



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*H03J 3/26 (2019.05); H03D 9/00 (2019.05); H03H 7/01 (2019.05)*

(21)(22) Заявка: 2018123276, 26.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.06.2018Дата регистрации:  
23.07.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.06.2018

(45) Опубликовано: 23.07.2019 Бюл. № 21

Адрес для переписки:

644009, г. Омск, ул. Масленникова, 231,  
Акционерное общество "Омский научно-  
исследовательский институт приборостроения"  
(АО "ОНИИП")

(72) Автор(ы):

Зиновьев Алексей Григорьевич (RU),  
Богданов Алексей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Омский  
научно-исследовательский институт  
приборостроения" (АО "ОНИИП") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2538299 C2, 10.01.2015. RU  
2546309 C1, 10.04.2015. US 7030718 B1, 18.04.2006.  
US 7183880 B2, 27.02.2007. WO 2009/090244 A1,  
23.07.2009.

(54) Перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика

(57) Реферат:

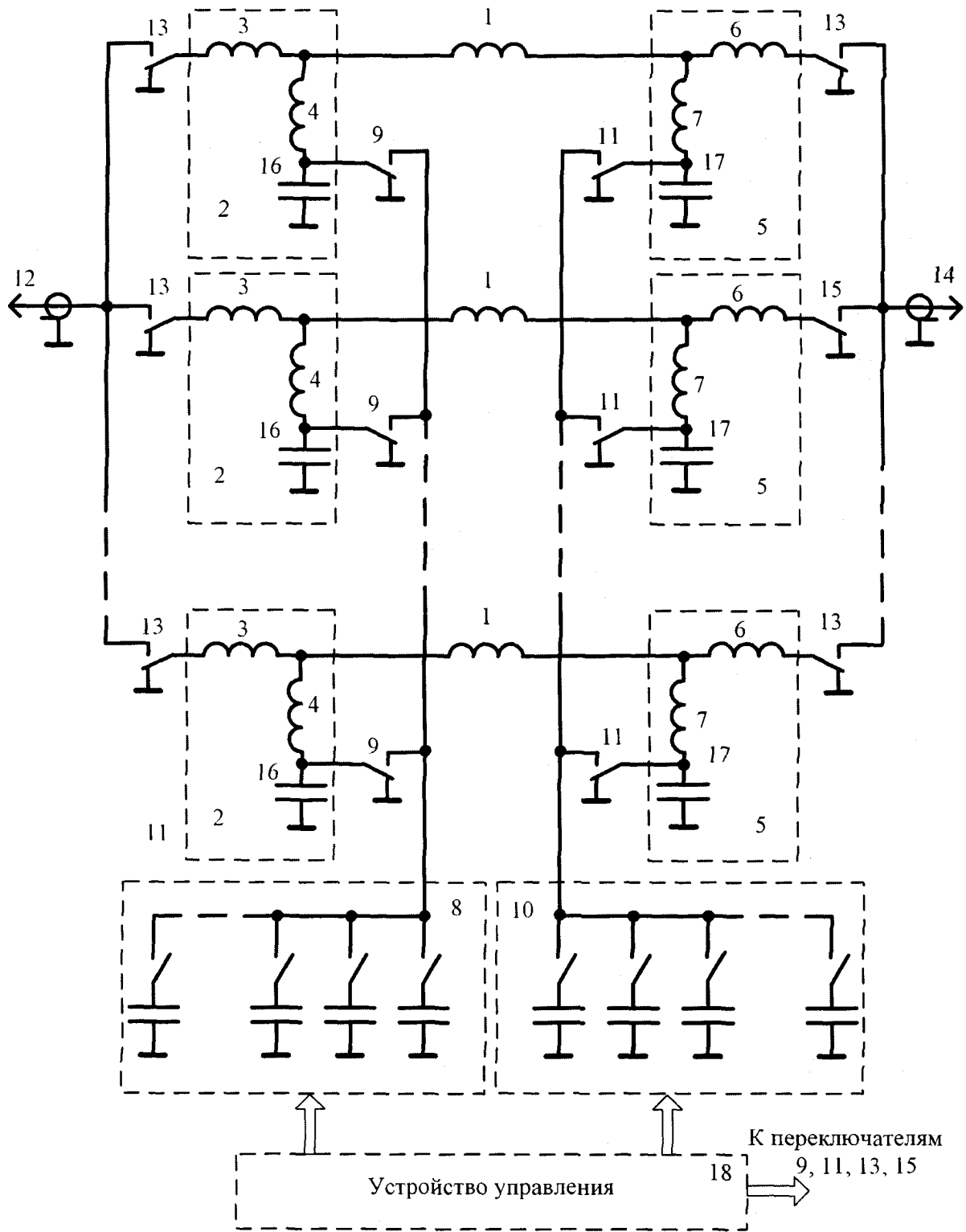
Изобретение относится к фильтрам гармоник усилителей мощности широкодиапазонных радиопередатчиков. Технический результат заключается в снижении уровня гармонических составляющих передаваемого сигнала на выходе фильтра гармоник при одновременном упрощении устройства. Перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика содержит N средних катушек индуктивности, где N - число частотных поддиапазонов, N входных и N выходных Г-образных звеньев и N первых и N вторых

трехконтактных переключателей, причем в каждое из N входных и N выходных Г-образных звеньев введен дополнительный конденсатор постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности поперечного плеча и дополнительного конденсатора постоянной емкости подключена к подвижному контакту одного из соответствующих первого и второго трехконтактных переключателей. 1 ил.

RU 2 695 485 C1

RU 2 695 485 C1

RU 2695485 C1



RU 2695485 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*H03J 3/26 (2019.05); H03D 9/00 (2019.05); H03H 7/01 (2019.05)*

(21)(22) Application: **2018123276, 26.06.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**26.06.2018**

Registration date:  
**23.07.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **26.06.2018**

(45) Date of publication: **23.07.2019** Bull. № 21

Mail address:

**644009, g. Omsk, ul. Maslennikova, 231,  
Aksionernoe obshchestvo "Omskij nauchno-  
issledovatel'skij institut priborostroeniya" (AO  
"ONIIP")**

(72) Inventor(s):

**Zinovev Aleksej Grigorevich (RU),  
Bogdanov Aleksej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo "Omskij  
nauchno-issledovatel'skij institut  
priborostroeniya" (AO "ONIIP") (RU)**

(54) **TUNABLE FILTER OF HARMONICS OF A RADIO TRANSMITTER**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention relates to harmonic filters of power amplifiers of wide-range radio transmitters. Tunable filter of harmonics of radio transmitter contains N medium inductance coils, where N is number of frequency subranges, N input and N output L-shaped links and N first and N second three-contact switches, wherein in each of N input and N output L-shaped links there is an additional capacitor of constant capacity, connected between the second output of the inductance

coil of the transverse arm and the common bus, wherein the point of connection of the inductance coil of the transverse arm and the additional capacitor of constant capacitance is connected to the movable contact of one of the corresponding first and second three-contact switches.

EFFECT: reduced level of harmonic components of the transmitted signal at the output of the harmonic filter with simultaneous simplification of the device.

1 cl, 1 dwg

**RU 2 695 485 C 1**

**RU 2 695 485 C 1**



Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано в фильтрах гармоник усилителей мощности (УМ) широкодиапазонных радиопередатчиков.

Для передачи высокочастотных сигналов с подавленными до требуемого уровня гармоническими составляющими в коротковолновых радиопередающих устройствах (РПДУ) применяются фильтры гармоник (ФГ), содержащие обычно шесть [1] и более фильтров нижних частот (ФНЧ) Кауэра, переключаемых по входу и выходу при помощи реле. Исходя из требований к фильтрации высших гармоник, начиная со второй, фильтры проектируются на заданное значение затухания в полосе задерживания. При этом, чем меньше количество частотных поддиапазонов, тем больше их коэффициент перекрытия по частоте, тем меньше на амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) переходная область между полосами пропускания и задерживания, тем сложнее поддиапазонные фильтры [2]. Независимо от количества ФНЧ в "классическом" варианте построения ФГ, используются они нерационально. В каждый момент времени работает только один поддиапазонный фильтр, а остальные отключены и представляют собой балласт. Как правило, такие ФГ имеют увеличенные габаритные размеры и на их долю приходится значительная часть объема РПДУ. Данная проблема обостряется с увеличением мощности передаваемого сигнала, так как размеры катушек индуктивности тоже увеличиваются. Кроме того возникает задача защиты элементов ФГ от перегрева, которая в случае "классического" варианта построения ФГ является трудноразрешимой.

Недостатками фильтров гармоник на основе переключаемых ФНЧ являются сложность в настройке, а также необходимость высокой точности изготовления катушек индуктивности и применения конденсаторов с малыми отклонениями емкости от номинальных значений, то есть более дорогих. В противном случае не удастся обеспечить необходимый уровень согласования фильтра гармоник, так как коэффициент стоячей волны (КСВ) на входе фильтра гармоник наиболее чувствителен к точности его настройки.

В [3] предложен более рациональный вариант построения ФГ, в том числе для мощных РПДУ, основанный на использовании полосовых перестраиваемых фильтров (ППФ) с асимметричной АЧХ, приближающейся по форме благодаря сильной асимметрии к АЧХ ФНЧ, и обеспечивающий практически идеальное согласование ФГ на частоте передаваемого сигнала во всем диапазоне рабочих частот передатчика. ФГ содержит N переключаемых по входу и выходу ППФ, где N - число частотных поддиапазонов. Каждый ППФ перестраивается в пределах соответствующего частотного поддиапазона при помощи двух дискретных конденсаторов переменной емкости (ДКПЕ), каждый из которых выполнен в виде набора конденсаторов разной емкости, переключаемых при помощи реле.

Данное устройство, представленное в [3], выбрано в качестве прототипа как наиболее близкое по технической сущности к заявляемому.

В [4] представлены результаты анализа полосовых перестраиваемых LC-фильтров с асимметричными АЧХ, составляющих основу ФГ-прототипа. В качестве примера проведен анализ данного ФГ, содержащего два ППФ и предназначенного для работы в составе мощного РПДУ с диапазоном рабочих частот от 3 до 30 МГц, разделенным на два частотных поддиапазона: 3-10 МГц и 10-30 МГц.

Проведенный в [4] анализ данного ФГ [3], показал его преимущества перед другими видами ФГ. Но ФГ-прототип имеет и существенные недостатки:

1) затухание на частоте третьей гармонической составляющей передаваемого сигнала в низкочастотной области каждого поддиапазона около 50 дБ, что недостаточно для

выполнения требований к передатчику;

2) например, при мощности сигнала на входе ФГ, равной 20 кВт, максимальный ток через ДКПЕ равен 59А, что потребует для переключения ДКПЕ и конденсаторов некоторых разрядов в его составе применения дорогостоящих вакуумных реле и конденсаторов;

3) велики потери сигнала в катушках индуктивности ФГ. Например, при добротности катушек индуктивности, равной 300, суммарные потери сигнала во всех пяти катушках индуктивности включенного ППФ составляют почти 0,5 кВт;

4) большие габаритные размеры из-за того, что каждый ППФ содержит пять катушек индуктивности, причем катушки индуктивности в поперечных плечах фильтра равны по индуктивности и по размерам самой большой средней катушке индуктивности.

Задача изобретения - обеспечение снижения уровня гармонических составляющих передаваемого сигнала на выходе фильтра гармоник во всем диапазоне рабочих частот при одновременном расширении его эксплуатационных возможностей и уменьшении габаритных размеров.

Указанная задача решается тем, что в перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика, содержащий в средней своей части  $N$  средних катушек индуктивности, где  $N$  - число частотных поддиапазонов,  $N$  входных Г-образных звеньев, каждое из которых содержит катушку индуктивности в продольном плече и катушку индуктивности в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности каждого из  $N$  входных Г-образных звеньев соединены между собой и с первым выводом соответствующей средней катушки индуктивности, и  $N$  выходных Г-образных звеньев, каждое из которых содержит катушку индуктивности в продольном плече и катушку индуктивности в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности каждого из  $N$  выходных Г-образных звеньев соединены между собой и с вторым выводом соответствующей средней катушки индуктивности, а также первый конденсатор переменной емкости, соединенный с первым неподвижным контактом каждого из  $N$  первых трехконтактных переключателей, вторые неподвижные контакты которых соединены с общей шиной, и второй конденсатор переменной емкости, соединенный с первым неподвижным контактом каждого из  $N$  вторых трехконтактных переключателей, вторые неподвижные контакты которых соединены с общей шиной, при этом вход каждого входного Г-образного звена подключен к входному разъему фильтра гармоник через соответствующий входной переключатель, а выход каждого выходного Г-образного звена подключен к выходному разъему фильтра гармоник через соответствующий выходной переключатель, в каждое из  $N$  входных Г-образных звеньев введен первый дополнительный конденсатор постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности поперечного плеча и первого дополнительного конденсатора постоянной емкости подключена к подвижному контакту соответствующего первого трехконтактного переключателя, а в каждое из  $N$  выходных Г-образных звеньев введен второй дополнительный конденсатор постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности поперечного плеча и второго дополнительного конденсатора постоянной емкости подключена к подвижному контакту соответствующего второго трехконтактного переключателя.

На фигуре приведена схема заявленного устройства в исходном состоянии. Перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика содержит в средней своей части

N средних катушек индуктивности 1, где N - число частотных поддиапазонов, N входных Г-образных звеньев 2, каждое из которых содержит катушку индуктивности 3 в продольном плече и катушку индуктивности 4 в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности 3 и 4 каждого из N входных Г-образных звеньев 2 соединены между собой и с первым выводом соответствующей средней катушки индуктивности 1, и N выходных Г-образных звеньев 5, каждое из которых содержит катушку индуктивности 6 в продольном плече и катушку индуктивности 7 в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности 6 и 7 каждого из N выходных Г-образных звеньев 5 соединены между собой и с вторым выводом соответствующей средней катушки индуктивности 1, а также первый конденсатор 8 переменной емкости, соединенный с первым неподвижным контактом каждого из N первых трехконтактных переключателей 9, вторые неподвижные контакты которых соединены с общей шиной, и второй конденсатор 10 переменной емкости, соединенный с первым неподвижным контактом каждого из N вторых трехконтактных переключателей 11, вторые неподвижные контакты которых соединены с общей шиной, при этом вход каждого входного Г-образного звена 2 подключен к входному разъему 12 фильтра гармоник через соответствующий входной переключатель 13, а выход каждого выходного Г-образного звена 5 подключен к выходному разъему 14 фильтра гармоник через соответствующий выходной переключатель 15. В каждое из N входных Г-образных звеньев 2 введен первый дополнительный конденсатор 16 постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности 4 поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности 4 поперечного плеча и первого дополнительного конденсатора 16 постоянной емкости подключена к подвижному контакту соответствующего первого трехконтактного переключателя 9, а в каждое из N выходных Г-образных звеньев 5 введен второй дополнительный конденсатор 17 постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности 7 поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности 7 поперечного плеча и второго дополнительного конденсатора 17 постоянной емкости подключена к подвижному контакту соответствующего второго трехконтактного переключателя 11. Первый 8 и второй 10 конденсаторы переменной емкости выполнены каждый в виде набора конденсаторов, переключаемых при помощи устройства управления 18.

При симметричной схеме фильтра гармоник индуктивности катушек индуктивности 3 и 6 равны между собой и равны  $L_i$ , а индуктивность соответствующей средней катушки индуктивности 1 равна  $2L_i$ , при этом индуктивности соответствующих катушек индуктивности 4 и 7 поперечных плеч входного 2 и выходного 5 Г-образных звеньев также равны между собой и равны  $M_i$ , где  $i=1, 2, 3, \dots, N$  - порядковый номер частотного поддиапазона.

Фильтр гармоник представляет собой набор из N перестраиваемых ФНЧ. Каждый фильтр перестраивается в соответствующем ему  $i$ -ом поддиапазоне частот при помощи первого 8 и второго 10 конденсаторов переменной емкости, с емкостью каждого из которых суммируется емкость соответствующего первого 16 и второго 17 конденсаторов постоянной емкости. В результате, каждая такая суммарная емкость равна  $C$ . Частота настройки фильтра гармоник определяется следующим выражением:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_i C}}, \quad (1)$$

при этом частота полюса затухания равна

$$F_{\infty} = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_i C}} \quad (2)$$

Отношение частоты полюса затухания (2) к частоте настройки (1) фильтра гармоник равно

$$K_{\Pi} = \frac{F_{\infty}}{F_0} = \sqrt{\frac{L_i}{M_i}}, \quad (3)$$

причем величина  $K_{\Pi}$  при перестройке не изменяется.

Перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика работает следующим образом.

Выходной сигнал усилителя мощности передатчика вместе с гармоническими составляющими сигнала поступают на входной разъем 12 фильтра гармоник, предварительно включенного и настроенного на частоту сигнала. Частота основного сигнала находится в полосе частот одного из поддиапазонов, поэтому при помощи устройства управления 18 включены соответствующие включенному поддиапазону входной 13 и выходной 15 переключатели, а первый 8 и второй 10 конденсаторы переменной емкости подключены соответственно к точке соединения катушки индуктивности 4 и первого дополнительного конденсатора 16 соответствующего входного Г-образного звена 2 и к точке соединения катушки индуктивности 7 и второго дополнительного конденсатора 17 соответствующего выходного Г-образного звена 5 через соответствующие первый 9 и второй 11 переключатели. На конденсаторах 8 и 10 переменной емкости при помощи устройства управления 18 предварительно установлены значения емкостей, обеспечивающие настройку фильтра гармоник на заданную частоту. При этом учитываются значения емкостей подключенных первого 16 и второго 17 дополнительных конденсаторов. В результате сигнал проходит на выход 14 фильтра гармоник через соответствующие входное Г-образное звено 2, среднюю катушку индуктивности 1 и выходное Г-образное звено 5 с минимальными потерями и минимальным КСВ на частоте настройки.

Заявленный перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика по сравнению с прототипом имеет расширенные эксплуатационные возможности благодаря снижению почти в полтора раза тока, проходящего через замкнутые контакты трехконтактных переключателей 9 и 11, а также переключателей в составе конденсаторов 8 и 10 переменной емкости. Кроме того, часть токовой нагрузки берут на себя конденсаторы 16 и 17 постоянной емкости, обеспечивающие вместе с начальной емкостью конденсаторов 8 и 10 настройку фильтра гармоник на максимальную частоту в каждом частотном поддиапазоне. В результате, заявленный фильтр гармоник при том же составе комплектующих элементов может быть применен в радиопередатчике с более чем на 20% увеличенной выходной мощностью. Габаритные размеры заявленного устройства по сравнению с прототипом уменьшаются благодаря сокращению количества катушек индуктивности на 40%, так как индуктивности катушек индуктивности 4 и 7 поперечных плеч Г-образных звеньев 2 и 5 невелики и они могут быть выполнены в виде соединительных шин соответствующих размеров. Так же как прототип, заявленный фильтр гармоник обеспечивает согласование во всем диапазоне рабочих частот на любой из частот настройки и, как результат, уменьшение затухания передаваемого сигнала. Заявленное устройство и прототип обеспечивают при перестройке примерно одинаковый уровень ослабления второй гармонической составляющей передаваемого сигнала: не менее 30 дБ для второй гармоники, что достаточно, учитывая уровень ее подавления в усилителе мощности (УМ). Заявленное устройство по сравнению с



прототипом обеспечивает значительно больший уровень ослабления третьей и всех последующих гармоник: более 60 дБ. Кроме того в заявленном фильтре гармоник частоту (2) полюса затухания можно установить равной частоте третьей гармоники сигнала, то есть исключить из передаваемого сигнала третью, наиболее мощную, гармонику полностью. Но более рациональной является величина  $K_{\Pi}$  (3), примерно равная 3,5, так как при этом сохраняется очень низкий уровень третьей гармоники, но дополнительно в еще большей степени ослабляются пятая и седьмая гармоники. Гармонические составляющие сигнала с четными порядковыми номерами в этом случае можно не учитывать, так как они уже в достаточной степени подавлены в УМ. Можно еще раз отметить малую величину индуктивности катушек индуктивности 4 и 7 по сравнению с катушками индуктивности 3 и 6 и особенно со средней катушкой индуктивности 1. При  $K_{\Pi}=3,5$  это соотношение равно 11,25 и 22,5 соответственно. При этом величина  $K_{\Pi}$  (3) постоянна и не зависит от частоты настройки фильтра гармоник, тем самым обеспечивается идентичность характеристик заявленного устройства при перестройке. Кроме того, заявленный фильтр гармоник, по сравнению с обычными фильтрами гармоник на основе переключаемых ФНЧ, обеспечивает исключение трудоемкой операции настройки фильтра гармоник при его изготовлении. Настройка осуществляется программным способом в автоматическом режиме до получения минимального значения КСВ на каждой задаваемой с определенным шагом частоте настройки. Результаты настройки сохраняются в устройстве управления и используются во время работы фильтра гармоник в составе передатчика. При таком способе настройки не требуется применение в фильтре гармоник конденсаторов с малыми отклонениями емкости от номинальных значений.

Источники информации:

1. Ред Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике: Схемы, блоки, 50-омная техника: Пер. с нем. - М.: 1990. - С. 100.
2. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов / В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. - 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 2003. - С. 206, 207.
3. Патент RU 2538299, МПК H03H 9/00. Фильтр гармоник коротковолнового передатчика / А.Г. Зиновьев, А.В. Богданов. - Заявлено 01.04.2013; опубликовано 10.01.2015, Бюл. №1.
4. Зиновьев А.Г., Богданов А.В., Соловьев А.А., Шестаков И.А. Анализ фильтра гармоник коротковолнового передатчика с большим уровнем выходной мощности сигнала // Техника радиосвязи. - 2017. - вып.1 (32). - С. 24-38.

#### (57) Формула изобретения

Перестраиваемый фильтр гармоник радиопередатчика, содержащий в средней своей части  $N$  средних катушек индуктивности, где  $N$  - число частотных поддиапазонов,  $N$  входных Г-образных звеньев, каждое из которых содержит катушку индуктивности в продольном плече и катушку индуктивности в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности каждого из  $N$  входных Г-образных звеньев соединены между собой и с первым выводом соответствующей средней катушки индуктивности, и  $N$  выходных Г-образных звеньев, каждое из которых содержит катушку индуктивности в продольном плече и катушку индуктивности в поперечном плече, первые выводы катушек индуктивности каждого из  $N$  выходных Г-образных звеньев соединены между собой и с вторым выводом соответствующей средней катушки индуктивности, а также первый конденсатор переменной емкости, соединенный с первым неподвижным

контактом каждого из  $N$  первых трехконтактных переключателей, вторые неподвижные контакты которых соединены с общей шиной, и второй конденсатор переменной емкости, соединенный с первым неподвижным контактом каждого из  $N$  вторых

5 с общей шиной, при этом вход каждого входного Г-образного звена подключен к входному разъему фильтра гармоник через соответствующий входной переключатель, а выход каждого выходного Г-образного звена подключен к выходному разъему

10 фильтра гармоник через соответствующий выходной переключатель, причем первый и второй конденсаторы переменной емкости выполнены каждый в виде набора конденсаторов, переключаемых при помощи устройства управления, отличающийся

15 тем, что в каждое из  $N$  входных Г-образных звеньев введен первый дополнительный конденсатор постоянной емкости, включенный между вторым выводом катушки индуктивности поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности поперечного плеча и первого дополнительного конденсатора постоянной

20 емкости подключена к подвижному контакту соответствующего первого трехконтактного переключателя, а в каждое из  $N$  выходных Г-образных звеньев введен второй дополнительный конденсатор постоянной емкости, включенный между вторым

выводом катушки индуктивности поперечного плеча и общей шиной, при этом точка соединения катушки индуктивности поперечного плеча и второго дополнительного

конденсатора постоянной емкости подключена к подвижному контакту соответствующего второго трехконтактного переключателя.

25

30

35

40

45

