

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2523163

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР С КОНТУРОМ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН) (RU)*

Автор(ы): *Пономарев Андрей Викторович (RU)*

Заявка № 2012155390

Приоритет изобретения 19 декабря 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 22 мая 2014 г.

Срок действия патента истекает 19 декабря 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2012155390/08, 19.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.12.2012

(45) Опубликовано: 20.07.2014 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 4837525 A, 06.06.1989, (см. прод.)

Адрес для переписки:

620016, г.Екатеринбург, ул. Амундсена, 106,
Институт электрофизики УрО РАН

(72) Автор(ы):

Пономарев Андрей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии
наук (ИЭФ УрО РАН) (RU)(54) **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР С КОНТУРОМ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

(57) Формула изобретения

Твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения, содержащий первичные накопитель энергии и коммутатор, отличающийся тем, что они подключены последовательно к первичной обмотке импульсного трансформатора с насыщающимся сердечником, к выводам вторичной обмотки которого подключены конденсатор контура, в который передается энергия первичного накопителя, и диод, а также выходной высокочастотный трансформатор, первичная обмотка которого образует с конденсатором контура параллельный колебательный контур, а в качестве ключевого элемента использован диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии первичного накопителя в конденсатор колебательного контура и в открытом в момент возникновения колебаний в этом контуре.

(56) (продолжение):

SU 1248037 A1, 30.07.1986, RU 115988 U1, 10.05.2012, SU 405168 A2, 22.10.1973

RU 2 523 163 C1

RU 2 523 163 C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012155390/08, 19.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.12.2012

(45) Опубликовано: 20.07.2014 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 4837525 А, 06.06.1989, (см. прод.)

Адрес для переписки:

620016, г.Екатеринбург, ул. Амундсена, 106,
Институт электрофизики УрО РАН

(72) Автор(ы):

Пономарев Андрей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

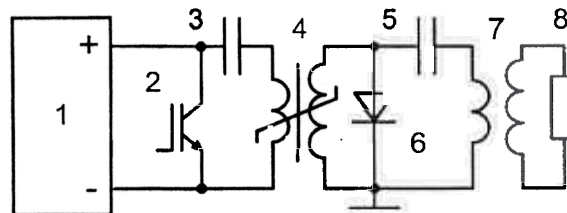
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии
наук (ИЭФ УрО РАН) (RU)

(54) ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР С КОНТУРОМ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области генерирования затухающих высокочастотных колебаний и может использоваться в системах индукционного нагрева. Достижимый технический результат - получение мощных импульсов затухающих высокочастотных колебаний. Твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения содержит первичный коммутатор, первичный накопитель энергии, импульсный трансформатор с насыщающимся сердечником, конденсатор контура, высокочастотный трансформатор,

первичная обмотка которого образует с конденсатором контура параллельный колебательный контур, а в качестве ключевого элемента используется диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии и в открытом состоянии в момент возникновения колебаний после насыщения сердечника трансформатора. Обратное напряжение и ток через диод, а также его частотные свойства определяют мощность и максимальную частоту генерируемых колебаний соответственно. 2 ил.



Фиг.1

(56) (продолжение):

SU 1248037 А1, 30.07.1986, RU 115988 U1, 10.05.2012, SU 405168 А2, 22.10.1973

Изобретение касается генерирования мощных затухающих высокочастотных колебаний и может быть применено, в частности, в устройствах, предназначенных для возбуждения низкотемпературной плазмы и системах индукционного нагрева.

В генераторах тока высокой частоты, в которых в качестве активного элемента применяется управляемый вентиль (импульсный тиратрон, тиристор, транзистор и т.д.) используется принцип ударного возбуждения колебательного контура импульсами тока большой величины. Получаемые прерывистые колебания имеют затухающий характер, что для ряда применений (индукционный нагрев, возбуждение низкотемпературной плазмы и др.) не имеет принципиального значения [1].

Получение колебаний на частотах до сотен мегагерц возможно с помощью СВЧ транзисторов. Так, в пат. N 2207706, H03B 11/10 описан высокочастотный ключевой генератор с частотой 400 МГц и выходной мощностью 30 Вт [2]. Недостатком генератора является относительно невысокая выходная мощность, которая определяется типом применяемого СВЧ транзистора. Транзистор в данной схеме работает на частоте основной гармоники выходного напряжения, что определяет большие потери мощности на коммутацию при отпирании и запираании транзистора. Работа транзистора в ключевом режиме позволяет снизить потери на коммутацию и повысить КПД устройства, но снижает выходную полезную мощность первой гармоники [3].

Известно также устройство ударного возбуждения колебаний в электрическом контуре с помощью полупроводникового коммутатора - симметричного тиристора, описанное в патенте Российской Федерации N 2127482, кл. H03B 11/04 «Способ возбуждения колебаний в электрическом контуре и устройство для его осуществления». Сущность изобретения заключается в том, что в последовательно включенных контурах, подключенных к источнику переменного напряжения, за счет формирования последовательности резонансов ударным возбуждением контуров, создают напряжение ударного возбуждения с широким частотным спектром [4]. Переменное напряжение источника питания определяет частоту следования импульсов (пачек), а высокочастотное напряжение на нагрузке формируется при включении тиристора, возбуждающего затухающие колебания в выходном контуре.

Недостатком этого устройства нужно считать тот факт, что для изменения частоты следования импульсов в нагрузке необходимо изменять входную частоту источника питания переменного напряжения. Кроме того, с помощью данного устройства невозможно получение мощных импульсов на частотах, превышающих сотни килогерц - единицы мегагерц. Максимальная частота колебаний будет зависеть от быстродействия применяемого тиристора, так как скорость его включения, определяющая эффективность возбуждения колебаний в контуре, ограничена значением dI/dt - параметром, определяющим максимально допустимую скорость нарастания тока в приборе. Увеличение частоты колебаний, а следовательно, снижение времени включения тиристора, вызовет необходимость снижения величины коммутируемого им тока, что приведет к снижению мощности импульса. Кроме того, повышение мощности импульса возможно либо при увеличении напряжения на тиристоре, что ограничивается типом используемого прибора, либо при увеличении коммутируемой емкости, что приведет к снижению частоты колебаний.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому положительному эффекту к заявленному устройству является выбранный в качестве прототипа "Генератор возбуждения колебаний" [5], описанный в патенте США N 4837525, кл. НКИ 331-165. В нем высокочастотные колебания в контуре возникают после коммутации емкости контура симметричным тиристором. Устройство формирует импульсы

затухающих колебаний с частотой около 1 МГц.

Данному устройству присущ тот же недостаток - невозможность получения мощных импульсов на частотах, превышающих сотни килогерц - единицы мегагерц, из-за ограничения скорости нарастания тока в тиристоре dI/dt . Недостатком является и то, что повышение мощности импульса также возможно либо при увеличении напряжения на тиристоре, что ограничивается типом используемого прибора, либо при увеличении коммутлируемой емкости, что приведет к снижению частоты колебаний.

Необходимо отметить, что авторы привели осциллограммы выходного напряжения и тока в режимах холостого хода и короткого замыкания соответственно, что не позволяет судить ни о мощности, ни об эффективности приведенного устройства. Напряжение в схеме на разомкнутых выходных клеммах достигает 800 В, а ток короткого замыкания - 20 А.

Технической задачей данного изобретения является получение мощных импульсов затухающих высокочастотных колебаний.

Для решения этой технической задачи предлагается твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения, в котором первичный коммутатор передает энергию из первичного накопителя через трансформатор с насыщающимся сердечником в конденсатор контура, а в качестве ключевого элемента используется диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии и в открытом состоянии в момент возникновения колебаний после насыщения сердечника трансформатора.

Отличительная особенность данного технического решения от прототипа состоит в том, что мощный первичный коммутатор - IGBT транзистор, рабочая частота которого значительно ниже частоты генерируемых колебаний, не ограничивает частотный диапазон выходного каскада, а лишь обеспечивает коммутацию энергии первичного накопителя в цепь формирования этих колебаний.

Также отличительной особенностью данного технического решения является то, что в качестве ключевого элемента в контуре ударного возбуждения используется диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии первичного накопителя в конденсатор колебательного контура и в открытом в момент возникновения колебаний в этом контуре. Обратное напряжение и ток через диод, а также его частотные свойства определяют мощность и максимальную частоту генерируемых колебаний соответственно.

Схема предлагаемого устройства приведена на фиг.1. Первичный коммутатор - IGBT транзистор 2 включен последовательно с первичным накопителем - конденсатором 3 и первичной обмоткой импульсного трансформатора 4. При включения первичного коммутатора - транзистора 2, первичный накопитель 3 с емкостью, заряженный от источника питания 1 до напряжения, разряжается через первичную обмотку импульсного трансформатора 4. При этом энергия первичного накопителя передается в промежуточный накопитель - конденсатор контура 5, подключенного к вторичной обмотке импульсного трансформатора 4 последовательно с первичной обмоткой выходного трансформатора 7. Во время зарядки ключевой элемент - диод 6, включенный параллельно вторичной обмотке импульсного трансформатора 4, закрыт (обратное включение).

Процессы, происходящие во вторичной цепи, представлены на фиг.2. После насыщения сердечника трансформатора 4 конденсатор контура 5 разряжается через вторичную обмотку трансформатора 4 и первичную обмотку трансформатора 7. В момент максимума тока в цепи напряжение на вторичной обмотке трансформатора 4

изменяет полярность, что приводит к отпиранию диода 6. При этом вторичная цепь может быть рассмотрена в виде двух независимых контуров.

В первой цепи, состоящей из вторичной обмотки трансформатора 4 и диода 6, возникает так называемый режим «crowbar». Энергия, накопленная в индуктивности вторичной обмотки трансформатора 4, диссипирует с постоянной времени L/R , где L - индуктивность обмотки в насыщенном состоянии, а R - сопротивление диода в прямом включении и омическое сопротивление проводников цепи (Фиг.2а). Затухающий ток, протекающий через диод в прямом направлении, поддерживает его в открытом состоянии.

Вторая цепь - высокочастотный колебательный контур - состоит из конденсатора контура 5 и индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора 7, значения которых определяют частоту колебаний. Для этой цепи открытый диод 6 является не более чем проводником, проводящим ток в обоих направлениях. Импульс тока в момент насыщения сердечника трансформатора 4 возбуждает этот колебательный контур, что приводит к появлению в нем затухающих гармонических колебаний (Фиг.2б). При этом ток через диод 6 (Фиг.2с) представляет собой суперпозицию токов двух описанных выше контуров. Постоянный затухающий ток через диод протекает в прямом направлении и насыщает структуру диода носителями, что позволяет диоду проводить ток не только в положительные, но и в отрицательные периоды высокочастотных колебаний в контуре.

Кривые фиг.2а-2с получены при отсутствии нагрузки во вторичной цепи трансформатора 7. Затухание колебаний в этом случае происходит только благодаря омическим потерям в колебательном контуре.

Кривая фиг.2д - ток в колебательном контуре - получена с нагрузкой 8, равной 4,2 кОм, и трансформатором 7, имеющим соотношение обмоток 1:1. Энергия из колебательного контура передается через трансформатор 7 в нагрузку 8 и затухание колебаний в данном случае происходит за более короткое время. Время затухания определяется величиной нагрузки 8 и коэффициентом магнитной связи между обмотками трансформатора 7. Частота колебаний определяется параметрами элементов контура.

Частота следования импульсов затухающих колебаний достигает десятков килогерц и ограничена частотными свойствами применяемого IGBT транзистора. Первичный коммутатор - IGBT транзистор - работает в резонансной моде и с большой скважностью, что обуславливает низкие потери мощности на нем при коммутации.

В предлагаемом устройстве ток в нагрузке 8, равной 472 Ом, в максимуме составляет 40 А при напряжении на ней 18,3 кВ, что соответствует пиковой мощности 700 кВт. Частота высокочастотных колебаний при этом равна 1,1 МГц, а эффективность передачи энергии первичного накопителя в нагрузку в этом режиме составляет 53%.

При этом величины и параметры элементов схемы были следующими: напряжение источника питания 1 - 800 В, емкость первичного накопителя 3 - 1,8 мкФ, соотношение витков обмоток трансформатора 4 - 1:40, емкость конденсатора контура 5 - 1,3 нФ, индуктивность первичной обмотки трансформатора 7 - 20 мкГ.

Литература

1. Мастяев В.Я. Генераторы на импульсных тиратронах для индукционного нагрева. - М.: Энергия, 1978. - 96 с.
2. Патент Российской Федерации N 2207706, кл. H03B 11/10, 1999.
3. Козырев В.В., Лаврушенков В.Г., Леонов В.П., Новиков Г.В., Петяшин Н.Б., Попов И.А., Харитонов А.В., Громорушкин В.Н. Транзисторные генераторы гармонических колебаний в ключевом режиме. - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с.

4. Патент Российской Федерации N 2127482, кл. H03B 1/04, 1996.

5. Патент США, N 4837525, кл. НКИ 331-165, 1989.

Формула изобретения

5 Твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения, содержащий первичные накопитель энергии и коммутатор, отличающийся тем, что они подключены последовательно к первичной обмотке импульсного трансформатора с насыщающимся сердечником, к выводам вторичной обмотки которого подключены конденсатор контура, в который передается энергия первичного накопителя, и диод,
10 а также выходной высокочастотный трансформатор, первичная обмотка которого образует с конденсатором контура параллельный колебательный контур, а в качестве ключевого элемента использован диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии первичного накопителя в конденсатор колебательного контура и в открытом в момент возникновения колебаний в этом контуре.

15

20

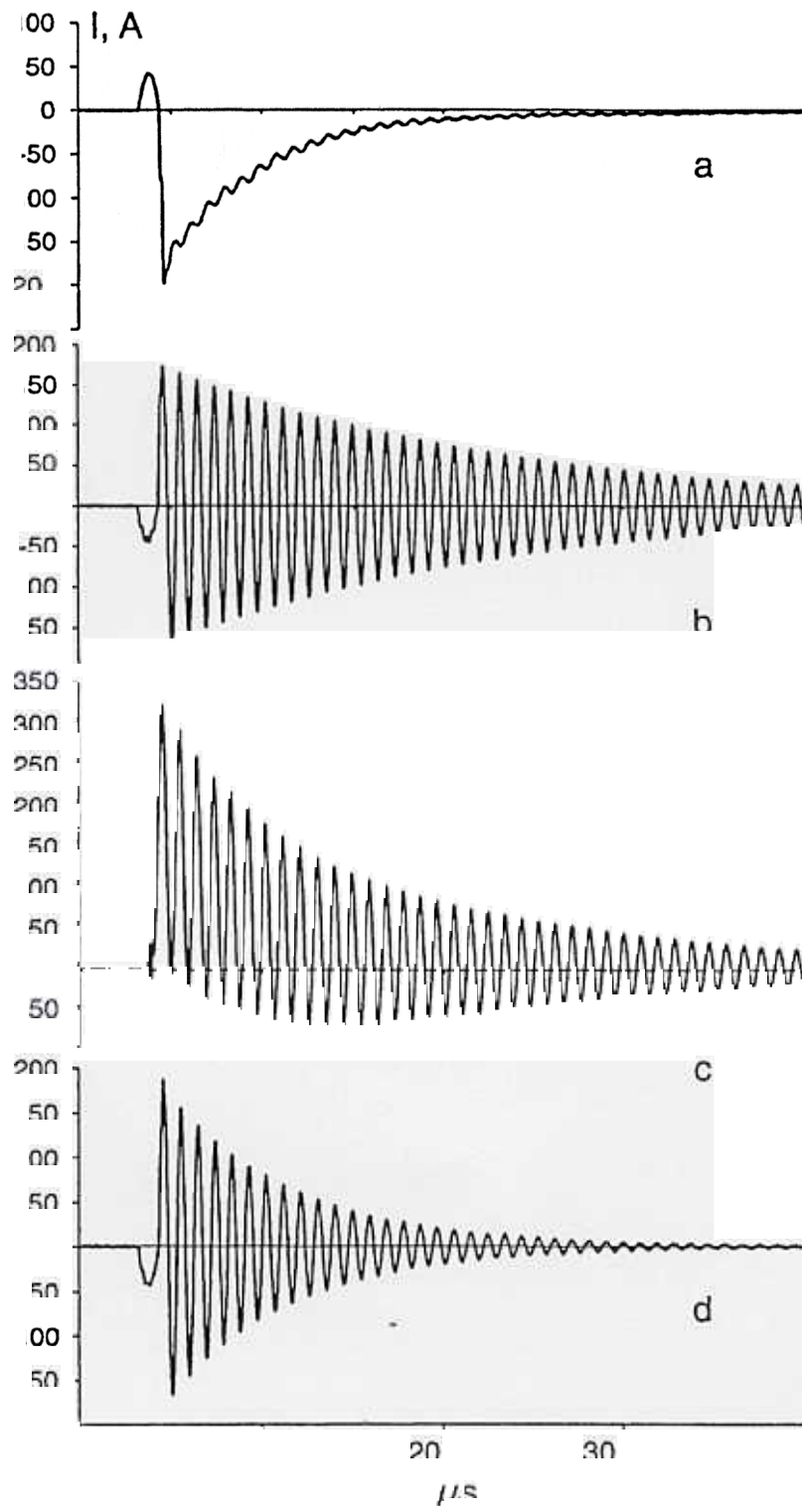
25

30

35

40

45



Фиг. 2