

## ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВОДНЫХ СИСТЕМ

П. И. ГОСЬКОВ

Успешное осуществление всех необходимых при разработке волноводных синхротронов экспериментальных исследований электродинамических характеристик (дисперсии, сопротивления связи, добротности, шунтового сопротивления) различных волноводных систем возможно только при наличии соответствующей универсальной измерительной установки. Подобная установка должна удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Установка должна обеспечивать возможность измерения всех электродинамических характеристик волноводных систем.

2. Установка должна позволять проводить измерения в большом диапазоне частот и в широком интервале электродинамических свойств волноводных систем.

3. Установка должна быть простой в эксплуатации и обеспечивать возможность постоянного контроля правильности ее работы.

4. Используемые методы должны обеспечивать необходимую точность измерений.

5. Методы измерения должны быть однотипными, т. е. по возможности все необходимые измерения должны сводиться к измерению одной (двух) величин.

6. Применяемые методы должны обеспечивать одновременность и независимость измерения всех электродинамических параметров. Это в свою очередь обеспечит высокую скорость измерения.

7. Используемые методы должны позволять проводить полную или частичную автоматизацию процесса измерений, так как только автоматизация сможет обеспечить максимальную быстроту и простоту экспериментальных исследований электродинамических характеристик волноводных систем.

Из известных измерительных установок СВЧ-диапазона применительно к задаче всестороннего исследования электродинамических характеристик различных волноводных систем ни одна не удовлетворяет перечисленным требованиям. Прежде всего следует заметить, что эти установки не позволяют измерять все электродинамические параметры волноводных систем, а тем более одновременно и однотипным способом. Большинство известных установок громоздки и сложны в эксплуатации, используют трудоемкие и не очень точные методы измерений. Как правило, эти установки узкополосные. Следовательно, их вообще невозможно использовать для исследования волноводных систем на



основе штыревых структур, так как последние являются весьма широкополосными системами. В частности, в диапазоне СВЧ некоторые из них могут обладать полосой пропускания порядка 20—30 см [1, 2].

Широкодиапазонная установка для экспериментального исследования электродинамических характеристик волноводных систем, наиболее полно удовлетворяющая вышеперечисленным требованиям, в настоящее время может быть изготовлена только в случае использования либо метода ударного возбуждения, либо метода комбинированного зонда, предложенных автором. Однако при проведении очень большого объема экспериментальных исследований разных типов волноводных систем целесообразно, чтобы установка позволяла проводить измерения обоими методами. Это объясняется тем, что в случае волноводных систем со слабой относительной напряженностью ускоряющего электрического поля визуальные способы не обеспечивают необходимой точности. В этом случае только применение метода комбинированного зонда и канала гетеродинного измерения частоты может обеспечить до некоторого предела  $I_{z \min}$  достаточную точность. Величина  $I_{z \min} = \frac{E_z^2}{W}$

при этом, очевидно, определяется минимально различным сдвигом резонансной частоты, т. е.  $\Delta f_{p \min} \simeq 1 \text{ кгц}$ , что может наблюдаться только в случае очень слабых электрических полей ( $I_z \rightarrow 0$ ). Волноводные системы с подобными свойствами, разумеется, не представляют интереса для целей ускорения. Следовательно, сочетание двух методов измерения электродинамических параметров позволит проводить широкий комплекс экспериментальных исследований свойств волноводных систем.

Минимальный диапазон действия подобной измерительной установки должен быть  $\lambda = 10\text{—}30 \text{ см}$  (1000—3000 Мгц). Перекрыть его при помощи одного СВЧ-генератора весьма трудно, особенно при использовании стандартных генераторов. При разработке измерительной установки мы исходили из условия возможно более быстрого ее изготовления. Этого можно достичь только в случае максимального использования стандартной аппаратуры. Поэтому для получения необходимого диапазона частот в качестве источника СВЧ-мощности были взяты два генератора стандартных сигналов ГСС-15 с диапазоном  $\lambda = 14,8\text{—}31 \text{ см}$  и ГСС-27 с диапазоном  $\lambda = 7,8\text{—}15,6 \text{ см}$  (рис. 1). Таким образом, благодаря использованию этих генераторов, диапазон действия установки составил от 7,8 см до 31 см. Ввиду использования двух методов измерения генераторы должны работать в двух режимах: в режиме непрерывной генерации и в режиме внешней импульсной модуляции.

В качестве внешнего модулятора удобно использовать двухполярный генератор прямоугольных импульсов 26-И, работающий в режиме внутренней модуляции. В принципе можно использовать модуляторы, имеющиеся в обоих генераторах, т. е. использовать их в режиме внутренней модуляции. Однако это не целесообразно, так как тогда для осуществления гашения части переходной характеристики при использовании метода ударного возбуждения потребуется некоторая переделка радиосхем ГСС-15 и ГСС-27. Кроме того у генератора 26-И более широкий диапазон перестройки длительности и частоты следования импульсов.

Для осуществления задержки гасящего импульса относительно модулирующего СВЧ-источник используется малогабаритный генератор импульсов МГИ-1. Он запускается отрицательным импульсом с 26-И. С его выхода отрицательный импульс подается на модулирующий элек-



трод осциллографа Э0-7, в результате чего и осуществляется гашение части переходной характеристики. Регулировкой «задержка» на МГИ-1 можем устанавливать производительный уровень гашения. При работе в режиме ударного возбуждения сигнал с резонансного макета волноводной системы через детекторную секцию и усилитель подается на вход осциллографа. Усилитель используется в случае слабых сигналов.

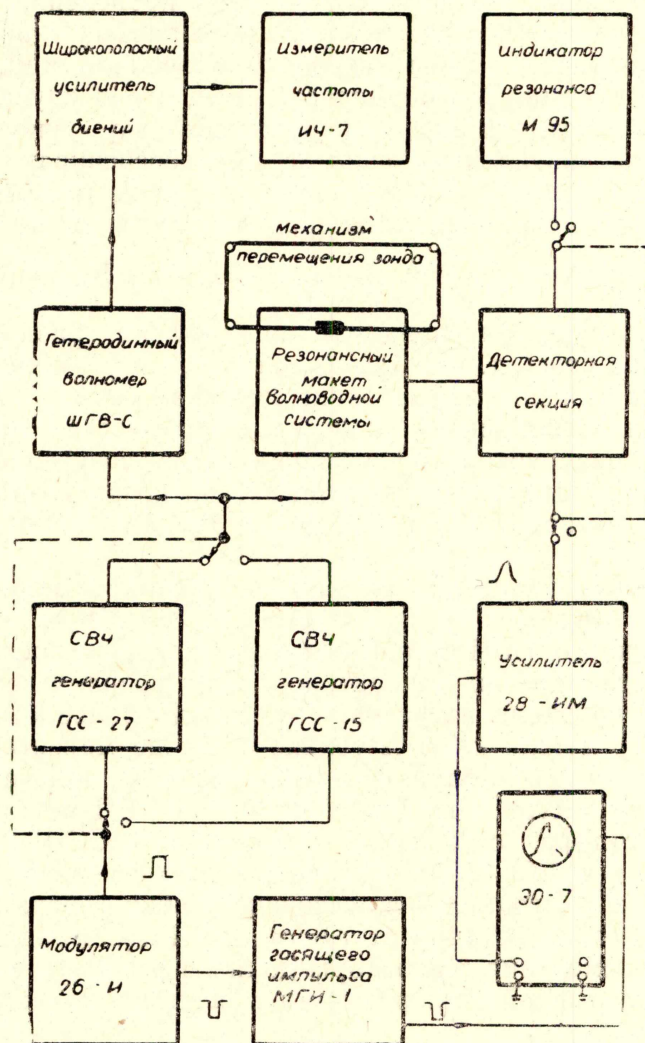


Рис. 1. Широкодиапазонная измерительная установка для исследования электродинамических характеристик волноводных систем

При работе в режиме непрерывной генерации в качестве индикатора резонанса используется чувствительный зайчиковый микроамперметр М95 или М198. При достаточно сильном сигнале можно использовать измерительный усилитель 28-ИМ. Для точного измерения ухода резонансной частоты используется канал гетеродинного измерения частоты, состоящий из гетеродинного волномера ШГВ-С, широкополосного усилителя сигнала биений и измерителя частоты ИЧ-7. Вместо стандартного широкополосного усилителя (например, УШ-10) в дан-



ной установке используется более компактный усилитель, (собранный по известной схеме) с полосой пропускания 4 *Мгц*.

Использование стандартной аппаратуры, естественно, увеличило размеры установки, но зато позволило в очень короткий срок собрать, и настроить ее и провести все необходимые исследования электродинамических характеристик большого числа различных штыревых систем. Это является несомненным преимуществом установок подобного типа.

Полученные результаты были использованы в НИИ ЯФЭА ТПИ при разработке эскизного проекта безжелезного волноводного синхротрона на 2 *Гэв*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Госьков. Изв. ТПИ. Т. 139, 1965.
  2. П. И. Госьков. Изв. ТПИ, наст. сборник.
  3. а) П. И. Госьков, П. И. Матяж. Бюлл. изобр. № 10, 1965.
  - б) П. И. Госьков. Изв. вуз. «Физика», 3, 1963.
  4. П. И. Госьков. Авт. св-во, кл. 21д, 36, заявка № 901145/26-25.
-