

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФЛЮКТУАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Измерение уровня электрического шума в любой радиотехнической системе может помочь не только в решении вопроса выделения полезного сигнала из этого шума, но и в определении общих эксплуатационных свойств системы — качества сопротивления, оксидного катода и т. д. Особенно большую информацию о технологических характеристиках системы содержат шумы мерцания (фликкер-эффект), появление которых иногда свидетельствует о скрытых дефектах изделия. Поэтому весьма важно располагать аппаратурой для измерения шумов мерцания с чувствительностью, по мощности равной в пределе тепловым шумам сопротивления или дробовым шумам радиолампы. При измерении шумов мерцания сопротивления — его избыточных шумов — предел чувствительности аппаратуры определится тепловыми шумами сопротивления, и для измерения в полосе частот порядка 10 гц и сопротивлении 1 ком имеем [1]

$$\bar{u}_{\text{пред}}^2 = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 10^3 \cdot 10 = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ в}^2$$

или входной сигнал с уровнем  $1,3 \times 10^{-8} \text{ в}$  должен уверенно регистрироваться измерительной аппаратурой.

Ниже предлагается описание аппаратуры, по своим параметрам приближающейся к указанному пределу в 0,013 мкв.

### Низкочастотный спектрометр

Шумы мерцания изменяются с частотой по приближенному соотношению вида  $1/f$  и отсюда интересующая нас информация будет наибольшей на звуковых и инфразвуковых частотах для сопротивлений и оксидных катодов, для полупроводниковых приборов частотный диапазон расширяется примерно до 1,5—2 гц.

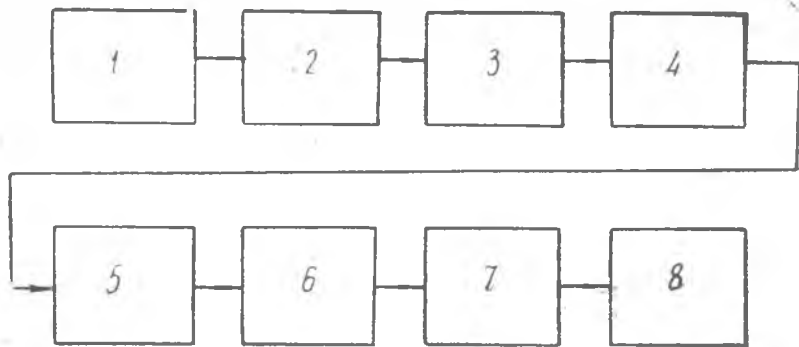


Рис. 1. Блок-схема низкочастотного спектрометра.

начинаясь также от инфранизких частот 1. Одним спектрометром нецелесообразно охватывать весь диапазон, и аппаратура делится на два блока — низкочастотный и высокочастотный. Рассмотрим блок-схему низкочастотного спектрометра рис. 1—2. Основное усиление создается широкополосным усилителем 3 и избирательным усилителем 4. После детектора 5 сигнал поступает на сверхнизкочастотный фильтр 6,

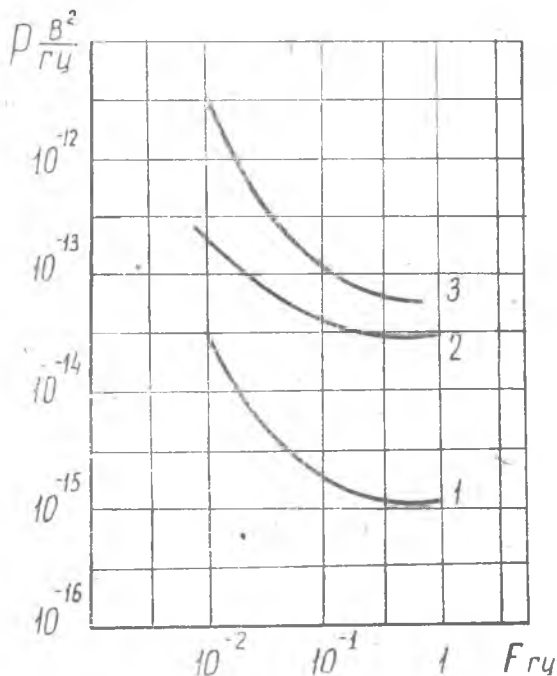


Рис. 2. Спектральная плотность шума мерцания:

1 — собственные шумы спектраскопа; 2 — шумы сопротивления; 3 — шумы транзистора.

работающий на частотах от 1 до 0,01  $\mu\text{ц}$  с полосой пропускания от 0,25 до 0,008  $\mu\text{ц}$ . Почти периодический сигнал с выхода фильтра и определяет мощность шума мерцания исследуемой системы. Шумы спектрометра на частоте 1  $\mu\text{ц}$  намечены порядка  $10^{-15} \text{ в}^2$  — величина заметно отличается от предела, устанавливаемого тепловыми флуктуациями, несмотря на применение малозумящей лампы в усилителе 3. Дальнейшее увеличение чувствительности низкочастотного спектрометра произ-

водится при помощи входного параметрического усилителя с коэффициентом усиления порядка 20 дБ и весьма низким собственным шумом. На рис. 2 (кривая 1) показана еще одна особенность описываемого прибора — зависимость чувствительности от частотного диапазона измерений. Там же приводятся характерные кривые спектральной плотности для пленочного сопротивления кривая 2 и полупроводникового триода кривая 3. Как и следовало ожидать, шумы мерцания изменяются пропорционально  $1/f^\alpha$ , где  $\alpha \approx 1$  для собственных шумов прибора и шумов сопротивления и явно больше 1 для триода.

### Высокочастотный спектрометр

Высокочастотный спектрометр может быть изготовлен на базе высококачественного приемника с диапазоном от 140 кГц до 2 мГц, что использовано нами в схеме, показанной на рис. 3. Здесь исследуемый элемент 2 подключается к фильтру-приемнику 3 и уровень шума регистрируется квадратичным вольтметром 4. Но в таком виде схема имеет чувствительность порядка  $10^{-15} \text{ в}^2$ , поэтому для увеличения последней применяется низкочастотная модуляция э. д. с. шума в исследуемом объекте при помощи звукового генератора 1, работающего совместно с источником постоянного тока 6. Промодулированный сигнал подается на усилитель 5 и синхронный детектор 7, регистрация проводится квадратичным вольтметром 8. В результате чувствительность измерений возра-

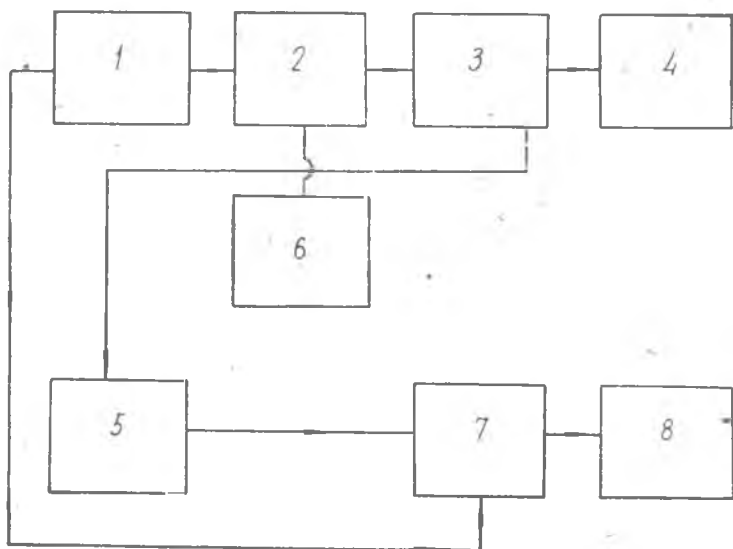


Рис. 3/4. Блок-схема высокочастотного спектрометра.

стает и, согласно рис. 4, равна  $10^{-16}$   $\text{в}^2$  при полосе фильтра синхронного детектора 0,5  $\text{гц}$ , что несколько лучше предела, требуемого измерениями данного вида. На рис. 4 показаны спектральная плотность шумов, сопротивление пленочного типа, кривые 2, 3, 4 с неисправной вероятно структурой — шумы мерцания простираются до 1,5  $\text{мгц}$ , что характерно только для полупроводниковых приборов.

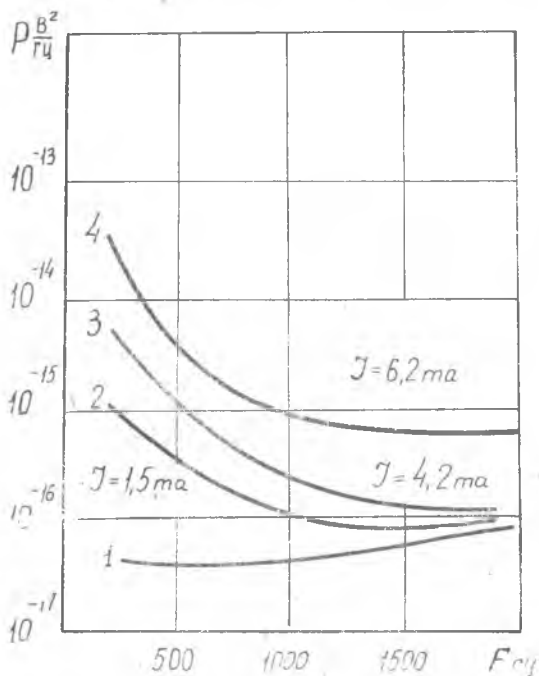


Рис. 4.\* Спектральная плотность шумов высокочастотного спектрокопа и пленочного сопротивления:

1 — шумы спектрокопа; 2, 3, 4 — шумы пленочного сопротивления для трех значений тока через сопротивление. Очевидна квадратичная зависимость шума от тока.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить недостаточную чувствительность, полученную в низкочастотном спектрометре; пути ее увеличения намечены, но решение вопроса затруднено очень большой чувствительностью системы к высшим воздействиям как электрического, так и механико-акустического происхождения. Задача увеличения чувствительности высокочастотного спектрометра успешно решена благодаря применению синхронного детектирования в сочетании с модуляцией уровня шума. К сожалению, подобную методику нельзя применять на низких частотах из-за близости гармонических

составляющих модуляционного сигнала к частоте настройки избирательного фильтра. В заключение следует отметить возможность измерения любой неэлектрической флюктуирующей величины предлагаемой аппаратурой при включении соответствующих датчиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ван-дер-зил. «Флюктуации в радиотехнике и физике». М., Госэнергоиздат, 1958.
  2. О. Г. Эльстинг. «Различимость сверхнизкочастотных сигналов в шумах мерцания». «Радиотехника и электроника» стр. 53—58. Труды КуАИ вып. 85.
  3. Разработка и применение средств информационно-измерительной и вычислительной техники. Тезисы докладов научно-технической конференции, стр. 35. Куйбышев, 1965.
-