407 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в магнитоэлектрических генераторах автономных систем электроснабжения.

Системы электроснабжения автономных объектов (СЭС АО) на основе магнитоэлектрических генераторов (МЭГ) с высококоэрцитивными постоянными магнитами питают различные системы и устройства, которые чувствительны к колебаниям напряжения питания, в связи с чем требуют высокой стабильности выходного напряжения СЭС АО, что в свою очередь подразумевает наличие системы стабилизации выходного напряжения МЭГ. Такая система особенно важна для высоковольтных электротехнических комплексов, ввиду того что возможны значительные превышения номинального напряжения при холостом ходе МЭГ и высока вероятность повреждения потребителей электроэнергии. Поэтому от МЭГ и системы стабилизации выходного напряжения, как элементов электротехнического комплекса, требуются высокие показатели, такие как энергоэффективность, широкий диапазон и стабильность выходного напряжения и его частоты, надежность и продолжительность безотказной работы, а также малые масса и габариты.

Исходя из вышесказанного, способ стабилизации выходного напряжения МЭГ должен обеспечивать высокую точность выходного напряжения в широком диапазоне изменения нагрузки при работе МЭГ в составе СЭС АО, обладать системой защиты от нештатных ситуаций. Данные требования могут быть удовлетворены применением современных силовых компонентов и использованием микропроцессорного управления, которые более выгодны в плане эксплуатации и ремонтпригодности.

Регулирование и стабилизация напряжения МЭГ является сложной задачей, решение которой представляет значительные трудности. Это связано с отсутствием возможности воздействия на магнитный поток через канал возбуждения, как в генераторах с электромагнитным возбуждением, и с нелинейностью характеристик МЭГ при работе на разные типы нагрузки, которая зависит от магнитных свойств материала магнитопровода.

Стабилизация и регулирование напряжения МЭГ могут быть выполнены следующими способами:

- применением конденсаторов;
- дросселями насыщения;
- изменением магнитного сопротивления магнитопровода.

Известен способ стабилизации напряжения генератора с электромагнитным возбуждением и генератор для его реализации [аналог - Электрооборудование летательных аппаратов / под ред. С.А. Грузкова. - М.: МЭИ, 2005. - ISBN 5-7046-1066-8. Т. 1: Системы электроснабжения летательных аппаратов / С.А. Грузков [и др.]. - 2005. - 568 с., стр. 185], по которому стабилизацию напряжения генератора осуществляют блоком управления путем изменения тока возбуждения возбудителя, при этом ток возбуждения возбудителя через блок выпрямителей питает обмотку ротора и его изменение приводит к изменению тока, протекающего по обмотке ротора, а следовательно, либо к снижению, либо к повышению магнитного поля в воздушном зазоре генератора и к изменению его напряжения.

Недостатками данного способа являются ограниченные функциональные возможности и невозможность его использования в магнитоэлектрическом генераторе, ввиду отсутствия в нем обмотки возбуждения.

Известен способ стабилизации генератора с комбинированным (гибридным) возбуждением, ротор которого содержит постоянные магниты (ПМ), а на статоре располагаются силовая многофазная обмотка и обмотка возбуждения (ОВ). ПМ и ОВ

включены в магнитную систему генератора последовательно согласно. В режиме холостого хода ОВ обесточена. При нагрузке в ОВ подается постоянный ток и ее магнитодвижущая сила компенсирует размагничивающее действие реакции якоря, сохраняя магнитный поток в зазоре и выходное напряжение на исходном уровне, тем самым осуществляется стабилизация напряжения магнитоэлектрического генератора (см. патент РФ №2439770, МПК H02K 19/16 (2006.01), H02K 21/14 (2006.01), H02K 1/27 (2006.01), 2012).

Недостатком данного способа является сложность его технической реализации и невысокая надежность, вызванная тем, что в нем применяется множество полупроводниковых ключей, а также низкая точность стабилизации выходного напряжения магнитоэлектрического генератора.

Известен способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора с подмагничиванием спинки статора [аналог - Бертинов А.И. Авиационные электрические генераторы: Учебное пособие для ВТУЗов. М.: Оборонгиз, 1959. - 594 с.], по которому стабилизацию напряжения генератора осуществляют автоматическим изменением блоком управления намагничивающего тока, протекающего по обмотке, расположенной в спинке статора, и тем самым осуществляют изменение магнитной индукции в спинке статора, что приводит либо к понижению напряжения, в том случае если магнитную индукцию в спинке статора увеличивают, либо к повышению, если магнитную индукцию в спинке статора уменьшают.

Недостатками данного способа является невысокий диапазон регулирования.

Известен способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора, по которому напряжение генератора стабилизируют путем изменения магнитной индукции в спинке статора. При этом обеспечивают насыщение магнитопровода магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода, а изменение магнитной индукции в магнитопроводе статора в процессе его нагрузки осуществляют саморегулированием благодаря согласованию кривой изменения магнитной индукции в воздушном зазоре под действием реакции якоря и кривой изменения магнитной индукции в магнитопроводе под действием реакции якоря, при этом для увеличения точности регулирования изменяют магнитное поле реакции якоря магнитоэлектрического генератора посредством формирования индуктивного или емкостного тока в блоке управления (см. патент №2637767, МПК H02P 9/32 (2006.01), H02P 9/36 (2006.01), H02P 9/40 (2006.01), 2017 г.). Данное решение принято за прототип.

Недостатками данного способа являются невысокая точность регулирования и малый диапазон изменения нагрузки, в котором возможна стабилизация напряжения, связанные с тем, что изменение индукции в магнитопроводе статора осуществляют за счет изменения магнитного поля реакции якоря.

Техническая проблема, на решение которой направлено изобретение, заключается в повышении точности регулирования напряжения и расширении диапазона стабилизации напряжения при высоком КПД.

Техническим результатом является повышение точности регулирования, расширение диапазона изменения нагрузки при стабильном выходном напряжении и обеспечение высокого КПД за счет изменения магнитного состояния зубцов статора, по которым замыкается магнитный поток.

Технический результат достигается за счет того, что в способе стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора, снабженного дополнительной обмоткой, по которому напряжение генератора стабилизируют путем изменения магнитной индукции магнитопровода статора, согласно изобретению, обеспечивают

насыщение зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода и осуществляют изменение магнитной индукции в зубцах статора в процессе нагрузки генератора до номинальной путем уменьшения тока в дополнительной обмотке статора, при этом обеспечивают встречное направление магнитных потоков, созданных постоянными магнитами на роторе и дополнительной обмоткой на статоре, а в диапазоне изменения нагрузки от номинальной и выше обеспечивают согласное направление магнитных потоков постоянных магнитов и дополнительной обмотки.

Насыщение зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода позволяет повысить КПД в процессе нагрузки генератора. Повышение точности регулирования, расширение диапазона изменения нагрузки при стабильном выходном напряжении генератора обеспечивается за счет изменения магнитной индукции в зубцах статора в процессе нагрузки генератора до номинальной путем уменьшения тока в дополнительной обмотке статора, при обеспечении встречного направления магнитных потоков, созданных постоянными магнитами на роторе и дополнительной обмоткой на статоре, а в диапазоне изменения нагрузки генератора от номинальной и выше при обеспечении согласного направления магнитных потоков постоянных магнитов и дополнительной обмотки.

Существо изобретения поясняется чертежами.

На фиг.1 - поперечное сечение генератора, реализующего способ стабилизации напряжения;

На фиг.2 - внешние характеристики генератора без ДО и с ДО;

На фиг. 3 - зависимость тока дополнительной обмотки от нагрузки;

На фиг.4 - распределение магнитного поля в поперечном сечении генератора в режиме холостого хода;

На фиг. 5 - распределение магнитного поля в поперечном сечении генератора при номинальной нагрузке.

Способ осуществляют посредством использования магнитоэлектрического генератора (см. фиг. 1), содержащего вращающийся ротор с постоянными магнитами 1, разделенный воздушным зазором со статором 2. Статор снабжен силовой обмоткой 3, которая выполнена зубцовой, двухслойной, с активными сторонами секций расположенными в пазу рядом, и дополнительной обмоткой 4, расположенной в тех же пазах 5, что и силовая обмотка, занимающей часть пазов статора, охватывающих k зубцов, равномерно расположенных по окружности расточки статора, причем число этих зубцов равно числу пар полюсов генератора $k=p$. Пазы 5 статора имеют разную глубину. Глубина пазов 5 статора 2, в которых размещена дополнительная обмотка 4, выполнена увеличенной на высоту дополнительной обмотки 4. Размещение ДО 4 на k зубцах статора в части пазов 5 не вызывает существенного увеличения габаритов и массы генератора.

Примеры конкретной реализации способа.

Пример 1.

Генератор с возбуждением от постоянных магнитов мощностью 80 кВт и частотой вращения 12000 об/мин должен обеспечивать выходное напряжение 380 В при изменении нагрузки от холостого хода до двукратной от номинальной. Сердечник статора выполнен из электротехнической стали 2412, имеет диаметр расточки 180 мм и концентрическую силовую обмотку 3 с неперекрещивающимися лобовыми частями, уложенную в пазах 5, имеющие разную глубину. В части глубоких пазов 5 расположены витки дополнительной обмотки 4 (ДО), питаемой от источника постоянного тока.

В режиме холостого хода индукция в зубцах статора составляет 1,7 Тл.

МДС, требуемая для создания магнитного поля такой интенсивности, обеспечивается суммарным действием постоянных магнитов 1 и тока ДО 4, определяется по следующей формуле:

$$F_{\text{ПМ}} + F_{\text{ДО}} = F_{\delta} + F_z + F_j = 2B_{\delta}k_{\delta}\delta + 2H_z h_z + H_j l_j, \quad (1)$$

где $F_{\text{ПМ}}$ - магнитодвижущая сила постоянных магнитов;

$F_{\text{ДО}}$ - магнитодвижущая сила дополнительной обмотки;

F_{δ} - магнитодвижущая сила воздушного зазора;

F_j - магнитодвижущая сила спинки магнитопровода статора;

F_z - магнитодвижущая сила зубцов статора,

B_{δ} - магнитная индукция в воздушном зазоре магнитоэлектрического генератора;

δ - воздушный зазор;

H_z - напряженность магнитного поля в зубцах статора;

H_j - напряженность магнитного поля в спинке статора;

h_z, l_j - длина средней силовой линии магнитного потока в зубце и спинке

соответственно;

k_{δ} - коэффициент воздушного зазора.

При холостом ходе встречное действие МДС ДО 4 по отношению к МДС постоянных магнитов 1 поддерживает, согласно (1), индукцию в зазоре 0,9 Тл и напряжение на выходе генератора 380В. При этом напряженность магнитного поля в зубцах, охватываемых дополнительной обмоткой, составляет 44000 А/м, в зубцах без ДО - 220 А/м (см. фиг.4).

При подключении номинальной нагрузки появляется магнитное поле реакции якоря, уменьшающее индукцию в зазоре до 0,77 Тл, что вызывает уменьшение выходного напряжения генератора до 323 В. Напряженность поля в зубцах с ДО и без ДО 76500 А/м и 96 А/м соответственно.

Для поддержания напряжения на уровне 380 В блок управления, питающий ДО 4, изменяет величину тока в дополнительной обмотке 4 до нуля при номинальной нагрузке и до номинального обратного направления при двукратной перегрузке, тем самым стабилизируя выходное напряжение генератора. На фиг.5 показано распределение магнитного поля в поперечном сечении генератора при номинальной нагрузке и обесточенной дополнительной обмотке. Индукция в зазоре составляет 0,9 Тл и напряжение на выходе генератора 380В. При этом напряженность магнитного поля в зубцах, охватываемых дополнительной обмоткой 4 составляет 44500 А/м, в зубцах без ДО - 223 А/м.

Пример 2.

Магнитоэлектрический генератор мощностью 8 кВт с частотой вращения ротора 3000 об/мин, работающий на выпрямительную нагрузку напряжением 28 В. Диаметр расточки статора данного генератора составляет 180 мм, статор генератора выполнен из аморфного железа, индукция насыщения которого составляет 1,35 Тл. Ротор генератора выполнен шестиполосным. При холостом ходе зубцы статора, охватываемые дополнительной обмоткой 4, насыщены до 1,42 Тл, индукция в воздушном зазоре составляет 0,8Тл и выходное напряжение генератора при частоте вращения 3000 об/

мин без нагрузки составляет 28 В, при подключенной к источнику постоянного напряжения дополнительной обмотке 4. При подключении к обмотке якоря генератора номинальной нагрузки по ней протекает ток, который создает магнитное поле реакции якоря. Это приводит к снижению магнитной индукции в воздушном зазоре генератора до 0,72 Тл, а индукция в зубцах статора составляет 1,3 Тл. При уменьшении тока дополнительной обмотки 4 до нуля напряжение генератора стабилизируется на уровне 28 В за счет исчезновения размагничивающего действия поля дополнительной обмотки. При дальнейшем увеличении нагрузки, размагничивающего действия реакции якоря и уменьшении индукции в зазоре, направление тока в ДО 4 меняется на противоположное и обеспечивается подмагничивание зубцов согласным действием магнитных потоков ДО 4 и постоянных магнитов 1. Блок управления величиной тока ДО 4 отстроен так, что при нагрузке в два раза больше номинальной выходное напряжение генератора составляет 28 В.

Данный пример также доказывает реализуемость предлагаемого способа. При этом применение дополнительной обмотки 4, охватывающей зубцы статора, позволяет оперативно и с высокой точностью управлять величиной индукции в воздушном зазоре. За счет насыщения зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода и изменения магнитной индукции в зубцах статора в процессе нагрузки генератора до номинальной путем уменьшения тока в дополнительной обмотке 4 статора и обеспечении встречного направления магнитных потоков, созданных постоянными магнитами 1 на роторе и дополнительной обмоткой 4 на статоре, позволяет увеличить точность регулирования выходного напряжения магнитоэлектрических генераторов, реализующих указанный способ стабилизации напряжения, и расширить диапазон изменения нагрузок, в котором достигается стабилизация без применения сложных силовых и микропроцессорных полупроводниковых преобразователей. Увеличение точности регулирования выходного напряжения магнитоэлектрических генераторов, реализующих указанный способ стабилизации напряжения, и расширение диапазона изменения нагрузок, в котором достигается стабилизация без применения сложных силовых и микропроцессорных полупроводниковых преобразователей в диапазоне изменения нагрузки от номинальной и выше обеспечивает согласное направление магнитных потоков постоянных магнитов 1 и дополнительной обмотки 4.

Насыщение зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода позволяет уменьшить магнитный поток в генераторе по сравнению с состоянием, когда насыщение отсутствует, тем самым уменьшить выходное напряжение до требуемого уровня с высокой точностью, путем воздействия на степень насыщения зубцов током ДО 4.

Изменяя направление и величину тока в ДО 4 от положительно максимального при холостом ходе, до нулевого при номинальной нагрузке и отрицательно максимального при двухкратной перегрузке, стабилизируют напряжение в широком диапазоне изменения нагрузки от холостого хода до двойного номинала.

При холостом ходе КПД генератора равен нулю, поэтому степень насыщения зубцов не оказывает на него никакого влияния. При номинальной нагрузке насыщение зубцов уменьшается, увеличивается магнитный поток возбуждения, который создается совместным действием постоянных магнитов 1 и ДО 4, а результирующий поток, создаваемый действием постоянных магнитов 1, ДО 4 и силовой обмотки 3 остается таким же, как при холостом ходе, выходное напряжение стабилизируется, при этом магнитные потери меньше, чем при холостом ходе, а КПД высокий.

Таким образом, достигается возможность регулирования напряжения

магнитоэлектрического генератора с высокой точностью, а также расширение диапазона регулирования напряжения магнитоэлектрического генератора при высоком КПД.

Итак, заявляемое изобретение позволяет повысить точность регулирования и увеличить диапазон изменения нагрузки, в котором стабилизируется выходное
5 напряжение магнитоэлектрического генератора.

Заявляемый способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора может быть осуществлен с использованием существующих генераторов.

Заявляемый способ может быть использован в автономных системах электроснабжения для стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора,
10 применяемого в таких системах.

(57) Формула изобретения

Способ стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора, по которому напряжение генератора, снабженного дополнительной обмоткой, стабилизируют путем
15 изменения магнитной индукции магнитопровода статора, отличающийся тем, что обеспечивают насыщение зубцов магнитоэлектрического генератора в режиме холостого хода и осуществляют изменение магнитной индукции в зубцах статора в процессе нагрузки генератора до номинальной путем уменьшения тока в дополнительной обмотке статора, при этом обеспечивают встречное направление магнитных потоков, созданных
20 постоянными магнитами на роторе и дополнительной обмоткой на статоре, а в диапазоне изменения нагрузки от номинальной и выше обеспечивают согласное направление магнитных потоков постоянных магнитов и дополнительной обмотки.

25

30

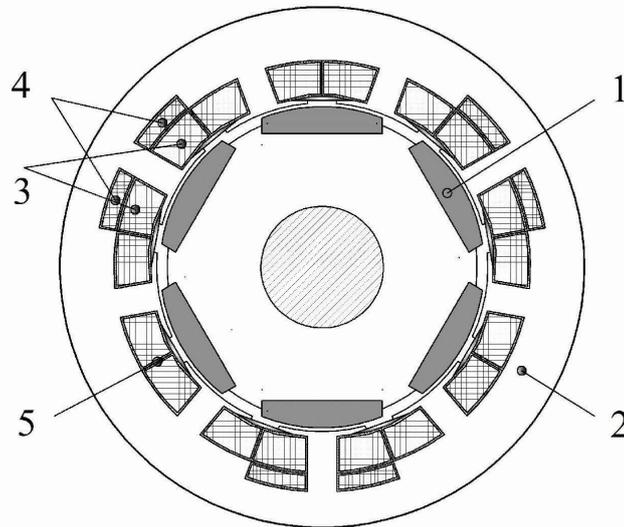
35

40

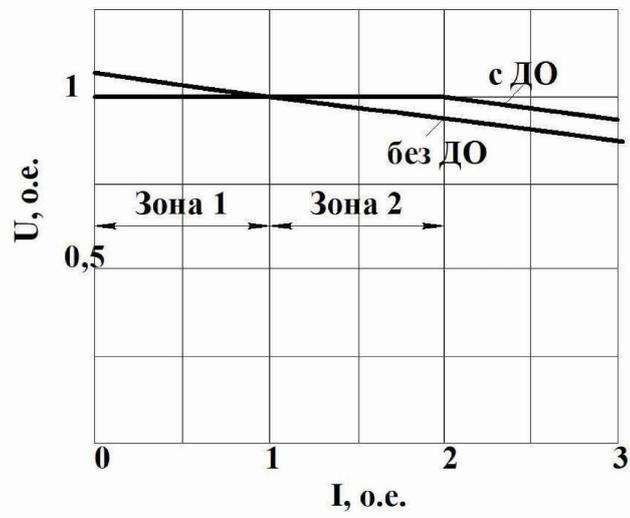
45

1

1/3

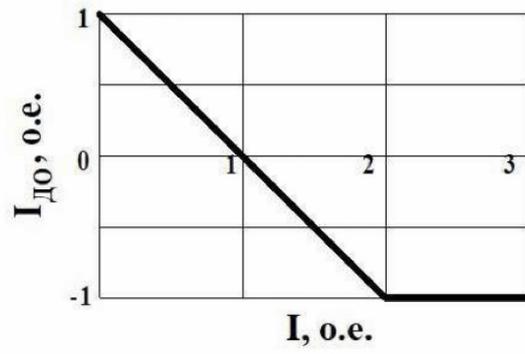


Фиг. 1

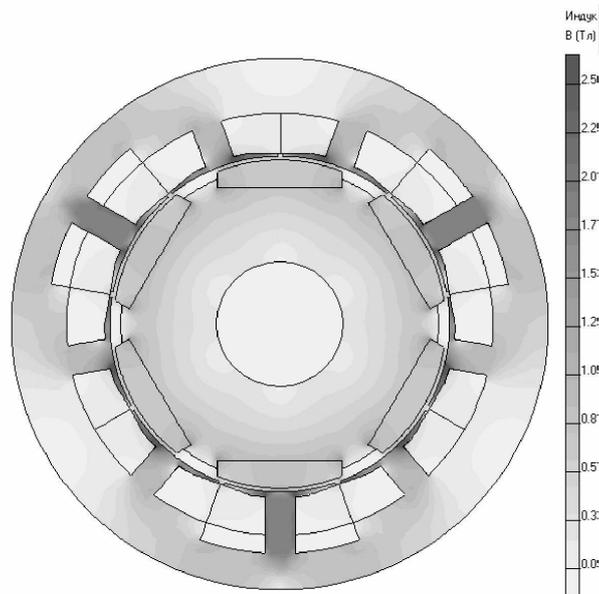


Фиг. 2

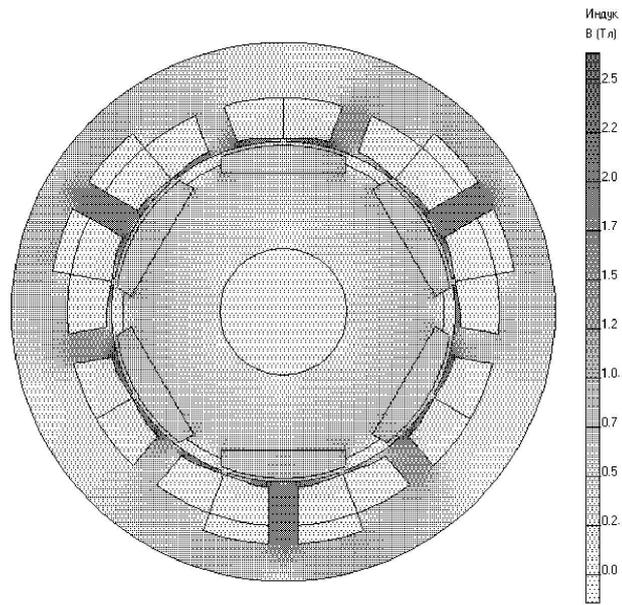
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5