

частиц на внешний цилиндр. Так, например, при  $R_2/R_1=5$  и  $h/l=8$  величина  $S$  составляет 0,44 при осаждении на внешний цилиндр и 0,90—при осаждении на внутренний цилиндр (для плоского конденсатора  $S=0,68$ ). Из графиков следует также, что погрешность координаты осаждения быстро снижается при увеличении отношений  $h/l$  и  $R_2/R_1$ . Для минимизации погрешности целесообразно выбирать  $h/l$  порядка  $8 \div 10$  и  $R_2/R_1$  порядка  $5 \div 10$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Спурный К., Иех Ч., Седлачек Б., Шторх О. Аэрозоли. Атомиздат, М., 1964.
2. Lipscomb W. N., Rubin T. R., Strudivant I. H. An Investigation of a Method for the analysis of Smoker according to Particle size. I. of apple, Phys, v. 18, 1947, p. 72—79.
3. Yoshikawa H. H., Swartz G. A., MacWatere I. T., Fitter, W. L. Electrostatic Particle Size Analyzer, The Rev. of scien, Instr, 1956, 27, N 6, p. 359—362.
4. Верещагин И. П. Уравнение движения шарообразных частиц в потоке воздуха при малых числах Рейнольдса. «Сильные электрические поля в технологических процессах». «Энергия», М., 1969.
5. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. Изд. АН СССР, М., 1955.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. Гостехиздат, М., 1954.
7. Madelaine G., Roure L. Contribution à l'étude de la precipitation electrostatique des aérosols, Rapport CEA—380, 5, 1964.

Л. М. ЛОГВИНОВ, А. А. ПОДОЛЬСКИЙ

## О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНДУКЦИОННОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯДОВ ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСТИЦ

При исследовании параметров аэрозолей и, в частности, при определении размеров отдельных частиц возникает задача измерения зарядов малых движущихся частиц.

При  $E_0=150$  кв/м и  $\epsilon=4$  предельный заряд частицы радиусом 5 мкм в поле униполярной короны составляет  $8,5 \cdot 10^{-16}$  кул, а частицы радиусом 10 мкм —  $3,4 \cdot 10^{-15}$  кул. Как видно, предельные заряды аэрозольных частиц малы и для их измерения требуются устройства с высокой чувствительностью. Известно, что для поточного измерения зарядов частиц весьма удобным оказывается индукционный способ. Оценка чувствительности этого способа в реальных условиях и составляет содержание настоящей статьи.

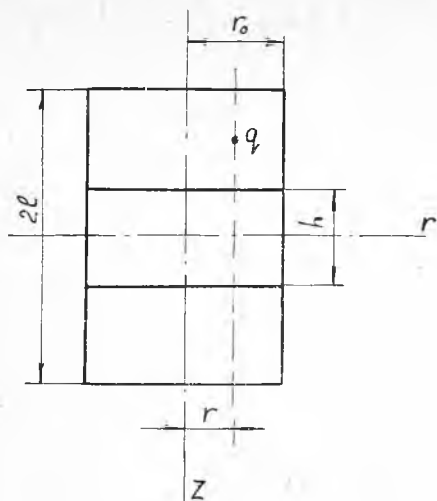


Рис. 1. Индукционный датчик заряженных частиц

ординаты  $r$  пролета частицы и соотношения размеров камеры. В работе [1] теоретически показано, что для устранения погрешности измерения от радиальной координаты пролета и достижения максимальной амплитуды сигнала  $U=1$  необходимо соблюдение условий  $\alpha > 10 \div 100$ ;  $\frac{h}{r_0} > 3$ . При оптимальных размерах измерительной камеры чувствительность индукционного способа зависит от уровня шумов, приведенных ко входу усилителя. Поскольку в каждом конкретном случае требования к оценке шумов изменяются [2], сформулируем их для усилителя применительно к индукционному способу. При прохождении потока через измерительную камеру ставится задача определения числа частиц, заряд которых превышает некоторое значение. В этом случае понятие эффективного значения шума бесполезно из-за его неопределенности [2]. Необходимо определить распределение числа флуктуационных выбросов по порогам при различных значениях ширины полосы пропускания. Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 2, электрическая схема исследованного усилителя — на рис. 3. Предусилитель смонтирован в электростатическом экране, имеет входное сопротивление 30 ГОМ, входную емкость 15 пф и коэффициент усиления 20. Выходной усилитель собран на кремниевых транзисторах типа МП-111, включенных по схеме с непосредственной связью [3]. Коэффициент усиления равен 500 (может быть увеличен за счет уменьшения глубины обратной связи  $R_{17}$ ), входное сопротивление 12 ком, эффективное напряжение входных шумов 50—70 мкв,

Сущность индукционного способа заключается в следующем: при пролете заряженной частицы через металлическое кольцо, помещенное в электростатический экран (рис. 1), на нем возникает наведенный заряд, создающий на входе соединенного с измерительным кольцом усилителя импульс напряжения  $U_0$ . Амплитуда и форма входного сигнала зависит от величины  $\alpha$  ( $\alpha = \tau/\tau_0$ , где  $\tau = R_{вх} \cdot C_{вх}$ ;  $\tau_0$  — половина времени прохождения частицы через экранирующий цилиндр), радиальной ко-

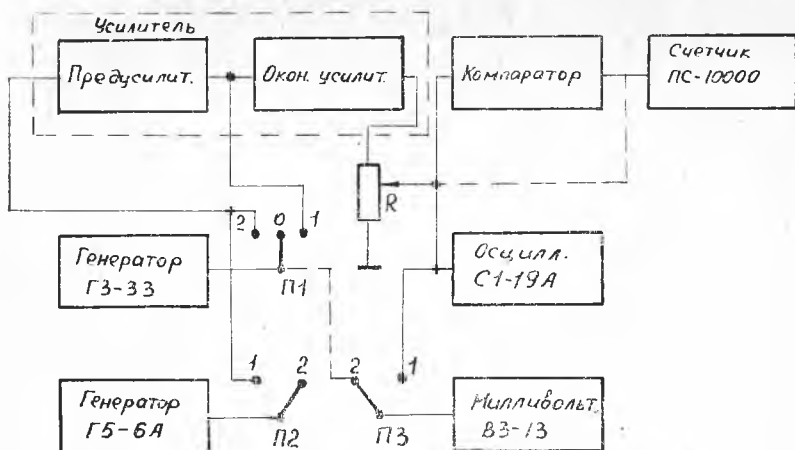


Рис. 2. Блок-схема измерительной установки

нижняя частота полосы пропускания 2—3 гц. Регулировка полосы пропускания осуществлялась шунтированием коллекторной нагрузки транзистора  $T_2$  емкостью  $C^*_3$ , изменение коэффициента передачи усилителя — с помощью потенциометра  $R_{16}$ . Представленный на блок-схеме генератор импульсов Г5-6А применялся для оценки нижней частоты полосы пропускания по спаду плоской вершины импульса, а также для определения входной емкости усилителя с помощью дополнительных

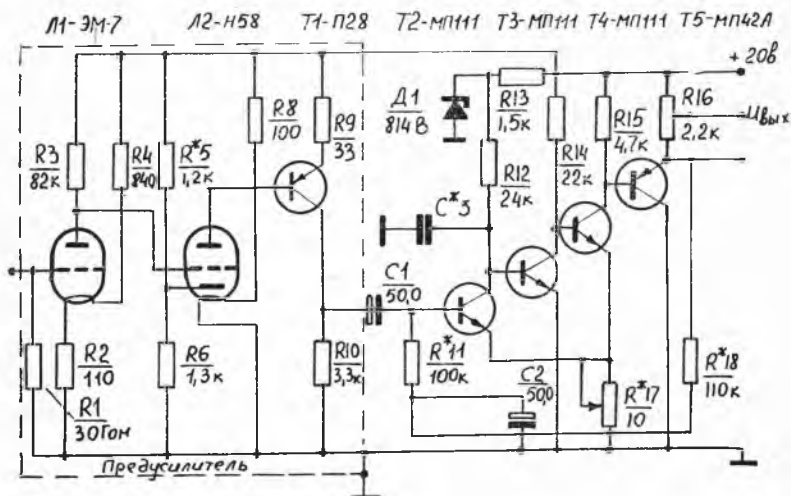


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема электрометрического усилителя

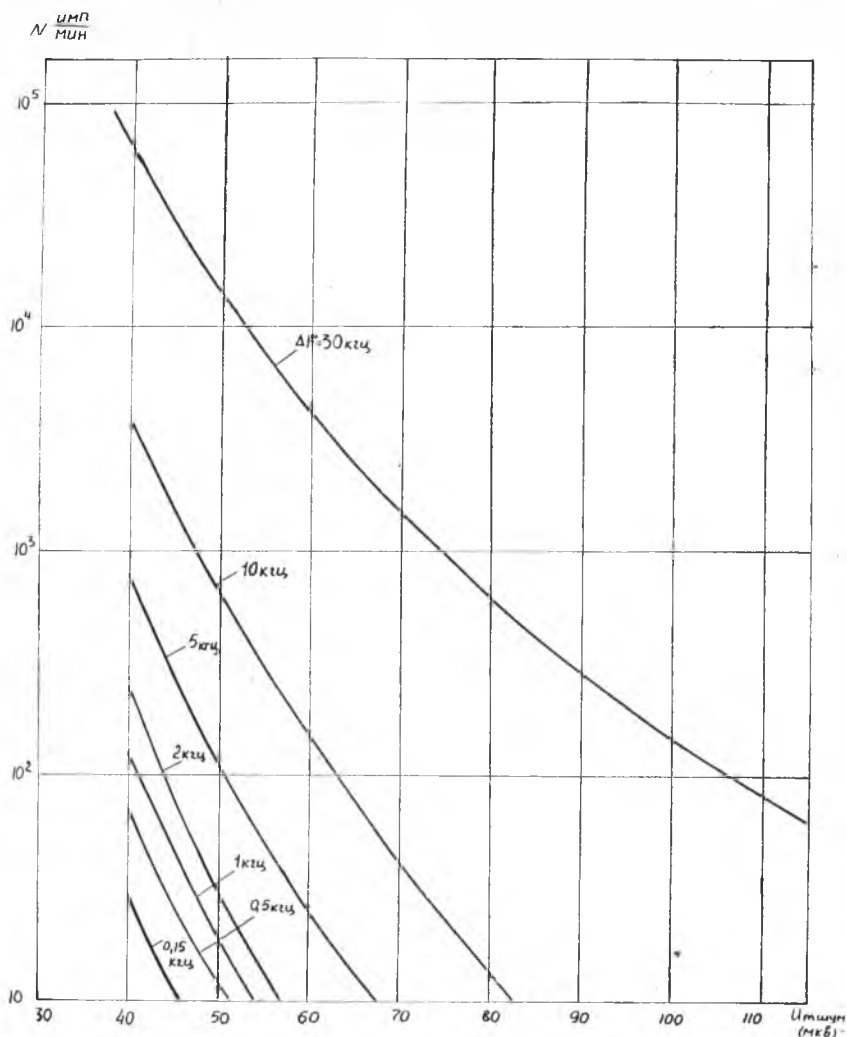


Рис. 4. Зависимость числа шумовых выбросов от порога регистрации

делителей. Генератор ГЗ—33 использовался для определения сквозного усиления усилителя, снятия его амплитудно-частотной характеристики и уточнения порога срабатывания компаратора, в качестве которого был применен триггер Шмитта. Порог срабатывания триггера установлен 230 мв, гистерезис составлял 30—40 мв. Компаратор преобразовывал шумовые выбросы с амплитудой, превышающей порог срабатывания, в импульсы прямоугольной формы, число которых за определен-

ный интервал времени (10 мин) подсчитывалось с помощью счетчика ПС—10000.

Результаты измерений приведены в виде графиков на рис. 4. Из графиков следует, что количество регистрируемых выбросов быстро уменьшается с увеличением порога регистрации и уменьшением полосы пропускания усилителя. В реальных условиях за максимальную амплитуду шумового сигнала целесообразно принять амплитуду выбросов, количество которых за определенный интервал времени во много раз меньше числа регистрируемых полезных сигналов. При использовании индукционного способа требуемая скорость счета импульсов составляет тысячи *имп/мин*, поэтому максимальную амплитуду шума определим как амплитуду выбросов, число которых не превышает 10 *имп/мин*. Значения удвоенной максимальной амплитуды напряжения шумов, а также шумовых зарядов, определенных по формуле  $q_{ш} = 2U_0 C_{вх}$  при различных значениях полосы пропускания усилителя, приведены в таблице.

Таблица

$\Delta F$ (кГц)	30	10	5	2	1	0,5	0,15	Примечание
$U_{ш} = 2U_0$ (мкв)	300	166	135	114	108	103	92	$N = 10 \text{ имп/мин.}$
$q_{ш} \cdot 10^{-15}$ (кул)	4,5	2,5	2,02	1,71	1,62	1,55	1,38	$C_{вх} = 15 \text{ пф}$ $R_{вх} = 30 \text{ Гом}$

Полагая порог регистрируемых полезных сигналов равным  $3q_{ш}$ , найдем, что в зависимости от полосы пропускания величина его составляет  $(4—13) \cdot 10^{-15}$  кул.

Измерения, проведенные для нескольких ламп типа ИЭП и ЭМ—7, показали аналогичные результаты.

Для экспериментальной проверки индукционного способа был собран стенд, аналогичный описанному в [4, 5]. Металлический шарик, удерживаемый с помощью электромагнита в поле плоского конденсатора, заряжается контактным методом при подаче на пластины конденсатора постоянного напряжения. При обесточивании обмотки электромагнита шарик падает через отверстие в нижней пластине конденсатора в измерительное кольцо, расположенное в электростатическом экране. Наведенный заряд создает на входе измерительного усилителя импульс напряжения, регистрируемый осциллографом С1-19А.

Первоначальной целью экспериментов было определение предельной чувствительности индукционного способа, оценка влияния размеров измерительного кольца и отношения  $\tau/\tau_0$  на

форму и амплитуду входного сигнала. В работе [5] стенд применен в качестве генератора малых образцовых зарядов для калибровки электрометров. В [5] отмечается, что на величину заряда, приобретаемого в поле плоского конденсатора, влияет наличие контактной разности потенциалов, которую можно определить, измеряя величину сигнала для различной полярности напряжения зарядки. Опыты по определению чувствительности индукционного способа описаны в [4]. Авторы не отмечают влияния контактной разности на результаты измерения. По их данным величина фиксируемого импульса не зависит от полярности напряжения зарядки.

Нами были приняты меры для уменьшения влияния контактной разности. С этой целью в верхней пластине плоского конденсатора под электромагнитом было сделано отверстие и вставлен никелированный латунный сегмент. Для опытов использовались полированные стальные шарики размером 1—5 мм. Тем не менее, полностью устранить контактную разность не удалось. Заряд, обусловленный контактной разностью, для шарика  $\varnothing 4,7$  мм составлял приблизительно  $2 \cdot 10^{-13}$  кул, а чувствительность усилителя —  $(4 \div 13) \cdot 10^{-15}$  кул. Поэтому непосредственное определение предельной чувствительности индукционного способа не проводилось.

Расчетная амплитуда сигнала [1] на выходе использованного усилителя с известными значениями входной емкости и коэффициента передачи при прохождении шарика через измерительное кольцо ( $h=45$  мм,  $r_0=15$  мм) с точностью до 10% совпала с экспериментально определенной величиной. При указанных размерах измерительного кольца амплитуда сигнала в пределах точности эксперимента не зависит от радиальной координаты пролета шарика. Визуально наблюдалось, что при  $\tau > 50\tau_0$  сигнал имеет колоколообразную форму без захода в отрицательную область (в опытах  $\tau=1$  сек,  $\tau_0=20$  м сек).

Таким образом, экспериментально подтверждены выводы работы [1] о том, что при выборе размеров измерительного кольца из условия  $h/r_0 > 3$  и постоянной времени входной цепи усилителя из условия  $\alpha=100$ , амплитуда сигнала на входе усилителя определяется по формуле  $q/c_{вх}=u_0$ , где  $q$  — заряд частицы.

При соблюдении условия  $h/r_0 > 3$  и  $\alpha=100$  чувствительность индукционного способа измерения движущихся зарядов увеличивается с уменьшением емкости  $c_{вх}$  и при заданном значении  $c_{вх}$  полностью определяется уровнем шумов, приведенных ко входу электрометрического усилителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подольский А. А., Логвинов Л. М., Турубаров В. И. О выборе оптимальных размеров измерительной камеры при измерении зарядов

частиц индукционным методом. Сб. «Исследования по акустике, электрофизике, радиоэлектронике». Межвузовский сборник, вып. I, Куйбышев, 1973.

2. Тетерич Н. М. Генераторы шума и измерение шумовых характеристик. Изд. «Энергия», М., 1968.

3. Мизюк Л. Я., Вишняков А. Э., Гольдгештер В. И., Рыбин В. К. Электронные узлы переносной низкочастотной измерительной аппаратуры. Изд. «Энергия», Л., 1969.

4. Курилов В. А., Апинян В. В. Измерение зарядов движущихся частиц методом электростатической индукции. Сб. «Сильные электрические поля в технологических процессах». Изд. «Энергия», 1969.

5. Ган. Прибор для получения точно известных электростатических зарядов. «Приборы для научных исследований», № 7, 1964.

Л. М. КАПИТОНОВА, В. К. КОМПАНЕЦ, Н. М. СТАРОБИНСКИЙ

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ СЕРДЕЧНИКОВ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МАГНИТНО-ТРАНЗИСТОРНЫХ ИНВЕРТОРОВ

Представление измерительной информации с генераторных датчиков, имеющих низкий уровень выходного сигнала, в частотной форме имеет в ряде случаев определенные преимущества перед системами представления информации в кодовой форме из-за большой сложности последних.

При использовании магнитно-усилительных инверторов в качестве преобразователей постоянных напряжений низкого уровня (например, сигналы термопар, тензометрических мостов и т. д.) в переменное напряжение прямоугольной формы, частота которого пропорциональна управляющему сигналу, основным вопросом является обеспечение достаточной чувствительности устройства [1—3].

Частота на выходе инвертора определяется выражением

$$f = f_0 + kI_y,$$

и может быть записана

$$f = f_0 + k_1 H_y, \quad (1)$$

где  $H_y = \frac{I_y \omega_y}{l_{cp}}$  — напряженность поля, создаваемая током управления ( $I_y$ );

$\omega_y$  — число витков обмотки управления;

$l_{cp}$  — средняя длина магнитного пути в сердечнике.

При наличии добавочного сопротивления  $R_d$  в цепи управления

$$H_y = \frac{E_y \omega_y}{(R_y + R_d) l_{cp}}. \quad (2)$$

Здесь  $E_y$  — напряжение управления;

$R_y$  — сопротивление обмотки управления.