

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

Device for polarization and magnetization measurements using voltage-to-charge conversion is described. Conversion part of the device is based on charge-sensitive circuit with high input impedance operational amplifier and peak detector unit. Circuit layout is presented and capacitive feedback parameters are defined to obtain good conversion linearity.

Метод зарядочувствительного детектирования в последнее время применяется для регистрации спектров частиц [1], определения характеристик полупроводниковых приборов. Применение зарядочувствительных устройств в физических измерениях стало возможным с появлением полупроводниковых операционных усилителей (ОУ) в виде интегральных схем, имеющих относительно низкую стоимость и высокие технические характеристики. Анализ передаточной функции ОУ с емкостной обратной связью (ОС) [2] показывает, что амплитуда выходного напряжения при малой разности входных токов с достаточной точностью пропорциональна выходному напряжению, определяется емкостью ОС и практически не зависит от емкости входной цепи, т. е.  $U_{\text{вых}} \approx -q / C_{\text{ос}}$ , где  $U_{\text{вых}}$  – напряжение на выходе ОУ;  $C_{\text{ос}}$  – емкость ОС. В установках для изучения процессов намагничивания ферромагнетика, поляризации сегнетоэлектрика амплитуда сигнала составляет  $\sim 10^{-4} - 10^{-2}$  В. Это обеспечивает возможность прямого включения ОУ в измерительную цепь лабораторной установки. Использование зарядочувствительного детектирования значительно упрощает калибровку измерительной цепи, так как достаточно знать лишь заряд входной цепи ОУ.

На рисунке представлена принципиальная схема лабораторной установки на основе ОУ, которая выполнена в виде отдельных модулей, подключаемых к блоку детектирования D. Модуль для изучения намагничивания ферромагнетика содержит исследуемый образец T, выполненный в виде тороида, операционный усилитель DA 1, включенный по схеме интегратора; амперметр (mA) постоянного тока с шунтом и реостат R 1, с помощью которого устанавливается ток намагничивания. В рассматриваемых измерениях на вход ОУ поступает сигнал ЭДС индукции, возбуждаемой в измерительной обмотке L 2 при выключении тока в обмотке L 1. Измерительная обмотка подключается к гнездам XS 1 и XS 2 блока детектирования D. Для получения линейной выходной характеристики напряжение-заряд необходимо, чтобы время выключения (или коммутация) тока было значительно меньше постоянной времени выходной цепи, т. е.  $t_k \ll C_{\text{ос}} R_{\text{вых}}$ , где  $R_{\text{вых}}$  – выходное сопротивление ОУ. Отсюда следует, что минимальная емкость конденсатора ОС при характерных значениях  $t_k \sim 10^{-4}$  с (при использовании для коммутации транзисторного ключа) и  $R_{\text{вых}} \sim 10^3$  Ом должна быть  $\sim 10^{-6}$  Ф. В схеме детектирования используется ОУ с достаточным быстродействием (время нарастания выходного сигнала не менее 5 В/мкс) и малой разностью входных токов (менее 2 нА). Время регистрации напряжения на выходе ОУ не должно превышать характерное время интегрирования ( $\sim 10^{-3}$  с). Амплитуда напряжения на входе ОУ при коммутации тока для характерных значений индукции магнитного поля  $B \sim 10^{-2}$  Тл составляет  $\sim 10^{-2}$  В и оказывается сравнимой с напряжением смещения большинства стандартных ОУ. Поэтому для установления нулевого напряжения на выходе ОУ используется внешняя балансировка. Выключение тока в цепи намагничивания обеспечивается транзистором VT 1, который запирается при размыкании цепи базы. При выключении тока в намагничивающей обмотке конденсатор C 3 обратной связи заряжается выходным напряжением ОУ через резистор R 3 и измерительную обмотку L 2. При достаточно большой емкости конденсатора C 3 его заряд будет пропорционален падению напряжения на суммарном сопротивлении резистора R 3 и измерительной обмотки или индукции магнитного поля.

Измерив амплитуду напряжения на выходе ОУ, можно определить заряд, протекающий в измерительной цепи  $q = C_{oc}U_{вых}$ , и магнитную индукцию  $B = Rq/SN$ , где  $C_{oc}$  – емкость конденсатора С 3;  $R$  – суммарное сопротивление обмотки и резистора  $R_3$ ;  $N$  – число витков в измерительной обмотке;  $S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода тороида.

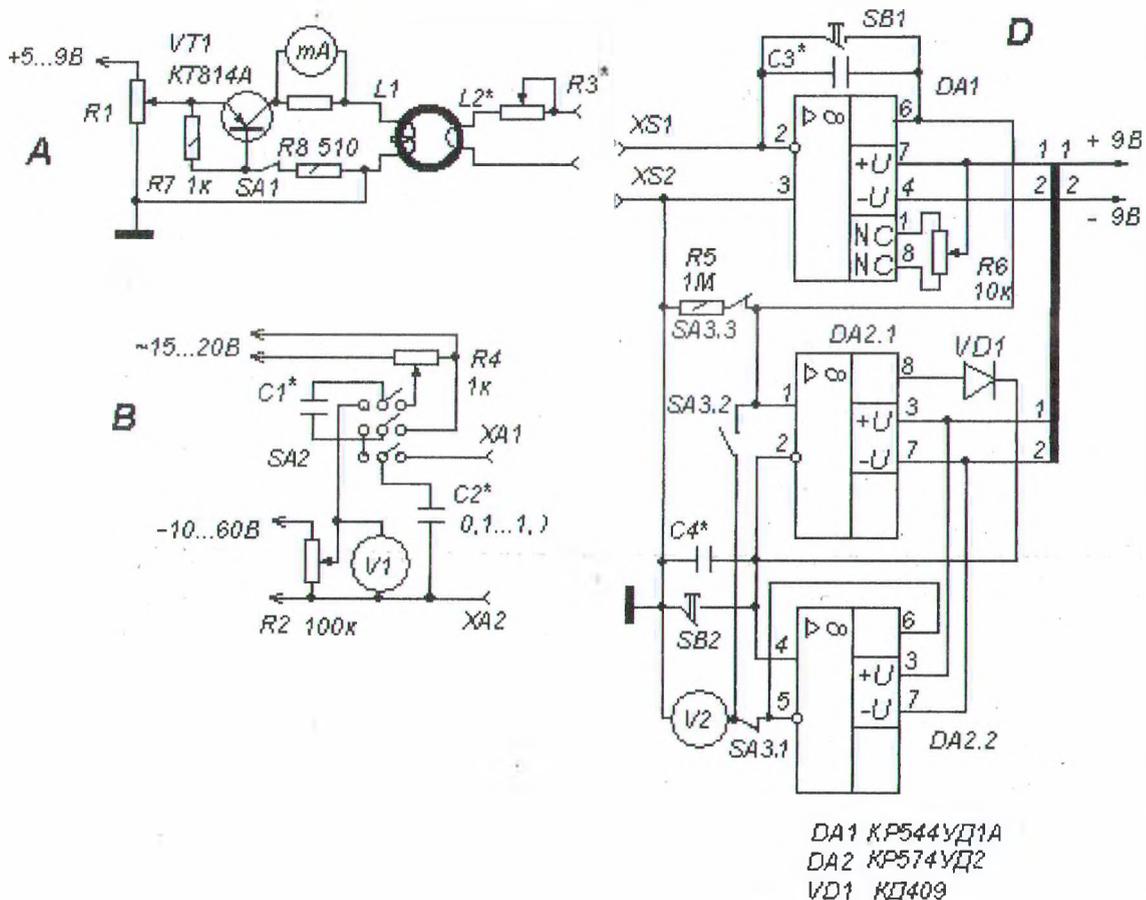


Рисунок. Принципиальная схема лабораторной установки: А – модуль для изучения намагничивания ферромагнетика; В – модуль для изучения поляризации сегнетоэлектрика; D – детектор

Емкость конденсатора ОС цепи, предназначенной для изучения поляризации, можно оценить из условия приближенного равенства зарядов образца сегнетоэлектрика и емкости ОС. Оценки показывают, что для типичных геометрических параметров образца емкость  $C_{oc}$  составляет  $\sim 10^{-10}$ – $10^{-9}$  Ф. В состав модуля (В, рис. 1) входят исследуемый образец, представляющий собой плоский конденсатор С 1 с исследуемым сегнетоэлектриком, и конденсатор С 2 с диэлектриком, проницаемость которого не зависит от напряженности электрического поля. Конденсатор С 1 может подключаться к источнику переменного (50 Гц) напряжения для деполяризации образца. При переключении конденсатора С 2 на вход ОУ DA 1 определяется заряд конденсатора С 1. Поляризованность сегнетоэлектрика и его диэлектрическая проницаемость определяются по известному значению  $U$  и измеренной величине заряда  $q = C_{oc}U_{вых}$ .

Амплитуда напряжения  $U_{вых}$  на выходе ОУ определяется с помощью пикового детектора, который построен на основе двух последовательно соединенных повторителей напряжения [3]. В данной установке применяются сдвоенный ОУ DA 2.1 и DA 2.2 с высоким входным сопротивлением ( $>10^{10}$  Ом). Выходной ток ОУ DA 2.1 заряжает накопительный конденсатор С 4 до напряжения, равного напряжению на выводе 1 DA 2.1. Разряд конденсатора С 4 происходит очень медленно из-за высоких входного сопротивления

DA 2.2 и обратного сопротивления диода VD 1 ( $\sim 10^8$  Ом). Напряжение на выходе DA 2.2, которое равно напряжению на С 4, измеряется вольтметром постоянного тока V 2. Принудительная разрядка конденсаторов С 3 и С 4, а также подготовка к следующему измерению обеспечивается кнопками SB 1 и SB 2.

Установка может быть использована и для оценки остаточной намагниченности ферромагнитного материала (необходимый сигнал обеспечивается перемещением микрозонда вблизи поверхности образца), а также для определения характеристик пьезоэлектрических датчиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В.А., Колубин А.А., Логинов В.А. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Гутников В.Г. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Граф Р. Электронная аппаратура. – М.: Мир, 1989.