

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОННО-ИНДУКЦИОННЫХ  
ПЫЛЕМЕРОВ ТИПА ЭИП-5 И ЭИП-13**

*Методические указания к лабораторной работе*

САМАРА 2001

Составители: Л.М. Логвинов  
Н.А. Малыгин

Исследование электронно-индукционных пылемеров типа ЭИП-5 и ЭИП-13: Метод указания / Самарский гос. аэрокосмический ун-т. Сост. Л.М. Логвинов, Н.А. Малыгин. Самара, 2001 -38с.

Кратко изложены теоретические основы построения приборов для измерения параметров грубодисперсных аэрозолей, использующих принцип зарядки аэрозольных частиц в зарядном устройстве, и последующего измерения зарядов индукционным методом. Описаны функциональные схемы приборов ЭИП-5 и ЭИП-13, а также конструкции измерительных линий и электронных блоков. Приведена методика экспериментального исследования характеристик пылемеров.

Методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальности 190500 и изучающих дисциплину «Разработка и проектирование аналитической и экологической техники», выполнены на кафедре радиотехнических устройств.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент: А.А. Рахаев

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение принципов действия и конструкции зарядно-индукционных пылемеров для измерения различных параметров аэрозолей, экспериментальное определение некоторых характеристик приборов ЭИП-5 и ЭИП-13.

## I Краткие теоретические сведения

В лабораторной работе исследуются электронно-индукционные пылемеры ЭИП-5 и ЭИП-13, работа которых основана на измерении электрических зарядов аэрозольных частиц.

Методы измерения с использованием зарядов частиц, наряду с фотоэлектрическими и радионуклидными, наиболее удобны для целей автоматизации пылеизмерений.

Индукционный способ первоначально был применен для измерения зарядов облачных капель. Сущность его заключается в том, что при пролете заряженной частицы через экранированное кольцо на нем возникает наведенный заряд, измеряемый с помощью подключенного к кольцу электрометрического усилителя. Индукционный способ измерения концентрации пыли основан на существовании определенных связей между размерами аэрозольных частиц и их зарядами, собственными или приобретенными в поле коронного разряда. Проходя по трубе, в которой имеется изолированный металлический электрод, выполненный в виде кольца, заряженные частицы создают на нем индуцированный заряд, измеряемый усилителем. По величине заряда судят о концентрации пыли.

Первоначально был разработан прибор ЭПЦ для определения концентрации пыли путем индукционного измерения естественных зарядов частиц. Оценка концентрации пыли путем измерения естественных зарядов хотя и упрощает реализацию способа, однако сопряжена с большими погрешностями, так как распределение зарядов на пылинках зависит от многих факторов и с течением времени может меняться в широких пределах. Г.А. Измайлов предложил предварительно пропускать аэрозоль через зарядную камеру, состоящую из цилиндра и расположенной по его оси коронирующей иглы. При подаче на электроды камеры переменного высокого напряжения (50Гц, 8-10кВ), в камере образуется изменяющийся во времени по величине и знаку пространственный заряд. После прохождения через зарядное устройство аэрозоль представляет собой последовательность пространственно разделенных совокупностей разноименно заряженных частиц.

Достоинства метода:

- Одинаковые частицы (радиусом более 0,2-0,5 мкм) получают в камере коронного разряда приблизительно одинаковые заряды, пропорциональные их поверхности. Поэтому, если в составе аэрозоля отсутствуют тонкодисперсные фракции, то независимо от распределения частиц измеренный сигнал пропорционален поверхностной концентрации.
- Метод обладает высокой чувствительностью, т.к., во-первых, величины

полученных зарядов значительно превышают заряды естественного происхождения, и, во-вторых, для измерения используется узкополосный и избирательный усилитель

Однако, чувствительность метода ограничивается неизбежным в знакопеременной короне сносом ионов и фоном (наводка на усилитель на частоте 50Гц).

Дальнейшее усовершенствование индукционного способа достигается путем подачи на электроды зарядной камеры постоянного и импульсного униполярного напряжения. Корона в камере возникает только во время действия униполярных импульсов, а наличие в камере постоянного напряжения предотвращает снос ионов. Аэрозоль на выходе из камеры образует последовательность пространственно разделенных совокупностей одноименно заряженных частиц.

Изложенный способ реализуется в электронных индукционных пылемерах ЭИП, разработанных в Ленинградском институте авиационного приборостроения и Куйбышевском авиационном институте (ныне Самарский государственный аэрокосмический университет). Прибор ЭИП состоит из измерительной линии и электронного блока. Измерительная линия представляет собой отрезок цилиндрического газотока, в котором последовательно расположены зарядная камера коаксиального типа с импульсной униполярной короной, измерительное индукционное кольцо и воздуходувка. Электрическая схема включает высоковольтный модулятор, узкополосный электрический усилитель и блок регистрации.

Расчетная чувствительность приборов для частиц радиусом  $1 \text{ мкм}$   $10^{-1} - 10^3 \text{ мг/м}^3$ , динамический диапазон измеряемых концентраций  $- 10^3$ , вес одного из образцов  $5 \text{ кг}$ , габариты  $- 290 \times 190 \times 80 \text{ мм}$ .

Итак, индукционный способ измерения оказывается пригодным для непрерывной автоматической регистрации запыленности воздушной среды. Кроме того, применение индукционного способа для измерения зарядов капель позволяет сделать вывод, что при условии предварительного сообщения частицам высоких зарядов, однозначно связанных с их размерами, способ может быть использован для нахождения распределения счетной концентрации по размерам, что и было реализовано в приборе типа ЭИП-5.

Кроме того, поскольку заряд пылинок, приобретаемый в поле коронного разряда, пропорционален квадрату их радиуса, то показания прибора ЭИП пропорциональны поверхностной концентрации, в то время как санитарно-гигиенические нормы на допустимую запыленность воздуха установлены по весовой концентрации. Поэтому было предложено использовать поперечное импульсное отклоняющее электрическое поле для получения кубической зависимости выходного сигнала от размера пылинок. Предложенный способ был реализован в пылемере типа ЭИП-13.

## 2 Электронно-индукционный пылемер ЭИП-5

Электронный индукционный пылемер ЭИП-5 предназначен для непрерывного автоматического измерения фракционного состава дисперсной фазы грубодисперсных аэрозолей. Прибор имеет следующие технические характеристики:

1. Прибор измеряет распределение счетной концентрации частиц по фракциям:
  - первый канал – (10-25)мкм;
  - второй канал – (25-50)мкм;
  - третий канал – (50-100)мкм;
  - четвертый канал - > 100мкм.
2. При скорости прокачивания воздуха через прибор 20 л/мин, скорость анализа составляет 1л/мин (коэффициент разбавления 19/1).
3. Скорость регистрации частиц - не менее  $16 \cdot 10^4$  л/мин.
4. Регистрация осуществляется:
  - при последовательном анализе содержания частиц каждой фракции с помощью интенсиметра;
  - при параллельном анализе четырёхканальным амплитудным анализатором с цифровой индикацией.
5. Емкость каждого канального счетчика  $10^5$ .
6. Прибор нормально функционирует при концентрации тонкодисперсной пыли в воздухе не более единиц  $мг/м^3$ .
7. Прибор измеряет содержание грубодисперсных частиц в воздухе, в любом электроотрицательном газе, а также в электроположительных газах при содержании в них электроотрицательных (например, кислорода) около 1%.
8. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока с частотой 50Гц, напряжением 220/127В  $\pm 10\%$ . Мощность, потребляемая от сети, не превышает 120ВА.
9. Прибор выполнен в виде трёх отдельных блоков. Габариты и масса каждого блока:
  - блок №1 – 170\*170\*950 мм, 5кг;
  - блок №2 – 445\*340\*145 мм, 10кг;
  - блок №3 – 445\*340\*145 мм, 6кг.

В основе работы электронно-индукционного пылемера ЭИП-5 лежит последовательное выполнение 3-х операций:

- Зарядка частиц исследуемого аэрозоля в электрическом поле при наличии униполярного пространственного заряда;
- Бесконтактное измерение зарядов частиц индукционным способом;
- Усиление выходных сигналов индукционного датчика и распределение их по каналам в зависимости от амплитуды.

## 2.1 Зарядное устройство

Схема двухсекционного зарядного устройства (ЗУ), состоящего из секции коронного разряда (СКР) и зарядной секции (ЗС), представлена на рис. 1. Камеры выполняются в виде плоских конденсаторов, разделенных сетчатой перегородкой. Коронирующий электрод СКР представляет собой совокупность игл, укрепленных на плоской пластине. Между коронирующим и сетчатым электродами СКР подается постоянное высокое напряжение  $U_K$ , достаточное для развития короны. К электродам ЗС приложено высокое знакопеременное напряжение. В течение одного полупериода напряжение в ЗС благоприятствует эмиссии ионов из СКР, в течение следующего - ионы не поступают. Такое зарядное устройство обладает следующими особенностями:

- в силу отсутствия в ЗС коронирующих элементов, ионы в ЗС распределяются равномерно; напряженность поля примерно постоянна по сечению;
- так как поле в ЗС - знакопеременное, то при условии отсутствия "электрического ветра", устраняется дрейф частиц к стенкам ЗС и осаждение;
- по сравнению с обычными односекционными ЗУ в двухсекционном ЗУ уменьшается скорость зарядки.

Для определения необходимого времени пребывания частиц в ЗС был проведен анализ кинетики зарядки частиц. Исходные положения: напряженность поля в ЗС  $E_0(t)$  - синусоидальная функция времени;

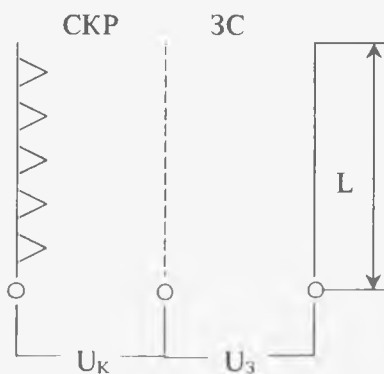


Рисунок 1 – Двухсекционное зарядное устройство

концентрация ионов  $N_0(t)$  изменяется синфазно с  $E_0(t)$  в нечетные подпериоды и тождественно равна нулю в четные:

$$E_0(t) = E_0 \sin \omega t; N_0(t) = \begin{cases} N_0 \sin \omega t, 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0, \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

анализ показал, что относительное приращение заряда частицы за период  $T$  составляет

$$\Delta X = \frac{1}{\omega \tau} \left[ (1 + x^2) \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin x \right) - 3x \sqrt{1 - x^2} \right] \quad (2)$$

при  $\omega \tau \geq 2\pi(5 \div 10)$

Здесь  $\Delta X = \Delta Q / Q_{\text{пр}}$ ;  $X = Q / Q_{\text{пр}}$ ;  $\Delta Q$  – абсолютное приращение заряда частицы

за период  $T$ .  $Q$  – текущее значение заряда,  $Q_{\text{пр}} = 4\pi \epsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E_0 a^2$  –

предельный заряд, приобретаемый частицей радиуса  $a$  с диэлектрической

проницаемостью  $\epsilon$  в остоянном поле напряженностью  $E_0$ ;  $\tau = \frac{4\epsilon_0}{N_0 e k}$  –

постоянная времени зарядки,  $k$  – постоянная Больцмана. Результаты расчета

скорости зарядки в переменном поле, проведенные по формуле (2) приведены

на рис.2 (кривая 1). Для сравнения нанесена кривая 2, отображающая ход

зарядки в постоянном поле. Точками отмечены результаты экспериментальной

проверки, проведенной в модельной камере с металлическим шариком

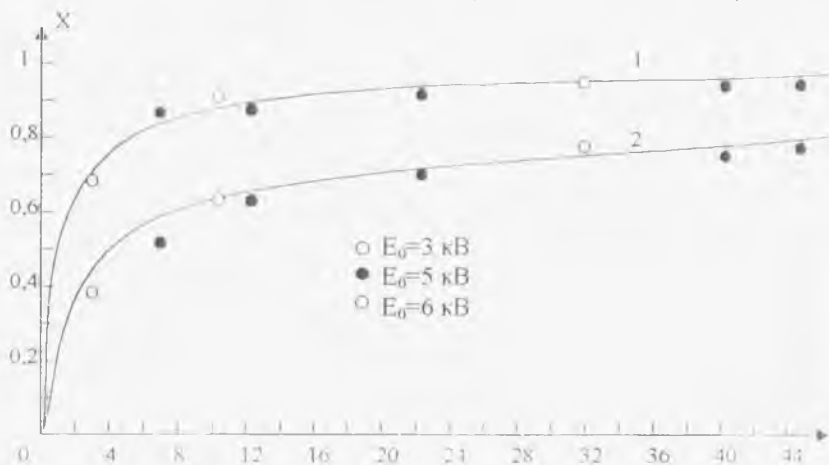


Рисунок 2 – Результаты расчета и экспериментальной проверки динамики зарядки аэрозольных частиц в переменном поле

Из графиков следует, что вначале заряд частицы нарастает достаточно быстро

(при  $\frac{l}{\tau} = 10$  имеем  $Q(t) = 0,65Q_{1q}$ ), а затем скорость зарядки резко снижается

(при  $\frac{l}{\tau} = 20$   $Q(t) = 0,75Q_{1q}$ ). Поскольку время зарядки определяется высотой

камеры  $L$  и скоростью движения аэрозоля через камеру, то увеличение времени при постоянной скорости прокачивания аэрозоля и постоянной  $\tau$  достигается лишь за счет увеличения размеров камеры. Целесообразно принять

$\frac{l}{\tau} \approx 14-15$ . В этом случае заряд частицы на выходе из ЗС составит

$Q_q \approx 0,7Q_{1q}$ . зависимость  $Q_q = Q_q(a)$  для двух значений амплитуд напряженности поля в ЗС при  $\varepsilon=4$  приведена на рис.3. из графиков видно, что частица радиусом 5 мкм приобретает в поле с амплитудой напряженности  $4 \cdot 10^5$  В/м заряд  $1,56 \cdot 10^{-15}$  Кл ( $\approx 10^4 e$ ), а в поле с  $E_0 = 6 \cdot 10^5$  В/м -  $2,34 \cdot 10^{-15}$  Кл ( $14600e$ )

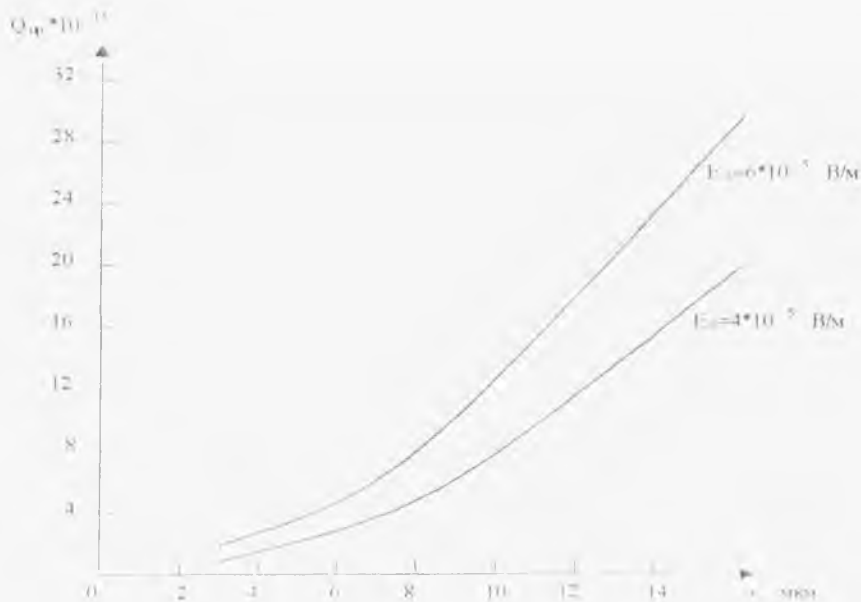


Рисунок 3 - Зависимость зарядов частиц на выходе ЗС от их радиусов



Величину  $\tau$  для зарядной камеры с плоскопараллельными электродами и ионной плотностью тока по сечению можно оценить по формуле

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0 S}{i_3} E_0 \quad (3)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения,  $i_3$  – ионный ток в ЗС. Для измерения электрического ветра положим, что величина тока на каждые  $1 \text{ см}^2$  сечения камеры не превышает  $1 \text{ мкА}$ . Тогда, при  $E_0 = 6 \cdot 10^5 \text{ В/м}$  получаем  $\tau = 0,2 \text{ с}$ . Следовательно, при высоте зарядной секции  $L \approx 0,1 \text{ м}$  скорость сечения аэрозоля через камеру не должна превышать  $(0,4 - 0,5) \text{ м/с}$

## 2.2 Индукционный датчик заряженных частиц

Пусть измерительный электрод выполнен в виде кольца, окружённого простатическим экраном (рис.4)

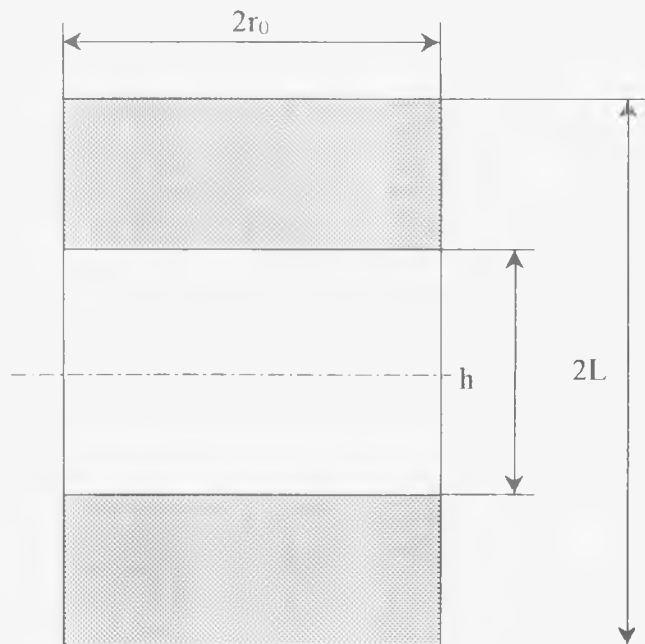


Рис. 4 – Измерительный электрод индукционного датчика

т.е. измерительный электрод и экран имеют форму цилиндра с одинаковым радиусом, причем экран с двух сторон примыкает к

измерительному кольцу. Тогда мгновенное значение напряжения  $U_{вх}$  на входе усилителя, подключённого к измерительному электроду, при нахождении внутри экрана макро заряда  $Q$  может быть найдено по формуле:

$$U = -2\alpha \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{I_0\left(\frac{2k+1}{2} \pi \xi\right) \sin\left(\frac{2k+1}{2} \pi \rho\right)}{I_0\left(\frac{2k+1}{2} \pi \xi_0\right) 1 + \left(\frac{2k+1}{2} \pi \alpha\right)^2} \times \left[ \cos\left(\frac{2k+1}{2} \pi \gamma\right) + \frac{2k+1}{2} \pi \alpha \sin\left(\frac{2k+1}{2} \pi \gamma\right) - e^{-\frac{\gamma}{\alpha}} \right], \quad (4)$$

Здесь  $U=U_{вх}/U_0$  – безразмерное значение входного напряжения;  $U_0=Q/C$ ;

$C$  – входная емкость;  $\alpha = \frac{\tau_{ВХ}}{\tau_0}$ ;  $\tau_0 = \frac{L}{V}$ ;  $V$  – постоянная скорость

движения частицы через датчик;  $\tau_{ВХ}=RC$  – постоянная времени входной цепи усилителя с подключенным зондом;  $\xi=r/L$  – безразмерная радиальная координата полета частицы;  $\xi_0=r_0/L$ ;  $\rho=h/L$ ;  $r_0, h, L$  – размеры датчика (рис.4);  $\gamma=U\tau_0$  – безразмерное время движение частицы, отсчитываемое от момента входа ее в экран.

На рис.5 представлены графики зависимости  $U(\gamma)$ , определяющие форму сигнала, при  $\xi_0=0,25$ ,  $\rho=1,33$ ,  $\xi=0$  и различных значениях  $\alpha$  ( $\alpha=100; 10; 1; 0,1$ ). Из графиков следует, что для интегрирующей входной цепи ( $\alpha \gg 1$ ) сигнал представляет собой уніполчрнй колокообразный импульс, для дифференцирующей входной цепи ( $\alpha \ll 1$ ) – производную от этого импульса. С точки зрения повышения чувствительности целесообразно работать в режиме интегрирования т.е. положить  $\alpha=50 - 100$ . При постоянной величине  $q$  амплитуда напряжения входного сигнала зависит от координаты пролета  $\xi$ , что может привести к погрешности при определении истинной величины заряда. Расчеты показали, что вариация при разбросе  $\xi$  в пределах  $(0, \xi_0)$  существенно зависит от величины отношения  $h/r_0$ . В частности, при  $h/r_0 > 2,3$  амплитуда  $U$  при изменении  $\xi$  в пределах  $(0, \xi_0)$  изменяется от 0,9 до 1,0; при  $h/r_0 > 3,0$  – от 0,95 до 1,0. Таким образом, при рациональном выборе размеров датчика погрешность измерения, обусловленную вариацией радиальной координаты пролета, можно снизить до приемлемых значений. В дальнейшем полагаем, что  $h/r_0 > 3$ ,  $\alpha \approx 50 - 100$  и потому амплитуда входного сигнала

$$U_{ВХ} \approx \frac{q}{C}.$$

Ограничение чувствительности способа обусловлено одновременным действием ряда источников помех, из которых важнейшими являются следующие:

- приведенный ко входу шум усилителя;
- флуктуационная помеха, обусловленная вибрациями измерительного

- флуктуационная помеха, обусловленная наличием в воздухе большого числа мельчайших частиц – ядер конденсации;
- флуктуационная помеха, обусловленная наличием в воздухе частиц пыли радиуса  $a < a_{\min}$

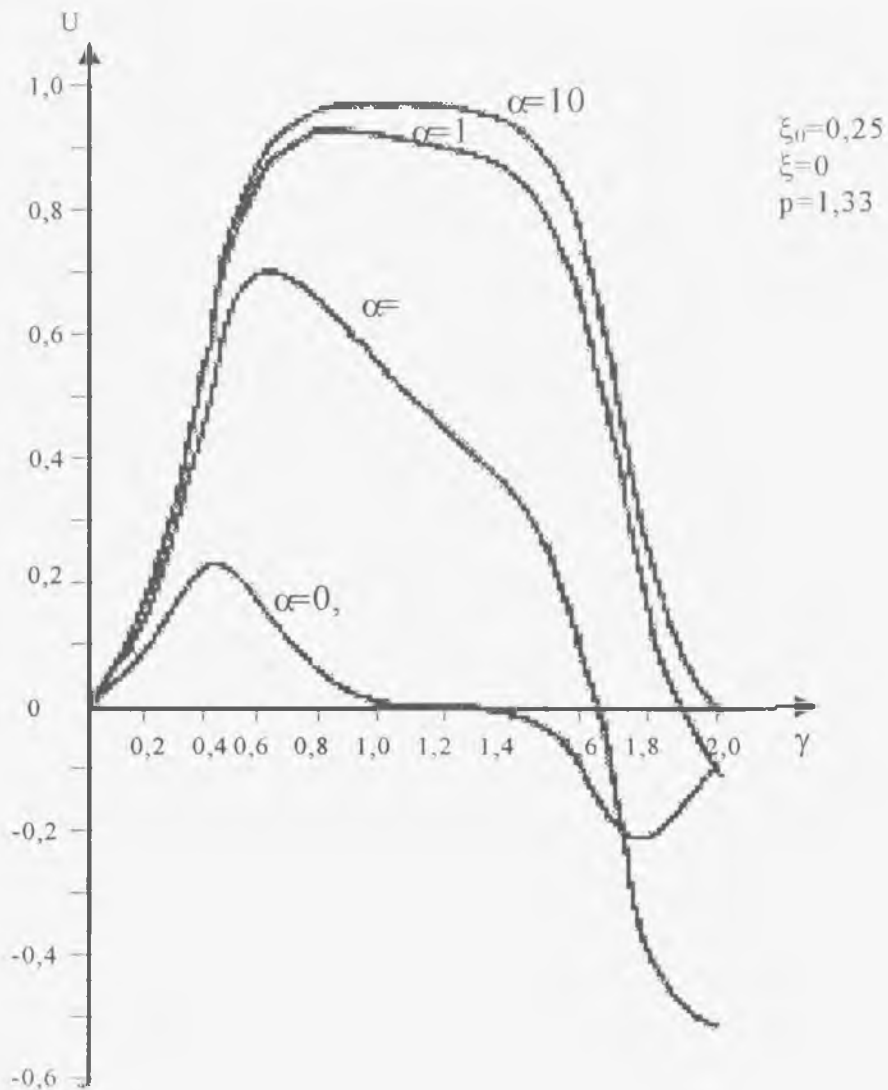


Рисунок 5 – Форма выходного сигнала индукционного датчика

Оценим роль каждого источника помех

Шумы усилителя представляют собой совокупность выбросов произвольной амплитуды. В качестве максимальной амплитуды допустимого 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 превосходит 10 имп/мин. Было проведено исследование шумовых характеристик электрометрических усилителей в полосе частот 10Гц - 1000Гц при различном схемном исполнении предусилителя. Удвоенная максимальная амплитуда шумового заряда ( $q=2U_{вх}C$ ) предусилителя на лампе ЭМ-7 с параметрами входной цепи  $R=30\text{Г}\Omega$ ,  $C=15\text{пФ}$  составила  $1,6 \cdot 10^{-15}\text{Кл}$  ( $10^4e$ ), на лампе ЭМ-10 -  $30 \cdot 10^{-16}\text{Кл}$  ( $1900e$ ). Полагая условно среднеквадратичный шумовой заряд  $q_{ш}$  равным  $1/3 q_{ш \text{ макс}}$ , получим: для предусилителя на лампе ЭМ-7  $q_{ш}=5,3 \cdot 10^{-16}\text{Кл}$ ; для предусилителя на лампе ЭМ-10  $q_{ш}=1,0 \cdot 10^{-16}\text{Кл}$ .

Вибрационные шумы могут изменяться в широких пределах в зависимости от конструкции предусилителя и измерительной линии. Продолжительные эксперименты показали, что уровень вибрационных шумов для предусилителя на лампе ЭМ-10 может быть снижен до  $(0,3 - 0,5)q_{ш}$

Флуктуации сигнала, обусловленные присутствием в воздухе заряженных ядер конденсации и пылинок, можно оценить следующим образом. При пролете одной заряженной частицы через кольцо на входе усилителя возникает детерминированный импульс напряжения конечной длительности  $2\tau_0$ . В реальном случае через камеру проходит поток заряженных частиц, и входной сигнал представляет собой результат наложения нерегулярно возникающих

возмущений. Дисперсия флуктуационного напряжения на входе усилителя определяется выражением:

$$\sigma = \frac{\bar{q}^2 n_0 V}{c^2} f(p, \xi_0, \xi), \quad (5)$$

где  $\bar{q}^2$  среднее значение квадрата заряда частицы,  $n_0$  - счетная концентрация заряженных частиц,  $V$  - объем измерительной камеры ( $V=2\pi r_0^2 L$ ); функция  $f(p, \xi_0, \xi)$  для интегрирующей входной цепи ( $\alpha \ll 1$ ) имеет вид:

$$f = \frac{8}{\pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2} \left[ \frac{I_0\left(\frac{2k+1}{2} \pi \xi\right)}{I_0\left(\frac{2k+1}{2} \pi \xi_0\right)} \sin\left(\frac{2k+1}{2} \pi p\right) \right]^2, \quad (6)$$

При соблюдении условия  $\frac{p}{\xi_0} = \frac{h}{r_0} = 3$  и  $p=1,0-1,5$  значение  $f$  заключено в пределах (0,4 -0,7).

Из (5), учитывая численное значение функции  $f$ , для среднеквадратичного помехового заряда получаем:

$$q'_n = \sqrt{c^2 \sigma} = (0.63 \div 0.84) \sqrt{n_0 V q^2} \quad (7)$$

Счетная концентрация заряженных ядер конденсации в вентилируемых производственных помещениях составляет  $10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$ , средний заряд частицы можно принять равным  $1e$ . Отсюда для величины  $q'_n$ , обусловленной конденсатом, находим:

$$q'_n \leq 1.3 * 10^{-14} \sqrt{V} \quad (8)$$

$$\text{при } V=10^{-6} \text{ м}^3 \quad q'_n = 1.3 * 10^{-17} \text{ Кл.}$$

Уровень помехи, вызванной присутствием в воздухе тонкой пыли ( $a < a_{\text{мин}} = 5 \text{ мкм}$ ), зависит от концентрации пыли и среднего размера частиц. При заданной концентрации сигнал помехи возрастет с уменьшением среднего размера частиц. Примем, что при проведении измерений весовая концентрация тонкой пыли не превышает  $1 \text{ мг/м}^3$ . В качестве минимального среднего радиуса положим  $a = 0,5 \text{ мкм}$ . При весовой концентрации  $1 \text{ мг/м}^3$  счетная концентрация частиц радиусом  $a=0,5 \text{ мкм}$  составит  $\approx 2 * 10^9 \text{ м}^{-3}$ . Заряд одной частицы, определённый по формуле  $q=0,7q_{\text{п}}$ , при  $E=6 * 10^5 \text{ В/м}$  равен  $q=2,34 * 10^{-17} \text{ Кл}$ . Подставляя значения  $n_0=2 * 10^9 \text{ м}^{-3}$  и  $q=2,34 * 10^{-17} \text{ Кл}$  в выражение (7), для среднеквадратичного помехового заряда находим:

$$q''_n \leq 9.0 * 10^{-13} \sqrt{V} \quad (9)$$

$$\text{при } V=10^{-6} \text{ м}^3 \quad q''_n = 9.0 * 10^{-16} \text{ Кл.}$$

Из сравнения величин помеховых зарядов, обусловленных различными источниками, следует. Что наибольшее снижение чувствительности (или наибольшую погрешность измерений) создают  $q_{\text{ш}}$  и  $q''_n$ . Уровень шумов  $q_{\text{ш}}$  определяется выбранным типом и режимом работы усилителя. Дальнейшее снижение  $q_{\text{ш}}$  по сравнению с величиной  $q_{\text{ш}}=1,0 * 10^{-16} \text{ Кл}$  для выбранного усилителя затруднительно. Величину  $q''_n$  можно снизить до уровня  $q_{\text{ш}}$ , если уменьшить произведение  $n_0 V$  в 80 раз. Этого можно достичь, например, разбавляя исследуемый аэрозоль чистым воздухом в 20 раз и сокращая в 4 раза измерительный объем. Поэтому в дальнейшем полагаем  $q''_n \approx q_{\text{ш}} = 1,0 * 10^{-16} \text{ Кл}$ .

Результирующий среднеквадратичный заряд помехи может быть вычислен по формуле:

$$q_n = \sqrt{q_{ш}^2 + q_{шгр}^2 + q_n'^2 + q_n''^2} \approx 1.5 * 10^{-16} \text{ Кл.}$$

Сравнивая величину помехи с величиной заряда, приобретаемого частицами, мы видим, что можно обеспечить чувствительность прибора, соответствующую  $a_{\min} = 5 \text{ мкм}$ .

Оценим погрешности измерений, обусловленные помехами. Наличие помех приводит к тому, что регистрируемое значение заряда  $q_p$  отличается от величины заряда  $q_n$ , соответствующего регистрируемым частицам. В результате при постоянном нижнем пороге регистрации, соответствующем  $a_{\min}$ , будут регистрироваться отдельные частицы радиуса  $a < a_{\min}$ . Таким образом, нижний порог регистрации оказывается размытым. Возникающая при этом погрешность определяется двумя числами: доверительным интервалом (величиной ошибки) и доверительной вероятностью. Доверительная вероятность есть вероятность того, что измеряемая величина не выходит за пределы доверительного интервала. При этом средней квадратичной ошибке  $\sigma$  соответствует доверительная вероятность 0,68, удвоенной средней квадратичной ошибке ( $2\sigma$ ) – доверительная вероятность 0,95, утроенной ( $3\sigma$ ) – 0,997. В таблице 1 приведены границы доверительных интервалов (выраженные в радиусах частиц) и соответствующие им доверительные вероятности.

Таблица 1 – Границы доверительных интервалов

Вероятность P	$a'_{\min}$ , мкм	$a''_{\min}$ , мкм
0,68	4,85	5,16
0,95	4,66	5,30
0,997	4,5	5,50

### 2.3 Основные параметры измерительной линии и электронной схемы

Предположим, что требуется произвести анализ одного литра аэрозоля в минуту. Тогда с учетом необходимого разбавления расход воздуха через измерительную линию составит 20л/мин. На входе в измерительную линию поток делится в отношении 19:1, затем основная масса со скоростью 19л/мин пропускается через фильтр, в котором происходит осаждение пылинок и заряженных ядер конденсации. После фильтровального отсека поток аэрозоля направляется в зарядное устройство, причем струя неочищенного воздуха проходит через ЗС, а очищенного - через ЗС и СКР. При линейной скорости 5 м/с высота ЗС должна быть порядка (10-12)см, поперечное сечение ЗУ – (6-7)см. Из зарядного устройства исследуемый аэрозоль, разбавленный чистым воздухом, через промежуточный отсек поступает в измерительную камеру. Для того, чтобы гидравлическое сопротивление камеры было не слишком большим, положим  $r_0 \approx 0,3 \text{ см}$ . Тогда  $h \approx 1 \text{ см}$  и объем измерительного кольца

$V_k = \pi r_0^2 h \approx 0,28 \text{ см}^3$ . При скорости воздуха через кольцо порядка 12м/с длительность регистрируемых импульсов составит  $2\tau_0=1\text{мс}$

Рассмотрим определение некоторых параметров электронной схемы. Высоковольтный источник для питания ЗУ должен обеспечивать подачу постоянного напряжения на электроды СКР и синусоидального ( $f=500 \text{ Гц}$ ) – на электроды ЗС. При расстоянии между электродами ЗС в 1 см амплитуда напряжения должна быть порядка 6кВ (при этом  $E_0=6 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ ), источник должен обеспечивать ток в ЗС порядка (4-6)мкА. Напряжение между электродами СКР, необходимое для возникновения короны, составляет (4-6)кВ. Поскольку ток в ЗС составляет примерно 10% от тока в СКР, высоковольтный источник должен обеспечивать ток в СКР порядка (40-60) мкА.

Примем, что электрометрический предусилитель, подключенный к измерительному кольцу, выполняется на лампе ЭМ-10. Постоянная времени входной цепи  $\tau_{вх}$  при длительности импульса 1мс должна составить (50-100)мс. Полагая  $C=15\text{пФ}$ , получим необходимое значение активной составляющей входного сопротивления  $R=(3,3-6,6)\text{ГОм}$ . Амплитуда полезного минимального сигнала на входе усилителя равна 155мкВ, среднеквадратичное напряжение помехи – (10-20)мкВ. Т.к. радиус максимальных регистрируемых частиц превышает 50мкм, динамический диапазон сигналов на входе усилителя превышает 1500. Регистрируемые частицы разделены на 4 канала: 10мкм – 25мкм, 25мкм – 50мкм; 50мкм – 100мкм; свыше 100мкм (по диаметру). Соответствующие каналам диапазоны входных сигналов: 155мкВ – 970мкВ; 970мкВ – 3900мкВ; 3900мкВ – 15600мкВ; свыше 15600мкВ.

## 2.4 Функциональная схема счетчика аэрозольных частиц ЭИП – 5

Функциональная схема прибора ЭИП-5 представлена на рис.6 и состоит из трёх блоков: блок 1 – измерительная линия, в состав которой входят электрофильтр, двухсекционная зарядная камера (индукционное кольцо), воздуходувка ПРВ – 1М с ротаметрическим расходомером и электрометрический усилитель постоянного тока, блок 2, содержащий низковольтный и высоковольтный источники питания, обеспечивающие необходимые номиналы напряжений для измерительной линии и интенсиметра (интенсиметр – измеритель средней скорости импульсов, поступающих с выхода электрометрического усилителя); блок 3 – четырехканальный амплитудный анализатор с цифровой индикацией, включает также калибратор, с помощью которого производится периодическая проверка работоспособности основных узлов прибора, и низковольтный источник питания.

Каждый блок конструктивно размещается в отдельном корпусе.

Рассмотрим более подробно основные узлы прибора ЭИП – 5.

Согласно ГОСТ 8.009-84 и ОСТ I 00020-72 метрологические характеристики средств измерений подразделяются на общие и частные. Общие метрологические характеристики применяются для всех видов средств измерений, на которые распространяется действие стандарта. Частные метрологические характеристики применяются для отдельных средств измерений.

Каждая метрологическая характеристика в зависимости от требований, предъявляемых к средству измерений, может быть типовой или индивидуальной. Типовые метрологические характеристики нормируются в документации на средства измерений одними и теми же значениями для всех средств измерений данного типа. Индивидуальные метрологические характеристики указываются в паспорте на средство измерения индивидуальными значениями для данного экземпляра и определяются путем статистической обработки экспериментальных данных, полученных для данного экземпляра.

Для конкретных видов средств измерений часть метрологических характеристик может быть типовой и часть — индивидуальной.

К нормируемым общим метрологическим характеристикам тахометрических расходомеров относятся: диапазон измеряемых расходов; параметры рабочих условий; прямая или обратная номинальная функция преобразования; основная погрешность; дополнительные погрешности. В качестве частной метрологической характеристики у тахометрических расходомеров нормируется максимальное значение гидравлического сопротивления.

Согласно ОСТ I 03594-84 все тахометрические преобразователи в зависимости от пределов измерения объемного расхода жидкости делятся на 23 типа (табл. 2). Величина диапазона  $D$  измеряемого расхода для конкретного преобразователя ограничивается нижним  $Q_{\min}$  и верхним  $Q_{\max}$  значениями и равна:  $D = Q_{\max} - Q_{\min}$ . При этом, как видно из табл. 2, для каждого типа преобразователя нормируется частота выходного сигнала на верхнем пределе измерения.

К параметрам рабочих условий тахометрических преобразователей относятся параметры внешних условий (давление, температура, влажность); параметры внешних воздействий (вибрационные, ударные, линейные и акустические нагрузки, частота вибрации и шумов, значения магнитных и электрических полей); характеристики измеряемой среды (предельные повышенная и пониженная температуры, максим-



## Типы тахометрических расходомеров

Наименование параметра	Показатели типов																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Пределы измерений, л/с	I													II, III, 4										
	0,003-0,01	0,004-0,016	0,005-0,025	0,008-0,04	0,012-0,06	0,02-0,1	0,03-0,16	0,05-0,25	0,07-0,4	0,12-0,6	0,20-1,0	0,25-1,6	0,3-2,5	0,4-1,0	0,5-2,0	0,8-10,0	1,2-16,0	2,0-15,0	3,0-10,0	5,0-60,0	8,0-100,0	10,0-100,0	15,0-10,0	20,0-250,0
Условный диаметр проходного сечения, мм	4													10										
	0,004-0,016	0,005-0,025	0,008-0,04	0,012-0,06	0,02-0,1	0,03-0,16	0,05-0,25	0,07-0,4	0,12-0,6	0,20-1,0	0,25-1,6	0,3-2,5	0,4-1,0	0,5-2,0	0,8-10,0	1,2-16,0	2,0-15,0	3,0-10,0	5,0-60,0	8,0-100,0	10,0-100,0	15,0-10,0	20,0-250,0	
Измеряемая среда для номинального	Неагрессивная													Агрессивная										
	Неагрессивная													Агрессивная										
Частота входного сигнала на верхнем пределе измерения, Гц	250±25													500±50										
	250±25													500±50										
Величина входного сигнала на нижнем пределе измерения при сопротивлении нагрузки: втычной аппаратуры 3 Ом, ост. — не более	25													25										
	25													25										
Перепад давления на верхнем пределе измерения на измеримой среде	0,05													0,12										
	0,05													0,12										
Пределы измерения с вязкостью не более 25 сСт, вода, турбулентно	0,12													0,12										
	0,12													0,12										

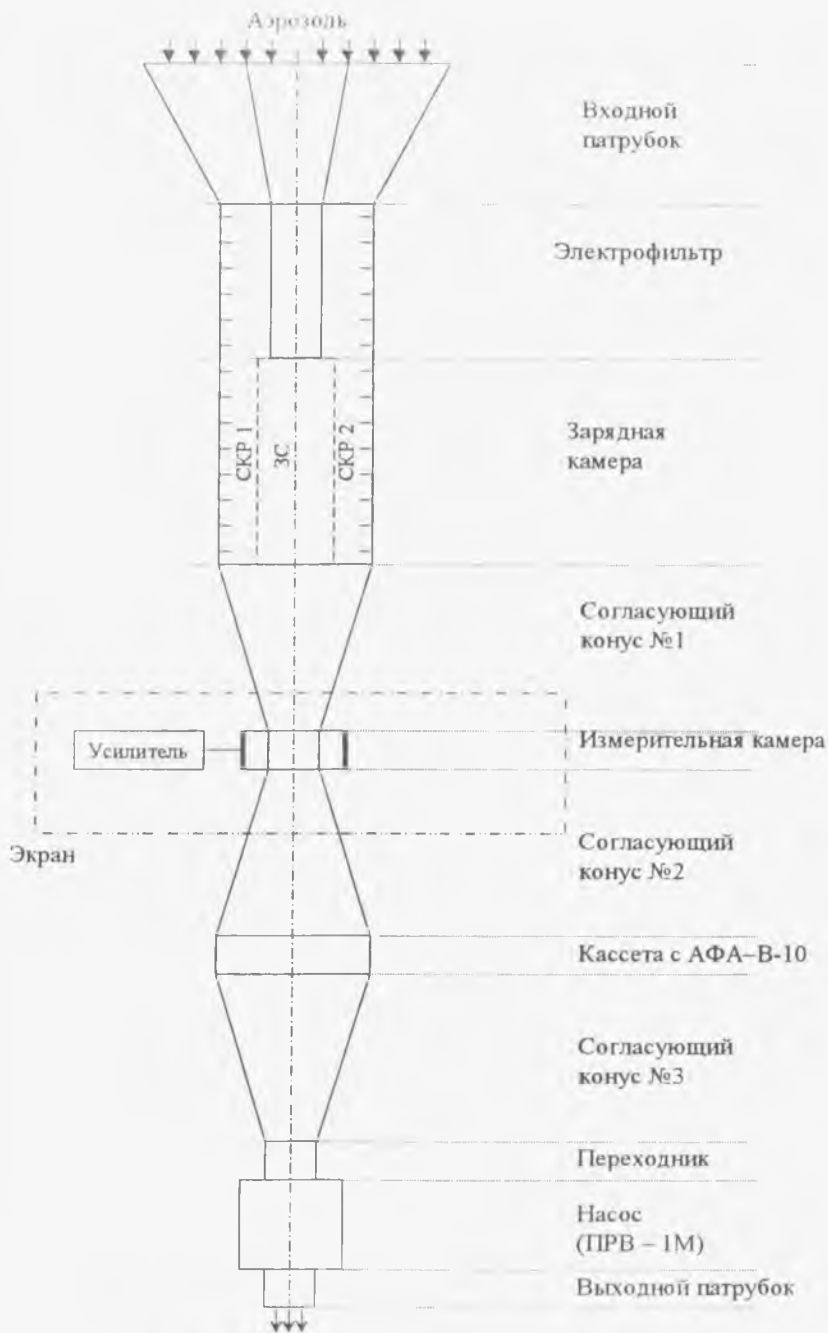


Рисунок 7 – Конструкция измерительной линии ЭИП-5

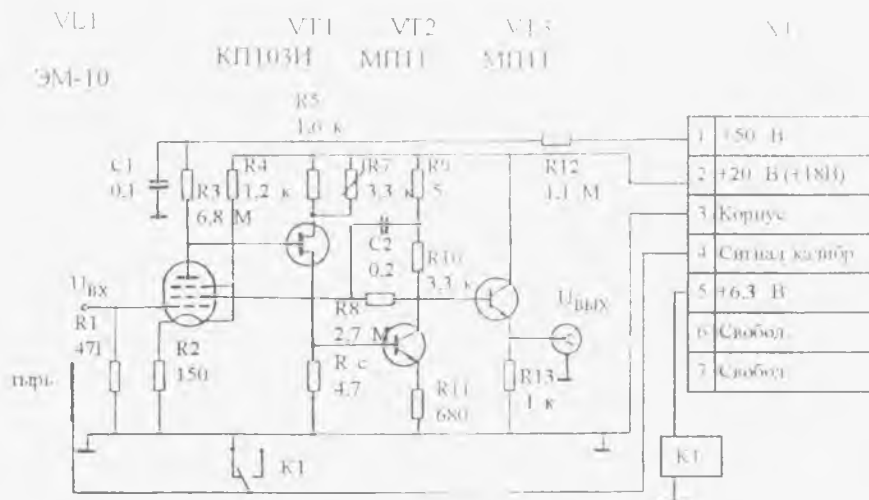


Рисунок 8 – Электрометрический усилитель

## 2.7 Интенсиметр

Интенсиметр предназначен для последовательного контроля среднего числа частиц в минуту в каждом канале регистрации. Он состоит из схемы формирования счетных импульсов, преобразователя частоты следования входных импульсов в постоянное напряжение (преобразователь «частота-напряжение») и индикатора.

Схема формирования счетных импульсов пропускает на вход интенсиметра только те импульсы, которые попадают в диапазон входных сигналов (окно) регистрируемого канала. Схема состоит из диодно-регенеративных компараторов нижнего и верхнего уровней, усилителей, триггера запрета и ключа. Из эпюр на рисунке 9 видно, что при попадании входного сигнала в «окно» канала на выходе схемы появляется импульс, поступающий на вход преобразователя частота-напряжение. Для того, чтобы получить постоянную малую погрешность ( $\approx 1\%$ ) преобразователя в возможном диапазоне изменения частоты входных сигналов, он разбит на три поддиапазона ( $10^2 - 10^3$ ,  $10^3 - 10^4$ ,  $10^4 - 10^5$ ) имп./мин., переключение которых происходит автоматически. Линейность интенсиметра во всем диапазоне частот следования входных импульсов не хуже 4%. Конструктивно интенсиметр выполнен на двух платах, которые устанавливаются в блок с помощью разъемов. Выбор канала регистрации осуществляется с помощью клавишного переключателя

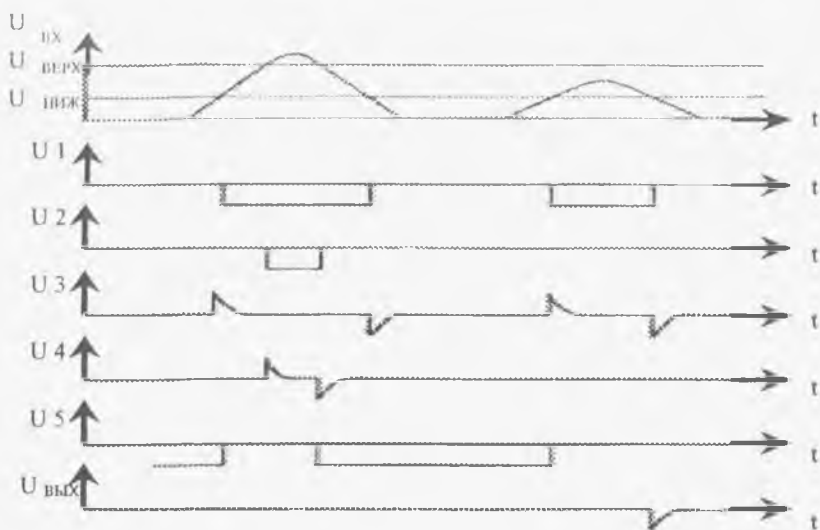


Рисунок 9 – Эпюры напряжений в схеме формирователя счетных импульсов

## 2.8 Амплитудный анализатор

Четырехканальный амплитудный анализатор специально разработан для измерения амплитудного распределения импульсов на выходе индукционного счетчика аэрозольных частиц ЭИП-5. Анализатор построен по принципу преобразования амплитуда - число импульсов - номер канала и состоит из схемы нормализации входных сигналов, схемы преобразования амплитуды в число импульсов, схемы преобразования числа импульсов в номер канала, канальных счетчиков и схемы цифровой индикации.

Эпюры, поясняющие работу блока нормализации входных сигналов, приведены на рис.10. Входной сигнал  $U_{ВХ}$  дифференцируется  $U_1$  и усиливается и интегральным усилителем, поставленный в режим ограничения  $U_2$ . Усиленный и ограниченный сигнал поступает на вход высокочувствительного компаратора с порогом срабатывания 60мВ. Срабатывание компаратора происходит в момент перехода биполярного сигнала через нуль, что соответствует (с погрешностью не более 2%) моменту максимума входного сигнала. Импульс с выхода компаратора  $U_3$  запускает ждущий блок-генератор, который вырабатывает стробирующий импульс  $U_4$  длительностью 1,5мкс, поступающий на линейный пропускатель. Таким образом, момент прихода строб-импульса на линейный пропускатель совпадает с моментом максимума входного сигнала. Импульс с выхода линейного пропускателя  $U_{ВЫХ}$  имеет прямоугольную форму; амплитуда его равна амплитуде входного сигнала, а длительность – длительности стробирующего импульса.

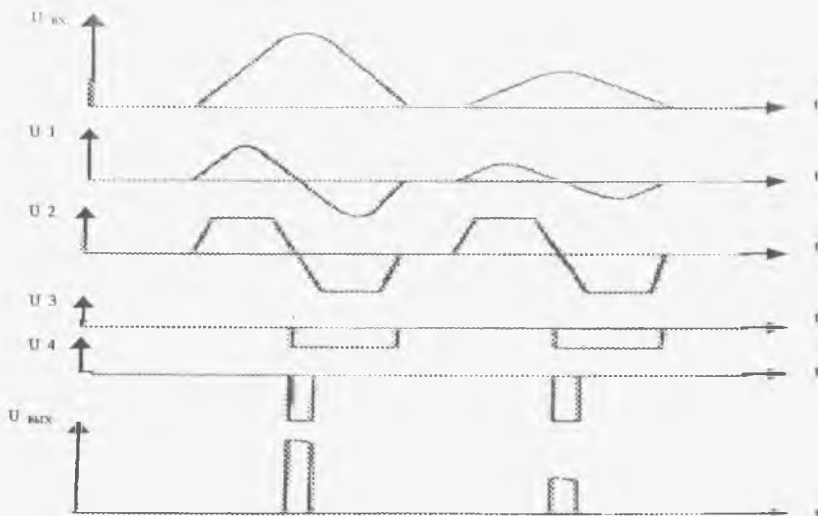


Рисунок 10 – Элюры напряжений в схеме нормализатора импульсов

С выхода линейного пропускателя нормализованный сигнал поступает в преобразователь амплитуда - число импульсов, построенный на основе линии задержки. И далее - в преобразователь число импульсов – номер канала, который формирует импульс счета на входе соответствующего канального счетчика.

Калибратор предназначен для проверки работоспособности электрометрического усилителя, амплитудного анализатора, канального счетчика и интенсиметра. Функциональная схема калибратора приведена на рис.11. Он состоит из задающего RC - генератора, формирователя и калиброванного делителя напряжения. Проверка прибора выполняется в два этапа. На первом этапе (контроль 1) производится проверка сквозного тракта прибора (от усилителя до канальных счетчиков) при амплитуде входного сигнала  $U_{ВХ 1} = U_{ВХ \min} - \Delta U$ , где  $U_{ВХ \min}$  - минимальная амплитуда входного сигнала, подлежащего регистрации,  $\Delta U$  - допустимая погрешность по входу. На втором этапе (контроль 2) производится проверка сквозного тракта прибора при амплитуде входного сигнала  $U_{ВХ 2} = U_{ВХ \min} + \Delta U$ . Контроль осуществляется с помощью канальных счетчиков. Импульсы с выхода формирующего устройства поступают на вход усилителя и одновременно на вход канальных счетчиков второго, третьего и четвертого каналов. Канальный счетчик первого канала на первой этапе должен показывать нули, а на втором этапе показания его должны совпадать с показаниями счетчиков второго, третьего и четвертого каналов. Частота RC - генератора равна максимальной частоте следования входных сигналов 1кГц. Показания интенсиметра должны соответствовать частоте следования импульсов 60000 импульсов/мин.

Внешний прибор ЭИП – 5 показан на рис. 12.

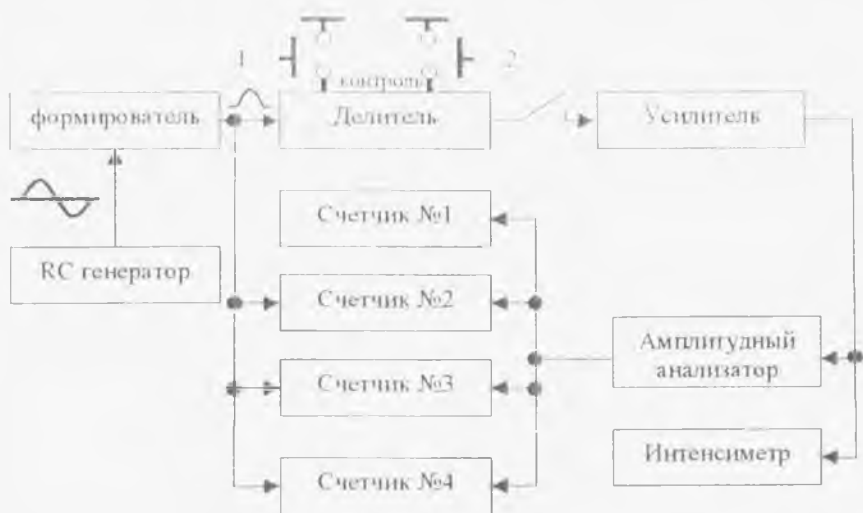


Рисунок 11 – Функциональная схема калибратора

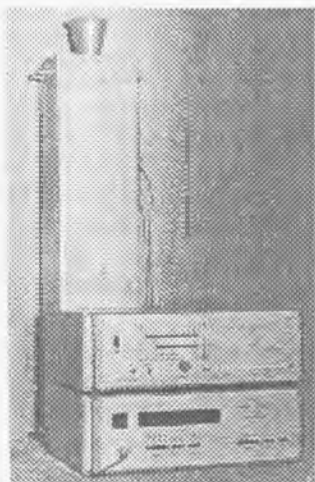


Рисунок 12 – Внешний вид пылемера ЭИП-5

## 2.9 Инструкция по эксплуатации прибора ЭИП-5

1. Произвести соединение блоков прибора согласно схеме на рис.13.
2. Проверить соответствие переключателя 220/127 напряжению сети.
3. Включить блоки №2 и №3 нажатием клавиш «сеть» на каждом блоке.
4. После прогрева прибора в течение двух минут включить высокое напряжение нажатием кнопки «ВКЛ» на блоке №2 и проверить по индикатору соответствие выходного напряжения норме. Выходное напряжение соответствует норме, если верхний и нижний лучи попадают в окно и не перекрываются.
5. Нажать клавишу «ПУСК» на блоке №2 или на блоке №3 (при этом подается питание на насос ПРВ – 1М).
6. Вращая ручку «РАСХОД» на блоке №2 установить расход воздуха через измерительную линию 20 литров в минуту. При этом поплавков ротаметра (блок №1) устанавливается на средней риске.
7. Нажать клавишу «СТОП» в блоке №2 или на блоке №3, клавиши «СБРОС» -  $10^5$ , СЧ в блоке №3 и кнопку «ВЫКЛ» в блоке №2. Прибор готов к работе,
8. Нажатием клавиши «МИНУТ» - 1 в блоке №3 установить выдержку реле времени 1 минута.
9. Нажатием кнопки «ВКЛ» в блоке №2 включить высокое напряжение.
10. Нажать клавишу «ПУСК» в блоке №3. При этом включается насос и начинается счет частиц.
11. После автоматического выключения насоса, снять показания канальных счетчиков. При нажатии «КАНАЛ» - 1 на цифровое табло выводятся показания числа зарегистрированных частиц (в одном литре) в диапазоне размеров (10 – 25)мкм; «КАНАЛ» – 2 – (25 – 50)мкм; «КАНАЛ» – 3 – (50 – 100)мкм; «КАНАЛ» – 4 – свыше 100мкм.
12. После записи показаний нажать клавишу «СБРОС» СЧ,  $10^5$ . Прибор готов к повторным измерениям.
13. Зажигание одной из лампочек 1, 2, 3, 4 в блоке №3 означает переполнение соответствующего канального счетчика. Нажатием клавиши «СБРОС»  $10^5$  погасить лампочку. По окончании счета к числу, записанному в данном канальном счетчике, прибавить  $10^5$ .
14. При низкой счетной концентрации частиц установить выдержку реле времени равной 2 или 3 минутам. При этом показания каждого канального счетчика определяют содержание частиц в 2-х или 3-х литрах исследуемого воздуха соответственно.
15. При ручной выдержке времени для запуска прибора нажать клавишу «МИНУТ» – 0 в блоке №3 или клавишу «ПУСК» в блоке №2 или блоке №3. По истечении требуемого времени (n минут) нажатием клавиши «СТОП» выключить насос. Показания на цифровом табло определяет количество частиц в n литрах исследуемого воздуха.
16. Использование интенсиметра целесообразно при ручной выдержке времени и последовательном опросе каналов.

17. Для определения счетной концентрации частиц в диапазоне размеров 10-25 мкм с помощью интенсиметра нажать клавишу «ПУСК» и клавишу «КАНАЛ»-1 в блоке №2. Спустя минуту произвести считывание перемножением показаний верхнего и нижнего индикаторов. Определение концентрации частиц в других диапазонах производится путем нажатия клавиш «КАНАЛ»-2, «КАНАЛ»-3, «КАНАЛ»-4 в блоке №2.
18. При длительных измерениях интенсиметр показывает среднее число частиц в минуту в регистрируемом диапазоне.
19. Для выключения прибора поставить все клавиши в исходное положение.

### Указания по технике безопасности

При эксплуатации прибора следует иметь ввиду наличие внутри него источника высокого напряжения, достигающего 6кВ. Безопасность при эксплуатации прибора достигается за счет того, что в ней имеются схемы блокировки и защиты, не допускающие появления высокого напряжения на открытых частях прибора и корпусе. Эти же схемы автоматически отключают источник высокого напряжения при превышении токов в электрофильтре и зарядном устройстве. Запрещается эксплуатация прибора с не полностью вставленными блоками, с раскрытыми блоками и отключенными блокировками.

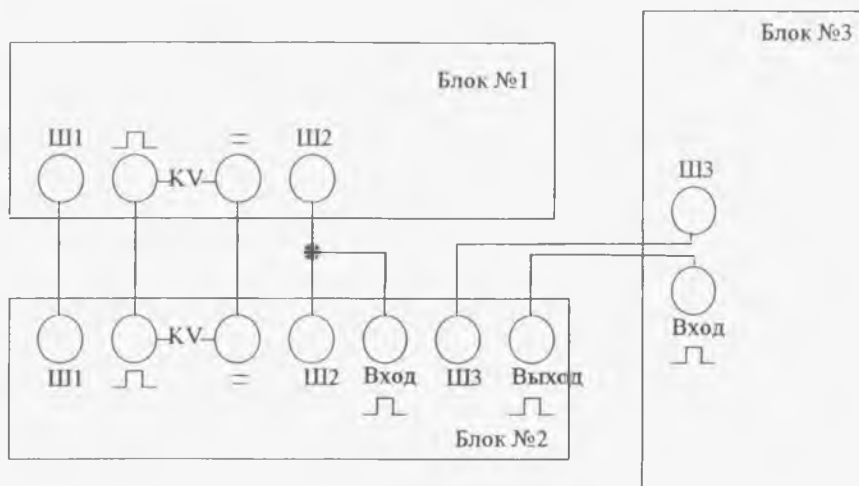


Рисунок 13 – Схема соединения блоков



### 3 Электронно-индукционный пылемер ЭИП-13

Электронный индукционный пылемер ЭИП-13 предназначен для непрерывного автоматического измерения весовой концентрации пыли в воздухе производственных помещений. Прибор имеет следующие технические характеристики:

1. Диапазон измерения весовой концентрации пыли (при соотношении сигнал-шум не менее 3 и средней плотности материала частиц аэрозоля $\rho=2 \text{ г/см}^3$ ), $\text{мг/м}^3$	0,01 ÷ 20
2. Пределы изменения параметров Дф аэрозоля:	
медианный радиус, мкм	0,2÷5
среднеквадратическое отклонение	1÷2,5
3. Погрешность измерения, %	10
4. Быстродействие (время установления выходного сигнала), с	5- 60
5. Расход воздуха, л/мин	15
6. Питание	220В±10%,50Гц
7. Потребляемая мощность, ВА	15
8. Габаритные размеры, мм	120х200х300
9. Масса, кг	5

Датчиком прибора ЭИП-13 является индукционно-зарядный преобразователь (ИЗП), конструкция которого схематически приведена на рисунке 14. ИЗП содержит входной патрубок 1, зарядное устройство 2, импульсный конденсатор (ИК), состоящий из импульсного электрода 3 и чувствительного электрода 4, к которому подключен усилитель тока УТ и ключ К.

Принцип действия ИЗП заключается в следующем. Аэрозоль непрерывно засасывается через входной патрубок 1, проходит зарядное устройство, где аэрозольные частицы приобретают электрические заряды, пропорциональные квадрату их радиуса, и в виде ламинарного потока поступают в ИК. На импульсный электрод 3 периодически подаются короткие прямоугольные устройство 2 с униполярным коронным разрядом, где импульсы напряжения  $U_и$ , создающие в ИК поперечное к потоку импульсное электрическое поле напряженностью  $E_и$ . Под действием этого поля каждая заряженная частица приобретает поперечную к потоку составляющую скорости и индуцирует в чувствительном электроде ток,

$$W_i = \frac{D_i E_{и}}{6\pi\eta} a_i$$

пропорциональный произведению своего заряда на поперечную скорость движения

$$I_i = q_i W_i = \frac{D_i^2 E_{и}}{6\pi\eta} a_i^3 \quad (10)$$

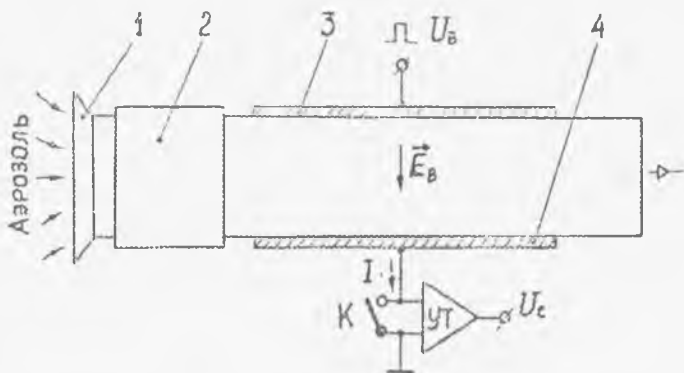


Рисунок 14 – Конструкция ИЗП

Суммируя, согласно принципу суперпозиции, токи (10), наведенные всеми частицами в ИК, найдем полный ток через чувствительный элемент

$$I = \frac{D_1^2 E_0}{8\pi^2 \eta} \left[ n_0 \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{4}{3} \pi a^3 \varphi(a) da \right].$$

Последнее выражение показывает, что ток в цепи в момент действия импульсного поля прямо пропорционален объемной концентрации ДФ независимо от распределения частиц по размерам и по сечению ИК. Длительность импульсного поля ограничивается временем, в течение которого практически не успевает произойти осаждение частиц на электроды ИК. Для устранения влияния экстратоков, возникающих при нарастании и спаде импульса напряжения  $U_b$ , вход усилителя тока УТ замыкается на эти короткие интервалы времени ключом К.

Достоинством ИЗП является также то, что для регистрации тока через чувствительный элемент вместо электрометрического усилителя применен усилитель тока, имеющий небольшое входное сопротивление. В результате снимаются погрешности при загрязнении и появлении паразитных утечек, возрастает надежность и время непрерывной работы преобразователя в системе управления.

Основными узлами ИЗП являются зарядное устройство, импульсный конденсатор и усилитель тока.

### 3.1 Функциональная схема прибора ЭИП-13

Схема электронно-индукционного пылемера ЭИП-13 приведена на рис.15. Основой ее является индукционный зарядный преобразователь (ИЗП) с цилиндрическим импульсным конденсатором ИК и зарядным устройством ЗУ типа «игла-кольцо». Воздух через ИЗП прокачивается с помощью портативной ротационной воздуходувки ПРВ. Синхронизация работы преобразователя осуществляется устройством управления УУ.

На электроды ЗУ подаются прямоугольные импульсы напряжения  $U_k$  амплитудой 6,5кВ и периодом повторения  $T_p = 0,5c$  (рис.16) от источника высокого напряжения ИВН. Во время действия импульса напряжения в ЗУ возникает коронный разряд и через ИК проходят заряженные аэрозольные частицы. При отсутствии импульса заряда частиц в ЗУ не происходит. На импульсный электрод ИК поступают короткие импульсы напряжения  $U_v$  амплитудой 50В длительностью  $t_e = 35мс$  от источника импульсного напряжения ИИН. По времени они предшествуют окончанию и началу импульсов  $U_k$  на электродах ЗУ. Сигнал  $U_{УТ}$  на выходе усилителя тока УТ, подключенного к чувствительному электроду ИК, обусловлен, во-первых, прохождением фронтов заряженных пачек аэрозоля через ИК (длинные колоколообразные импульсы на рис.16), во-вторых, смещением заряженных частиц в ИК под действием импульсного электрического поля. С выхода УТ сигнала подается на вход усилителя напряжения УН, который стробируется импульсами  $U_c$ , поступающими с устройства управления УУ. В результате на выходе УН получают выборки напряжения  $U_{ун}$  длительностью  $t_{и} = 20мс$ . Амплитуды выборок 3 и 4 (рис.16) определяются поверхностной концентрацией дисперсной фазы аэрозоля, а также аддитивной помехой, обусловленной дрейфом нуля усилителя тока УТ.

Амплитуда выборки 1 определяется объемной концентрацией ДФ аэрозоля, а также дрейфом нуля УТ и возможными утечками в ИК во время действия импульсного поля. Амплитуда выборки 2, которая соответствует отсутствию в ИК заряженных аэрозольных частиц, определяется только дрейфом нуля УТ и утечками в ИК. Каждая из выборок 1, 2, 3, 4 поступает на соответствующий синхронный фильтр СФ1-СФ4 и преобразуется в постоянное напряжение. На выходе синхронных фильтров включены вычитающие устройства В1 и В2, в которых корректируются аддитивные помехи, обусловленные дрейфом нуля УТ и утечками в ИК.

Для коррекции погрешности, обусловленной наличием в воздухе производственного помещения субмикронных частиц, введено вычитающее устройство В3, в котором из сигнала, соответствующего разности выборок 1 и 2, вычитается часть сигнала, соответствующего разности выборок 3 и 4 (функциональный способ коррекции). Сигналы, пропорциональные объемной и поверхностной концентрации, усиливаются оконечными усилителями У1 и У2, соответственно

Усилитель напряжения, синхронные фильтры, вычитающие устройства и оконечные усилители образуют блок обработки БО сигналов ИЗП



## 3.2-Индукционно-зарядный преобразователь

Конструкция малогабаритного ИЗП показана на рис.17. Он представляет собой цилиндрический импульсный конденсатор (ИК) с внутренним чувствительным электродом. В ИЗП применено зарядное устройство типа «игла-кольцо», которое выполнено в цилиндрическом корпусе 1. Коронирующая игла 2 закреплена в стакане 3 и электрически соединена с корпусом. Некоронирующий электрод 4 установлен в составном изоляторе 5 и выполнен в виде кольца, края отверстия которого со стороны, обращенной к игле 2, скруглены и отполированы с целью устранения обратной короны (с кольца на иглу). Для уменьшения осаждения аэрозольных частиц в ЗУ и повышения его коэффициента преобразования применена фокусировка струи аэрозоля в области острия иглы 2 при помощи диэлектрического конуса 6, что позволило повысить напряженность электрического поля в зоне зарядки до 14-16 кВ/см и уменьшить разброс коэффициента преобразования. На кольцевой электрод 4 с помощью контакта 7, установленного в изоляторе 8 и закрепленного хомутом 9, подается положительное напряжение 5,5 кВ при токе короны 40 мкА. Детали зарядного устройства стягиваются накидной гайкой 10, которая позволяет легко и быстро разбирать и собирать все устройство для периодической очистки. Крышка 11 закрывает входной патрубков при транспортировке.

Цилиндрический импульсный конденсатор ИЗП состоит из внешнего импульсного электрода 12, установленного на фторопластовых изоляторах 13, 14, внутреннего чувствительного электрода 15, укрепленного на изоляторах 16, 17, и заземленных охранных электродов 18, 19. На торцах ИК установлены ламинаризирующие решетки 20, 21, выполненные в виде радиальных пластин. С помощью накидной гайки 22 ИК соединяется с ЗУ. К выходному фланцу ИЗП могут крепиться кассета с фильтром АФА и малогабаритная воздуходувка.

## 3.3 Принципиальная схема пылемера ЭИП-13

Электронная схема прибора ЭИП-13 выполнена на интегральных микросхемах и дискретных радиоэлементах.

### 3.3.1 Усилитель тока

На рис.18. приведена принципиальная схема усилителя тока УТ. Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью по напряжению через высокоомный резистор R2. Входной каскад выполнен на МОП – транзисторе VT1 типа КП304А. Потенциометр R5 служит для установки термостабильной точки тока стока транзистора, переменный резистор R4 – для установки нулевого тока утечки затвора. Основное усиление обеспечивается операционным усилителем VD1 на микросхеме К140УД5А. Потенциометром R6 устанавливается нулевое напряжение на выходе усилителя при отсутствии

входного сигнала. Для защиты усилителя от перегрузки во время подачи импульсов напряжения на электроды ИК используются резистор R1 и два встречноключенных кремниевых диода V1, V2. Для установки требуемого коэффициента передачи усилителя с учетом разброса величины высокоомного резистора R2 на выходе включен делитель на резисторах R12, R11.

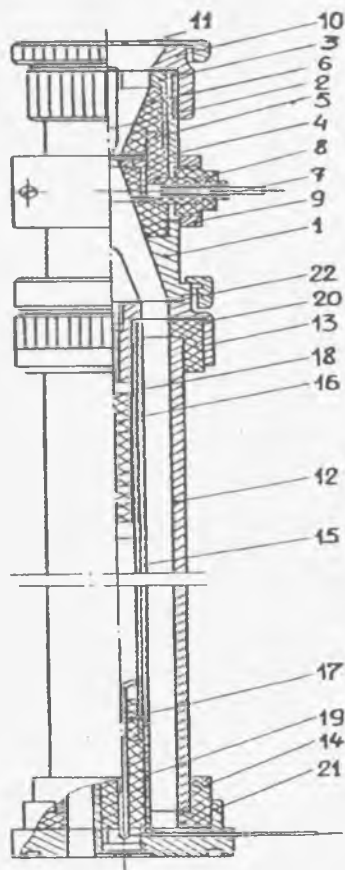


Рисунок 17- Конструкция индукционно-зарядного преобразователя

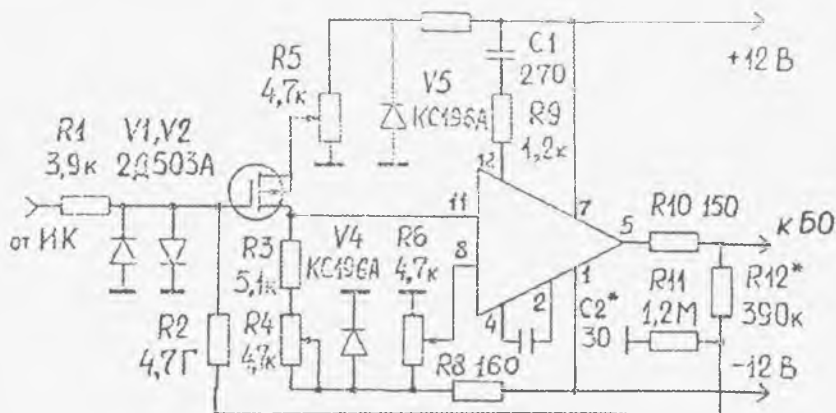


Рисунок 18. –Принципиальная схема усилителя тока

### 3.3.2 Устройство управления и блок обработки сигналов

На рис.19. представлена принципиальная схема устройства управления и блока обработки сигналов ИЗП. Устройство управления состоит из задающего генератора на транзисторах V1 и V2 (мультивибратор с эмиттерной времязадающей цепью), счетчика импульсов на микросхемах D1 – D2 и дешифратора на микросхемах D5 – D8. УУ управляет работой МОП-ключей на микросхемах D9 – D11, а также выдает управляющие импульсы для коммутации источников высокого и импульсного напряжений.

В блок обработки входят усилитель напряжения на микросхеме D12, синхронные фильтры R19, C5, C6 и R20, C7, C8, операционные усилители на микросхемах D13 и D14. Стробирование усилителя напряжения и переключение диапазонов преобразования концентрации аэрозоля осуществляется электронными ключами на микросхеме D10. Управление работой синхронных фильтров производится с помощью ключей на микросхеме D11. Быстродействие преобразователя (время установления выходного сигнала) регулируется переменными резисторами R19 и R20, которые определяют постоянные времени синхронных фильтров. С помощью операционных усилителей на микросхемах D13, D14 выполняются следующие операции: коррекция дрейфа нуля усилителя тока УТ и утечек в ИК; функциональная коррекция погрешности от наличия в воздухе помещения субмикронных частиц (с выхода микросхемы D14 сигнала  $U_s$  через резисторы R32 и R30 подается на инвертирующий вход микросхемы D13); усиление сигналов преобразователя  $U_v$  и  $U_s$ , соответствующих объемной и поверхностной концентрации дисперсной фазы аэрозоля (диапазон изменения выходных сигналов составляет от 0 до 10 В)

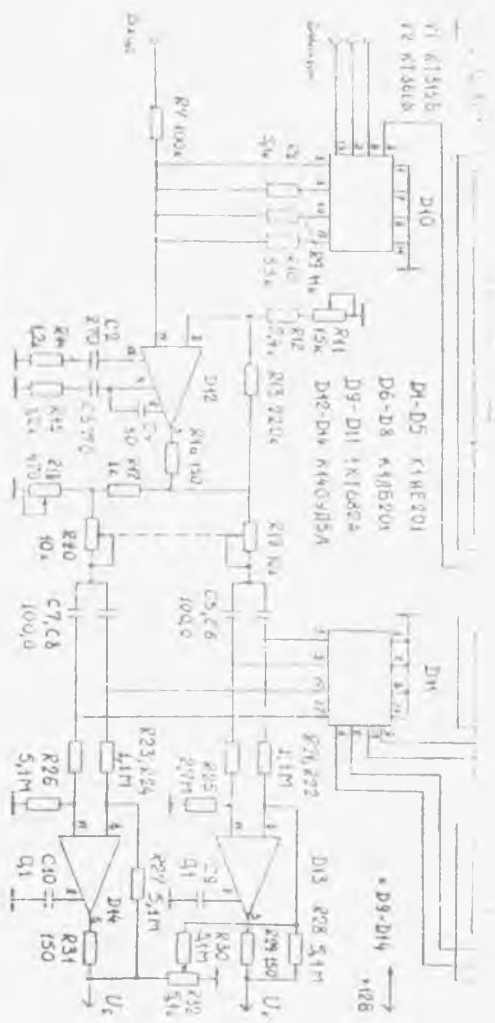


Рис. 19. Принципиальная схема управления электродвигателем с помощью реле



### 3.3.3 Источник высокого напряжения

Принципиальная схема источника высокого напряжения для питания ЗУ приведена на рис.20. Источник представляет собой преобразователь напряжения по схеме двухтактного блокинг-генератора на транзисторах V1, V2. К повышающей обмотке трансформатора T1 подключен выпрямитель на диодах V3, V4, собранный по схеме удвоения напряжения. Для ограничения и стабилизации тока короны в ЗУ на уровне 40мкА включены высокоомные резисторы R3, R4. Коммутация высокого напряжения на выходе источника осуществляется путем подачи управляющих импульсов на базы транзисторов V1, V2 через резистор R1 от устройства управления

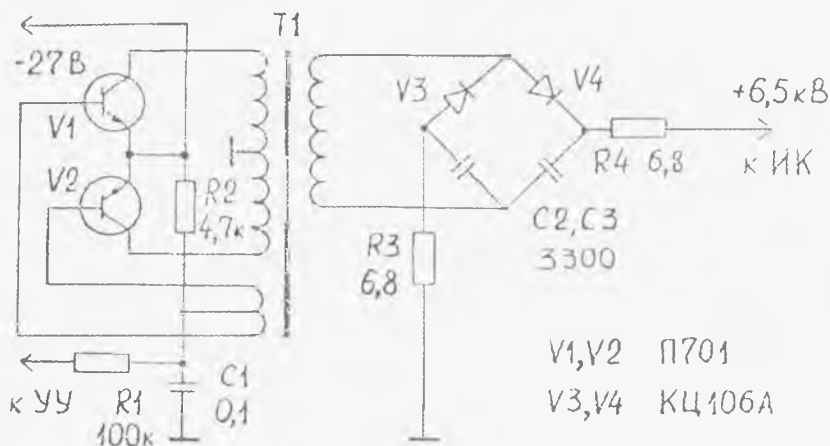


Рисунок 20 – Принципиальная схема источника высокого напряжения

### 3.3.4 Источник импульсного напряжения

На рис. 21 приведена принципиальная схема источника импульсного напряжения. Основным элементом источника является конденсатор C1. В паузах между импульсами он подзаряжается от источника +50В через резистор R1. В это время транзистор V1 закрыт, V2 - открыт. С приходом управляющего сигнала от устройства управления УУ транзистор V1 открывается, V2 - закрывается, при этом конденсатор C1 подключается к импульсному ИК и формирует отрицательный импульс напряжения амплитудой 50В. Достоинством схемы ИНН является низкий уровень шумов.

Питание электронной схемы прибора ЭИП-13 осуществляется от трех стабилизированных источников с выходными напряжениями  $\pm 12\text{В}$  и минус  $127\text{В}$ . С целью уменьшения влияния паразитных наводок и повышения тем самым помехоустойчивости усилитель тока помещен в электростатический экран, а прибор в целом закрывается металлическим кожухом.

Внешний вид пылемера ЭИП-13 со снятым кожухом представлен на рис. 22.

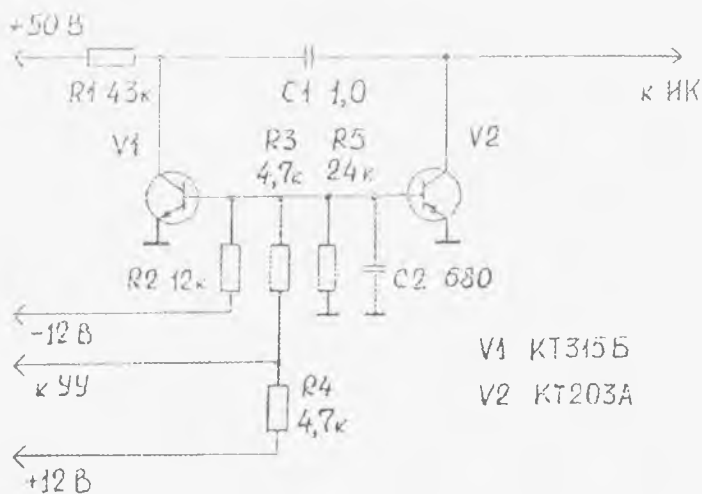


Рисунок 21 - Принципиальная схема источника импульсного напряжения

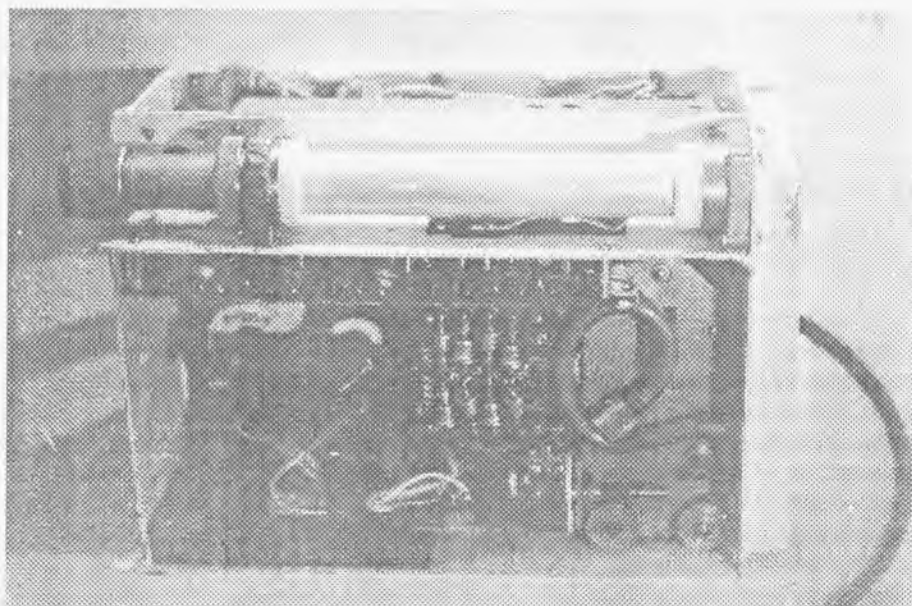


Рисунок 22 - Внешний вид пылемера ЭИП-13 со снятым кожухом

### 3.4 Инструкция по эксплуатации прибора ЭИП-13

1. Установить прибор на горизонтальной поверхности стола. Для удобства наблюдения показаний ручку прибора опустить вниз.
1. Отвинтить крышку, закрывающую входной патрубок ИЗП.
2. Включить прибор в сеть напряжением 220В, 50Гц.
3. Нажать кнопку клавишного переключателя с пределом измерения «х0.5», соответствующую пределу измерения весовой концентрации 0.5мг/м<sup>3</sup>.
4. Спустя 30с считать показания весовой концентрации пыли с индикатора.
5. После окончания измерения нажать клавишу «ВЫКЛ», выдернуть шнур питания из розетки и закрыть крышку входного патрубка.

#### Указания по технике безопасности

При эксплуатации прибора следует иметь ввиду наличие внутри него источника высокого напряжения, достигающего 6кВ. Безопасность при эксплуатации прибора достигается за счет того, что в ней имеются схемы блокировки и защиты, не допускающие появления высокого напряжения на открытых частях прибора и корпусе. Запрещается эксплуатация прибора со снятой крышкой, закрывающей измерительную линию, или со снятым кожухом.

#### 4 Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- Электронно-индукционный пылемер ЭИП-5,
- Электронно-индукционный пылемер ЭИП-13;
- Осциллограф С1-73 (или аналогичный);
- Испытательная пыль;
- Аналитический аэрозольный фильтр АФА.

#### 5 Подготовка к работе

Перед выполнением работы ознакомиться с принципом действия электронно-индукционных пылемеров ЭИП-5 и ЭИП-13, изучите более подробно их функциональные схемы и принципиальные схемы усилителей запишите в отчет по лабораторной работе основные характеристики приборов.

#### 6 Порядок проведения экспериментальной части работы

1. В соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора ЭИП-5, провести соединение блоков (рис.12) и произвести калибровку прибора(см. п.2.8).
2. Провести три измерения концентрации пыли прибором ЭИП-5.
3. Электронным осциллографом провести контроль импульсов

- контрольных точках прибора ЭИП-5, указанных преподавателем. Зарисовать полученные осциллограммы.
4. Включить прибор ЭИП-13 и в течении 10 мин провести контроль концентрации пыли в помещении, записывая в таблицу показания прибора через каждые 30 сек.
  5. Закрывать входной патрубком прибора ЭИП-13 аналитическим аэрозольным фильтром АФА и записать показания прибора спустя 30 сек.
  6. Снять фильтр, произвести распыление испытательной пыли перед входным патрубком прибора и зарегистрировать максимальное показание стрелочного индикатора. Результат записать в таблицу.
  7. Электронным осциллографом провести контроль сигналов в контрольных точках прибора ЭИП-13, указанных преподавателем. Зарисовать полученные осциллограммы.

## 7 Содержание отчета

1. Наименование кафедры, название работы, Ф.И.О. студента, дата.
2. Цель работы
3. Основные характеристики пылемеров ЭИП-5 и ЭИП-13.
4. Функциональные схемы пылемеров.
5. Таблицы и графики экспериментальных результатов.
6. Выводы по экспериментальным данным.

## 8 Контрольные вопросы

1. Принцип действия электронно-индукционных пылемеров.
2. Что такое аэрозоль, дисперсная фаза, дисперсионная среда?
3. Каковы санитарно-гигиенические требования к производственным помещениям по запыленности воздуха? Что такое предельно-допустимые концентрации пыли?
4. Назначение зарядного устройства, динамика зарядки частиц пыли в нем. Предельный электрический заряд частиц пыли.
5. Конструкция и принцип действия индукционного датчика. Форма выходных импульсов датчика.
6. Чем ограничивается чувствительность электронно-индукционных счетчиков частиц?
7. Назначение основных узлов пылемеров по их функциональным схемам.
8. Нарисуйте траекторию заряженной частицы при ее движении с потоком воздуха и действии поперечного отклоняющего электрического поля.

## Литература

1. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли-пыли, дымы и туманы. П., «Химия», 1969.
2. Клименко А. П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М. «Химия», 1978.
3. Мяздринов О. Я. Электрические способы объемной гранулометрии. П. «Энергия», 1968.

## Содержание

1	Краткие теоретические сведения	3
2	Электронно-индукционный пылемер ЭИП-5	5
	2.1 Зарядное устройство	6
	2.2 Индукционный датчик заряженных частиц	9
	2.3 Основные параметры измерительной линии и электронной схемы	14
	2.4 Функциональная схема счетчика аэрозольных частиц ЭИП-5	15
	2.5 Измерительная линия прибора ЭИП-5	17
	2.6 Электрометрический усилитель	17
	2.7 Интенсиметр	19
	2.8 Амплитудный анализатор	20
	2.9 Инструкция по эксплуатации прибора ЭИП-5	23
3	Электронно-индукционный пылемер ЭИП-13	25
	3.1 Функциональная схема прибора ЭИП-13	27
	3.2-Индукционно-зарядный преобразователь	29
	3.3 Принципиальная схема пылемера ЭИП-13	29
	3.3.1 Усилитель тока	29
	3.3.2 Устройство управления и блок обработки сигналов	31
	3.3.3 Источник высокого напряжения	33
	3.3.4 Источник импульсного напряжения	33
	3.4 Инструкция по эксплуатации прибора ЭИП-13	35
4	Описание лабораторной установки	35
5	Подготовка к работе	35
6	Продок проведения экспериментальной части работы	35
7	Содержание отчета	36
8	Контрольные вопросы	36
	Литература	36