

## ВОЛНОВОДНЫЙ ПОРШЕНЬ С ПРУЖИНАМИ, ОБРЕЗАННЫМИ ВДОЛЬ ЛИНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТОКОВ

А. П. Дорохов

### ВВЕДЕНИЕ

В технике сантиметровых волн широко применяются волноводные настроенные поршни приведенной на рис. 1, *а* конструкции.

С целью повышения надежности электрического контакта механический контакт этих поршней с волноводом осуществляется в поперечном сечении волновода, проходящем через узел продольных поверхност-

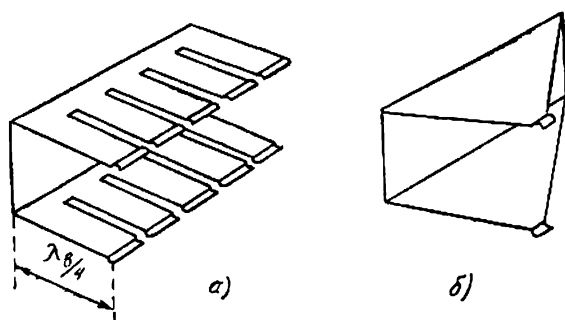


Рис. 1.

ных токов (линия *ЛК* на рис. 2). При этом продольные токи не пересекают линии ненадежного механического контакта пружины со стенками волновода. Благодаря этому должны снижаться требования к качеству этого контакта.

При разработке поршней указанной конструкции не было учтено действие поперечных поверхностных токов волновода, плотность которых близка к плотности продольных токов. На внутренней поверхности контактной пружины поршня (рис. 1, *а*) устанавливается такое же распределение поверхностных токов, как и в короткозамкнутом волноводе на участке  $\lambda/4$  от его торца (рис. 2). Как видно из рис. 1, *а* и рис. 2, на линии контакта *ЛК* находится пучность поперечных токов. Так как вдоль этой линии токи несколько раз переходят из лепестков пружины на стенки волновода, качество переходных контактов в этом месте имеет существенное значение.

Встречаясь со щелями между лепестками и между крайними лепестками и боковой стенкой волновода, поперечные токи возбуждают электромагнитное поле между контактной пружинной и стенками волновода. Это

поле просачивается за поршень. Оно может служить источником помех в высокочувствительных приемных устройствах.

Частотные свойства поршня неудовлетворительны. Если длина волны в волноводе изменится, то узел тока переместится относительно линии механического контакта вперед или назад. При этом вдоль всей линии контакта появятся токи, имеющие продольную составляющую, и надежность контакта еще больше ухудшится.

Поршень чувствителен к вибрациям. При вибрациях лепестки отстают от поверхности волновода и поперечные токи переходят от лепестка к лепестку не через контакт с волноводом, а огибая разрез и при посредстве токов смещения. В результате этого изменяется реактивность поршня и нарушается согласование настраиваемого элемента.

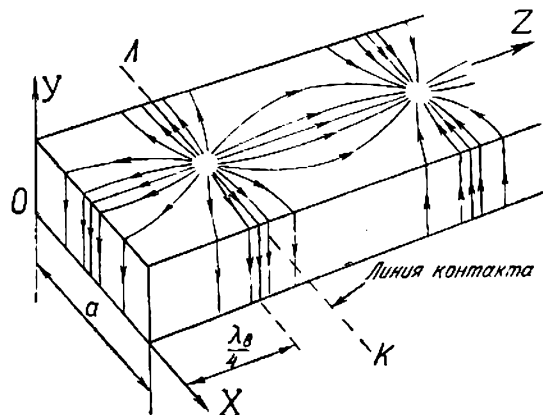


Рис. 2.

В производстве такой поршень капризен. Для обеспечения надежного контакта по всей линии  $ЛК$  необходимо добиваться одинакового отжатия всех лепестков поршня, хорошего прилегания к волноводу каждого лепестка по всей его ширине.

Указанных недостатков можно избежать, применив поршень, обрез контактной пружины которого выполнен вдоль линии поверхностных токов (рис. 1, б). Как видно из рис. 2, такой обрез можно сделать или вдоль прямой  $ЛК$ , или вдоль линий тока, идущих с узла токов к торцевым граням волновода в точки  $x = 0$  и  $x = a$ .

В первом варианте поршень целесообразно выполнить в форме сплошного четвертьволнового короткозамкнутого отрезка волновода, внешние размеры которого близки к внутренним размерам настраиваемого волновода.

Для исследований был выбран поршень второго варианта (рис. 1, б) из-за следующих его преимуществ по сравнению с первым: большей технологичности и простоты, меньшей просачивающейся за поршень мощности (поскольку передний срез этого поршня находится в области минимальных поверхностных токов и не максимального электрического поля, лучших частотных свойств (в первом варианте из-за уменьшения внутренних размеров поршня по сравнению с размерами волновода частотное изменение длины волны в поршне будет большим).

## Расчет формы переднего среза поршня

Найдем уравнение линий поверхностных токов на стенках волновода для случая возбуждения в прямоугольном волноводе колебаний основного типа  $H_{10}$ .

Согласно [1], составляющие магнитного поля падающей волны этого типа выражаются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} H'_x &= j\alpha \frac{a}{\pi} A_{10} \sin \pi \frac{x}{a} e^{-j\alpha z} = M e^{-j\alpha z} \\ H'_z &= A_{10} \cos \pi \frac{x}{a} e^{-j\alpha z} = N e^{-j\alpha z} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Здесь  $A_{10}$  — множитель, зависящий от амплитуды возбуждающего поля;

$a$  — размер широкой стенки волновода;

$\alpha$  — постоянная распространения;

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_B}; \quad \lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}; \quad (2)$$

$\lambda_B, \lambda$  — длины волн соответственно в волноводе и в неограниченной среде.

Поле стоячей волны получим, сложив поля падающей ( $H'_x, H'_z$ ) и отраженной ( $H''_x, H''_z$ ) волн:

$$H_x = H'_x + H''_x; \quad H_z = H'_z + H''_z. \quad (3)$$

Здесь

$$H''_x = M e^{j\alpha z}, \quad H''_z = -N e^{j\alpha z}. \quad (4)$$

Поверхностные токи перпендикулярны силовым линиям магнитного поля. Траектории токов можно построить, найдя уравнения кривых ортогональных этим силовым линиям:

$$\frac{dx}{dz} = -\frac{H_z}{H_x}. \quad (5)$$

Сделаем подстановку (4), (1), (3) в (5) и проведя очевидные преобразования, получим

$$\frac{aa}{\pi} \frac{\sin \pi \frac{x}{a}}{\cos \pi \frac{x}{a}} dx = \frac{\sin \alpha z}{\cos \alpha z} dz. \quad (6)$$

После интегрирования и подстановки значений  $\alpha$  имеем в интервале

$$\begin{aligned} 0 \leq z \leq \frac{\lambda_B}{4} \quad \text{и} \quad 0 \leq x \leq \frac{a}{2}: \\ z = \frac{\lambda_B}{2\pi} \arccos \left\{ \cos \left[ C \cos \left( \frac{2a}{\lambda_B} \right) \pi \frac{x}{a} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Найдем линию тока, проходящего через начало координатной системы (рис. 2). Постоянную  $C$  определим из начальных условий: при  $z = 0$  для данной линии тока  $x = 0$ ; следовательно, из (7) получаем  $C = 1$ .

Пронормируем относительно  $a$  уравнение (7) и подставим в него значения  $\lambda_b$  и  $C = 1$ :

$$\frac{z}{a} = \frac{1}{\pi \sqrt{\left(\frac{2a}{\lambda}\right)^2 - 1}} \operatorname{arccos} \left\{ \cos \left[ \cos \left( \frac{2a}{\lambda} \right)^2 - 1 \right] \frac{x}{a} \right\}. \quad (8)$$

Результаты расчета по уравнению (8) для соотношений между длиной волны и размером широкой стенки волновода  $\frac{\lambda}{a}$ , равном 1,22, 1,3, 1,39, 1,48, 1,51 (что соответствует длинам волн  $\lambda = 28, 30, 32, 34, 36$  мм в волноводе сечением  $10 \times 23$  мм<sup>2</sup>), приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

Значения  $\frac{z}{a}$  в функции от  $\frac{x}{a}$  и  $\frac{\lambda}{a}$

$\frac{x}{a} \backslash \frac{\lambda}{a}$	1,22	1,30	1,39	1,48	1,51
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,15	0,148	0,150	0,151	0,151	0,152
0,20	0,195	0,189	0,200	0,202	0,203
0,25	0,240	0,245	0,249	0,253	0,255
0,30	0,282	0,291	0,298	0,305	0,310
0,35	0,310	0,325	0,337	0,347	0,352
0,40	0,350	0,374	0,395	0,413	0,430
0,45	0,373	0,408	0,442	0,473	0,503
0,50	0,383	0,430	0,485	0,550	0,630

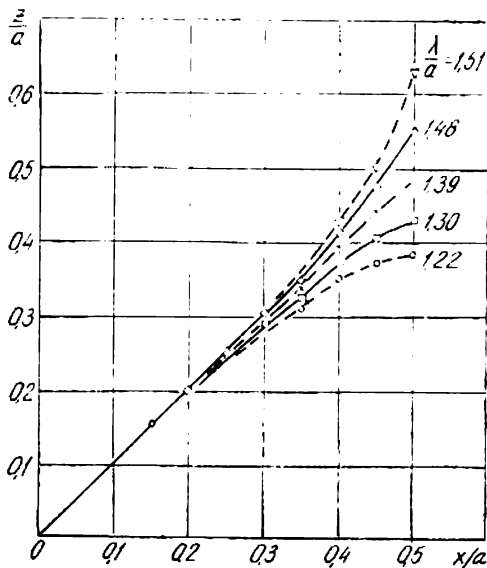


Рис. 3

В широком диапазоне волн токи протекают по близким траекториям (рис. 3) до расстояния  $0,4 a$  от узкой стенки волновода. По мере приближения к середине волновода траектории расходятся, однако плотность тока в этом месте быстро снижается. Например, при  $x = 0,4 a$  она составляет 0,31 плотности тока у боковых стенок.

Поэтому целесообразно контактные пружины поршня вырезать по траекториям токов средней волны рабочего диапазона. Изгиб пружин должен быть таким, чтобы механический контакт осуществлялся в узле поперечных и продольных токов волновода.

С учетом этих соображений были изготовлены и исследованы поршни, развертки пружин которых показаны на рис. 4, I и 4, II.

## Экспериментальное исследование поршней

1. Проверка уровня просачивающейся мощности. Опыт производился при помощи установки, собранной по блок-схеме рис. 5.

Волновод, соединяющий генератор *I* и приемную детекторную секцию *7*, перекрывался поршнем *5*. Чтобы избежать резонансов в отрезке волновода между поршнем и детекторной секцией *7*, сюда вводился аттенюатор *6* с затуханием около 25 дб. Аттенюатор *2* служил для относительного отсчета уровня просачивающейся мощности. При помощи трансформатора сопротивлений *4* замкнутый поршнем участок волновода согласовывался с питающим волноводом. Согласование контролировалось по максимуму сигнала в детекторной секции и коэффициенту бегущей волны в питающем волноводом. При настройке удавалось получить к. б. в пределах 0,5 ÷ 0,625.

Уровень просачивающейся за поршни *II*, *III* и *IV* мощности оказался в сравнении с поршнем *I* соответственно равным — 1,5 дб, 14 дб и 8 дб.

2. Проверка частотных свойств поршня. В общем случае устройство, в состав которого входит поршень, является более широкополосным, если реактивность поршня слабее изменяется с изменением длины волны. Изменение реактивности, вносимой поршнем, определялось по смещению первого от поршня узла напряженности электрического поля  $\Delta z_{\min}$  с изменением длины волны (рис. 6). За начальное принималось положение узла при  $\lambda = 33$  мм.

Более резкое изменение реактивности поршня *III* можно объяснить увеличивающимся с удлинением волны искривлением путей поверхностных токов, огибающих разрезы многолепестковой пружины.

При поршне *II* наблюдалось примерно такое же смещение узла напряженности электрического поля, как и при поршне *I*, а при поршне *IV*, как при поршне *III*, что свидетельствует о слабом влиянии боковых лепестков пружин на распределение поверхностных токов.

3. Проверка виброустойчивости поршней. Виброустойчивость проверялась по смещению первого узла напряженности электрического поля  $\Delta z'_{\min}$  при нарушении механического контакта между пружинами поршня и стенками волновода (табл. 2). Чем меньше это смещение, тем менее чувствителен поршень к вибрациям. Разрыв контакта производился путем ввода полоски писчей бумаги между контактной пружинной и стенками волновода при фиксированном положении поршня.

Таблица 2.

Частота, Мгц		8250	8000	7750
Смещение первого узла напряженности электрического поля $\Delta z'_{\min}$ , мм	При поршне I	0,6	0,7	0,9
	При поршне III	0,7	1,0	1,3

Как видно из табл. 2, нарушение контакта приводило к большим смещениям  $\Delta z'_{\min}$  в случае поршня с прямоугольными контактными лепестками. Разброс этих данных также больше в случае поршня *III*, что свидетельствует о меньшей его надежности.

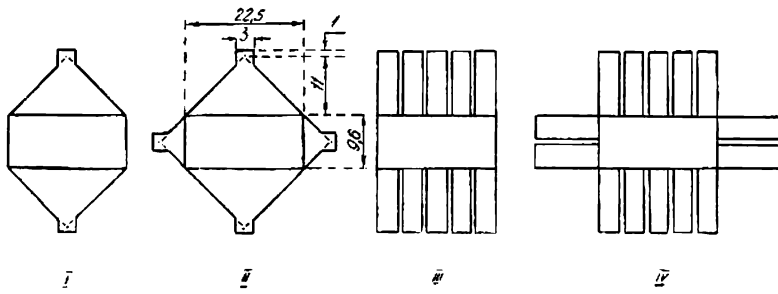


Рис. 4.

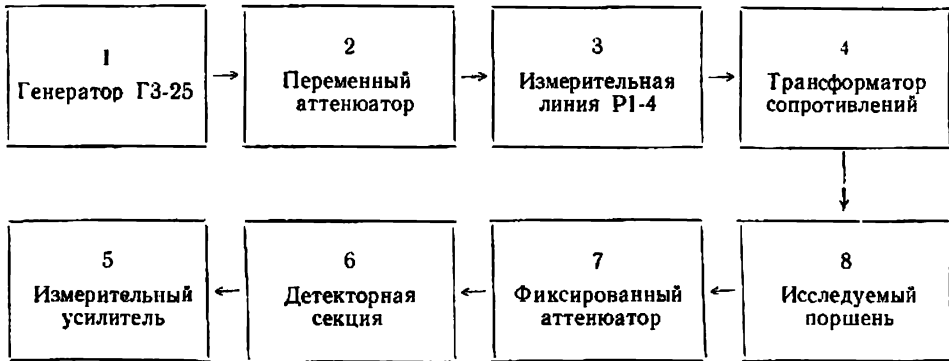


Рис. 5.

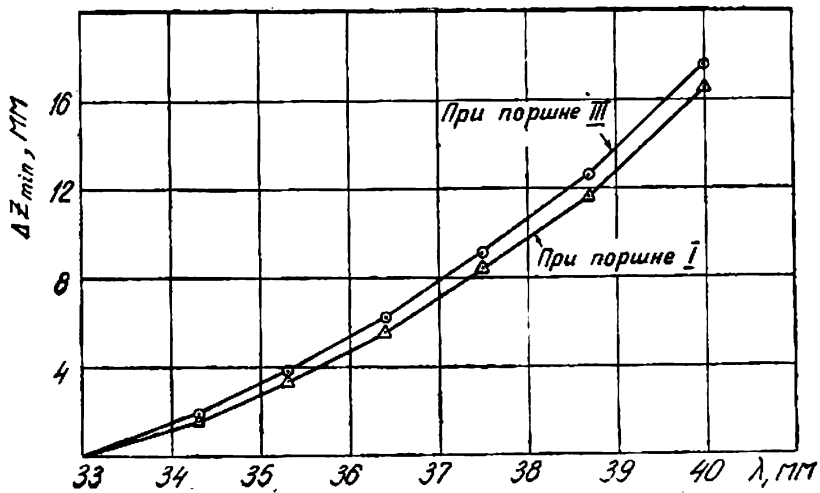


Рис. 6.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из данных опыта следует, что поршню с контактной пружиной предлагаемой формы (рис. 4, I) присущи следующие преимущества по сравнению с поршнем, получившим в настоящее время наиболее широкое распространение (рис. 4, III):

- 1) меньший уровень просачивающейся за поршень мощности;
- 2) лучшие частотные свойства;
- 3) лучшая виброустойчивость и надежность электрического контакта при более простом раскрое контактной пружины.

Из результатов опыта также следует, что введение в поршень I боковых контактных лепестков не изменяет существенно его свойств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Гольдштейн, Н. В. Зернов. Электромагнитные поля и волны  
Изд-во «Сов. радио», 1956.

---