

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **16923**

(13) **С1**

(46) **2013.04.30**

(51) МПК

G 01R 23/16 (2006.01)

(54) **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФЛУКТУАЦИЙ СИГНАЛА АКТИВНОГО
УСТРОЙСТВА МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**

(21) Номер заявки: а 20080456

(22) 2008.04.10

(43) 2009.12.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

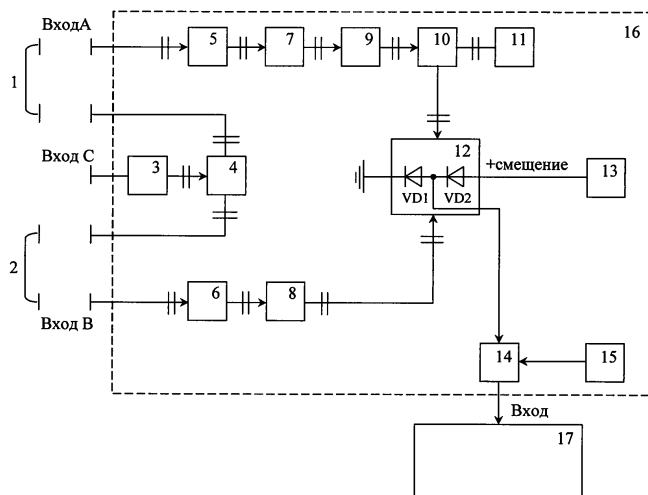
(72) Авторы: Дзисяк Андрей Богданович; Гусинский Александр Владимирович; Кострикин Анатолий Михайлович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) ОНТОМО М. // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. - 1972. - Vol. MTT-20. - No. 7. - P. 425-437. ВУ 6193 С1, 2004. RU 2300776 С2, 2007. SU 1277009 А1, 1986. SU 834580, 1981. SU 628446, 1978. US 4714873 А, 1987.

(57)

Измеритель флуктуаций сигнала активного устройства миллиметрового диапазона длин волн, характеризующийся тем, что содержит блок обработки измерительной информации и измерительный СВЧ-тракт, содержащий первый вентиль, выход которого соединен со входом волноводного тройника, второй вентиль, выход которого через первый регулируемый аттенюатор и регулируемый фазовращатель соединен со входом циркулятора, первый выход которого соединен со входом резонатора отражательного типа, а второй выход - с сигнальным входом балансного смесителя; третий вентиль, выход которого через второй регулируемый аттенюатор соединен с гетеродинным входом балансного смесителя; первый



Фиг. 1

ВУ 16923 С1 2013.04.30

регулируемый источник тока смещения, соединенный со входом детекторной секции балансного смесителя, причем входной фланец первого вентиля является третьим входом измерительного СВЧ-тракта; первый выход волноводного тройника соединен со вторым фланцем первого входа измерительного СВЧ-тракта, а второй выход - с первым фланцем второго входа измерительного СВЧ-тракта; первый фланец первого входа измерительного СВЧ-тракта соединен со входом второго вентиля, а второй фланец второго входа - со входом третьего вентиля; выход сигнала промежуточной частоты балансного смесителя через цепь развязки соединен со входом блока обработки измерительной информации; второй регулируемый источник тока смещения подключен ко второму входу цепи развязки, причем в режиме измерения частотных флуктуаций между фланцами первого и второго входов измерительного СВЧ-тракта установлены первый и второй волноводные переходы соответственно; в режиме измерения вносимых фазовых флуктуаций между фланцами второго входа измерительного СВЧ-тракта установлен второй волноводный переход.

Изобретение относится к технике измерений на сверхвысоких частотах и может быть использовано при измерении амплитудных, частотных, вносимых фазовых флуктуаций сигнала активных устройств миллиметрового диапазона длин волн - генераторов, усилителей и т.п.

Известен измеритель амплитудных флуктуаций сигнала активного СВЧ-устройства [1], содержащий регулирующий аттенуатор, амплитудный СВЧ-детектор, блок обработки измерительной информации, включающий в себя вольтметр постоянного тока и анализатор спектра.

Однако данный измеритель не обеспечивает возможности измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала, а именно частотных и вносимых фазовых флуктуаций.

Известен измеритель вносимых фазовых флуктуаций сигнала активного СВЧ-устройства [2], включающий в себя три вентиля, волноводный тройник, два регулируемых аттенуатора, фазовый детектор, в качестве которого на СВЧ используется балансный смеситель, блок обработки измерительной информации, состоящий из калибратора постоянной составляющей сигнала и анализатора спектра.

Однако данный измеритель не обеспечивает возможности измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала, а именно амплитудных и частотных флуктуаций.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому измерителю является выбранный в качестве прототипа измеритель частотных флуктуаций сигнала активного СВЧ-устройства [3], который содержит первый вентиль, вход которого является входом измерителя, а выход соединен со входом волноводного тройника, первый выход которого через второй вентиль, первый регулируемый аттенуатор, регулируемый фазовращатель подключен ко входу циркулятора, первый выход которого соединен со входом резонатора отражательного типа, а второй выход - с сигнальным входом балансного смесителя; второй вход волноводного тройника через третий вентиль, второй регулируемый аттенуатор соединен с гетеродинным входом балансного смесителя; регулируемый источник тока смещения соединен с детекторной секцией балансного смесителя, а выход сигнала промежуточной частоты балансного смесителя соединен со входом блока обработки измерительной информации, включающего в себя в качестве основного элемента анализатор спектра.

Недостатком прототипа является невозможность измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала, а именно амплитудных и вносимых фазовых флуктуаций.

Задача изобретения - обеспечение возможности измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала - амплитудных, частотных, вносимых фазовых флуктуаций.

Задача достигается тем, что измеритель флуктуаций сигнала активного устройства миллиметрового диапазона длин волн, характеризующийся тем, что содержит блок обработки измерительной информации и измерительный СВЧ-тракт, содержащий первый вентиль, выход которого соединен со входом волноводного тройника; второй вентиль, выход которого через первый регулируемый аттенюатор и регулируемый фазовращатель соединен со входом циркулятора, первый выход которого соединен со входом резонатора отражательного типа, а второй выход - с сигнальным входом балансного смесителя; третий вентиль, выход которого через второй регулируемый аттенюатор соединен с гетеродинным входом балансного смесителя; первый регулируемый источник тока смещения, соединенный со входом детекторной секции балансного смесителя, причем входной фланец первого вентиля является третьим входом измерительного СВЧ-тракта; первый выход волноводного тройника соединен со вторым фланцем первого входа измерительного СВЧ-тракта, а второй выход - с первым фланцем второго входа измерительного СВЧ-тракта; первый фланец первого входа измерительного СВЧ-тракта соединен со входом второго вентиля, а второй фланец второго входа - со входом третьего вентиля; выход сигнала промежуточной частоты балансного смесителя через цепь развязки соединен со входом блока обработки измерительной информации; второй регулируемый источник тока смещения подключен ко второму входу цепи развязки, причем в режиме измерения частотных флуктуаций между фланцами первого и второго входов измерительного СВЧ-тракта установлены первый и второй волноводные переходы соответственно; в режиме измерения вносимых фазовых флуктуаций между фланцами второго входа измерительного СВЧ-тракта установлен второй волноводный переход.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемый измеритель отличается новым структурным построением и наличием новых функциональных узлов - двух волноводных переходов, цепи развязки, второго регулируемого источника тока смещения, а также дополнительными функциональными связями этих узлов с остальными функциональными частями измерителя.

Сравнение заявляемого решения с другими техническими решениями показывает, что в существующих измерителях не обеспечивается возможность измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала. В заявляемом измерителе, во-первых, благодаря введенным цепи развязки, второму регулируемому источнику тока смещения удастся расширить функциональные возможности балансного смесителя - он может работать как однодиодный амплитудный детектор в режиме измерения амплитудных флуктуаций и как фазовый детектор в режиме измерения частотных и вносимых фазовых флуктуаций; во-вторых, благодаря введению нескольких входов измерительного СВЧ-тракта и двух волноводных переходов, которые конструктивно вынесены за пределы корпуса измерителя, удастся изменять конфигурацию измерительного СВЧ-тракта при различных режимах измерения. Все это позволяет обеспечить возможность измерения на базе единого измерительного СВЧ-тракта всего комплекса параметров флуктуаций сигнала - амплитудных, частотных вносимых фазовых флуктуаций.

Работа измерителя флуктуаций сигнала активного устройства миллиметрового диапазона длин волн поясняется фигурами 1-5.

Фиг. 1 - структурная схема измерителя: 1 - первый волноводный переход; 2 - второй волноводный переход; 3 - первый вентиль; 4 - волноводный тройник; 5 - второй вентиль; 6 - третий вентиль; 7 - первый регулируемый аттенюатор; 8 - второй регулируемый аттенюатор; 9 - регулируемый фазовращатель; 10 - циркулятор; 11 - резонатор отражательного типа; 12 - балансный смеситель; 13 - первый регулируемый источник тока смещения; 14 -

ВУ 16923 С1 2013.04.30

цепь развязки; 15 - второй регулируемый источник тока смещения; 16 - измерительный СВЧ-тракт; 17 - блок обработки измерительной информации.

Фиг. 2 - структурная схема блока обработки измерительной информации: 18 - фильтр высоких частот; 19 - первый малошумящий усилитель; 20 - второй малошумящий усилитель; 21 - фильтр нижних частот; 22 - второй усилитель с переключаемым коэффициентом усиления; 23 - первый усилитель с переключаемым коэффициентом усиления; 24 - каскад сдвига уровня; 25 - первый повторитель; 26 - второй повторитель; 27 - двухпозиционный управляемый переключатель; 28 - блок аналоговой обработки измерительной информации; 29 - третий усилитель с переключаемым коэффициентом усиления; 30 - блок аналого-цифрового преобразования с переключаемой частотой дискретизации; 31 - блок цифровой обработки измерительной информации; 32 - контроллер ISA-шины; 33 - персональный контроллер с ISA-шиной.

Фиг. 3, 4, 5 - структурные схемы, собираемые при измерении и калибровке в режимах измерения амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций соответственно: 34 - малошумящий СВЧ-генератор; 35 - исследуемое активное двухполюсное СВЧ-устройство (например, СВЧ-генератор); 36 - формирователь СВЧ-сигналов с известными индексами модуляции; 37 - измеритель флуктуаций сигналов активных устройств СВЧ-диапазона длин волн; 38 - исследуемое активное четырехполюсное СВЧ-устройство (например, СВЧ-усилитель).

Измеритель флуктуаций сигнала активного устройства миллиметрового диапазона длин волн (фиг. 1) содержит первый вентиль 3, входной фланец которого является фланцем входа С измерительного СВЧ-тракта 16, а выход соединен со входом волноводного тройника 4, первый выход которого соединен со вторым фланцем входа А измерительного СВЧ-тракта 16, а второй выход - с первым фланцем входа В измерительного СВЧ-тракта 16; первый фланец входа А измерительного СВЧ-тракта 16 через второй вентиль 5, первый регулируемый аттенюатор 7, регулируемый фазовращатель 9 подключен ко входу циркулятора 10, первый выход которого соединен со входом резонатора отражательного типа 11, а второй выход - с сигнальным входом балансного смесителя 12; второй фланец входа В через третий вентиль 6, второй регулируемый аттенюатор 8 подключен к гетеродинному входу балансного смесителя 12; первый регулируемый источник тока смещения 13 соединен с детекторной секцией VD2, VD1 балансного смесителя 12, а выход сигнала промежуточной частоты балансного смесителя 12 через цепь развязки 14 соединен со входом блока обработки измерительной информации 17; второй регулируемый источник тока смещения 15 подключен ко второму входу цепи развязки 14; в режиме измерения частотных флуктуаций между фланцами входов А и В устанавливаются первый и второй волноводные переходы 1 и 2; в режиме измерения вносимых фазовых флуктуаций между фланцами входа В устанавливается второй волноводный переход 2.

Блок обработки измерительной информации 17 содержит блок аналоговой обработки измерительной информации 28, блок цифровой обработки измерительной информации 31, контроллер ISA-шины 32, персональный компьютер с ISA-шиной 33; при этом вход блока обработки измерительной информации 17 через первый малошумящий усилитель 19, фильтр нижних частот 21, первый усилитель с переключаемым коэффициентом усиления 23, первый повторитель 25 соединен с первым входом двухпозиционного управляемого переключателя 27, а через фильтр высоких частот 18, второй малошумящий усилитель 20, второй усилитель с переключаемым коэффициентом усиления 22, каскад сдвига уровня 24, второй повторитель 26 - со вторым входом двухпозиционного управляемого переключателя 27; выход последнего через третий усилитель с переключаемым коэффициентом усиления 29, блок аналого-цифрового преобразования с переключаемой частотой дискретизации 30, контроллер ISA-шины 32 подключен к персональному компьютеру с ISA-шиной 33; управляющие сигналы с контроллера ISA-шины 32 подаются на управляющие входы первого 23, второго 22 и третьего 29 усилителей с переключаемыми коэффициен-

тами усиления, двухпозиционного управляемого переключателя 27, блока аналого-цифрового преобразования с переключаемой частотой дискретизации 30.

Измеритель работает следующим образом.

В измерительном СВЧ-тракте 16, благодаря изменению его конфигурации с помощью первого и второго волноводных переходов 1, 2, которые конструктивно вынесены за пределы корпуса измерителя, а также варьирования уровня смещения на входе " + смещение" и выходе балансного смесителя 12, реализуется три режима измерения параметров флуктуаций сигналов: амплитудных флуктуаций (фиг. 3), частотных флуктуаций (фиг. 4), вносимых фазовых флуктуаций (фиг. 5). В режиме измерения амплитудных флуктуаций устанавливается на входе " + смещение" балансного смесителя 12 с помощью первого регулируемого источника тока смещения 13 небольшое отрицательное смещение, а на выходе балансного смесителя 12 с помощью второго регулируемого источника тока смещения 15 при использовании цепи развязки 14 - положительное смещение (напряжение смещения - от + 0,5 до + 0,8 В, ток смещения - от 0,8 до 1,2 мА). Этим обеспечиваются запирающие диод VD1 и напряжение смещения на диоде VD2, и, следовательно, балансный смеситель 12 становится однодиодным амплитудным детектором. В режимах измерения частотных и вносимых фазовых флуктуаций устанавливаются на входе " + смещение" положительное смещение (напряжение смещения - от + 0,5 до + 0,8 В, ток смещения - от 0,8 до 1,2 мА), чем обеспечивается основной режим работы балансного смесителя 12 как фазового детектора.

В режиме измерения амплитудных флуктуаций конфигурация измерительного СВЧ-тракта 16 (фиг. 3), включающая в себя третий вентиль 6, второй регулируемый аттенюатор 8, балансный модулятор 12, работающий как однодиодный амплитудный детектор, позволяет реализовать метод непосредственного детектирования. Уровни постоянной и переменной составляющих сигнала, поступающего на вход блока обработки измерительной информации 17, содержат информацию об амплитудных флуктуациях.

В режиме измерения частотных флуктуаций конфигурация измерительного СВЧ-тракта 16 (фиг. 4), включающая в себя первый вентиль 3, волноводный тройник 4, измерительный (второй вентиль 5, первый регулируемый аттенюатор 7, регулируемый фазовращатель 9, циркулятор 10, резонатор отражательного типа 11) и опорный (третий вентиль 6, второй регулируемый аттенюатор 8) каналы, балансный смеситель 12, работающий как фазовый детектор, позволяет реализовать метод преобразования частотных флуктуаций в фазовые с подавлением несущей в измерительном канале. Преобразование осуществляется фильтром подавления несущей, построенным на широкополосном циркуляторе 10 и перестраиваемом высокочастотном резонаторе отражательного типа 11. Регулируемые аттенюаторы 7, 8 и фазовращатель 9 служат для балансировки фазового детектора. Уровень переменной составляющей сигнала, поступающей на вход блока обработки измерительной информации 17, содержит информацию о частотных флуктуациях.

В режиме измерения вносимых фазовых флуктуаций конфигурация измерительного СВЧ-тракта 16 (фиг. 5), включающая в себя первый вентиль 3, волноводный тройник 4, измерительный (второй вентиль 5, первый регулируемый аттенюатор 7, регулируемый фазовращатель 9, циркулятор 10, причем резонатор отражательного типа 11 отстроен от частоты исследуемого СВЧ-сигнала так, чтобы не влиять на распространение СВЧ-сигнала в канале) и опорный (третий вентиль 6, второй регулируемый аттенюатор 8) каналы, балансный смеситель 12, работающий как фазовый детектор, позволяет реализовать метод фазового детектирования. Уровень переменной составляющей сигнала, поступающей на вход блока обработки измерительной информации 17, содержит информацию о вносимых фазовых флуктуациях.

Блок обработки измерительной информации 17 состоит из блока аналоговой обработки измерительной информации 28, блока цифровой обработки измерительной информации 31, контроллера ISA-шины и персонального компьютера с ISA-шиной.

В блоке аналоговой обработки измерительной информации 28 постоянная и переменная составляющие сигнала усиливаются по разным каналам. Разделение постоянной и переменной составляющих сигнала осуществляется следующим образом: выделение постоянной составляющей происходит с помощью фильтра нижних частот 21, дополнительной цифровой фильтрации сигнала и усреднения результата по большому количеству выборок в персональном компьютере 33; канал переменной составляющей обеспечивает частотную селекцию с помощью фильтра высоких частот 18. Усиление в каналах осуществляется с помощью малошумящих усилителей 19, 20 и усилителей с переключаемыми коэффициентами усиления 23, 24. Кроме того, предусмотрен сдвиг уровня сигналов в однополярную область. Двухпозиционный управляемый переключатель 27 осуществляет переключение каналов постоянной и переменной составляющих сигнала. Для исключения взаимного влияния каналов друг на друга используются повторители 25, 26 на выходах двух каналов.

В блоке цифровой обработки измерительной информации 31 усиленный до оптимального уровня сигнал подается в блок аналого-цифрового преобразования с переключаемой частотой дискретизации 30. Преобразованный в цифровой код измерительный сигнал поступает в контроллер ISA-шины 32, где инкапсулируется в формат ISA и передается в память персонального компьютера 33. Контроллер ISA-шины 32 обеспечивает прием управляющих команд от программного обеспечения измерителя и осуществляет их передачу на соответствующие устройства блока аналоговой обработки измерительной информации 28 блока цифровой обработки измерительной информации 31. Для выделения спектральных составляющих переменной составляющей используется цифровой анализ спектра, который реализуется программным путем с помощью персонального компьютера 33 при использовании алгоритма быстрого преобразования Фурье.

Процессу измерения параметров флуктуаций сигнала предшествует калибровка измерителя с помощью формирователя 36 СВЧ-сигналов с известными индексами амплитудной модуляции $m_{AM,K}$, частотной модуляции $m_{ЧМ,K}$ и фазовой модуляции $m_{ФМ,K}$ [4].

В режиме измерения амплитудных флуктуаций (фиг. 3) при калибровке малошумящий СВЧ-генератор 34 и формирователь 36 подключаются ко второму фланцу входа С и записываются в память персонального компьютера 33 уровни постоянной $U_{=AM,K}(F)$, переменной $U_{-AM,K}(F)$ составляющих сигнала на частоте анализа F. При непосредственном измерении исследуемое активное двухполосное СВЧ-устройство (например, СВЧ-генератор) подключается ко второму фланцу входа В и в память персонального компьютера 33 записываются уровни постоянной $U_{=AF}(F)$ и переменной $U_{-AF}(F)$ составляющих сигнала на частоте анализа F. Относительная спектральная плотность мощности амплитудных флуктуаций сигнала на частоте анализа F рассчитывается по формуле:

$$S_{AF}(F) = \left(10 \cdot \lg \frac{m_{AM,K}^2(F) \cdot U_{=AM,K}^2(F) \cdot U_{-AF}(F)}{4 \cdot U_{=AF}^2(F) \cdot U_{-AF}^2(F)} \right) / \Delta F_{эфф},$$

где $\Delta F_{эфф}$ - эффективная частотная полоса анализа.

В режиме измерения частотных флуктуаций (фиг. 4) при калибровке малошумящий СВЧ-генератор 34 и формирователь 36 подключаются к фланцу входа 3, а между фланцами входов А и С устанавливаются волноводные переходы 1, 2. В память персонального компьютера 33 записывается уровень переменной составляющей сигнала $U_{-ЧМ,K}(F)$ на частоте анализа F. При непосредственном измерении исследуемое активное двухполосное СВЧ-устройство подключается к фланцу входа 3 и в память персонального компьютера 33 записывается уровень переменной составляющей сигнала $U_{-ЧФ,K}(F)$ на частоте анализа F. Относительная спектральная плотность мощности частотных флуктуаций сигнала на частоте анализа F рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{чФ}}(F) = \left(10 \cdot \lg \frac{m^2_{\text{чМ.К}}(F) \cdot U^2_{\text{-чФ}}(F) \cdot F^2}{4 \cdot U^2_{\text{-чМ.К}}(F) \cdot F^2} \right) / \Delta F_{\text{ЭФФ}}$$

В режиме измерения вносимых фазовых флуктуаций (фиг. 5) при калибровке формирователь 36 подключаются между фланцами входа 1, малозумящий СВЧ-генератор подключен к фланцу входа 3, а между фланцами входа С устанавливается волноводный переход 2. В память персонального компьютера записывается уровень переменной составляющей сигнала $U_{\text{-ФМ.К}}(F)$ на частоте анализа F . При непосредственном измерении исследуемое активное двухполюсное СВЧ-устройство (например, СВЧ-генератор) включается между фланцами входа 1 и в память персонального компьютера 33 записывается уровень переменной составляющей сигнала $U_{\text{-ФФ}}(F)$ на частоте анализа F . Относительная спектральная плотность мощности фазовых флуктуаций сигнала на частоте анализа F рассчитывается по формуле:

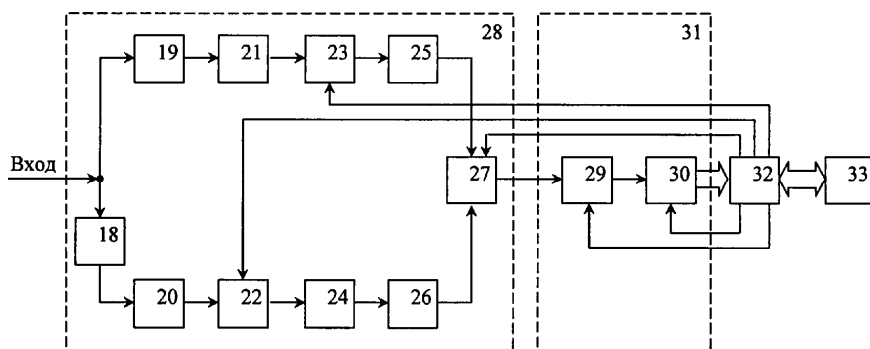
$$S_{\text{АФ}}(F) = \left(10 \cdot \lg \frac{m^2_{\text{ФМ.К}}(F) \cdot U^2_{\text{-ФФ}}(F)}{4 \cdot U^2_{\text{-ФМ.К}}(F)} \right) / \Delta F_{\text{ЭФФ}}$$

Предлагаемый измеритель реализован в НИЛ 1.9 "Научно-исследовательская лаборатория аппаратуры и устройств СВЧ" Учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" в диапазонах частот 25,86-37,50 ГГц и 78,33-118,1 ГГц (измерители MNM 25-37 и MNM 78-118). Чувствительность измерения амплитудных флуктуаций составляет -140 дБ (на 1 кГц), -150 дБ (на 10 кГц), -160 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 25-37 и -125 дБ (на 1 кГц), -135 дБ (на 10 кГц), -150 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 78-118. Чувствительность измерения частотных флуктуаций составляет -80 дБ (на 1 кГц), -105 дБ (на 10 кГц), -135 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 25-37 и -70 дБ (на 1 кГц), -100 дБ (на 10 кГц), -130 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 78-118. Чувствительность измерения вносимых фазовых флуктуаций составляет -110 дБ (на 1 кГц), -130 дБ (на 10 кГц), -150 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 25-37 и -105 дБ (на 1 кГц), -120 дБ (на 10 кГц), -140 дБ (на 100 кГц) для измерителя MNM 78-118. Погрешность измерения для обоих измерителей не более ± 3 дБ.

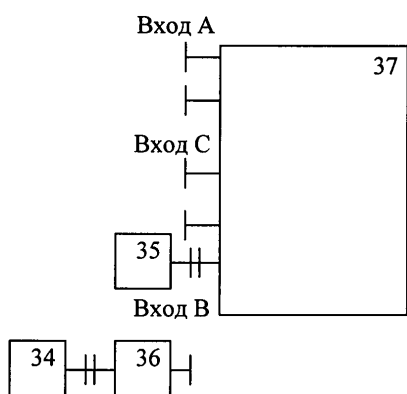
Источники информации:

1. Горелов А.И., Зобков С.Н. Об измерении малых коэффициентов амплитудной модуляции на сверхвысоких частотах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника. - 1965. - Вып. 2. - С. 78-85.
2. Измеритель флуктуаций импульсных сигналов СВЧ СКЗ-19: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЕЕI.406.007.ТО.
3. Ohtomo M. Experimental evaluation of noise parameters in gunn and avalanche oscillators // IEEE Trans. And Micr. Theory and Techn. - 1972. - Vol. MTT-20. - No. 7. - P. 425-437.
4. Вельский А.Я., Гусинский А.В., Дзисяк А.Б., Кострикин А.М. Устройство для калибровки измерителей флуктуаций в миллиметровом диапазоне // Известия Белорусской инженерной академии. - 2003. - № 1(15)/4. - С. 150-151.

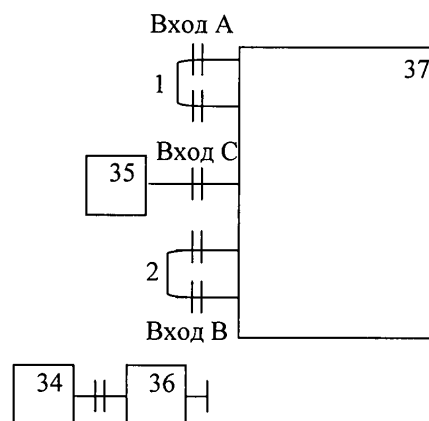
BY 16923 C1 2013.04.30



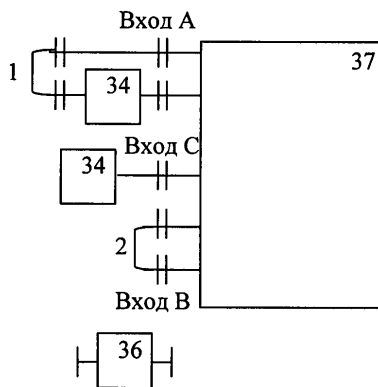
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5