



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H03F 1/32 (2018.08); H03F 3/20 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018134767, 03.10.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.10.2018

Дата регистрации:
28.06.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 03.10.2018

(45) Опубликовано: 28.06.2019 Бюл. № 19

Адрес для переписки:
111250, Москва, ул. Авиамоторная, 53,
Акционерное общество "Российская
корпорация ракетно-космического
приборостроения и информационных систем"
(АО "Российские космические системы"),
начальнику патентно-лицензионной службы

(72) Автор(ы):
Петушков Сергей Владимирович (RU),
Вильдерман Егор Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Акционерное общество "Российская
корпорация ракетно-космического
приборостроения и информационных систем"
(АО "Российские космические системы") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2099855 C1, 20.12.1997. RU
2153761 C1, 27.07.2000. SU 1406720 A1,
30.06.1988. WO 98/01945 A1, 15.01.1998.

(54) Аналоговый предсказывающий линеаризатор для усилителя мощности

(57) Реферат:

Изобретение относится к области линеаризующих устройств и может быть использовано в составе усилителей мощности бортовой и наземной аппаратуры. Технический результат заключается в повышении линейности усилителя мощности, улучшающем качество передачи информации в рабочей полосе частот и выполнении жестких требований электромагнитной совместимости (ЭМС) за её пределами. Входной высокочастотный сигнал поступает на вход сумматора-разветвителя 1 первый выход которого соединен со входом аттенюатора 3, выход аттенюатора 3 соединен со входом фазовращателя 4, выход которого соединен с первым входом сумматора-

разветвителя 2. Второй выход сумматора-разветвителя 1 соединен с первым портом 8.1 гибридного кольца 8, второй порт 8.2 гибридного кольца 8 соединен со входом фильтра нижних частот 5, третий порт 8.3 гибридного кольца 8 соединен со входом нелинейного блока 7, четвертый порт 8.4 гибридного кольца 8 соединен со вторым входом сумматора-разветвителя 2, при этом выход сумматора-разветвителя 2 соединен со входом линейного усилителя 6. Высокочастотный сигнал с выхода линейного усилителя 6 поступает на вход усилителя мощности, компенсируя нелинейные искажения усилителя мощности. 1 ил.

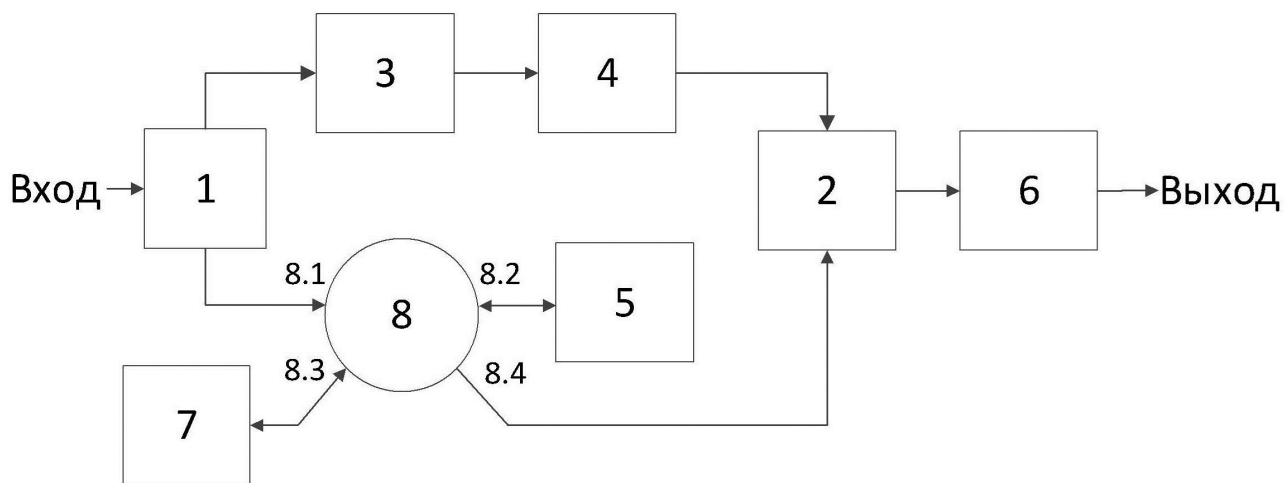


Рис.1

RU 2692966 C1

RU 2692966 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H03F 1/32 (2018.08); H03F 3/20 (2018.08)

(21)(22) Application: **2018134767, 03.10.2018**

(24) Effective date for property rights:
03.10.2018

Registration date:
28.06.2019

Priority:

(22) Date of filing: **03.10.2018**

(45) Date of publication: **28.06.2019** Bull. № 19

Mail address:

**111250, Moskva, ul. Aviamotornaya, 53,
Aksionernoe obshchestvo "Rossijskaya
korporatsiya raketno-kosmicheskogo
priborostroeniya i informatsionnykh sistem" (AO
"Rossijskie kosmicheskie sistemy"), nachalniku
patentno-litsenzionnoj sluzhby**

(72) Inventor(s):

**Petushkov Sergej Vladimirovich (RU),
Vilderman Egor Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Joint Stock Company "Russian Space Systems"
(JSC "RSS") (RU)**

(54) **ANALOGUE PRE-DISTORTION LINEARIZER FOR POWER AMPLIFIER**

(57) Abstract:

FIELD: instrument engineering.

SUBSTANCE: invention relates to linearization devices and can be used in power amplifiers of onboard and ground equipment. Input high-frequency signal is supplied to input of adder-splitter 1 the first output of which is connected to input of attenuator 3, output of attenuator 3 is connected to input of phase shifter 4, output of which is connected to first input of adder-splitter 2. Second output of adder-splitter 1 is connected to first port 8.1 of hybrid ring 8, second port 8.2 of hybrid ring 8 is connected to input of low-pass filter 5, third port 8.3 of hybrid ring 8 is connected to input of non-linear unit 7, fourth port 8.4 of hybrid ring 8 is

connected to second input of adder-splitter 2, wherein output of adder-splitter 2 is connected to input of linear amplifier 6. High-frequency signal from the output of linear amplifier 6 is transmitted to the input of the power amplifier, compensating for non-linear distortions of the power amplifier.

EFFECT: high linearity of the power amplifier, which improves the quality of transmitting information in the operating frequency band and compliance with stringent electromagnetic compatibility (EMC) requirements beyond its limits.

1 cl, 1 dwg

RU 2 692 966 C1

RU 2 692 966 C1

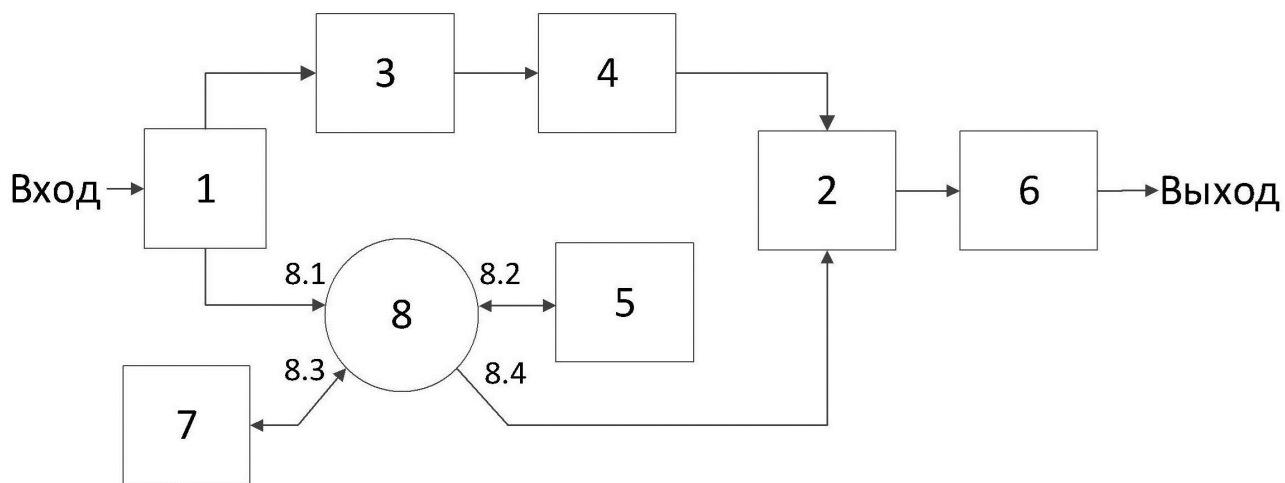


Рис.1

RU 2692966 C1

RU 2692966 C1

Изобретение относится к области линеаризующих устройств и может быть использовано в составе усилителей мощности бортовой и наземной аппаратуры.

При усилении радиочастотного сигнала в усилителе мощности (УМ) на его выходе возникают нелинейные искажения, вызванные амплитудной (АМ/АМ) компрессией и амплитудно-фазовой (АМ/ФМ) конверсией нелинейного элемента. Данные искажения ухудшают качество передаваемой информации в рабочей полосе частот и нарушают требования электромагнитной совместимости за её пределами. Для коррекции нелинейных искажений, возникающих в УМ, в настоящее время используют различные системы линеаризации, наиболее эффективными из которых являются системы предискажающей линеаризации.

Из уровня техники известен линеаризатор, применяемый для повышения линейности характеристик радиочастотного усилителя мощности (патент на изобретение US 5999047). Схема линеаризатора построена по мостовой схеме с делением на две ветви: линейную, состоящую из фазовращателя и фиксированной задержки, и нелинейную, включающая себя генератор искажений и аттенюатор. Выход схемы линеаризатора соединен с усилителем и аттенюатором. Схема управления принимает команды управления включения, отключения и формирует двухуровневый сигнал телеметрии, состояние которого показывает режим работы. Схема управления регулирует параметры линеаризатора и устанавливает коэффициент усиления выходного усилителя и затухание выходного аттенюатора. Весь линеаризатор может быть реализован на подложке, например, из поликора. Линеаризатор может использоваться с твердотельными усилителями мощности и усилителями на лампах бегущей волны, которые работают в диапазонах частот S, C, X, Ku, Ka, Q, V, W или в любой другой желаемой полосе частот.

Недостатком известного линеаризатора является более высокий уровень интермодуляционных искажений третьего, пятого и более высоких порядков относительно предлагаемого технического решения.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является линейный усилитель мощности, который состоит из последовательно соединенных входного двигателя, фазовращателя, фазорасщепителя, первого усилителя, выходного сумматора, второго усилителя, идентичного первому и включенного между вторым выходом фазорасщепителя и вторым входом выходного сумматора, между вторым выходом входного делителя и вторым входом фазорасщепителя включенного ограничителя (патент на изобретение РФ №2099855).

Однако, данное техническое решение предполагает использование двух идентичных усилителей мощности, что не приемлемо с точки зрения экономических и массо-габаритных показателей и требует высокой точности идентичности параметров.

Задачей заявляемого технического решения является уменьшение величины продуктов интермодуляционных искажений третьего, пятого и более высоких порядков, возникающих в усилителе мощности.

Техническим результатом, на достижение которого направлено предлагаемое техническое решение, является повышение линейности усилителя мощности, улучшающее качество передачи информации в рабочей полосе частот и выполнение жестких требований электромагнитной совместимости (ЭМС) за её пределами.

Структурная схема предлагаемого аналогового предискажающего линеаризатора представлена на рисунке 1, в состав которого входят:

- сумматор-разветвитель 1 и 2;
- управляемый аттенюатор 3;

- управляемый фазовращатель 4;
- фильтр нижних частот 5;
- линейный усилитель 6;
- нелинейный блок 7;
- гибридное кольцо 8.

5

Входной высокочастотный сигнал поступает на вход сумматора-разветвителя 1 первый выход которого соединен со входом управляемого аттенюатора 3, выход аттенюатора 3 соединен со входом фазовращателя 4, выход которого соединен с первым входом сумматора-разветвителя 2. Второй выход сумматора-разветвителя 1 соединен с первым портом 8.1 гибридного кольца 8, второй порт 8.2 гибридного кольца 8 соединен со входом фильтра нижних частот 5, третий порт 8.3 гибридного кольца 8 соединен со входом нелинейного блока 7, четвертый порт 8.4 гибридного кольца 8 соединен со вторым входом сумматора-разветвителя 2, при этом выход сумматора-разветвителя 2 соединен со входом линейного

15

усилителя 6. Высокочастотный сигнал с выхода линейного усилителя 6 поступает на вход усилителя мощности, компенсируя нелинейные искажения усилителя мощности.

Сущность изобретения поясняется следующим.

Входной высокочастотный сигнал $u(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$ поступающий на вход устройства разделяется в сумматоре-разветвителе на два сигнала равной мощности $u_1(t) = U(t)/2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$ и

20

$u_2(t) = U(t)/2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$, где $\omega_0 = 2\pi f_0$, а f_0 – частота несущего колебания, $\varphi(t)$ – начальная фаза, $U(t)$ – амплитуда сигнала. Сигнал $u_1(t)$ проходит через линейную ветвь устройства предискажения, состоящую из управляемых аттенюатора 3 и фазовращателя 4, таким образом на первый вход сумматора разветвителя поступает сигнал $u_{Л1}(t) = U_{Л1}(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{Л1}(t))$, где $U_{Л1}(t) = k_{АТТ} \cdot U(t)/2$ – амплитуда на выходе линейной ветви, $\varphi_{Л1}(t) = \varphi(t) + \varphi_{ФВ}(t)$ – фаза на выходе линейной ветви, учитывающая задержку в нелинейной ветви, $\varphi_{ФВ}(t)$ – фазовый набег фазовращателя. Сигнал $u_2(t)$ проходит через нелинейную

25

ветвь устройства предискажения, состоящую из гибридного кольца 8, к порту 8.2 которого подключен фильтр нижних частот 5, а к порту 8.3 нелинейный блок 7, представляющий собой антипараллельное включение двух диодов Шоттки. При прохождении нелинейной ветви сигнал $u_2(t)$ искажается, за счет нелинейности диодов, и поступает на второй вход сумматора-разветвителя в виде $u_{НЛ}(t) = u_{ФНЧ}(t) + u_{НБ}(t)$,

30

где $u_{ФНЧ}(t) = U_{ФНЧ}(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$ – сигнал отраженный от порта 8.2 гибридного кольца 8, где $U_{ФНЧ}(t) = k_{ФНЧ} \cdot U(t)/4$ – амплитуда отраженного сигнала от фильтра нижних частот 5, $k_{ФНЧ}$ – модуль коэффициента передачи фильтра нижних частот 5, а $u_{НБ}(t) = U_{НБ}(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{НБ}(t))$ – сигнал отраженный от порта 8.3 гибридного кольца 8, где $U_{НБ}(t) =$

35

$k_{НБ}(U) \cdot U(t)/4$ – амплитуда сигнала отраженного от нелинейного блока 7, $k_{НБ}(U)$ – модуль коэффициента передачи нелинейного блока 7, $\varphi_{НБ}(t)$ – фазовый набег нелинейного блока 7.

40

При сложении в сумматоре-разветвителе сигналов $u_{Л1}(t)$ и $u_{НЛ}(t)$ на выходе мы получим предискаженный сигнал $u_{ЛИН}(t) = U_{ЛИН}(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{ЛИН}(t))$, где $U_{ЛИН}(t)$ – амплитуда на выходе аналогового предискажающего линеаризатора, $\varphi_{ЛИН}(t)$ – суммарный фазовый набег аналогового предискажающего линеаризатора, нелинейные искажения которого противофазны искажениям, возникающим в усилителе мощности,

45

при сложении в сумматоре-разветвителе сигналов $u_{Л1}(t)$ и $u_{НЛ}(t)$ на выходе мы получим предискаженный сигнал $u_{ЛИН}(t) = U_{ЛИН}(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{ЛИН}(t))$, где $U_{ЛИН}(t)$ – амплитуда на выходе аналогового предискажающего линеаризатора, $\varphi_{ЛИН}(t)$ – суммарный фазовый набег аналогового предискажающего линеаризатора, нелинейные искажения которого противофазны искажениям, возникающим в усилителе мощности,

а фазовый набег противоположен по знаку. Следовательно, на выходе УМ снизится суммарный уровень нелинейных искажений.

Функционирование предлагаемого аналогового предскажущего линейризатора поясняется ниже на примере формирования и усиления мощности двухчастотного сигнала.

Например, на вход предлагаемого аналогового предскажущего линейризатора поступает сигнал вида:

$$u(t) = U_0(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \quad (1)$$

где $\omega_{1,2} = 2\pi f_{1,2}$, а $f_{1,2}$ – частота первого и второго тона сигнала,
 U_0 – амплитуда сигнала.

Далее сигнал разделяется в сумматоре-разветвителе на два сигнала равной мощности:

$$u(t) = u_{CP1}(t) + u_{CP2}(t) \quad (2)$$

Сигнал $u_{CP1}(t)$ прошедший через линейную ветвь ослабляется в управляемом аттенуаторе 3 и добавляется фазовый набег, учитывающий задержку в нелинейной ветви для правильного сложения сигналов в сумматоре-разветвителе 2. Таким образом, на выходе линейной ветви получается сигнал, описываемый выражением:

$$u_{Л}(t) = \frac{U_0 k_{АТТ}}{2} (\cos(\omega_1 t + \varphi_{ФВ}) + \cos(\omega_2 t + \varphi_{ФВ})) \quad (3)$$

где $k_{АТТ}$ – коэффициент ослабления аттенуатора, $\varphi_{ФВ}$ – фазовый набег фазовращателя.

Для простоты нелинейный блок 7, подключенный к порту 8.3 гибридного кольца 8, можно аппроксимировать выражением:

$$U_{НБ}(U_{вх}) = b_1 U_{вх} + b_3 U_{вх}^3 + b_5 U_{вх}^5 \quad (4)$$

где $b_1, b_3, b_5 > 0$ – коэффициенты аппроксимации нелинейной характеристики диодов Шоттки.

В гибридном кольце 8 сигнал $u_{CP2}(t)$, поступающий на порт 8.1, разделяется на два сигнала равной мощности, одна часть которого практически полностью гасится в фильтре нижних частот 5, подключенного к порту 8.2, а другая часть отражается от нелинейного блока 7, подключенного к порту 8.3, и на выходе порта 8.4 происходит сложение отраженных сигналов, результат которого описывается выражением:

$$\begin{aligned}
 u_1(t) = & \left(\frac{U_0}{4} \right) \left(\frac{1}{4} + k_{\Phi НЧ} \right) (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + \\
 & \frac{3}{4} \left(\frac{U_0}{4} \right)^3 b_3 (\cos [(2\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(2\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) + \\
 & \frac{5}{4} \left(\frac{U_0}{4} \right)^5 b_5 (\cos [(2\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(2\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) + \\
 & \frac{5}{8} \left(\frac{U_0}{4} \right)^5 b_5 (\cos [(3\omega_1 - 2\omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(3\omega_2 - 2\omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) + \dots
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где $k_{\Phi НЧ}$ – модуль коэффициента передачи фильтра нижних частот 5, $\varphi_{НБ}(U)$ – фазовый набег нелинейного блока 7.

В выражении (5) опущены составляющие третьей и пятой гармоники, так как они не попадают в рабочую полосу УМ, поэтому ими можно пренебречь.

После сложения сигналов линейной и нелинейно ветви в сумматоре-разветвителе 2 сигнал усиливается линейным усилителем 6. Таким образом, сигнал на выходе аналогового предсказывающего линеаризатора описывается выражением:

$$\begin{aligned}
 u_{\text{АЛЛ}}(t) = & k_{\text{ЛУ}} \left[\left(\frac{U_0}{4} \right) \left(\frac{1}{4} + k_{\Phi НЧ} + 2k_{\text{АТТ}} \right) (\cos(\omega_1 t + \varphi_{\Phi Б}) + \cos(\omega_2 t + \varphi_{\Phi Б})) + \right. \\
 & \frac{3}{4} \left(\frac{U_0}{4} \right)^3 b_3 (\cos [(2\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(2\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) + \\
 & \frac{5}{4} \left(\frac{U_0}{4} \right)^5 b_5 (\cos [(2\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(2\omega_2 - \omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) + \\
 & \left. \frac{5}{8} \left(\frac{U_0}{4} \right)^5 b_5 (\cos [(3\omega_1 - 2\omega_2)t + \varphi_{НБ}(U)] + \cos [(3\omega_2 - 2\omega_1)t + \varphi_{НБ}(U)]) \right] + \dots
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где $k_{\text{УМ}}$ – коэффициент усиления линейного усилителя 6.

Если аппроксимировать передаточную характеристику активного элемента усилителя мощности полиномом вида:

$$U_{\text{УМ}}(U_{\text{вх}}) = a_1 U_{\text{вх}} + a_3 U_{\text{вх}}^3 + a_5 U_{\text{вх}}^5
 \tag{7}$$

где $a_1 > 0$, $a_3, a_5 < 0$ – коэффициенты аппроксимации АМ-АМ компрессии усилителя мощности, и пропустить через него сигнал описываемый выражением (6), то в спектре сигнала на выходе усилителя мощности в полосе усиления возникают

интермодуляционные составляющие третьего и пятого порядка на частотах $(2\omega_1 - \omega_2)$,

$(2\omega_2 - \omega_1)$, $(3\omega_1 - 2\omega_2)$, $(3\omega_2 - 2\omega_1)$, которые компенсируются составляющими на

тех же частотах, представленных в выражении (6), прошедшими через линейную часть характеристики (7), за счет синфазного сложения в противофазе. Компенсация АМ/ФМ конверсии усилителя мощности происходит за счет того, что фазовая характеристика

нелинейного блока 7 противоположна по знаку и при сложении двух этих фазовых набегов результирующий фазовый набег сигнала на выходе усилителя мощности

$\varphi_{\text{вых}}(U) = \varphi_{\text{УМ}}(U_{\text{вх}}) + \varphi_{\text{НБ}}(U_{\text{вх}})$ будет стремиться к нулю.

Таким образом, подбором параметров аналогового предискажающего линеаризатора (ФФВ, КАТТ, КЛУ, R_ф, C_ф, E_{СМ}) достигается уменьшение уровня продуктов интермодуляционных искажений третьего, пятого порядка и более высоких порядков, возникающих на выходе усилителя мощности.

При формировании и усилении полосового сигнала процессы взаимодействия будут идентичны описанным выше.

Оптимальные значения параметров сопротивления и емкости фильтра нижних частот 5, напряжения смещения диодов, коэффициента затухания управляемого аттенюатора 3, фазового набег фазовращателя 4, и коэффициента усиления линейного усилителя 6 подбираются при регулировании аналогового предискажающего линеаризатора под конкретный усилитель мощности с известными нелинейными характеристиками.

Результаты модельных и экспериментальных исследований аналогового предискажающего линеаризатора показали, что при произвольном полосовом передаваемом высокочастотном сигнале по предлагаемой схеме удаётся значительно снизить уровень интермодуляционных искажений третьего, пятого и более высокого порядка в усилителе мощности, что подтверждает возможность достижения технического результата.

Таким образом, введение аналогового предискажающего линеаризатора по предлагаемой схеме в состав усилителя мощности обеспечивает достижение технического результата – повышение линейности усилителя мощности, улучшающее качество передачи информации в рабочей полосе частот и выполнение жестких требований ЭМС за пределами рабочей полосы частот.

(57) Формула изобретения

Аналоговый предискажающий линеаризатор, включающий в себя два сумматора-разветвителя, управляемый аттенюатор, управляемый фазовращатель, гибридное кольцо, фильтр нижних частот, линейный усилитель, нелинейный блок, высокочастотный вход и выход,

при этом высокочастотный вход соединен с входом первого сумматора-разветвителя, первый выход первого сумматора-разветвителя соединен с входом аттенюатора, выход аттенюатора соединен с входом фазовращателя, образуя выходной сигнал, поступающий на первый вход второго сумматора разветвителя,

кроме того, второй выход первого сумматора-разветвителя соединен с первым портом гибридного кольца,

сигнал с первого порта поступает на второй и третий порт гибридного кольца, отраженные сигналы от второго и третьего порта поступают на четвертый порт гибридного кольца,

выходной сигнал с четвертого порта гибридного кольца поступает на второй вход второго сумматора-разветвителя,

при этом выходной сигнал второго сумматора-разветвителя поступает на вход линейного усилителя, выход которого соединен с высокочастотным выходом аналогового предискажающего линеаризатора.

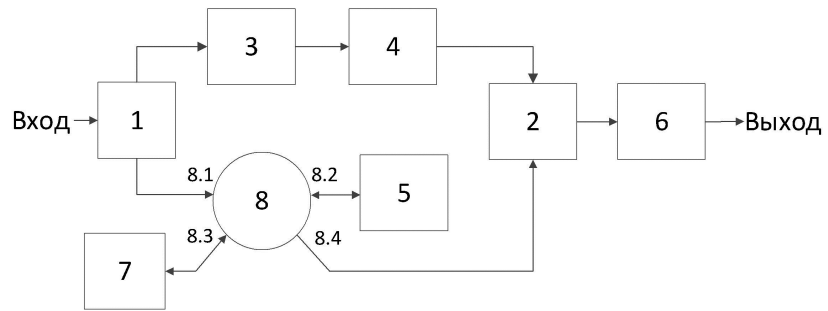


Рис.1