

В.Г. АВЕГИСЯН

К ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

ԳԻՏ ուսանողների փորձակներին որոշող ավտոմատ չափող համակարգերի իրագործված օրինակներով դիտարկված են ԳԻՏ ազգայնության մասին վերաբերող խնդիրները և առաջարկված է չափման սխեմա կարգավիճակի միջինորակից ներգրավում նման համակարգերն իրագործելու համար:

На примерах реализованных автоматических измерительных комплексов для определения параметров СВЧ антенн рассмотрены проблемы, касающиеся СВЧ аппаратуры части. Предложена схема измерения при реализации подобных комплексов в коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

The problems concerning the microwave apparatus piece of the automatic measuring complexes for defining the microwave antenna parameters are considered in the realized examples. A measurement circuit for realizing similar complexes at the short millimeter wave band is suggested.

Ил. 2. Ref.: 6.

При измерении параметров антенны наряду с традиционными методами по дальней зоне широко используются и методы ближней зоны. Для реализации автоматических измерительных комплексов (АИК) в коротковолновой части миллиметрового диапазона необходимо разрешение ряда проблем, которые можно разделить на три класса. Первый класс - проблемы, связанные с механикой и автоматикой. Второй класс - проблемы, связанные с передачей сигнала с зонда от подвижного тракта к неподвижному с возможно малым затуханием и малой нестабильностью по амплитуде и фазе. Третий класс - проблемы, связанные с измерительной аппаратурой, которая вместе с удобством в эксплуатации и сравнительно легкой реализацией обеспечивает малую погрешность измерения при невысоком уровне излучаемой мощности.

Суть последних рассмотрим на примере реализованных АИК СВЧ диапазона по схеме измерения, представленной на рис. 1 (на схеме не отображена система автоматического управления). В 3-сантиметровом диапазоне длин волны в полосе частот 20-25% достижимая чувствительность на входе АФМ АИК обычно составляет $10^{-7} \dots 10^{-8}$ Вт. Существенным фактором, ограничивающим чувствительность, является следующее. Используемые полупроводниковые модуляторы, которые несложны и надежны, обеспечивают недостаточную глубину модуляции с малым уровнем модулирующего сигнала в интервале частот до несколько сот килогерц. Выходные сигналы промежуточной частоты (ПЧ) балансных смесителей-преобразователей БС₁ и БС₂ СВЧ АФМ имеют ту же частоту. Однако известно, что уровень шумов генератора, генерируемых на частоте сигнала, отстоящего от опорного на величину

таких невысоких ПЧ, значительный. К этим шумам следует добавить паразитные сигналы на частоте полезного сигнала, проникающие в опорный тракт извне конечных развязок опорного и сигнального трактов, а также паразитный сигнал, обусловленный отражением от модулятора M_1 обратно через вентиль к делителю мощности DM_1 и проникающий в опорный тракт из-за конечной развязки выходных плеч делителя мощности DM_1 . Заметим, что для подавления последнего требуется вентиль с весьма большим затуханием - $L_{\text{вент}} \geq 45 \text{ дБ}$.

Для повышения чувствительности и уменьшения погрешностей измерения предпринимаются меры по обеспечению большей степени подавления помех, проникающих в опорный тракт. С этой целью в [1] для достижения баланса преобразователей в широком интервале перестраиваемых частот измерения каждый раз до начала измерения осуществляется контроль режима баланса преобразователей. В режиме контроля модулирующее напряжение частоты модуляции Ω от генератора опорного напряжения (ГОН) подается через включенный тумблер Т на введенный в опорный канал модулятор M_2 , который имитирует в нем стабильный по амплитуде и фазе паразитный сигнал той же частоты, что и полезный сигнал. При этом величина модулирующего напряжения такова, что паразитный имитируемый сигнал на порядок выше порогового сигнала АФМ, а attenuатором сигнального канала АТТ₂ в нем устанавливается уровень полезного сигнала ниже пороговой величины. Далее attenuатором АТТ₁ опорного канала устанавливается номинальная мощность опорного сигнала, которая контролируется в АФМ перед каждым измерением при перестройке частоты. После этого индикатором, подсоединяемым попеременно к выходам балансируемых каналов амплифицированных компонент, регулируется и фиксируется положение потенциометра балансного усилителя БУ, соответствующее минимальному (почти нулевому) показанию индикатора, что реализует условие баланса его смесителя-преобразователя. В режиме измерений тумблер Т выключен.

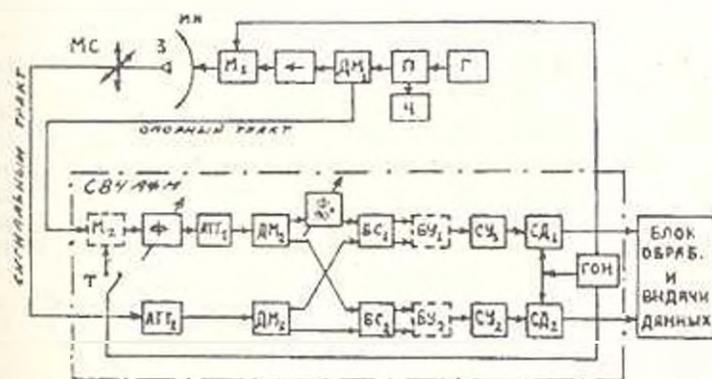


Рис. 1.

Г - генератор, П - механический переключатель, Ч - частотомер,
 ДМ - делитель мощности, М - модулятор, ИА - испытываемая антенна,
 МС - механический сканер, Ф - фазодриватель.

АТТ - attenuатор, БС - балансный смеситель, БУ - балансный
 усилитель, СУ - селективный усилитель, СД - синхронный детектор.

ГОН - генератор опорного напряжения, Т - тумблер.

АФМ - амплитудометр.

В устройстве применялись разработанные широкополосные двойные Т-мосты в качестве делителей мощности и мостов для балансных смесителей-преобразователей БС₁ и БС₂. Развязка между плечами Е и Н мостов составляла не менее 30 дБ, между боковыми плечами - не менее 24 дБ, а КСВН плеч - $\leq 1,25$. Преобразователи работали на подобранных в пары диодах ДБШ с постоянным смещением. Потери преобразования смесительных камер равны: $L_{пр} \leq 10$ дБ.

КСВН $\leq 1,35$, номинальный уровень опорного сигнала - 1 мВт, обратные потери вентиля в виде составного циркулятора - $L_{пр} \geq 45$ дБ. Частота модуляции составляла: $\Omega = 10$ кГц, а относительная нестабильность генератора Г по частоте не превышала значения 2×10^{-4} , по амплитуде - 0,5 дБ. Динамический диапазон амплитуд - 0...40 дБ, фазы - 0...360°, полоса частот - 25%. При многократных измерениях вдоль одной и той же вертикальной линейки в поле раскрытия антенны абсолютные разбросы результатов измерений составляли по амплитуде: $\Delta A \leq 2$ дБ, а по фазе - $\Delta \theta \leq 6^\circ$.

Схема устройства позволила реализовать чувствительность АИК величиной 10^{-17} Вт на входе СВЧ АФМ. Но в коротковолновом миллиметровом диапазоне длин волн следует ожидать снижения чувствительности на два-три порядка по следующим причинам: а) существенное возрастание шумов генератора; б) значительное затухание в узлах, выполненных на одномодовых волноводах, и меньшие обратные потери вентиля в полосе частот; в) отсутствие балансных пар смесительных диодов, их большой разброс параметров, а также повышенный собственный шум; г) низкая степень согласования смесительных камер, равномерности деления мощности между плечами аналогичных мостов, развязки плеч мостов в полосе частот. Последние две причины препятствуют достижению требуемой степени подавления помех опорного канала с помощью изложенного метода балансировки смесителей-преобразователей.

На рис. 2 приведена возможная схема АИК для измерения в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн, где не отображены система автоматического управления и блок обработки и выдачи данных. В качестве механического сканера и системы автоматического управления в случае планарных измерений, возможно, например, применение устройства, предложенного в [2]. Опорный и сигнальные тракты, являясь квазиоптическими, с целью экранировки выполнены на сверхразмерных металлических волноводах. В качестве подвижной части сигнального тракта можно применить подвижные сверхразмерные волноводные сочленения, осуществляющие непрерывную самокомпенсацию изменения длины тракта с помощью перемещающихся синхронно с зондом сверхразмерных квазиоптических ромбонных колен [3]. В схеме на сверхразмерных волноводах выполняются также: направленные ответвители КНО₁ и КНО₂, являющиеся ответвителями с полупрозрачными пластинами [4], интерферометры Маха-Цендера И₁ и И₂, модулятор М. Модулятор представляет собой Г-образное сочленение волноводов, в диагональной цели которого вращается зеркально-отражающий диск с прорезанными в нем окнами. Диск вращается синхронным двигателем, задающим частоту модуляции Ω и ту же частоту выходного напряжения ГОН. При

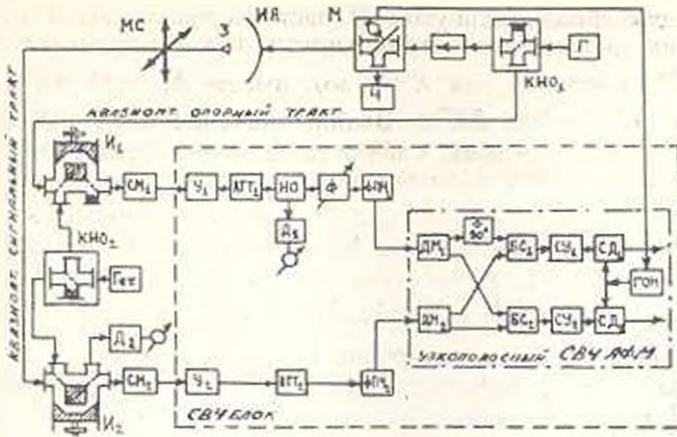


Рис. 2

Г - генератор, КНО1 - квазиоптический крестообразный направленный ответитель, М - механический квазиоптический модулятор, Ч - частотомер, ИА - испытываемая антенна, З - зона, МС - механический сканер, И - интерферометр Маха-Цендера, Гет - гетеродина, Д - детекторная секция, СМ - шундный смеситель, У - усилитель, СВЧ, АТТ - аттенуатор, НО - направленный ответитель СВЧ, Ф - фазовращатель, ФПЧ - фильтр промежуточной частоты, ДМ - делитель мощности, БС - балансный смеситель, СУ - селективный усилитель, СД - синхронный детектор, ГОИ - генератор опорного напряжения, АФМ - амплификатор.

вращения диск периодически прерывает падающий на него луч, то пропускает его прямо к испытываемой антенне ИА, то отражая перпендикулярно к частотомеру Ч. Применение такого модулятора наряду с выполнением основной функции и удобством, связанным с непрерывным контролем частоты основного генератора Г, значительно уменьшает величину паразитного сигнала, обусловленного отражением от модулятора М к ответителю КНО₁. Таким образом, снимается проблема венгрия с большим обратным затуханием.

Главной особенностью в аппаратурной части является то, что полезный сигнал из диапазона миллиметровых волн переводится в диапазон СВЧ посредством преобразователя на основе интерферометра И. Маха-Цендера, являющегося балансным и малозумящим [5, 6]. Далее полезный сигнал усиливается малозумящим СВЧ усилителем У₁, фильтруется фильтром ФПЧ, и проходит на дальнейшую обработку в СВЧ АФМ. Аналогичное прохождение и преобразование имеет место и для опорного сигнала, а также генерируемой основным генератором Г шумовой компонентой (на частоте полезного сигнала) и паразитных сигналов. Последние два сигнала далее подвергаются эффективному подавлению благодаря применению узкополосного СВЧ АФМ, т.к. в балансных СВЧ преобразователях реализация СВЧ мостов или направленных ответителей с высокими значениями электрических характеристик и подбор пар идентичных смесительных диодов в узкой относительной полосе частот (до 5%) являются вполне выполнимыми задачами. Возможность же применения узкополосного СВЧ АФМ объясняется тем, что достаточная полоса $\Delta F_{\text{пол}}$ фильтров ФПЧ, а следовательно, и СВЧ АФМ, может составлять величину, в несколько раз

превышающую абсолютный уход Δf частоты генератора Г и гетеродина Гет. При их достаточной стабильности для обеспечения измерений $\Delta f / f = 10^{-7}$, например, для $\lambda = 1$ мм, имеем $\Delta f = 30$ МГц, при этом принимаем $\Delta f_{\text{пч}} = 100$ МГц. Выбор значения СВЧ ПЧ обусловлен следующими ограничениями. Сверху ее величина ограничена шумовыми характеристиками СВЧ усилителей, а снизу - условием узкополосности СВЧ АФМ, т.е. $\Delta f_{\text{пч}} / f_{\text{пч}} \ll 1$, и разумными габаритами интерферометров Маха-Цейдера, в которых при их правильной работе разность хода лучей d по двум каналам самого интерферометра определяется известным соотношением $d = \lambda_{\text{пч}}$, где $\lambda_{\text{пч}}$ - длина волны СВЧ ПЧ. Значение ПЧ в интервале $1 \dots 5$ ГГц например, $f_{\text{пч}} = 2$ ГГц удовлетворяет всем трем условиям, при этом относительная полоса частот СВЧ АФМ составляет 5%.

Предполагая, что при реализации приведенной схемы можно обеспечить значение чувствительности $10^{-10} \dots 10^{-11}$ Вт на входе интерферометра I_2 , оценим необходимую мощность $P_{\text{вс}}$, подаваемую на модулятор М от выходного сигнального плеча ответвителя КНО. Для четкой регистрации и точных измерений потребуем, чтобы полезный сигнал $P_{\text{мин}}$ на входе интерферометра I_2 при нахождении зонда на краю зоны сканирования составлял бы величину $P_{\text{мин}} = 10^{-9}$ Вт. При площади раскрытия испытуемой антенны S_A , КПД антенны ν_A , уровне сигнала на краю зоны сканирования G , затухании в сигнальном тракте $L_{\text{тр}}$, площади раскрытия зонда S_z , КПД зонда ν_z имеем

$$P_{\text{мин}} = P_{\text{вс}} S_z \nu_z \nu_A \nu_s G L_{\text{тр}} / S_A \quad \text{и} \quad P_{\text{вс}} = P_{\text{мин}} S_A / S_z \nu_z \nu_A \nu_s G L_{\text{тр}}$$

Если диаметр раскрытия антенны $r = D_A = 100\lambda$, $\nu_z \nu_A \approx 0.6$, $L_{\text{тр}} = 10^{-1}$, $G = 10^{-2}$ (-20 дБ по мощности), а зондом является одномодовый волновод $S_z = a \times b = 0.4\lambda^2$, т.к. для волноводов этого диапазона $a \approx 0.9\lambda$ и $b \approx 0.5a$, получим: $P_{\text{вс}} = 30$ мВт. Полученное значение мощности лежит в интервале мощностей маломощных генераторов, в качестве которых можно использовать низковольтные и малогабаритные генераторы на фосфид-индиевых (InP) диодах Ганна.

В заключение отметим перспективы предложенной схемы измерений. По всей возможно измерение параметров антенн как в активном, так и в пассивном режимах. Устройство, реализующее эту схему, может быть унифицировано: им можно проводить измерения во всем коротковолновом диапазоне миллиметровых волн при наличии соответствующих комплектов сменных генераторов, зондов с переходами, полупроводниковых пластин интерферометров и ответвителей, детекторных секций и диодных смесителей со своими переходами к сверхразмерному волноводу. При такой унификации разумно СВЧ блок выполнять в микрополосковом исполнении. Устройство пригодно также для измерения некоторого распределения поля, для чего в качестве источника опорного сигнала в измеряемом поле нужно разместить второй неподвижный зонд, а модулятор переставить в разрыв неподвижной и подвижной частей квазиоптического сигнального тракта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян В.Г., Симонян Р.И. и др. Амплифазометр 5-см диапазона длины волны для антенных измерений // Метрологическое обеспечение антенных измерений ВКАИ-3. Тез докл. Всесоюз конф. / ВНИИРИ. - Ереван, 1984 - С. 363-364
2. А.с. 1493959 СССР МКИ G01R 29/10 Устройство для измерения распределения поля в раскрытой антенне / В.Г. Аветисян (СССР) № 1308517/24-09; Заявл. 06.07.87; Опубл. 05.07.89. Бюл. № 26 - 5 с.
3. Пат. 2017164 РФ, МКИ G01R 29/08 Устройство для измерения распределения поля в раскрытой антенне / В.Г. Аветисян (РА). - № 4952810/09; Заявл. 30.04.91. Опубл. 30.07.94. Бюл. №14. Приоритет 30.04.91. - 8 с.
4. Wed. Y., Hresson A., Papoula R., Wegrows Y.G. Nouvelles techniques d'utilisation des ondes millimetriques et submillimetriques // L'Onde Electrique, - janvier, 1964 - T. 44, N 442 - p. 26-35.
5. Федосеев Л.И., Кутиков В.Ю. Супергетеродинамные радиометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волны // Радиотехника и электроника - 1971 - Т. 16, № 4 - С. 554-560
6. Дрягин Ю.А., Куткин Л.М., Дубяко Л.В. К вопросу о подавлении шумов гетеродина в супергетеродинамных приемниках с высокой промежуточной частотой // Там же - 1974 - Т. 19, № 8 - С. 1770-1780

Ереванский НИИ "Комета"

10.IV. 1994

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, №2, 1995, с. 116-120.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА

Э.Н. АЦЦИЯНИ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВОЗДУШНЫХ КОЛПАКОВ-ГАСИТЕЛЕЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Անալիտիկական են օգտին խզան-նարիչների նաշխարի վերոնման բանաձևեր, որոնք օգտագործող գնահատում է արհեստագործական օդային խոց օգտագործելու արդյունավետությունը:

Рекомендуются аналитические зависимости для расчета воздушных колпаков-гасителей гидравлического удара. С помощью полученных зависимостей оценивается эффективность использования воздушных колпаков на насосных станциях.

Ил.2. Библиогр.: 6 назв.

Analytical dependencies for designing air cap-quenchers of hydraulic shock are recommended. By means of these dependencies obtained the effectiveness of using air caps on pump stations is evaluated.

Ил. 2. Ref. 6.

Одним из способов гашения гидравлического удара в напорных трубопроводах насосных станций является установка воздушного колпака в начале трубопровода. Задачей расчета является определение объема воздуха в колпаке, который обеспечивает требуемое гашение