



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

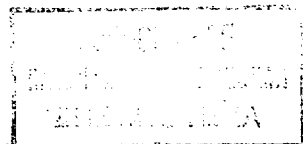
(19) **SU** (11) **1698838 A1**

(51)5 G 01 R 29/10

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



1

2

(21) 4755420/09

(22) 29.08.89

(46) 15.12.91. Бюл. № 46

(71) Гомельское конструкторское бюро
"Луч"

(72) Л.А.Летунов и Г.Ю.Мосолов

(53) 621.317:621.396.67(088.8)

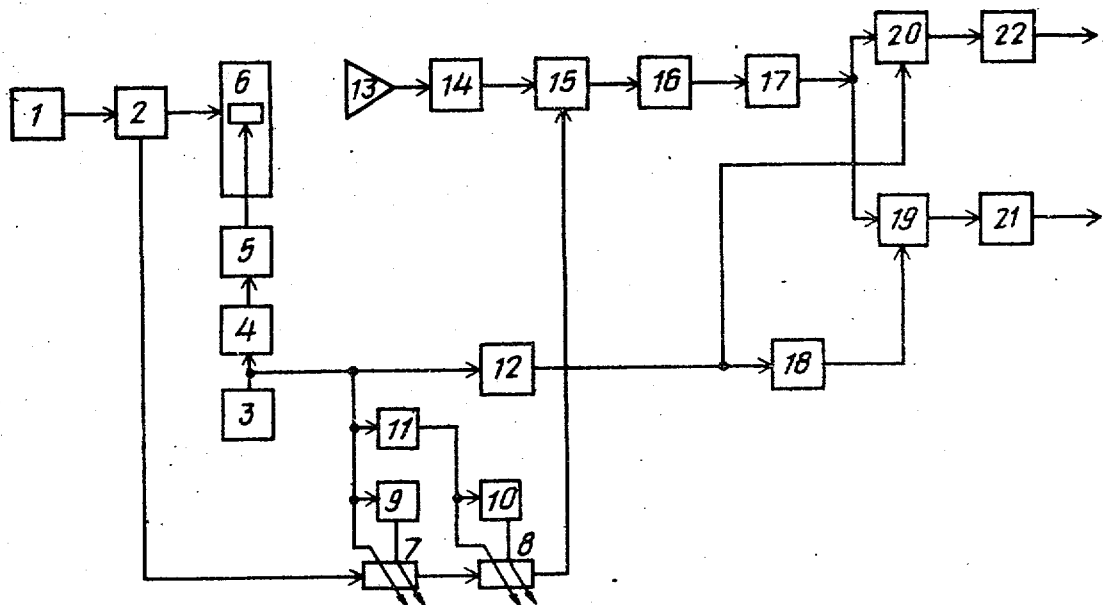
(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1318941, кл. G 01 R 29/10, 1985.

Авторское свидетельство СССР
№ 1497589, кл. G 01 R 29/10, 1987.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХА-
РАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ ФАР

(57) Изобретение относится к технике антен-
ных измерений. Цель изобретения – повы-
шение точности. Устройство для измерения
характеристик каналов фазированных ан-

тенных решеток (ФАР) состоит из генерато-
ра СВЧ 1, направленного ответвителя 2, ге-
нератора 3 прямоугольных импульсов,
делителя 4 частоты на n , штатной аппарату-
ры 5 управления фазовращателями ФАР,
исследуемой ФАР 6, управляемых фазовра-
щателей 7, 8, делителей 10 частоты на два,
делителя 12 частоты на C , неподвижного
зонда 13, вентиля 14, СВЧ-сумматора 15,
квадратичного детектора 16, усилителя 17
промежуточной частоты, фазовращателя на
 90° 18, фазовых детекторов 19 и 20, филь-
тров 21 и 22 нижних частот. Цель достигается
введением управляемого низкочастотного
фазовращателя 11, с помощью которого
обеспечивается подавление мешающего
сигнала. 2 ил.



Фиг.1

Изобретение относится к технике антенных измерений и может быть использовано для измерения характеристик каналов фазированных антенных решеток (ФАР) с дискретными фазовращателями, а также для измерения амплитудно-фазового распределения в раскрыве ФАР с использованием неподвижного зонда.

Цель изобретения – повышение точности.

На чертеже (фиг. 1) приведена структурная электрическая схема устройства для измерения характеристик каналов ФАР; на фиг. 2 – зависимость амплитудных коэффициентов $S_1(\varphi)$ и $S_2(\varphi)$ от угла фазового сдвига.

Устройство для измерения характеристик каналов ФАР состоит из генератора СВЧ 1, направленного ответвителя 2, генератора 3 прямоугольных импульсов, делителя 4 частоты на n , штатной аппаратуры 5 управления фазовращателями ФАР, исследуемого ФАР 6, первого и второго управляемых фазовращателей 7 и 8 первого и второго делителей 9 и 10 частоты на два, электрически управляемого низкочастотного (НЧ) фазовращателя 11, делителя 12 частоты на s , неподвижного зонда 13, вентиля 14, СВЧ сумматора 15, квадратичного детектора 16, усилителя 17 промежуточной частоты, фазовращателя на 90° 18, первого и второго фазовых детекторов 19 и 20, первого и второго фильтров 21 и 22 нижних частот.

Устройство для измерения характеристик каналов ФАР работает следующим образом.

Генератор СВЧ 1, работающий на частоте $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$, запитывает исследуемую антенную решетку с измеряемым фазовращателем в одном из его каналов. Этот сигнал манипулируется по фазе с частотой $\frac{\Omega}{2\pi n}$, где $f = \frac{\Omega}{2\pi}$ – частота сигнала генератора прямоугольных импульсов. Манипуляция сигнала осуществляется за счет переключения дискретов управляемого фазовращателя в измеряемом канале. Сигнал принимается неподвижным зондом 13 через вентиль 14, соединенный со входом СВЧ сумматора 15, на второй вход которого поступает опорный сигнал от генератора СВЧ 1, проманипулированный по фазе посредством переключения дискретов управляемых фазовращателей 7 и 8 опорного канала частотой $\frac{\Omega}{2\pi}$.

УПЧ 17, настроенный на частоту $\frac{f}{c} = \frac{\Omega}{2\pi} - \frac{\Omega}{2\pi n}$, выделяет первую гармо-

нику спектра сигнала измеряемого канала, а последующая часть схемы (два фазовых детектора 19 и 20, на гетеродинные входы которых поданы сигналы частотой, сдвинутые один относительно другого на 90° и два ФНЧ 21 и 22) выделяет $\sin$ и $\cos$ компоненты этого сигнала.

Преобразование Фурье периодической функции сигнала двухфазовой манипуляции, осуществляемой фазовращателем ФАР 6 измерительного канала на выходе неподвижного зонда 13, записывается в виде

$$f(t) \rightarrow F(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[F_k \delta(\omega - \omega_0 - \frac{k\Omega}{n}) + F_k^* \delta(\omega + \omega_0 + \frac{k\Omega}{n}) \right] \quad (1)$$

где $f(t)$ – функция сигнала двухфазовой манипуляции на выходе неподвижного зонда; $F(\omega)$ – ее преобразование Фурье;

F_k – соответствующие коэффициенты экспоненциального ряда Фурье разложения функции $f(t)$;

$\delta(\omega)$ – дельта функция;

* – знак комплексного сопряжения.

при этом сигнал двухфазной манипуляции на выходе зонда 13 представляется в виде $f(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)]$, (2)

где амплитуда сигнала задается выражением

$$A(t) = \begin{cases} a_1 & \text{при } 0 \leq t < T/2 \\ a_2 & \text{при } T/2 \leq t < T \end{cases}$$

где $T = \frac{2\pi}{\Omega} n$ – период фазоманипулированного сигнала.

Начальная фаза, определяемая фазовым сдвигом, который вносит фазовращатель измерительного канала при манипуляции

$$\theta(t) = \begin{cases} \varphi_1 & \text{при } 0 \leq t < T/2 \\ \varphi_2 & \text{при } T/2 \leq t < T \end{cases}$$

Постоянные величины $a_1, a_2, \varphi_1, \varphi_2$ полностью определяют коэффициенты передачи измерительного канала ФАР 6 и являются его характеристиками. Известно, что по измерениям первой верхней боковой гармоники спектра сигнала двухфазовой манипуляции pn – диодного дискретного фазовращателя измерительного канала ФАР 6 полностью определяются характеристики этого канала: модуль и фаза коэффициента передачи канала и фазовые сдвиги для различных фазовых состояний фазовращателя измерительного канала. Поэтому возникает необходимость выделения и измерения первой верхней боковой гармоники спектра сигнала измерительного канала.

Характерной особенностью спектра двухфазовой манипуляции является, то, что

модуль $|F_1| = |F_{-1}|$. Как было отмечено выше, сигнал, выделяемый УПЧ на частоте $f_{пр} = \frac{\Omega}{2\pi} - \frac{\Omega}{2\pi n}$, формируется из суммы двух сигналов: полезного вектора, полученного за счет перемножителя первой верхней боковой гармоники спектра сигнала измерительного канала F_1 на частоте $\frac{\omega_o}{2\pi} + \frac{\Omega}{2\pi n}$ и составляющей опорного сигнала на частоте $\frac{\omega_o}{2\pi} + \frac{\Omega}{2\pi}$, и мешающего вектора, полученного за счет перемножения первой нижней боковой гармоники спектра сигнала измерительного канала F_{-1} на частоте $\frac{\omega_o}{2\pi} - \frac{\Omega}{2\pi n}$ и составляющей опорного сигнала на частоте. Поэтому ввиду равенства модулей $|F_1| = |F_{-1}|$ необходимо подавить составляющую опорного сигнала на частоте $\frac{\omega_o}{2\pi} - \frac{\Omega}{2\pi}$ и тем самым во столько же раз будет подавлен и сам мешающий вектор, что на ту же величину в конечном счете повысит методическую точность измерения устройства.

Вычислим спектр сигнала опорного канала устройства, когда последовательно соединенные управляемые фазовращатели 7 и 8 промодулированы по фазе по пилообразному закону с частотой $\frac{\Omega}{4\pi}$.

Пусть $r_1(t)$ — отклик первого фазовращателя 7 на воздействие сигнала $\cos(\omega_o t)$, $r_2(t)$ — отклик второго фазовращателя 8 на воздействие сигнала $\cos(\omega_o t)$, и пусть $R_1(\omega)$ и $R_2(\omega)$ соответствующие преобразования Фурье

$$r_1(t) \leftrightarrow R_1(\omega), r_2(t) \leftrightarrow R_2(\omega). \quad (3)$$

Для периодических функций $r_1(t)$ и $r_2(t)$ их преобразования Фурье $R_1(\omega)$ и $R_2(\omega)$ записываются в виде ряда

$$R_1(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} [R_k^I \delta(\omega - \omega_o - \frac{k\Omega}{2}) + R_k^{I*} \delta(\omega + \omega_o + \frac{k\Omega}{2})];$$

$$R_2(\omega) = 2\pi \sum_{m=-\infty}^{\infty} [R_m^I \delta(\omega - \omega_o - \frac{m\Omega}{2}) + R_m^{I*} \delta(\omega + \omega_o + \frac{m\Omega}{2})] \quad (4)$$

Для результирующего спектра сигнала совместной работы обоих фазовращателей получим

$$R(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} [R_k^I R_m^I e^{-j\varphi_m} \delta(\omega - \omega_o - \frac{k\Omega}{2} - \frac{m\Omega}{2}) + (R_k^I R_m^I e^{-j\varphi_m})^* \delta(\omega + \omega_o + \frac{k\Omega}{2} + \frac{m\Omega}{2})], \quad (5)$$

где $\varphi_m = m\varphi$, φ — фазовый сдвиг, вносимый фазовращателем 11 на частоте $\frac{\Omega}{4\pi}$. Следует отметить, что по схеме (фиг.1) фа-

зовращатель 11 стоит до второго делителя 10 частоты на два, поэтому фазовый сдвиг, вносимый фазовращателем 11 на частоте $\frac{\Omega}{2\pi}$, должен иметь удвоенное значение.

Группируя члены с одинаковыми частотами, запишем

$$R(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} [R_k^I R_{n-k}^I e^{-j(2-k)\varphi} \delta(\omega - \omega_o - \frac{e\Omega}{2}) + (R_k^I R_{n-k}^I e^{-j(2-k)\varphi})^* \delta(\omega + \omega_o + \frac{e\Omega}{2})] \right\}, \quad (6)$$

где $l=k-m$ определяют номер гармоники в спектре.

В формировании полезного вектора участвует вторая ($l=2$) гармоника сигнала, которая определяется выражением

$$R_2 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_k^I R_{(2-k)}^I e^{-j(2-k)\varphi}. \quad (7)$$

В формировании мешающего вектора участвует вторая нижняя боковая ($l=-2$) гармоника спектра сигнала, определяемая

$$R_{-2} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_k^I R_{-(2+k)}^I e^{j(2+k)\varphi}. \quad (8)$$

Отношение амплитуд этих гармоник и определяет методическую погрешность измерения.

Известно, что только четыре гармоники спектра фазоманипулированного по пилообразному закону сигнала ($0^\circ-90^\circ-180^\circ-270^\circ$) являются полностью независимыми. Это остаток несущей R_0^I (R_0^I), верхняя боковая R_1^I (R_1^I), нижняя боковая R_{-1}^I (R_{-1}^I) и вторая (либо верхняя, либо нижняя) боковая R_2^I (R_2^I) либо R_{-2}^I (R_{-2}^I). При этом остальные гармоники спектра однозначно выражаются через три последних:

$$R_1^I(1+4n) = \frac{1}{1+4n} R_1^I; R_1^I(3+4n) = \frac{-1}{3+4n} R_{-1}^I;$$

$$R_1^I(2+4n) = \frac{2}{2+4n} R_2^I; (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (9)$$

Известно также, что составляющие спектра, кратные четырем, равны нулю

$$R_{4n}^I = 0, (n = \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (10)$$

С учетом этого преобразуем соотношение (7)

$$R_2 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_k^I R_{(2-k)}^I e^{-j(2-k)\varphi} = R_0^I R_2^I e^{-j2\varphi} + R_1^I R_0^I e^{-j\varphi} + R_2^I R_0^I e^{-j\varphi} +$$

$$+ \sum_{k=3}^{\infty} \frac{R_k^I}{5+4k} \frac{R_{(2-k)}^I}{3+4k} e^{-j(3+4k)\varphi} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{R_k^I}{3+4k} \frac{R_{(2-k)}^I}{5+4k} e^{-j(5+4k)\varphi} +$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{R_k^I}{(3+4k)} \frac{R_{(2-k)}^I}{1+4k} e^{-j(1+4k)\varphi} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{R_k^I}{1+4k} \frac{R_{(2-k)}^I}{3+4k} e^{-j(3+4k)\varphi} =$$

$$= R_0^I R_2^I e^{-j2\varphi} + R_2^I R_0^I e^{-j2\varphi} + R_1^I R_0^I e^{-j\varphi} \left\{ 1 + 2 \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{-\cos(4+4k)\varphi}{(5+4k)(3+4k)} \right] \right\} +$$

$$+ R_1^I R_0^I e^{-j\varphi} \cdot 2 \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{-\cos(2+4k)\varphi}{(3+4k)(1+4k)} \right] =$$

$$= R_0^I R_0^I e^{-j2\varphi} + R_2^I R_0^I e^{-j2\varphi} + S_1(\varphi) R_1^I R_0^I e^{-j\varphi} + S_2(\varphi) R_1^I R_0^I e^{-j\varphi}. \quad (11)$$

Соотношение (8) также преобразуется к виду

$$R_{-2} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_k^I R_{-(2+k)}^I e^{j(2+k)\varphi} = R_0^I R_2^I e^{j2\varphi} + R_{-2}^I R_0^I e^{j2\varphi} +$$

$$+ R_1' R_1'' e^{i\varphi} \left\{ 1 + 2 \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{-\cos(4+4k)\varphi}{(3+4k)(5+4k)} \right] \right\} + 2 R_1' R_1'' e^{i\varphi} \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{-\cos(2+4k)\varphi}{(1+4k)(3+4k)} \right] = \\ = R_0' R_0'' e^{i2\varphi} + R_1' R_1'' + S_1(\varphi) R_1' R_1'' e^{i\varphi} + S_2(\varphi) R_1' R_1'' e^{i\varphi}, \quad (12)$$

где амплитудные коэффициенты $S_1(\varphi)$ и $S_2(\varphi)$, как функции фазового сдвига, выражаются формулами

$$S_1(\varphi) = 1 - 2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\cos[(4+4k)\varphi]}{(3+4k)(5+4k)}, \\ S_2(\varphi) = -2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\cos[(2+4k)\varphi]}{(1+4k)(3+4k)}$$

Графики зависимости $S_1(\varphi)$ и $S_2(\varphi)$ приведены на фиг. 2.

Для реальных фазовращателей амплитуды величин R_0' (R_0''), R_1' (R_1''), R_2' (R_2''), R_2' (R_2'') имеют первый порядок малости по сравнению с амплитудой R_1' (R_1''). Поэтому амплитуды произведения $R_0' R_2''$, $R_2' R_0''$, $R_1' R_1''$, $R_0' R_2''$, $R_2' R_0''$ имеют второй порядок малости по сравнению с амплитудой $R_1' R_1''$. Устанавливая фазовый сдвиг, вносимый фазовращателем 9 на частоте $\frac{\Omega}{4\pi}$, $\varphi = 45^\circ$

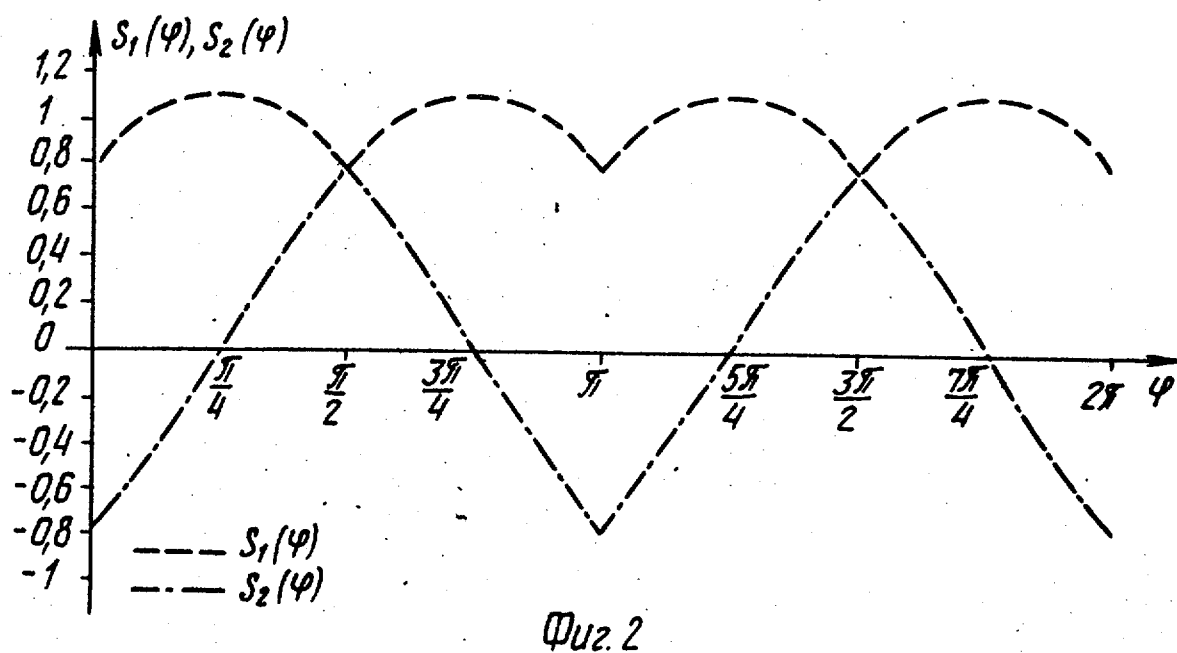
(90° на частоте $\frac{\Omega}{2\pi}$ по схеме), амплитудный коэффициент $S_1(\varphi)$, приобретает максимальное значение, а $S_2(\varphi)$ становится равным нулю. Тем самым амплитуда гармоники R_2 (12) будет иметь второй порядок малости по сравнению с амплитудой гармоники R_2 (11).

Таким образом, при использовании предлагаемого устройства повышается точность измерений за счет подавления мешающего сигнала.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Устройство для измерения характеристик каналов ФАР, включающее последовательно соединенные генератор СВЧ и направленный ответвитель, выход которого является выходом для подключения входа исследуемой ФАР, последовательно соединенные неподвижный зонд, вентиль, СВЧ-

сумматор, квадратичный детектор, усилитель промежуточной частоты, первый фазовый детектор и первый фильтр нижних частот, выход которого является первым выходом устройства, последовательно соединенные второй фазовый детектор, вход которого подключен к выходу усилителя промежуточной частоты, и второй фильтр нижних частот, выход которого является вторым выходом устройства, последовательно соединенные генератор прямоугольных импульсов и делитель частоты на n , выход которого подключен к входу управления исследуемой ФАР, второй вход первого фазового детектора подключен к выходу генератора прямоугольных импульсов через делитель частоты на s , а второй вход второго фазового детектора подсоединен к выходу делителя частоты на s через фазовращатель на 90° , второй вход СВЧ-сумматора подключен к второму выходу направленного ответвителя через два последовательно соединенных фазовращателя, вход первого разряда управления первого управляемого фазовращателя подключен к выходу второго разряда управления первого управляемого фазовращателя через первый делитель частоты на два, вход первого разряда управления второго управляемого фазовращателя подсоединен к выходу второго делителя частоты на два, вход которого подключен к входу управления второго разряда управляемого фазовращателя, отсюда следует, что, с целью повышения точности, введен управляемый низкочастотный фазовращатель, вход которого подключен к выходу генератора прямоугольных импульсов, а выход — к входу второго делителя частоты на два, вход второго разряда управления первого управляемого фазовращателя подключен к выходу генератора прямоугольных импульсов.



Редактор Н.Шитев	Составитель П.Савельев Техред М.Моргентал	Корректор О.Кравцова
------------------	--	----------------------

Заказ 4394	Тираж	Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5		

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101