

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЪЕМНЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Л. А. КОВРИГИН, А. П. ОЛЬШАНСКИЙ, Е. В. ПАДУСОВА

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Измерение абсолютного значения напряженностей электромагнитного поля сопряжено со значительными трудностями, особенно при исследовании слабых электромагнитных полей. В ряде случаев достаточно производить измерение относительной напряженности электромагнитного поля, которая носит название относительной интенсивности и для электрического поля определяется соотношением

$$I = \frac{E^2}{W},$$

где E — электрическая составляющая напряженности электромагнитного поля;

W — энергия электромагнитного поля, запасенная в системе.

Интенсивности поля в волноводе и соответствующем волноводном резонаторе одинаковы по величине. Ввиду этого измерение интенсивности поля в волноводах можно производить на резонансных макетах с использованием метода малых возмущающих тел.

Сущность метода заключается в том, что при помещении в резонатор малого возмущающего тела происходит сдвиг резонансной частоты, пропорциональный интенсивности поля в данной точке.

Если известны чувствительность используемого зонда A и сдвиг резонансной частоты Δf_0 , то интенсивность поля определится по формуле

$$I = \frac{\Delta f_0 / f_0}{A}.$$

Чувствительность зонда A вычисляется теоретически или определяется экспериментально путем калибровки зонда в специальном резонаторе, интенсивность поля в котором можно рассчитать.

Основной трудностью при использовании этого метода, особенно в случае низких добротностей исследуемых систем, является измерение малых сдвигов частоты. Для измерения малых сдвигов резонансной частоты могут быть использованы различные установки, которые сводятся в основном к двум типам схем.

В первой схеме [2] используется автоподстройка частоты клистронного генератора на частоту возмущенного резонатора. Частоты колебаний клистронного и опорного генераторов сравниваются между собой методом биений, обеспечивающим высокую точность измерения. Точность измерения сдвига частоты равняется 1 кГц при соответствующей стабильности частоты генераторов. Однако схема сложна в настройке, требует тщательного согласования элементов схемы на фиксированной частоте и ввиду этого плохо приспособлена для работы в диапазоне частот. Во второй схеме [1, 3] используется визуальный метод, который позволяет производить измерение сдвига частоты по резонансной кривой, наблюдаемой на экране осциллографа с помощью высокочастотного резонансного волномера. Недостатком данной схемы является невысокая точность измерений, особенно при исследовании резонаторов с малой добротностью.

Нами разработана установка (рис. 1), которая позволяет получить высокую точность измерения малых сдвигов частоты (погрешность менее 1 кГц) при сравнительной ее простоте. Это достигается тем, что

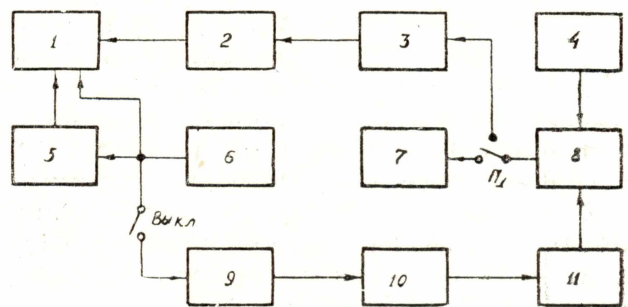


Рис. 1. Блок-схема установки. 1—Осциллограф. 2—Ограничитель. 3—Усилитель. 4—Опорный генератор. 5—Импульсная схема. 6—Генератор пилообразного напряжения. 7—Частотомер. 8—Смеситель. 9—Клистронный генератор. 10—Аттенюатор. 11—Исследуемый резонатор.

настройка исследуемого резонатора производится визуально по частотной характеристике, наблюдаемой на экране осциллографа, а измерение сдвига частоты осуществляется методом биений. Последовательное ограничение и усиление сигнала, воспроизводящего резонансную характеристику резонатора, и увеличение частотного масштаба развертки позволяет наблюдать верхушку резонансной кривой в увеличенном масштабе, что эквивалентно увеличению добротности. Исследуемый резонатор в этом случае может быть охарактеризован эквивалентной добротностью

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{\sqrt{\left(\frac{1}{c}\right)^2 - 1}},$$

где Q — добротность исследуемого резонатора;
 c — уровень ограничения.

Уровень ограничения определяется отношением сигнала к шуму на входе усилителя. При исследовании резонатора с добротностью $Q = 750$ (полоса пропускания $\Delta F = 4$ мГц) на экране осциллографа наблюдалась верхушка резонансной кривой шириной $\Delta f = 200$ кГц, что соответствовало использовавшемуся уровню ограничения 0,998. Эквивалентная добротность резонатора для этого случая равняется 15000.

Для измерения сдвигов частоты при внесении в резонатор возмущающего тела был разработан метод создания частотной метки, сущность которого заключается в следующем. На отражатель клистрона пилообразное напряжение подается через конденсатор, поэтому в моменты прохождения пилообразного напряжения через нуль (t_1 , t_2 и т. д.) частота колебаний клистрона f равняется частоте колебаний в непрерывном режиме. Изменением постоянного напряжения, поданного на отражатель клистрона, эту частоту можно сделать равной резонансной частоте исследуемой системы. В моменты времени t_1 , t_2 и т. д. импульсная схема вырабатывает короткие импульсы отрицательной полярности, которые подаются на модулирующий электрод трубки и вызывают появление темной метки на развертке осциллографа. Когда частота клистрона равна резонансной частоте системы, метка будет находиться на вершине резонансной кривой. При отключении модулирующего напряжения частота клистрона f остается равной резонансной частоте системы. Измерение частотного сдвига между резонансной частотой возмущенного резонатора и частотой опорного генератора осуществляется методом биений.

Полученный нами частотный масштаб горизонтальной развертки составлял 1,6 кГц/мм. Ширина метки равнялась 1 мм. Питание клистронного генератора осуществлялось от батарей, а питание остальных цепей схемы стабилизировалось феррорезонансными стабилизаторами.

Точность измерения частотного сдвига зависит от точности измерения частоты биений и точности настройки системы в резонанс. Измерение частоты биений производится гетеродинным волномером с точностью, гарантируемой паспортом прибора. Точность настройки в резонанс зависит в основном от частотного масштаба изображения, получаемого на экране осциллографа:

$$\delta f = \frac{\Delta f_{\text{э}} \cdot x}{l},$$

где $\Delta f_{\text{э}} \approx \sqrt{\frac{2\Delta U}{U}} \Delta f_0$ — полоса частот эквивалентного резонатора;

l — длина развертки осциллографа;

x — величина, характеризующая точность установления метки на вершине резонансной кривой;

Δf_0 — полоса пропускания исследуемого резонатора;

U — величина напряжения на выходе усилителя без ограничения;

ΔU — напряжение, соответствующее верхушке резонансной кривой.

При заданном коэффициенте усиления усилителя и чувствительности электронной трубки полоса частот эквивалентного резонатора может быть определена как

$$\Delta f_{\text{э}} \approx \Delta f_0 \sqrt{\frac{2\Delta U_{\text{ш}} h}{U d}},$$

здесь h — вертикальный размер изображения резонансной кривой,

d — ширина шумовой полосы на развертке осциллографа.

Отношение $\frac{U_{\text{ш}}}{U} = 1/\rho$ может быть задано произвольно.

В окончательном виде формула, определяющая погрешность измерения частотного сдвига, может быть записана в виде:

$$\delta f \approx \frac{\Delta f_0 x}{l} \sqrt{\frac{2h}{p d}},$$

величина $\sqrt{\frac{2h}{p d}} < 1$ характеризует уменьшение погрешности визуального метода, обусловленное применением ограничения резонансной кривой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Рапопорт. Измерение напряженности электрического поля в эндометрических резонаторах методом смещения резонансной частоты диэлектрическим зондом, Радиотехника, т. 12, № 6, 1957.
2. L. C. Maier, I. S. Slater. Field strength measurement in Resonant Cavities, J. Appl. Phys. vol 23, N 1, 1952.
3. С. И. Тетельбаум, Г. И. Гладышев, Г. Н. Рапопорт. О некоторых методах измерения напряженности электрических полей в резонаторах и волноводах на свч, Сборник Трудов Института электротехники АН УССР, вып. 12, 1955.