

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА СТЕНКИ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

И. Ф. Демьянков, В. С. Жилков, Г. С. Берлин

Харьков

Перспективы развития электровакуумных устройств СВЧ диапазона при увеличении выходной мощности выдвигают вопрос об измерении уровней мощности порядка $200 \text{ квт} \div 1 \text{ Мвт}$ в режиме непрерывной генерации либо таких же средних значений в импульсном режиме. Если при построении ваттметров ориентироваться на калориметрический метод, измерение с погрешностью $8 \div 10\%$ на этих уровнях потребует создания сложных вспомогательных систем. Неэффективны, по-видимому, и пондеромоторные ваттметры крутильного типа, вследствие сложности обеспечения необходимой электрической прочности линии и требуемой чувствительности.

В этой связи интересно изучение метода измерения мощности, основанного на использовании давления электромагнитных волн на стенки линии передачи. Датчик давления при этом практически не нарушает однородности линии передачи.

Необходимо отметить, что датчики такого типа, описанные в работах [1, 2], по своим конструктивным и электрическим параметрам не подходят для измерения мощности СВЧ с достаточной для практики точностью из-за своей нестабильности, громоздкости и неудобства конструкции, наличия сложной вспомогательной аппаратуры и др.

В данной статье рассматривается вопрос о возможности использования механотронных преобразователей в качестве датчиков давления электромагнитного поля, приводится краткое описание конструкции прибора с таким датчиком и результаты его исследований.

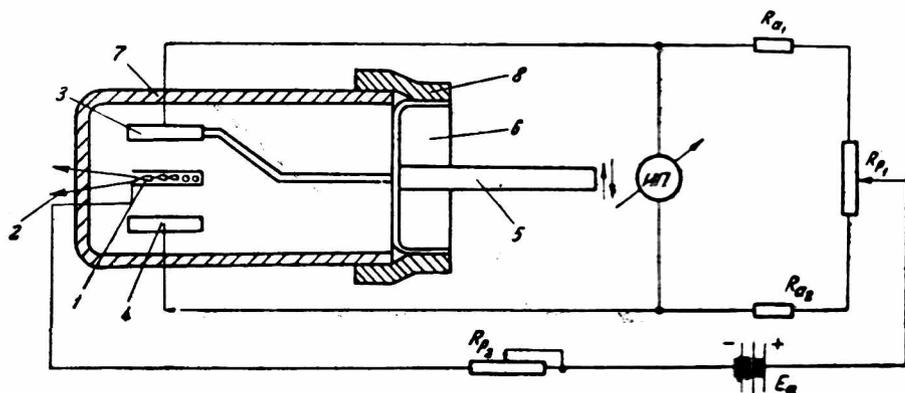


Рис. 1. Конструкция и схема включения механотрона 6МХ1Б:

1 — катод подогревный; 2 — подогреватель; 3 — анод подвижный; 4 — анод неподвижный; 5 — штырь; 6 — мембрана; 7 — стеклянный баллон; 8 — втулка.

Электронная промышленность серийно выпускает механотронные преобразователи (механотроны) — электронные лампы, управление анодным током которых осуществляется перемещением одного из электродов (анода) [3, 4]. На рис. 1 показана конструкция и схема включения механотрона типа 6МХ1Б. Механический сигнал через штырь 5 и мембрану 6 передается на подвижный анод 3, который перемещается относительно катода 1. Второй анод 4 неподвижен, и ток, протекающий через него, остается постоянным. Действие силы на штырь механотрона вызывает изменение внутреннего сопротивления промежутка подвижный анод-катод, что приводит к разбалансу моста. О величине этой силы судят по изменению показаний индикатора, включенного в диагональ моста.

Рассмотрим характеристику механотрона.

Процесс преобразования входной механической величины M в выходную электрическую \mathcal{E} происходит в два этапа:

1) M преобразуется упругим чувствительным элементом в линейное перемещение подвижного электрода Δa или в угловое $\Delta \theta$;

2) Δa ($\Delta \theta$) преобразуется в \mathcal{E} .

Преобразование будет линейным, если

$$\mathcal{E} = \delta M, \quad (1)$$

где δ — чувствительность.

Различают две чувствительности механотронов:

δ_1 — чувствительность механической системы к силам; см/дин; см/н;

δ_2 — электрическая чувствительность; а/см; в/см.

Связь между ними

$$\delta = \delta_1 \delta_2, \quad \text{а/дин; в/дин.} \quad (2)$$

Выходная характеристика механотрона $I_{\text{вых}} = f(\alpha)$, или $I_{\text{вых}} = f(\gamma)$ (α — линейное перемещение подвижного электрода; γ — нагрузка на штырь механотрона) в определенных пределах измерений является линейной. На рис. 2 изображена типовая характеристика серийного механотрона 6МХ1Б. Чувствительность его (20000 мкА/Г) позволяет измерять механические усилия (0,02—0,03 дин). Такой же порядок имеют силы, действующие на стенки линии передачи, со стороны электромагнитного поля при мощности в линии ~ 100 вт (волновод сечением 35×15 мм²).

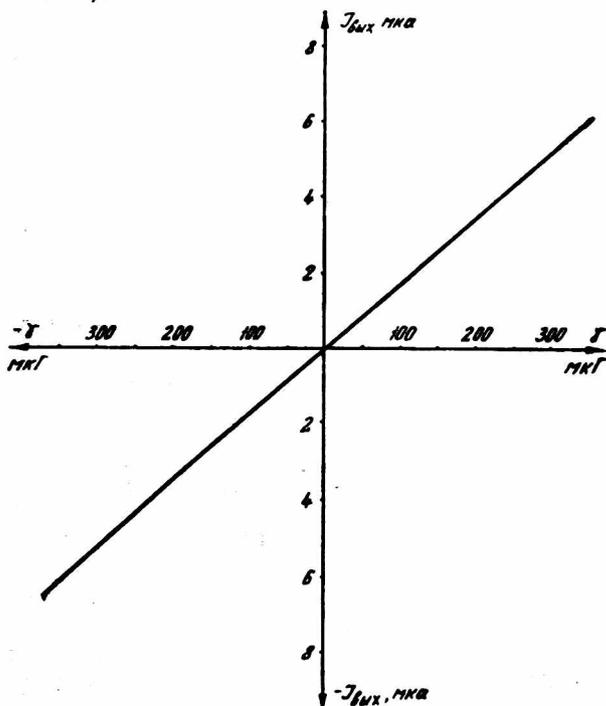


Рис. 2. Динамометрическая рабочая характеристика механотрона 6МХ1Б.

Рассмотрим кратко принцип действия ваттметра, работающего на эффекте давления электромагнитного поля на стенки волновода.

Пондеромоторная сила электромагнитного поля, действующая на узкую стенку прямоугольного волновода, определяется по формуле [5]:

$$F_{\text{в}} = \frac{P}{c} \cdot \frac{\lambda_0 \lambda_{\text{в}}}{\lambda_{\text{кр}}^2} \cdot \frac{1}{ab}, \quad (3)$$

где P — мощность, проходящая по волноводу;

c — скорость света в свободном пространстве;

λ_0 , $\lambda_{\text{в}}$, $\lambda_{\text{кр}}$ — длина волны в свободном пространстве, в волноводе и критическая длина волны;

a , b — внутренние размеры волновода.

Датчиком, воспринимающим $F_{\text{в}}$, является плоская металлическая пластина, жестко закрепленная на штыре механотрона и расположенная в окне, вырезанном в узкой стенке волновода.

Схема прибора с механотронным преобразователем приведена на рис. 3. Основные его элементы: 1 — волновод; 2 — пластина; 3 — механо-

тронный преобразователь (Ш — штырь, A_1 — неподвижный анод, A_2 — подвижный анод, К — общий катод); 4 — система индикации — мостовая схема (R_{a1} , R_{a2} — анодные нагрузки, R_{p1} , R_{p2} — потенциометры, И — индикатор).

Под действием сил электромагнитного поля подвижная система (пластина — штырь механотрона) отклоняется на какое-то расстояние. Индикатор в диагонали моста ввиду линейности выходной характеристики механотрона $I_{\text{вых}} = f(\gamma)$ дает показания, пропорциональные $F_{\text{в}}$ и, следовательно, мощности, передаваемой по волноводу.

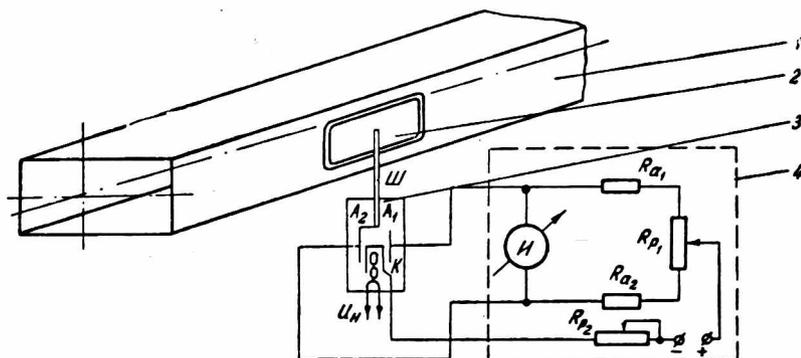


Рис. 3. Схема прибора.

Работа индикатора мощности проверялась по калориметрическому ваттметру МЗ-13. Величина тока в диагонали моста была пропорциональной значениям мощности, определяемой калориметрическим ваттметром (табл.). При этом наблюдалась хорошая повторяемость показаний индикатора.

I , <i>мкА</i>	1,1	1,65	2,2	3,3	4,4	6,6
P , <i>вт</i>	50	75	100	150	200	300

Для повышения чувствительности ваттметра выходной сигнал в диагонали моста необходимо усилить.

К достоинствам применения механотронов в качестве датчиков давления электромагнитного поля кроме высокой чувствительности следует отнести то обстоятельство, что питание измерительной схемы осуществляется от низковольтных источников напряжений: 10 ÷ 20 в для анодов и 6,3 в для накала; а также большие возможности взаимозаменяемости механотронных преобразователей.

Конструкция датчика давления позволяет провести абсолютную электрическую калибровку ваттметра методом Каллена, что очень важно для такого датчика как абсолютного калибруемого устройства.

Так, рабочее уравнение пондеромоторного ваттметра с механотронным датчиком давления можно записать в виде

$$P = \frac{K_m}{K_e} \cdot \Delta I, \quad (4)$$

где K_M — механический калибровочный коэффициент;
 K_e — электрический калибровочный коэффициент;
 ΔI — изменение тока в мостовой схеме прибора.

Величина $K = \frac{K_M}{K_e}$ для данного прибора является постоянной, т. е. о мощности, проходящей по волноводу, можно судить по изменению анодного тока ΔI .

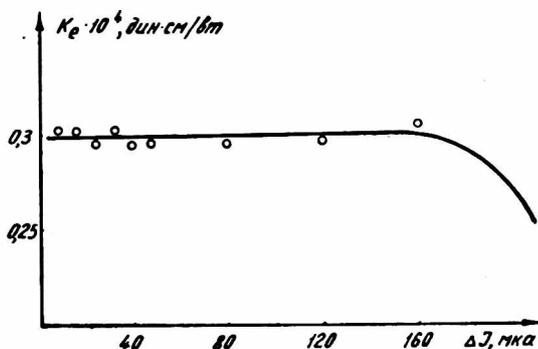


Рис. 4. График зависимости $K_e = f(\Delta I)$.

Формула для определения K_e в данном случае будет иметь вид

$$K_e = -\frac{1}{2c} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_B} \cdot \left[\frac{\Delta x^{(1)} + \Delta x^{(2)}}{\Delta I} \right] \psi(\alpha), \text{ дин} \cdot \text{см/вт}, \quad (5)$$

где $\psi(\alpha)$ — чувствительность механотрона к перемещениям, мкА/мк;
 $\Delta x^{(1)}$, $\Delta x^{(2)}$ — перемещения короткозамыкающего поршня при проведении калибровки [6].

Данные экспериментального определения K_e при различных значениях ΔI показаны на графике (рис. 4). Линейность зависимости $K_e = f(\Delta I)$ говорит о пригодности данного метода калибровки для датчиков механотронного типа.

Калибровку датчика можно проводить и по электрическим характеристикам лампы. Для этого на штырь механотрона подвешивают разновесы различных номиналов и строят выходную характеристику $I_{\text{вых}} = f(\gamma)$. Переведя затем приложенные усилия в единицы мощности, по показаниям прибора и градуировочной кривой судят об измеряемой мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Пенякова. Ваттметры нового типа. «Радиотехника», т. 9, № 5, 1954.
2. Б. Г. Билык, Р. А. Валитов. К вопросу об измерении высоких уровней мощности. «Ученые записки ХГУ», т. 102. Труды радиофакультета, т. 3, 1959.
3. Г. С. Берлин. Электронно-механический датчик малых перемещений и усилий. «Приборы и техника эксперимента», 1961, № 5.
4. Г. С. Берлин. Механотронные преобразователи и их применение в измерительной технике. «Измерительная техника», 1970, № 9.
5. А. А. Бокринская, Е. Т. Скорик. Методы измерения мощности в диапазоне СВЧ, Госиздат., Киев, 1962.
6. A. L. Cullen Absolute power measurement of microwave frequencies, Proc. IEE, 1952, 99, pt. IV, p. 133.
7. И. Ф. Демьянков, В. Г. Этенко, Е. Г. Билык, В. Д. Кукуш, В. С. Жилков. Пондеромоторное действие электромагнитных волн на стенки волноводов, Д-1913. «Реф. инф. по радиоэлектронике», № 17, 1970.