

зали результаты эксперимента, схема обладает малым дрейфом нуля и низкой чувствительностью к разбросу параметров диодов.

Погрешность экспериментального определения S_0 по сравнению с расчетной по формуле /6/ не превышала 2%, а по упрощенной формуле /7/ - 5%.

Л и т е р а т у р а

1. Дехтаренко П.И. Синхронное детектирование в измерительной технике и автоматике. Киев, "Техника", 1965.

2. Мизрук Л.Я. и др. Электронные узлы переносной низкочастотной аппаратуры. М.-Л., "Энергия", 1969.

3. Бонч-Бруевич А.М. Радиозлектроника в экспериментальной физике. М., "Наука", 1966.

4. Егоршин В.В., Лихтциндер Б.Я. Двухчастотный мост для измерения параметров четырехполюсников. Сб.: "Исследование по акустике и радиозлектронике", КУАИ, вып.-44, 1970.

Г.В.Абрамов, Б.А.Никольский

ИЗМЕРЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ЛАЗЫ В ЛБВ

Применение систем передачи и приема сигналов сложной формы в СВЧ-диапазоне предъявляет все возрастающие требования к стабильности параметров и характеристик элементов и узлов трактов передачи в различных условиях эксплуатации.

В последнее время в качестве активного элемента СВЧ-трактов широкое применение находят лампы бегущей волны /ЛБВ/, обладающие значительным коэффициентом усиления, широкой полосой пропускания, достаточно высокой выходной мощностью и рядом других преимуществ. В радиолокационных станциях [1], [2] и электронных системах радиопротиводействия [3], [4] ЛБВ используются в качестве широкополосных модуляторов, усилителей, элементов для питания фазированных антенных решеток с управляемой диаграммой

направленности и т.п. Перспективно использование ЛБВ в качестве бортовых усилителей в системах связи [4], [5], в информационно-измерительной аппаратуре и других областях радиоэлектроники.

Одним из недостатков ЛБВ, ограничивающих ее применение, является большая, чем у других элементов СВЧ-трактов, подверженность воздействию высших факторов /пульсации источников питания, переменных магнитных полей, механических вибраций и т.д./ в реальных условиях эксплуатации. При этом проходящие через ЛБВ сигналы наделаются паразитной фазовой модуляцией с частотой внешних воздействий, что ведет к существенному искажению передаваемой с помощью ЛБВ информации.

Чтобы оценить влияние указанного эффекта на работоспособность аппаратуры с применением ЛБВ устранить или компенсировать его, необходимо знать параметры этой модуляции в различных типах и образцах ЛБВ. Для этого в ряде случаев производят измерение очень малых величин девиации фазы, составляющих десятые и даже сотые доли градуса. Так, при бесшумковой обработке частотно-модулированных сигналов в широком диапазоне частот с помощью автокорреляционного приемника, построенного по двухканальной схеме с задержкой СВЧ-сигнала в одном из каналов. 6, девиация частоты полезного сигнала на выходе смесителя определяется выражением

$$\Delta f_{np} = 2\pi F \tau \Delta f_{\phi x},$$

где Δf_{np} - девиация сигнала промежуточной частоты;
 F - частота модуляции входного СВЧ-сигнала;
 τ - величина задержки СВЧ-сигнала в приемнике;
 $\Delta f_{\phi x}$ - девиация частоты входного сигнала.

Величина девиации фазы связана с девиацией частоты и модулирующей частотой соотношением

$$\Delta \varphi^{\circ} = 57,3 \frac{\Delta f_{np}}{F}$$

Если девиация частоты входного сигнала составляет несколько кГц при модулирующей частоте в несколько десятков Гц, то при обычно реализуемой величине задержки высокочастотного сигнала порядка 0,2 мсек, девиация фазы полезного сигнала будет лежать

в интервале от десятых долей градуса до единиц градусов. Соответственно паразитная девиация фазы, возникающая в СВЧ-тракте передачи сигнала, должна быть в несколько раз меньше.

Измерение таких малых значений девиации фазы затруднено, так как большинство известных методов фазовых измерений в СВЧ-диапазоне имеет погрешность порядка 1° . При больших изменениях фазы такая погрешность дает малую относительную ошибку. Однако при измерениях девиации фазы, не превышающих 1° , относительная ошибка резко возрастает.

Построение аппаратуры для измерений малых девиаций фазы опирается на методы с использованием принципа построения приемников прямого усиления с частотным или фазовым детектированием СВЧ-сигналов и гетеродинные методы с детектированием на промежуточной частоте. Первую группу методов технически трудно реализовать из-за сложности получения высокой крутизны детекторной характеристики в широком диапазоне частот и обеспечения необходимой чувствительности измерительного устройства. Методы второй группы основаны на преобразовании частоты СВЧ-сигнала и переносе его спектра на промежуточную частоту.

В большинстве фазометров такая методика основана на следующем положении /рис. 1/: если два напряжения

$$u_1 = U_{m1} \cos \omega_c t;$$

$$u_2 = U_{m2} \cos (\omega_c t + \varphi)$$

преобразовать с помощью сигнала гетеродина Γ /

$$u_r = U_{mr} \cos (\omega_r t + \varphi_r)$$

в разностные частоты, то на выходах смесителей /СМ/ получатся колебания

$$u'_1 = U'_{m1} \cos [(\omega_c - \omega_r)t + \varphi_r];$$

$$u'_2 = U'_{m2} \cos [(\omega_c - \omega_r)t + \varphi + \varphi_r],$$

т.е. фазовые соотношения между преобразованными сигналами на выходах смесителей и исходными сигналами сохраняются. Далее сигналы усиливаются в усилителях промежуточной частоты /УПЧ/, и разность фаз между ними измеряется каким-либо низкочастотным фазометром /НЧФ/.

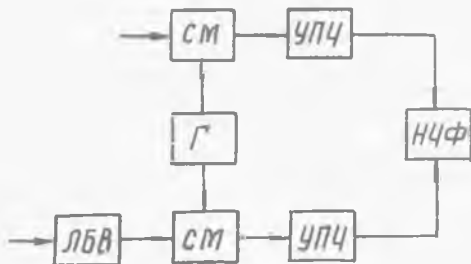


Рис. 1. Функциональная схема фазометра с двухканальной доиндикаторной частью

Если на оба смесителя подавать сигнал от одного и того же генератора, причем на один из них сигнал подать после прохождения его через исследуемую ЛБВ, то по показаниям низкочастотного фазометра можно судить о величине девиации фазы, возникающей в ЛБВ.

Как видно из рис. 1, такой измеритель построен по двухканальной схеме. Точность измерения фазы при таком методе в основном определяется погрешностями, возникающими из-за неидентичности частотно- и амплитудно-фазовых характеристик каналов, нестабильности промежуточной частоты и ряда других факторов.

Для снижения этих погрешностей применяют несколько схем построения доиндикаторной части, отличающихся друг от друга в зависимости от назначения прибора, диапазона частот и рода сигналов. Такие схемы описаны в ряде работ /например, [7]/. Однако усложнение схем приборов способствует повышению точности измерений. Так, в фазометрах Ф2-4, Ф2-6, Ф2-8, ФК2-12 и других, построенных по двухканальной схеме с преобразованием частоты, основная погрешность не менее 1° , с повышением частоты измеряемых напряжений она возрастает.

На рис. 2 приведена функциональная схема одноканального измерителя с отдельным гетеродином. Принцип работы такого измери-

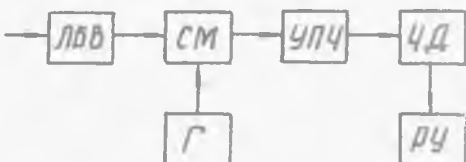


Рис. 2. Функциональная схема одноканального фазометра с отдельным гетеродином

теля заключается в следующем. На один вход смесителя /СМ/ подается сигнал с исследуемой ЛВВ, частота которого

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta \omega_{\delta} \cos \Omega_{\delta} t + \Delta \omega_c F_1(t),$$

а на другой - сигнал с перестраиваемого гетеродина /Г/, имеющий частоту

$$\omega_2 = \omega_0 - \omega_{np} + \Delta \omega_r F_2(t),$$

где ω_0 - частота сигнала внешнего генератора;

ω_{np} - промежуточная частота;

$\Delta \omega_{\delta} \cos \Omega_{\delta} t$ - изменение частоты сигнала в ЛВВ за счет фазовой модуляции при внешних воздействиях;

$\Delta \omega_c F_1(t), \Delta \omega_r F_2(t)$ - флуктуационные изменения частот сигналов, соответственно внешнего генератора и гетеродина.

Выходной сигнал смесителя будет иметь частоту

$$\omega_3 = \omega_1 - \omega_2 = \omega_{np} + \Delta \omega_{\delta} \cos \Omega_{\delta} t + \Delta \omega F(t),$$

где

$$\Delta \omega F(t) = \Delta \omega_c F_1(t) - \omega_r F_2(t).$$

Усиленный до необходимого уровня в усилителе промежуточной частоты /УПЧ/ сигнал подается на частотный детектор /ЧД/, выходное напряжение которого пропорционально девиации промежуточной частоты. Зная крутизну детекторной характеристики и имея на выходе ЧД фильтр с коэффициентом передачи

$$k = \frac{1}{\Omega_{\delta}},$$

регистрирующее устройство измерителя /РУ/ можно отградуировать непосредственно в значениях девиации фазы.

Основная трудность практической реализации измерителя, построенного по такому принципу, заключается в выполнении условия

$$\frac{\Delta \omega_g}{\Delta \omega} > 1.$$

Другими словами, необходимо иметь минимальный уровень собственной паразитной частотной модуляции гетеродина и внешнего генератора. Кроме того, при применении методов с отдельными гетеродинами возникают определенные трудности автоматизации фазовых измерений в диапазоне частот из-за необходимости перестройки гетеродина синхронно с изменением частоты входного сигнала.

Метод построения измерителя фазовых флуктуаций по принципу автогетеродинного приемника устраняет ряд недостатков вышеописанных методов. Функциональная схема такого измерителя приведена на рис. 3. В качестве гетеродинного сигнала здесь используется

входной сигнал внешнего генератора, который через направленный ответвитель /НО/ подается одновременно на сигнальный вход смесителя и на исследуемую ЛБВ. В ЛБВ сигнал усиливается и смещается по частоте на величину ω_{np} путем подачи на спираль ЛБВ линейно-изменяющегося напряжения с генератора пилообразного напряжения. Таким образом, на смеситель /СМ/ поступают сигналы с частотами

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta \omega_c F_1(t);$$

$$\omega_2 = \omega_0 + \omega_{np} + \Delta \omega_c F_1(t) + \Delta \omega_g \cos \Omega_g t.$$

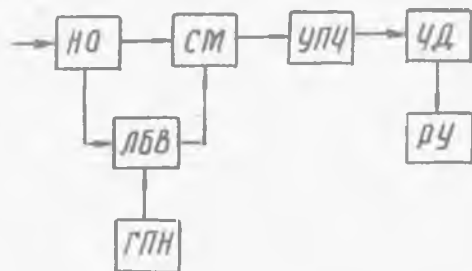


Рис. 3. Функциональная схема автогетеродинного одноканального фазометра

одним из основных требований к такому преобразователю частоты является получение промежуточной частоты с минимальным содер-

жанием побочных гармоник преобразования, так как число этих гармоник и величины их амплитуд влияют на фазовые погрешности, вносимые преобразователем. Снижение этих погрешностей в первую очередь зависит от выбора оптимального напряжения, подаваемого от ГПН на спираль ЛБВ.

На выходе смесителя преобразованный сигнал будет иметь частоту

$$\omega_3 = \omega_{np} + \Delta \omega_f \cos \Omega_f t .$$

Как видно из последнего выражения, промежуточная частота будет иметь составляющие, обусловленные внешними воздействиями на исследуемую ЛБВ. Сигнал промежуточной частоты усиливается в УПЧ и подается на ЧД с калиброванной крутизной переходной характеристики. Как и в предыдущем случае, выходное напряжение ЧД будет пропорционально девиации промежуточной частоты и, следовательно, изменениям фазы СВЧ-сигнала в ЛБВ, возникающим под влиянием внешних воздействий.

Л и т е р а т у р а

1. Вишин Г.М. Многочастотная радиолокация. М., Воениздат, 1973.
2. Современная радиолокация /анализ, расчет и проектирование систем/. Пер. с англ. под ред. Кобзарева Ю.Б. М., "Советское радио", 1969.
3. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М., "Советское радио", 1968.
4. Мощные электровакуумные приборы СВЧ. Пер. с англ. М., "Мир", 1974.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. М., "Высшая школа", 1972.
6. Hamez R. Autocorrelation threshold extension f.m. demodulator. *Proceedings of the IRE*, №6, 1970.
7. Валитов Р.А., Сретенский В.Н. Радиотехнические измерения. М., "Советское радио", 1970.